MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

PENGELOLAAN PLTMH

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI HIDRO

Program Keahlian : Teknik Energi Terbarukan

KELOMPOK KOMPETENSI

6

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2015

PENGELOLAAN PLTMH

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI HIDRO

PROGRAM KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI TERBARUKAN

Penyusun:

Tim PPPPTK

BMTI

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN

2015

KATA PENGANTAR

Undang–Undang Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen mengamanatkan adanya pembinaan dan pengembangan profesi guru secara berkelanjutan sebagai aktualisasi dari profesi pendidik. Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) dilaksanakan bagi semua guru, baik yang sudah bersertifikat maupun belum bersertifikat. Untuk melaksanakan PKB bagi guru, pemetaan kompetensi telah dilakukan melalui Uji Kompetensi Guru (UKG) bagi semua guru di di Indonesia sehingga dapat diketahui kondisi objektif guru saat ini dan kebutuhan peningkatan kompetensinya.

Modul ini disusun sebagai materi utama dalam program peningkatan kompetensi guru mulai tahun 2016 yang diberi nama diklat PKB sesuai dengan mata pelajaran/paket keahlian yang diampu oleh guru dan kelompok kompetensi yang diindikasi perlu untuk ditingkatkan. Untuk setiap mata pelajaran/paket keahlian telah dikembangkan sepuluh modul kelompok kompetensi yang mengacu pada kebijakan Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan tentang pengelompokan kompetensi guru sesuai jabaran Standar Kompetensi Guru (SKG) dan indikator pencapaian kompetensi (IPK) yang ada di dalamnya. Sebelumnya, soal UKG juga telah dikembangkan dalam sepuluh kelompok kompetensi. Sehingga diklat PKB yang ditujukan bagi guru berdasarkan hasil UKG akan langsung dapat menjawab kebutuhan guru dalam peningkatan kompetensinya.

Sasaran program strategi pencapaian target RPJMN tahun 2015–2019 antara lain adalah meningkatnya kompetensi guru dilihat dari *Subject Knowledge* dan *Pedagogical Knowledge* yang diharapkan akan berdampak pada kualitas hasil belajar siswa. Oleh karena itu, materi yang ada di dalam modul ini meliputi kompetensi pedagogik dan kompetensi profesional. Dengan menyatukan modul kompetensi pedagogik dalam kompetensi profesional diharapkan dapat mendorong peserta diklat agar dapat langsung menerapkan kompetensi pedagogiknya dalam proses pembelajaran sesuai dengan substansi materi yang diampunya. Selain dalam bentuk *hard-copy*, modul ini dapat diperoleh juga dalam bentuk digital, sehingga guru dapat lebih mudah mengaksesnya kapan saja dan dimana saja meskipun tidak mengikuti diklat secara tatap muka.

Kepada semua pihak yang telah bekerja keras dalam penyusunan modul diklat PKB ini, kami sampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Jakarta, Desember 2015
Direktur Jenderal,

Sumarna Surapranata, Ph.D
NIP: 195908011985031002

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI ii

DAFTAR GAMBAR v

DAFTAR TABEL x

PENDAHULUAN 1

A. Latar Belakang 1

B. Tujuan 1

C. Peta Kompetensi 3

D. Ruang Lingkup 4

E. Saran Cara Penggunaan Modul 5

KEGIATAN PEMBELAJARAN 6

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 : PENGEMBANGAN EKSTRAKURIKULER UNTUK AKTUALISASI DIRI PESERTA DIDIK. 6

A. Tujuan 7

B. Indikator Pencapaian Kompetensi 7

C. Uraian Materi 8

SISTEMATIKA 26

LAPORAN PROYEK 26

D. Aktivitas Pembelajaran 31

E. Rangkuman 38

F. Tes Formatif 40

G. Kunci Jawaban 43

KEGIATAN BELAJAR KB-2 DASAR-DASAR KELISTRIKAN PLTMH 44

A. Tujuan 44

B. Indikator Pencapaian Kompetensi 44

C. Uraian Materi 45

D. Aktivitas Pembelajaran 128
E. Rangkuman 133
F. Tes Fromatif 134
G. Kunci Jawaban 136
TUGAS PRAKTIK 151
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 KOMPONEN AKTIF 163
A. Tujuan 163
B. Indikator Pencapaian Kompetensi 163
C. Uraian Materi 163
D. Aktivitas Pembelajaran 197
E. Rangkuman 198
F. Test Formatif 199
G. Kunci Jawaban 200
H. C 210
KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 RANGKAIAN PENYEARAH DAN PENYETABIL 212
A. Tujuan 212
B. Indikator Pencapaian Kompetensi 212
C. Uraian Materi 212
D. Aktivitas Pembelajaran 224
E. Rangkuman 225
F. Test Formatif 226
G. Kunci Jawaban 227
KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 RANGKAIAN TRANSISTOR SEBAGAI PENGUAT 241
A. Tujuan 241
B. Indikator Pencapaian Kompetensi 241
C. Uraian Materi 241
D. Aktivitas Pembelajaran 276
E. Rangkuman 277
F. Test Formatif 278
G. Kunci Jawaban 279

KEGIATAN PEMBELAJARAN 6 OPERATIONAL AMPLIFIER (OP-Amp) 295
A. Tujuan 295
B. Indikator Pencapaian Kompetensi 295
C. Uraian Materi 295
D. Aktivitas Pembelajaran 319
E. Rangkuman 320
F. Test Formatif 320
G. Kunci Jawaban 323
PENUTUP 341
DAFTAR PUSTAKA 377
GLOSARIUM 380

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Analogi hubungan antara aliran dan hambatan pada suatu bejana 45
Gambar 2. 2 Beda tegangan pada suatu rangkaian listrik 46
Gambar 2. 3 Rangkaian seri (a) Rangkaian Dasar, (b) Rangkaian Pengganti 48
Gambar 2. 4 Pengukuran Tegangan dan Arus Rangkaian Seri 49
Gambar 2. 5 Rangkaian Paralel (a) Rangkaian dasar (b) Rangkaian Pengganti 50
Gambar 2. 6 Pengukuran Tegangan dan Arus Rangkaian Paralel 51
Gambar 2. 7 Rangkaian Kombinasi Seri dan Paralel 52
Gambar 2. 8 rangkain pararel dengan dua sumber tegangan 55
Gambar 2. 9 Aliran arus 56
Gambar 2. 10 Skema rangkaian tertutup dengan dua sumber tegangan 59
Gambar 2. 11 penentuan arah arus pada loop 60
Gambar 2. 12 penerapkan hukum II Kirchhoff 60
Gambar 2. 13 penerapkan hukum II Kirchhoff 61
Gambar 2. 14 Rangkaian majemuk 63
Gambar 2. 15 Rangkaian majemuk 63
Gambar 2. 16 Konvensi energi 65
Gambar 2. 17 Konvensi energi listrik menjadi panas 66
Gambar 2. 18 68
Gambar 2. 19 69
Gambar 2. 20 70
Gambar 2. 21 71
Gambar 2. 22 73
Gambar 2. 23 74
Gambar 2. 24 75
Gambar 2. 25 75
Gambar 2. 26. Rangkaian dengan tahanan. 77
Gambar 2. 27 78
Gambar 2. 28. Rangkaian dengan induktasi. 78
Gambar 2. 29. Hubungan antara v dan i secara vektor. 79
Gambar 2. 30. Rangkaian dengan kapasitor. 80
Gambar 2. 31. Hubungan v dan i secara vektor. 81
Gambar 2. 32 82
Gambar 2. 33. Rangkaian seri RL. 83
Gambar 2. 34. Rangkaian seri RC. 85
Gambar 2. 35. Rangkaian seri RLC. 87
Gambar 2. 36 88

Gambar 2. 37 90
Gambar 2. 38. Rangkaian paralel RL. 91
Gambar 2. 39. Rangkaian paralel RLC. 93
Gambar 2. 40 94
Gambar 2. 41 94
Gambar 2. 42 96
Gambar 2. 43 96
Gambar 2. 44 97
Gambar 2. 45 98
Gambar 2. 46 99
Gambar 2. 47 100
Gambar 2. 48 101
Gambar 2. 49 103
Gambar 2. 50 104
Gambar 2. 51 107
Gambar 2. 52 107
Gambar 2. 53. Hubungan bintang dan segitiga. 109
Gambar 2. 54 multimeter 116
Gambar 2. 55 skala linier multimeter 118
Gambar 2. 56 papan sekala multimeter 119
Gambar 2. 57 mengukur tegangan AC 120
Gambar 2. 58 tang amper 121
Gambar 2. 59 meger 122
Gambar 2. 60 rangkaian pengukuran wattmeter 125
Gambar 2. 61 Rangkaian Pengukuran Daya Aktif dengan Wattmeter 126
Gambar 2. 62 Wattmeter Standard 127
Gambar 2. 63 Penyambungan Wattmeter elektrodinamis 127
Gambar 2. 64 Cos Phi Meter dan pengawatan 128
Gambar 3. 65 Struktur Dioda 164
Gambar 3. 66 Rangkaian Bias Maju 164
Gambar 3. 67 Rangkaian Bias Mundur 165
Gambar 3. 68 Grafik Hubungan Tegangan Bias dan Arus Dioda 165
Gambar 3. 69 Dioda ideal 166
Gambar 3. 70 Simbol Dioda Zener 167
Gambar 3. 71 Grafik arus dan tegangan 168
Gambar 3. 72 Grafik Arus dan Tegangan Rangkaian Dioda Zener 168
Gambar 3. 73 Mengukur Resistansi Transistor BJT 171
Gambar 3. 74 Indikator Transistor 171
Gambar 3. 75 Bentuk Transistor 172

Gambar 3. 76 Berbagai Macam Transistor 172
Gambar 3. 77 Arus Emitor 173
Gambar 3. 78 Simbol Jenis-jenis Transistor 175
Gambar 3. 79 Konstruksi fisik dari JFET dan simbulnya 176
Gambar 3. 80 Pembiasan pada JFET kanal-n 177
Gambar 3. 81 Penggolongan FET dan peta tegangan input/output 178
Gambar 3. 82 Diagram skematik FET. 178
Gambar 3. 83 Kakterisktik output V_{DS} vs I_D 179
Gambar 3. 84 Rangkaian *Common Source* dan rangkaian penggantinya 180
Gambar 3. 85 Titik Kerja 181
Gambar 3. 86 Rangkaian ekivalen JFET untuk sinyal kecil 182
Gambar 3. 87 Rangkaian saklar dengan FET. 183
Gambar 3. 88 Beberapa teknik pembiasan pada JFET kanal -n. 183
Gambar 3. 89 Rangkaian *Common Source* dengan self-bias 185
Gambar 3. 90 Garis beban 186
Gambar 3. 91 Rangkaian *Source Follower* 186
Gambar 3. 92 Rangkaian *Common Source* 187
Gambar 3. 93 Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion* 188
Gambar 3. 94 Simbol Transistor MOSFET Mode Enhancement 189
Gambar 3. 95 Skematik MOSFET tipe-n 189
Gambar 3. 96 Struktur fisik N-MOSFET tipe *Enhancement* 2) PMOS tipe *Enhancement* 191
Gambar 3. 97 Grafik karakteristik MOSFET arus ID sebagai gungsi VDS dengan parameter VGS Sumber: Geiger, Allen, Strader, 1990: 151 192
Gambar 3. 98 Struktur Persambungan MOSFET 194

Gambar 4. 1 Rangkaian penyearah setengah gelombang 213
Gambar 4. 2 Bentuk gelombang output penyearah setengah gelombang 214
Gambar 4. 3 Penyearah Gelombang Penuh 214
Gambar 4. 4 Bentuk Gelombang Penyearah Gelombang Penuh 215
Gambar 4. 5 Penyearah Gelombang Penuh dengan dua dioda 215
Gambar 4. 6 Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda 216
Gambar 4. 7 Bentuk gelobang Penyearah Gelombang Penuh 4 dioda 217
Gambar 4. 8 resistor pembagi tegangan 218
Gambar 4. 9 Regulator tegangan dengan zener 219
Gambar 4. 10 Contoh rangkaian regulator +12v dan -12v 219
Gambar 4. 11 Contoh rangkaian regulator variabel menggunakan LM317 220
Gambar 4. 12 penggunaan TIP2955 / 2SC2955 (Transistor jengkol) untuk menaikkan rating arus Max 5 Ampere 220
Gambar 4. 13 Sumber arus konstan dengan sebuah transistor 222

Gambar 4. 14 Rangkaian arus konstan dengan regulasi transistor 223
Gambar 4. 15 Rangkaian arus konstan dengan regulasi JFET 224

Gambar 5. 1 Konfigurasi common emitter 242
Gambar 5. 2 Model phi 242
Gambar 5. 3 Konfigurasi common base 244
Gambar 5. 4 Konfigurasi common collector 245
Gambar 5. 5 Rangkaian Dasar Penguat Kelas A 246
Gambar 5. 6 Garis Beban dan Titik Q Kelas A 247
Gambar 5. 7 Rangkaian Imajiner Analisa ac Kelas A 247
Gambar 5. 8 Kurva Penguatan Kelas A 248
Gambar 5. 9 Titik Q penguat A, AB, dan B 249
Gambar 5. 10 Rangkaian Dasar Penguat Kelas B 250
Gambar 5. 11 Kurva Penguatan Kelas B 250
Gambar 5. 12 Overlaping Sinyal Keluaran Penguat Kelas AB 251
Gambar 5. 13 Rangkaian Dasar Penguat Kelas AB 252
Gambar 5. 14 Rangkaian Dasar Penguat Kelas C 253
Gambar 5. 15 Power Amplifier OCL 256
Gambar 5. 16 power amplifier model OTL 257
Gambar 5. 17 power amplifier model BTL yang dibentuk dari 2 buah OCL 258
Gambar 5. 18 Penguat push pull kelas A gandeng transformator 259
Gambar 5. 19 Rangkaian Amplifier Audio 259
Gambar 5. 20 Rangkaian Bias transistor kelas A Rangkaian Bias transistor kelas AB 262
Gambar 5. 21 Penyederhanaan Diagram Rangkaian Penguat Daya RF 2 GHz untuk telepon mobile 263
Gambar 5. 22 Lay out PCB power amplifier RF 263
Gambar 5. 23 Representasi Ekuivalensi resistor pada frekuensi tinggi 264
Gambar 5. 24 Representasi Ekuivalensi resistor wire wound pada frekuensi tinggi 264
Gambar 5. 25 Harga impedansi absolute resistor metal film 2000 Ω pada frekuensi tinggi 264
Gambar 5. 26 Rangkaian ekuivalen sebuah kapasitor pada frekuensi tinggi 264
Gambar 5. 27 Harga impedansi absolute kapasitor sebagai fungsi frekuensi 265
Gambar 5. 28 Konstruksi aktual multilayer kapasitor keramik 265
Gambar 5. 29 Resistansi dan kapasitansi terdistribusi pada induktor 265
Gambar 5. 30 Ekivalensi Rangkaian induktor pada frekuensi tinggi 266
Gambar 5. 31 Harga impedansi absolute induktor sebagai fungsi frekuensi 266
Gambar 5. 32 Diagram blok rangkaian osilator 267
Gambar 5. 33 Osilator Hartley 268
Gambar 5. 34 Oscilator Colpitts 269
Gambar 5. 35 Oscilator Armstrong 271

Gambar 5. 36 garis beban 272
Gambar 5. 37 Osilator pergeseran fasa 274
Gambar 5. 38 Osilator Kristal 274
Gambar 5. 39 Osilator *Block* 275

Gambar 6. 1 Rangkaian dasar Op-Amp 296
Gambar 6. 2 Keterangan Simbol untuk Terminal-Terminal Suatu OP-AMP 297
Gambar 6. 3 Pembuat Nol 298
Gambar 6. 4 Rangkaian Proporsional Pembalik Phasa 299
Gambar 6. 5 Pembalikan Fasa Sinyal Output (b); Terhadap Sinyal Input (c) 299

Gambar 6. 6 Rangkaian Penguat Membalik Dengan Menggunakan OP-AMP Tipe LM 741 .. 300
Gambar 6. 7 Rangkaian OP-AMP 301
Gambar 6. 8 Rangkaian Proporsional dengan OP-AMP 302
Gambar 6. 9 Rangkaian Dasar Komparator 302
Gambar 6. 10 Bentuk Fisik IC LM324 Sebagai komparator 303
Gambar 6. 11 Pengaturan tegangan Referensi 305
Gambar 6. 12 Komparator tegangan Positif 306
Gambar 6. 13 Komparator tegangan Negatif 306
Gambar 6. 14 Komparator dengan hysteresis 307
Gambar 6. 15 Komparator *inverting* 307
Gambar 6. 16 komparator Detektor level tegangan 308
Gambar 6. 17 Penguat Penjumlah. 308
Gambar 6. 18 Rangkaian Pengurangan 309
Gambar 6. 19 Differensiator OP-AMP. 310
Gambar 6. 20 Integrator Amplifier 312
Gambar 6. 21 Rangkaian Integrator Praktis 312
Gambar 6. 22 Penguat Logaritmik 313
Gambar 6. 23 Penguat Diferensial. 314
Gambar 6. 24 Tranduser Jembatan 316
Gambar 6. 25 Rangkaian OP-AMP Sebagai Penguat Instrumentasi 316
Gambar 6. 26 Rangkaian IN-AMP 317
Gambar 6. 27 Aplikasi Instrumentasi Amplifier pada Pengukuran Torsi Turbin 317
Gambar 6. 28 OP-AMP menggunakan catu daya tunggal 318
Gambar 6. 29 Penguat diferensial 321
Gambar 6. 30 Penguat Penjumlah 321
Gambar 6. 31 Penguat dengan catudaya tunggal 322

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Peta Konsep Pengembangan Ekstrakurikuler untuk Aktualisasi Diri 8
Tabel 1. 2 Keterkaitan antara Intrakurikuler dengan Ekstrakurikuler 14
Tabel 1. 3 Identifikasi Kompetensi Dasar Mata Pelajaran yang Relevan dengan 15
Tabel 1. 4 Contoh Analisis Mata Pelajaran Biologi Kelompok Mata Pelajaran Dasar 17
Tabel 1. 5 Contoh Penyusunan Program 20
Tabel 1. 6 Contoh Lembar Kerja Tugas Proyek Pohon Asuh berdasarkan hasil analisis 24

Tabel 2. 1 Simbol Pengukuran 112

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kegiatan PKB adalah kegiatan keprofesian yang wajib dilakukan secara terus menerus oleh guru dan tenaga kependidikan agar kompetensinya terjaga dan terus ditingkatkan. Salah satu kegiatan PKB sesuai yang diamanatkan dalam Peraturan Menteri Negara dan Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Nomor 16 Tahun 2009 tentang Jabatan Fungsional Guru dan Angka Kreditnya adalah kegiatan Pengembangan Diri. Kegiatan Pengembangan diri meliputi kegiatan diklat dan kegiatan kolektif guru.

Agar kegiatan pengembangan diri optimal diperlukan modul-modul yang digunakan sebagai salah satu sumber belajar pada kegiatan diklat fungsional dan kegiatan kolektif guru dan tenaga kependidikan lainnya. Modul diklat adalah substansi materi pelatihan yang dikemas dalam suatu unit program pembelajaran yang terencana guna membantu pencapaian peningkatan kompetensi yang didesain dalam bentuk printed materials (bahan tercetak).

Penulisan modul didasarkan pada hasil peta modul dari masing-masing mapel yang terpetakan menjadi 4 (empat) jenjang. Keempat jenjang diklat dimaksud adalah (1) Diklat Jenjang Dasar; (2) Diklat Jenjang Lanjut; (3) Diklat Jenjang Menengah, dan (4) Diklat Jenjang Tinggi. Diklat jenjang dasar terdiri atas 5 (lima) grade, yaitu grade 1 s.d 5, diklat jenjang lanjut terdiri atas 2 (dua) grade, yaitu grade 6 dan 7, diklat menengah terdiri atas 2 (dua) grade, yaitu grade 8 dan 9, dan diklat jenjang tinggi adalah grade 10.

Modul diklat disusun untuk membantu guru dan tenaga kependidikan dalam meningkatkan kompetensinya, terutama kompetensi profesional dan kompetensi pedagogik. Modul tersebut digunakan sebagai sumber belajar (*learning resources*) dalam kegiatan pembelajaran tatap muka.

B. Tujuan

Penggunaan modul dalam diklat PKB dimaksudkan untuk mengatasi keterbatasan waktu, dan ruang peserta diklat, memudahkan peserta diklat belajar mandiri sesuai

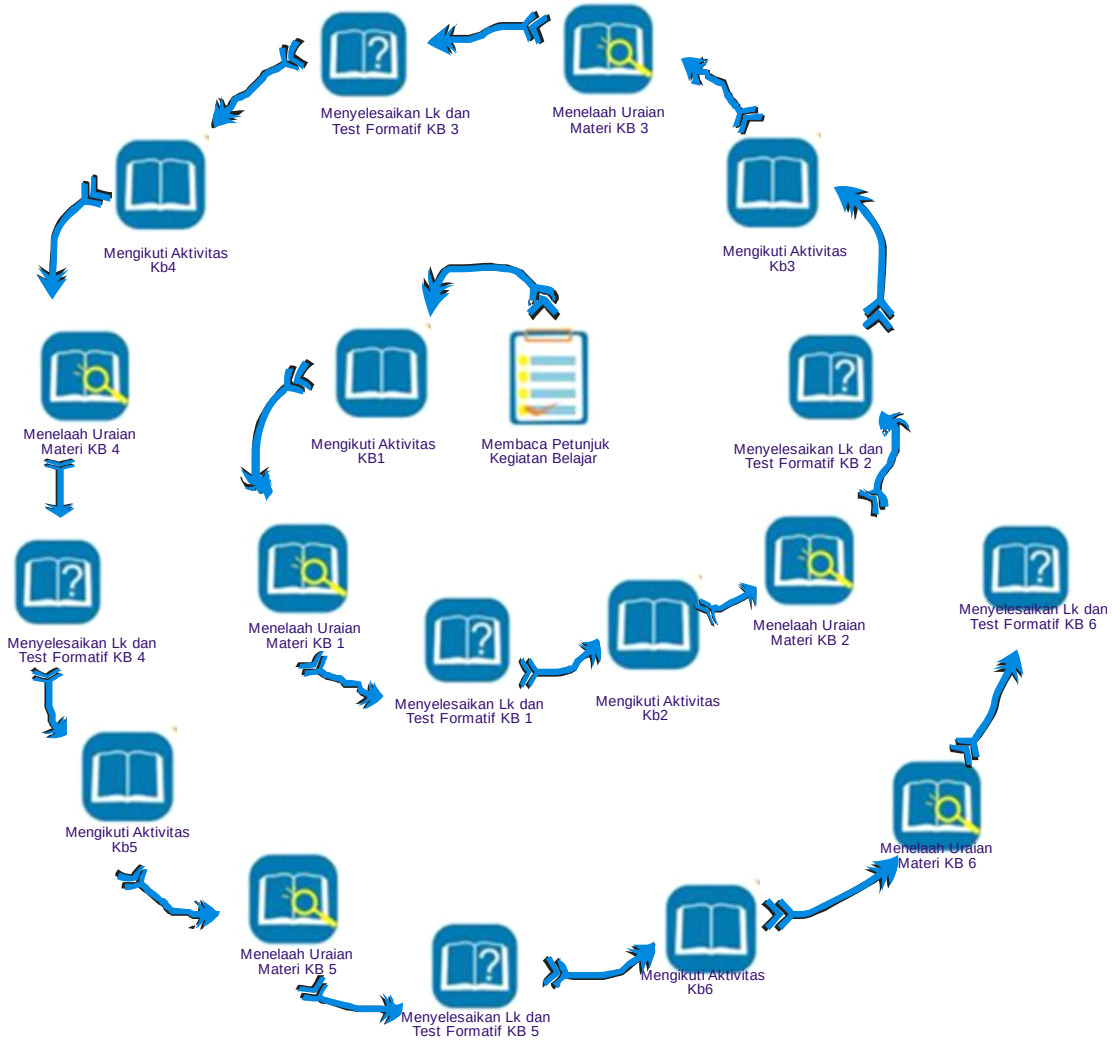
kemampuan, dan memungkinkan peserta diklat untuk mengukur atau mengevaluasi sendiri hasil belajarnya.

Target kompetensi dan hasil pembelajaran yang diharapkan dapat dicapai melalui modul ini meliputi kompetensi pedagogi dan kompetensi profesional pada grade 6 (enam). Setelah mempelajari materi pembelajaran pedagogi yaitu prosedur pengembangan kurikulum yang terkait dengan mata pelajaran kelistrikan dan elektronika, dan materi pembelajaran profesional tentang dasar kelistrikan dan elektronika, guru kejuruan paket keahlian PLTMH diharapkan mampu:

1. Menentukan pengalaman belajar yang sesuai untuk mencapai tujuan pembelajaran yang diampu.
2. Memilih materi pembelajaran yang diampu yang terkait dengan pengalaman belajar dan tujuan pembelajaran.
3. Melakukan perawatan dan perbaikan rangkaian elektronika analog yang digunakan pada system PLTMH.

C. Peta Kompetensi

Melalui materi pembelajaran ini, Saudara akan melakukan tahapan kegiatan pembelajaran kompetensi pedagogi dan profesional pada grade 6(enam) secara *one shoot training* dengan moda langsung (tatap muka).



Alur Pencapaian Kompetensi Grade 6

Gambar diatas memperlihatkan Diagram Alur Pencapaian Kompetensi Grade 6. Pada pembelajaran kompetensi pedagogi, saudara akan mempelajari prosedur pengembangan kurikulum yang terkait dengan mata pelajaran rangkaian elektronika

analog melalui beberapa aktivitas belajar antara lain mempelajari bahan bacaan, diskusi, studi kasus, mengerjakan tugas dan menyelesaikan test formatif. Alokasi waktu yang disediakan untuk menyelesaikan materi pembelajaran ini adalah 45 JP. Pada pembelajaran kompetensi profesional, saudara akan mengidentifikasi komponen elektronika, menganalisis dan mengevaluasi rangkaian elektronika yang terkait dengan mata pelajaran rangkaian elektronika analog melalui beberapa kegiatan antara lain diskusi, menyelesaikan Lembar Kerja (Uji Pemahaman materi), dan melakukan Tugas Praktik. Alokasi waktu yang disediakan untuk menyelesaikan materi pembelajaran ini adalah 105 JP.

D. Ruang Lingkup

Agar proses pembelajaran dapat berlangsung secara efektif, maka ruang lingkup penyajian materi pembelajaran dalam modul ini diorganisasikan menjadi 6 (enam) Kegiatan Belajar (KB), sebagai berikut.

Kegiatan Belajar 1 (satu) memuat sajian materi pedagogi. Bahan kajian ini merupakan implementasi pengembangan kurikulum pada mata pelajaran yang diampu guru kejuruan.

Kegiatan Belajar 2 (dua) memuat sajian dasar-dasar kelistrikan. Materi pokok yang disajikan dalam kegiatan belajar 2 ini, dibagi menjadi 3 (tiga) Bahan Bacaan, yaitu (1) Rangkaian Arus Searah, (2) Rangkaian Arus Bolak balik, (3) penggunaan alat ukur.

Kegiatan Belajar 3 (tiga) memuat sajian materi komponen aktif. Materi pokok yang disajikan dalam kegiatan belajar 2 ini, dibagi menjadi 5 (lima) Bahan Bacaan, yaitu (1) Dioda Penyearah, (2) Dioda Zener, (3) Transistor Bipolar, (4) FET, dan (5) MOSFET.

Kegiatan Belajar 4 (empat) memuat sajian materi rangkaian penyearah dan penyetabil. Materi pokok yang disajikan dalam kegiatan belajar 3 ini, dibagi menjadi 3 (tiga) Bahan Bacaan, yaitu (1) rangkaian penyearah, (2) rangkaian penyetabil tegangan , (3) Rangkaian penyetabil arus.

Kegiatan Belajar 5 (lima) memuat sajian materi rangkaian transistor sebagai penguat. Materi pokok yang disajikan dalam kegiatan belajar 4 ini, dibagi menjadi 4 (tiga) Bahan

Bacaan, yaitu (1) Klasifikasi Penguat, (2) Penguat Frekuensi Rendah , (3) Penguat frekuensi Radio. (4) rangkaian osilator.

Kegiatan Belajar 6 (enam) memuat sajian materi Operational Amplifier. Materi pokok yang disajikan dalam kegiatan belajar 5 ini, dibagi menjadi 5 (lima) Bahan Bacaan, yaitu (1) Prinsip kerja dan Karakteristik OP-Amp, (2) penguat *inverting* , (3) Penguat Non-Inverting, (4) Komparator Analog dan (5) Penguat penjumlah.

E. Saran Cara Penggunaan Modul

1. Materi pembelajaran utama rangkaian elektronika analog ini berada pada tingkatan grade 3 (tiga), terdiri dari materi pedagogi dan materi profesional. Materi pedagogi berisi bahan pembelajaran tentang implementasi pengembangan kurikulum yang terkait dengan mata pelajaran yang diampu guru dan materi profesional berisi bahan pembelajaran tentang prinsip dan perakitan rangkaian kelistrikan dan elektronika PLTMH. Materi pembelajaran dalam setiap Kegiatan Belajar, terbagi atas 3 (tiga) bagian, yaitu: Pengantar aktivitas pembelajaran, Uraian materi yang terbagi dalam beberapa Bahan Bacaan, Rincian aktivitas pembelajaran, Lembar Kerja/Tugas Praktek, Rangkuman dan Tes Formatif.
2. Materi pembelajaran ini terkait dengan dengan materi pembelajaran pada grade sebelumnya.
3. Waktu yang digunakan untuk mempelajari materi pembelajaran ini diperkirakan 150 JP, dengan rincian untuk materi pedagogi 45 JP dan untuk materi profesional 105 JP, melalui diklat PKB moda tatap muka.
4. Untuk memulai kegiatan pembelajaran, Saudara harus mulai dengan membaca Pengantar Aktivitas Belajar, menyiapkan dokumen-dokumen yang diperlukan/diminta, mengikuti tahap demi tahap kegiatan pembelajaran secara sistematis dan mengerjakan perintah-perintah kegiatan pembelajaran pada Lembar Kerja (LK) baik pada ranah pengetahuan maupun keterampilan. Untuk melengkapi pengetahuan, Saudara dapat membaca bahan bacaan yang telah disediakan dan sumber-sumber lain yang relevan. Pada akhir kegiatan Saudara akan dinilai oleh pengampu dengan menggunakan format penilaian yang sudah dipersiapkan.

BAB II
KEGIATAN PEMBELAJARAN

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 : PENGEMBANGAN EKSTRAKURIKULER UNTUK AKTUALISASI DIRI PESERTA DIDIK.

Pengembangan potensi peserta didik sebagaimana dimaksud dalam tujuan pendidikan nasional secara sistemik-kurikuler diupayakan melalui kegiatan intrakurikuler, kokurikuler, dan ekstrakurikuler. Kegiatan intrakurikuler diselenggaraakan melalui kegiatan terstruktur dan terjadwal sesuai dengan cakupan dan tingkat kompetensi muatan atau mata pelajaran. Kegiatan kokurikuler dilaksanakan melalaui penugasan terstruktur dan mandiri terkait satu atau lebih dari muatan atau mata pelajaran. Kegiatan ekstrakurikuler yang merupakan kegiatan terorganisasi/terstruktur di luar struktur kurikulum setiap tingkat pendidikan yang secara konseptual dan praktis mampu menunjang upaya pencapaian tujuan pendidikan.

Peserta didik merupakan anggota masyarakat yang dipandang perlu mendapatkan layanan pendidikan agar dapat tumbuh menjadi individu yang berkualitas baik kualitas sikap, pengetahuan, maupun keterampilan. Sebagaimana diamanatkan oleh Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sisdiknas, Pasal 1 ayat (1) yang menyatakan bahwa pendidikan nasional berfungsi mengembangkan kemampuan dan membentuk watak serta peradaban bangsa yang bermartabat dalam rangka mencerdaskan kehidupan bangsa, bertujuan untuk berkembangnya potensi peserta didik agar menjadi manusia yang beriman dan bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, berakhlak mulia, sehat, berilmu, cakap, kreatif, mandiri, dan menjadi warga negara yang demokratis serta bertanggung jawab. Atas dasar ini, maka setiap pendidikan harus dapat memerankan fungsinya membentuk individu berkualitas baik kualitas sikap, pengetahuan, maupun keterampilan seiring dengan tuntutan zaman.

Dijelaskan pula pada Pasal 12 ayat (1) butir b pada Undang-Undang Sisdiknas tersebut bahwa peserta didik mendapatkan pelayanan pendidikan sesuai dengan bakat, minat, dan kemampuannya. Selanjutnya pada PP Nomor 13 Tahun 2015 tentang perubahan kedua atas PP Nomor 19 Tahun 2009 tentang Standar Nasional Pendidikan Pasal 1 ayat

(21), ditegaskan bahwa peserta didik adalah anggota masyarakat yang berusaha mengembangkan potensi diri melalui proses pembelajaran yang tersedia pada jalur, jenjang, dan jenis pendidikan tertentu. Atas dasar hal tersebut, maka diperlukan kegiatan untuk mewadahi potensi peserta didik sebagaimana tercantum pada Permendikbud Nomor 62 Tahun 2014 tentang kegiatan Ekstrakurikuler pada Dikdasmen dan Permendikbud Nomor 63 Tahun 2014 tentang Pendidikan Kepramukaan sebagai exstrakurikuler wajib. Wadah ini bermanfaat untuk mendorong bertumbuhnya potensi peserta didik secara optimal.

A. Tujuan

Setelah mengikuti pelatihan ini, peserta diharapkan memiliki kompetensi sebagai berikut:

1. Kemampuan menganalisis konsep, prinsip, manfaat, dan langkah-langkah kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler.
2. Kemampuan menganalisis kompetensiri dasar mata pelajaran.
3. Kemampuan menganalisis keterkaitan antara kegiatan intrakurikuler dengan ekstrakurikuler.
4. Kemampuan menyusun program ekstrakurikuler.
5. Kemampuan melaksanakan program ekstrakurikuler.
6. Kemampuan melaksanakan penilaian dan evaluasi kegiatan ekstrakurikuler.
7. Kemampuan menyusun laporan hasil pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler.
8. Kemampuan merencanakan kegiatan tindak lanjut.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi materi Pengembangan Ektrakurikuler untuk Aktualisasi Diri Peserta Didik adalah sebagai berikut:

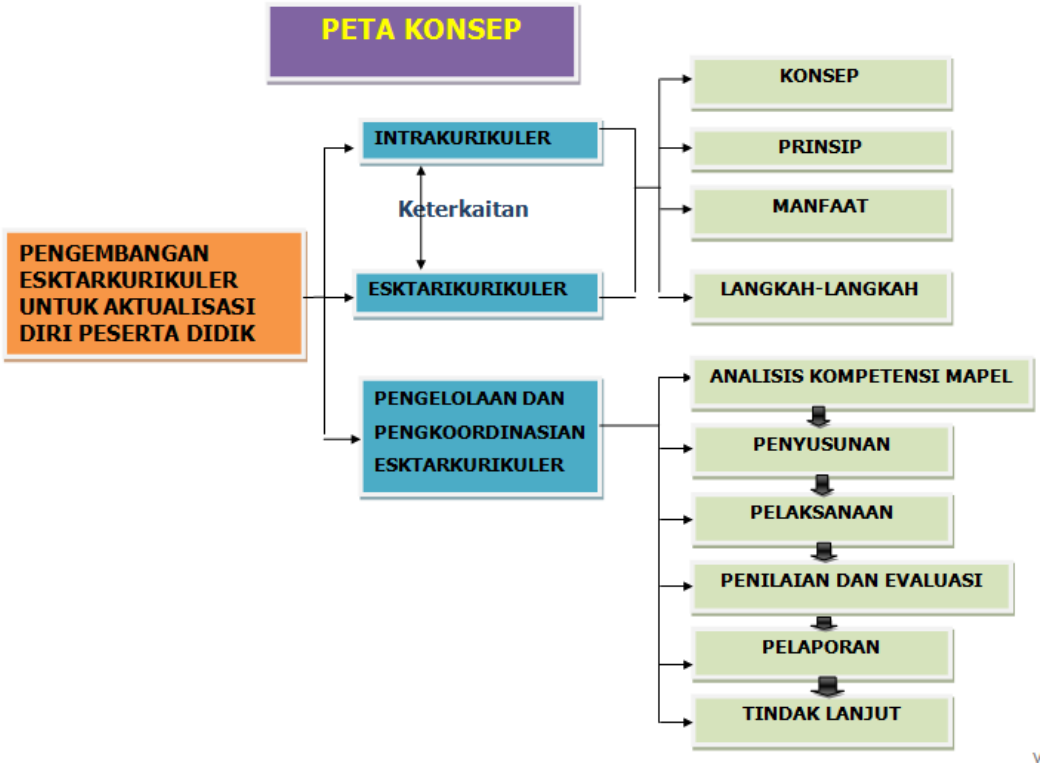
1. Menganalisis konsep, prinsip, manfaat, dan langkah-langkah kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler;
2. Menganalisis kompetensi dasar mata pelajaran;
3. Menganalisis keterkaitan antara kegiatan intrakurikuler dengan ekstrakurikuler;
4. Merancang program ekstrakurikuler;
5. Melaksanakan program ekstrakurikuler;
6. Melaksanakan penilaian dan evaluasi kegiatan ekstrakurikuler;
7. Membuat laporan hasil pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler;
8. Merencanakan kegiatan tindak lanjut.

C. Uraian Materi

Materi pembelajaran Pengembangan Ektrakurikuler untuk Aktualisasi Diri Peserta Didik terdiri dari: **Pertama**; perbedaan dan keterkaitan antara intrakurikuler dengan ekstrakurikuler, meliputi konsep, prinsip, manfaat, dan langkah-langkah kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler. **Kedua**; Pengelolaan dan Pengkoordinasian Kegiatan dan Ekstrakurikuler, teridiri dari analisis kompetensi, penyusunan program, pelaksanaan program, penilaian dan evaluasi, pelaporan, tindak lanjut.

Peta konsep materi Pengembangan Ektrakurikuler dan Aktualisasi Diri Peserta Didik pada lingkup Pedagogik ini adalah:

Tabel 1. 1 Peta Konsep Pengembangan Ekstrakurikuler untuk Aktualisasi Diri Peserta Didik



Konsep, Prinsip, Manfaat, dan Langkah-langkah Ekstrakurikuler

Intrakurikuler merupakan kegiatan pengembangan diri yang dilaksanakan melalui kegiatan proses belajar mengajar yang terjadi di sekolah sebagai lembaga formal. Intrakurikuler berkaitan dengan belajar dan pembelajaran. Menurut Shaleh, (2008) belajar merupakan suatu perubahan yang terjadi melalui latihan atau pengalaman. Belajar selalu melibatkan aktivitas. Dengan demikian intrakurikuler melibatkan aktivitas belajar. Kegiatan ini dapat terjadi secara berkesinambungan antara konsep pembelajaran yang dilaksanakan di dalam kelas dan di luar kelas sesuai dengan penerapan kurikulum yang dilaksanakan oleh satuan pendidikan.

Intrakurikuler diikat oleh kurikulum satuan pendiidkan yang berlaku. Kegiatan ini dilakukan secara teratur, jelas, dan terjadwal. Kegiatan intrakurikuler dikelola secara sistematik sebagai program utama dalam proses mendidik peserta didik. Kegiatan intrakurikuler tidak terlepas dari kegiatan yang dinamakan kokurikuler. Komponen ini diperlukan untuk mendukung pemahaman materi yang diterima peserta didik pada kegiatan intrakurikuler. Kokurikuler dapat berupa tugas-tugas yang mendukung pembelajaran. Oleh karena itu, kokurikuler dapat menjadi sarana pendukung pemahaman peserta didik terhadap materi yang diterimanya pada kegiatan intrakurikuler. Kegiatan intrakurikuler berada dibawah tanggung jawab guru mapel atau guru kelas. Atas dasar ini, maka pendidik perlu memberikan kokurikuler yang mampu meningkatkan pemahaman peserta didik pada kegiatan intrakurikuler.

Intrakurikuler bermanfaat mengembangkan potensi akademik peserta didik. Proses mendidik peserta didik pada intrakurikuler merupakan kegiatan belajar mengajar yang dilakukan di sekolah sesuai dengan struktur program kurikukum yang terdapat dalam silabus. Kegiatan ini bermanfaat mengembangkan potensi akademik peserta didik, sekalipun potensi non akademik lain juga berkembang. Kemampuan akademik penting diperhatikan sebagaimana yang diungkap oleh Marjoribanks (1987) bahwa prestasi akademik biasanya berhubungan dengan ukuran kemampuan seseorang. Oleh karenanya memperhatikan kemampuan akademik melalui kegiatan intrakurikuler penting.

Langkah-langkah kegiatan intrakurikuler tertuang dalam bentuk Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP). Pembahasan secara detail akan disampaikan pada modul lain. Aka tetapi secara global kegiatan intrakurikuler melalui langkah-langkah: (1) pengembangan KTSP, (2) penyiapan silabus, (3) pengembangan RPP, (4) pelaksanaan pembelajaran di kelas, (5) penilaian dan evaluasi pembelajaran di kelas, dan (6) tindak lanjut hasil pembelajaran. Langkah keempatlah yang merupakan realisasi dari kegiatan intrakurikuler. Dengan demikian kegiatan intrakurikuler diikat oleh kurikulum sekolah.

Selanjutnya, sesuai Permendikbud nomor 62 tahun 2014 bahwa kegiatan ekstrakurikuler adalah kegiatan kurikuler di luar jam belajar kegiatan intrakurikuler dan kegaiatan kurikuler di bawah bimbingan dan pengawasan satuan pendidikan. Kegiatan ekstrakutikuler diselenggarakan dengan tujuan untuk mengembangkan potensi, bakat dan minat, kemampuan, kepribadian, kerjasama, kemandirian, peserta didik secara oftimal dalam rangka mendukung pencapaian tujuan pendidikan nasional. Oleh karena itu, kegiatan ekstrakurikuler merupakan program besar yang ada di satuan pendidikan yang tidak terpisahkan dengan kurikulum di satuan pendidikan tersebut.

Prinsip ekstrakurikuler berbeda dengan intrakurikuler. Kegiatan ekstrakurikuler tidak terikat seperti pada intrakuriler. Penyelenggaraan kegiatan ekstrakurikuler untuk meningkatkan dan mengembangkan kemampuan, minat, bakat, dan potensi peserta didik. Hal ini berarti bahwa kegiatan ekstrakurikuler merupakan komponen pendukung kurikulum yang dirancang secara sistematis dan relevan dalam upaya meningkatkan mutu pendidikan di sekolah.

Peningkatan mutu pendidikan di sekolah melalui kegiatan ekstrakurikuler memberikan peluang kepada peserta didik untuk mengembangkan potensinya secara optimal. Beberapa manfaat yang dapat diperoleh peserta didik dengan mengikuti kegiatan ekstrakurikuler sebagaimana tercantum pada Permendikbud RI Nomor 62 Tahun 2014 tentang kegiatan Ekstrakurikuler pada Dikdasmen adalah: (1) Pengembangan kemampuan personal melalui peningkatan dan perluasan potensi, minat, dan bakat peserta didik; (2) Memfasilitasi minat, bakat, potensi, dan kreativitas peserta didik yang berbeda-beda; (3) Pengembangan kemampuan personal dalam pembentukan karakter; (4) Pengembangan kemampuan sosial dalam bermasyarakat; (5) Sebagai sarana rekreasi

karena kegiatan ekstrakurikuler dilakukan dalam suasana menyenangkan. (6) Pengembangan kemampuan berkomunikasi dan bekerja sama dengan orang lain.

Langkah-langkah kegiatan ekstrakurikuler tertuang dalam bentuk perencanaan program kegiatam ektrakurikuler. Kegiatan Ekstrakurikuler pilihan di satuan pendidikan dapat dilakukan melalui tahapan: (1) identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik; (2) Analisis sumber daya yang diperlukan dalam penyelenggaraan kegiatan ekstrakurikuler; (3) mengupayakan sumber daya sesuai pilihan peserta didik atau menyalurkannya ke satuan pendidikan atau lembaga lainnya; (4) menyusun Program Kegiatan Ekstrakurikuler; (5) menetapkan bentuk kegiatan yang diselenggarakan.

Keterkaitan antara Kegiatan Intrakurikuler dan Ekstrakurikuler

Pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler di sekolah juga sebagai wadah dan sarana untuk mencapai dimensi kompetensi sikap dan keterampilan. Dengan demikian, dimensi sikap dan keterampilan merupakan kompetensi yang akan dituju pada kegiatan ekstrakurikuler di sekolah. Sementara itu, kedua kompetensi tersebut berkenaan dan berhubungan dengan konten mata pelajaran pada intrakurikluer. Dengan demikian antara kegiatan ekstrakurikuler dengan kegiatan intrakurikuler berkaitan.

Ada kemungkinan pembelajaran intrakurikuler yang melatihkan sikap dan keterampilan di luar pengetahuan, memerlukan waktu dan sarana yang lebih leluasa, misalnya melalui kegiatan aktualisasi pada esktrakurikuler. Atas dasar inilah, maka kegiatan aktualisasi menjadi bahasan utama dalam mata latih ini. Hal ini sejalan dengan yang tertuang pada Permendikbud nomor 62 tahun 2014 tentang Kegiatan Ekstrakurikuler pada Pendidikan Dasar dan Menengah bahwa ekstrakurikuler terdiri dari dua kegiatan yakni ekstrakurikuler wajib dan ekstrakurikuler pilihan. Pada ekstrakurikuler wajib antara lain mewadahi aktualisasi, sedangkan ekstrakurikuler pilihan merupakan kegiatan pengembangan diri non aktualisasi.

Kegiatan ekstrakurikuler wajib adalah kegiatan ekstrakurikuler yang wajib diselenggarakan oleh satuan pendidikan dan wajib diikuti oleh seluruh peserta didik, terkecuali bagi peserta didik dengan kondisi tertentu yang tidak memungkinkan untuk

mengikuti kegiatan ekstrakurikuler tersebut. Dalam hal ini pendidikan Kepramukaan merupakan ekstrakurikuler wajib yang harus diikuti oleh semua peserta didik.

Pendidikan kepramukaan merupakan kegiatan ekstrakurikuler yang secara sistemik diperankan sebagai wahana penguatan psikologis-sosial-kultural (*reinfocement*) perwujudan sikap dan keterampilan kurikulum 2013 yang secara psikopedagogis koheren dengan pengembangan sikap dan kecakapan dalam pendidikan kepramukaan. Dengan demikian pencapaian Kompetensi Inti Sikap Spiritual (KI-1), Sikap Sosial (KI-2), dan Keterampilan (KI-4) memperoleh penguatan bermakna (*meaningfull learning*) melalui fasilitasi sistemik-adaptif pendidikan kepramukaan di lingkungan satuan pendidikan.

Tujuan tersebut di atas, dicapai melalui kegiatan–kegiatan di lingkungan sekolah *(intramural)* dan di luar sekolah *(ekstramural)* sebagai upaya memperkuat proses pembentukan karakter bangsa yang berbudi pekerti luhur sesuai dengan nilai dan moral Pancasila. Pendidikan Kepramukaan dinilai sangat penting. Melalui pendidikan kepramukaan akan timbul rasa memiliki, saling tolong menolong, mencintai tanah air dan mencintai alam. Karenanya Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan mewajibkan setiap sekolah melaksanakan ekstrakurikuler wajib pendidikan kepramukaan.

Dalam pelaksanaan kegiatan kepramukaan satuan pendidikan dapat bekerjasama dengan organisasi kepramukaan setempat dengan mengacu pada ketetuan yang berlaku. Proses saling interaktif dan saling menguatkan ranah sikap dalam bingkai KI-1, KI-2 dan ranah keterampilan dalam KI-4 sepanjang yang bersifat konsisten dan koheren dengan sikap dan kecakapan Kepramukaan merupakan aktualisasi dan penguatan pencapaian Kurikulum 2013.

Model pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler wajib Kepramukaan dapat dilakukan melalui tiga model yakni 1) Model Blok bersifat wajib, setahun sekali, berlaku bagi seluruh peserta didik, terjadwal, penilaian umum, 2) Model Aktualisasi bersifat wajib, rutin, terjadwal, berlaku untuk seluruh peserta didik dalam setiap kelas, penjadwalan, dan penilaian formal dan 3) Reguler di Gugus Depan. Bersifat Sukarela, berbasis minat.

Selanjutnya, kegiatan ekstrakurikuler pilihan adalah kegiatan ekstrakurikuler yang dapat dikembangkan dan diselenggarakan oleh satuan pendidikan dan dapat diikuti oleh

peserta didik sesuai bakat dan minatnya masing-masing. Selain peserta didik diharuskan mengikuti program kegiatan ekstrakurikuler wajib berupa pendidikan kepramukaan, satuan pendidikan juga dapat menawarkan salah satu kegiatan program kegiatan ekstrakurikuler pilihan. Disarankan kepada peserta didik agar dalam penentuan satu kegiatan ekstrakurikuler pilihan tersebut perlu mempertimbangkan dan memperhitungkan waktu yang tersedia. Hal ini perlu diketahui agar peserta didik tidak banyak menghabiskan waktu untuk kegiatan ekstrakurikuler pilihan yang akhirnya dapat menghambat dan mengambil waktu yang seharusnya untuk pendalaman materi mata pelajaran.

Ide pengembangan kegiatan ekstrakurikuler pilihan berpangkal dari kebutuhan, bakat, dan minat peserta didik atau sekelompok peserta didik. Oleh karena itu kegiatan Ekstrakurikuler pada satuan pendidikan perlu dikembangkan dengan prinsip: (1) partisipasi aktif yakni bahwa Kegiatan Ekstrakurikuler menuntut keikutsertaan peserta didik secara penuh sesuai dengan minat dan pilihan masing-masing; dan (2) menyenangkan yakni bahwa Kegiatan Ekstrakurikuler dilaksanakan dalam suasana yang menggembirakan bagi peserta didik. Selain itu kegiatan ekstrakurikuler pilihan juga dapat dikembangkan yang berkenaan dengan konten dari satu atau beberapa mata pelajaran agar bermanfaat positif bagi peserta didik.

Memperhatkan uraian prinsip kegiatan ekstrakurikuler di atas, sangatlah jelas bahwa keikutsertaan peserta didik dalam kegiatan ekstrakurikuler harus sesuai dengan kebutuhan, potensi, minat, dan bakat pilihan masing-masing agar selama mengikuti kegiatan ekstrakurikuler mereka merasakan senang.

Menurut Permendikbud RI Nomor 62 Tahun 2014 tentang Ekstrakurikuler, bentuk kegiatan ekstrakurikuler yang dapat dilakukan di sekolah berupa:

a. Krida, misalnya: Kepramukaan, Latihan Kepemimpinan Siswa (LKS), Palang Merah Remaja (PMR), Usaha Kesehatan Sekolah (UKS), Pasukan Pengibar Bendera (Paskibra), dan lainnya;

b. Karya ilmiah, misalnya: Kegiatan Ilmiah Remaja (KIR), kegiatan penguasaan keilmuan dan kemampuan akademik, penelitian, dan lainnya;

c. Latihan olah-bakat latihan olah-minat, misalnya: pengembangan bakat olahraga, seni dan budaya, pecinta alam, jurnalistik, teater, teknologi informasi dan komunikasi, rekayasa, dan lainnya;

d. Keagamaan, misalnya: pesantren kilat, ceramah keagamaan, baca tulis alquran, retreat; atau

e. Bentuk kegiatan lainnya.

Gambaran keterkaitan antara intrakurikuler dengan ekstrakurikuler ditunjukkan pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 1. 2 Keterkaitan antara Intrakurikuler dengan Ekstrakurikuler

Mata Pelajaran	Keterampilan Pramuka							
	Simpul dan Ikatan *(Pioneering)*	Mendaki Gunung (*Mountenering*)	Peta dan Kompas (*Orientering*)	Berkemah (*Camping*)	Wirausaha	Bela Negara	Teknologi	Komunikasi
SD								
Agama dan Budi Pekerti								
PPKn								
B. Indonesia								
Matematika								
IPA					√			
IPS								
Seni Budaya dan Prakarya								
Penjasorkes								
SMP								
Agama dan Budi Pekerti								
PPKn								
B. Indonesia								
Matematika								
IPA								
IPS								
B. Inggris								
Seni Budaya								
Penjasorkes								
Prakarya								
SMA								
Agama dan Budi Pekerti								
PPKn								
B. Indonesia								
Matematika								
Sejarah Indonesia								
Bahasa Inggris								
Seni Budaya								
Penjasorkes								

Prakarya dan Kewirausahaan								
SMK								
Agama dan Budi Pekerti								
PPKn								
B. Indonesia								
Matematika								
Sejarah Indonesia								
Bahasa Inggris								
Seni Budaya								
Penjasorkes								
Prakarya dan Kewirausahaan								

Catatan:

Keterkaitan ditunjukkan dengan memberikan tanda centang (*check*) dengan memperhatikan keterkaitan antara mata plajaran dengan keterampilan kepramukaan.

Selanjutnya, data tentang keterkaitan berdasarkan tabel 1.2 diidentifikasi kompetensi mata pelajaran yang relevan dengan keterampilan kepramukaan seperti ditunjukkan pada tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Identifikasi Kompetensi Dasar Mata Pelajaran yang Relevan dengan Keterampilan Kepramukaan

Mapel	Keterampilan Kepramukaan	Kompetensi yang Relevan			
		KD dari KI 1	KD dari KI 2	KD dari KI 3	KD dari KI 3
IPA	Wirausaha	1.1 Bertambah keimanannya dengan menyadari	2.1 Menunjukkan perilaku ilmiah (memiliki rasa ingin tahu;	3.7 Mendeskripsikan hubungan an-tara sumber daya	4.6 Menyajikan laporan tentang sumber daya alam dan pe-

		hubungan keteraturan dan kompleksitas alam dan jagad raya terhadap kebesaran Tuhan yang menciptakannya, serta mewujudkannya dalam pengamalan ajaran agama yang dianutnya	objektif; jujur; teliti; cermat; tekun; hati-hati; bertanggung jawab; terbuka; dan peduli lingkungan) dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi sikap dalam melakukan inkuiri ilmiah dan berdiskusi	alam dengan lingkungan, teknologi, dan ma-syarakat	manfaatannya oleh masyarakat
Bahasa Indonesia	…..	….	….	…	…dst.

Pengelolaan dan Pengkoordinasian Ektrakurikuler

Pengelolaan dan pengkoordinasian kegiatan ekstrakurikuler yang dijadikan pendukung pencapaian kompetensi mata pelajaran dirancang melalui tahapan sebagai berikut:

a. Analisis Kompetensi Dasar Mata pelajaran:

   Langkah ini dilakukan untuk melinierkan keempat Kompetensi Inti/KI-1, KI-2, KI-3, dan KI-4. Kegiatan ini penting dilakukan agar pembelajaran yang dilaksanakan selaras dengan sikap (spiritual dan sosial), pengetahuan, dan keterampilan. Melalui analisis ini akan terpetakan Kompetensi Dasar/KD-KD tertentu yang memerlukan pengembangan atau aktualisasi lebih lanjut. Aktualisasi pembelajaran tersebut akan diwadahi pada kegiatan ekstrakurikuler. Dengan demikian kegiatan yang

berlangsung pada ekstrakurikuler dapat mewadahi kegiatan yang dikembangkan pada intrakurikuler. Kegiatan seperti ini menjadi lebih bermakna karena apa yang dilaksanakan pada kegiatan ektrakurikuler berhubungan dengan apa yang dilakukan peserta didik pada kegiatan intrakurikuler. Keterpaduan ini penting untuk diperhatikan oleh penyusun program kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler. Contoh hasil analisis kompetensi Mata Pelajaran Biologi kelompok Mata Pelajaran Dasar Bidang Kejuruan pada Bidang Keahlian Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan/Madrasah Aliyah Kejuruan dapat dilihat pada tabel 1.4 berikut:

Tabel 1. 4 Contoh Analisis Mata Pelajaran Biologi Kelompok Mata Pelajaran Dasar Kejuruan pada Bidang Keahlian Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan/Madrasah Aliyah Kejuruan, Kelas X

No	KD dari KI-1	KD dari KI-2	KD dari KI-3	KD dari KI-4	Aktualisasi Kegiatan
1	1.1. Memahami nilai-nilai keimanan dengan menyadari hubungan keteraturan dan kompleksitas alam terhadap kebesaran Tuhan yang menciptakannya.	2.1 Berperilaku ilmiah: teliti, tekun, jujur terhadap data dan fakta, disiplin, tanggung jawab,dan peduli dalam observasi dan eksperimen, berani dan santun dalam mengajukan pertanyaan dan berargumentasi, peduli lingkungan, gotong royong,	3.3 Mengdeskripsikan berbagai tingkat keanekaragaman hayati di Indonesia melalui hasil obesrvasi .	4.3 Melakukan analisis ekologi di lingkungan sekitar	Kegiatan proyek pohon asuh melalui wadah ektrakurikuler wajib (kepramukaan)

No	KD dari KI-1	KD dari KI-2	KD dari KI-3	KD dari KI-4	Aktualisasi Kegiatan
		bekerjasama, cinta damai, berpendapat secara ilmiah dan kritis, responsif dan proaktif dalam dalam setiap tindakan dan dalam melakukan pengamatan dan percobaan di dalam kelas/laboratorium maupun di luar kelas/laboratorium			

Penyusunan program intrakurikuler dirancang menjadi satu kesatuan dengan kegiatan kokurikuler dan ekstrakurikuler. Kegiatan intrakurikuler yang dilaksanakan melalui pembelajaran di kelas maupun di luar kelas dapat dioptimalkan dengan memberikan tugas kepada pesera didik melalui kegiatan kokurikuler. Kegiatan ini dilakukan dalam rangka meningkatkan pemahaman terhadap materi yang diberikan pada saat intrakurikuler. Langkah penyusunan program intrakurikuler yang harus dilaksanakani oleh pendidik

Program kegiatan merupakan realisasi hasil analisis kompetensi mata pelajaran. Berdasarkan tabel 1.4 di atas, pembina bersama pelatih ektrakurikuler dapat menindaklanjuti kegiatan aktualisasi Mata Pelajaran Dasar Bidang Kejuruan pada Bidang Keahlian Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan/Madrasah Aliyah Kejuruan Kompetensi Dasar Biologi SMK untuk dijadikan program kegiatan ektrakurikuler.

Kegiatan membuat proyek pohon asuh berdasarkan kesepakatan bersama dengan pembina dan/atau pelatih ekstarkurikuler akan ditetapkan sebagai salah satu program kegiatan ektrakurikuler wajib model aktualisasi.

Program kegiatan ini tidak menutup kemungkinan dijadikan sebagai proyek bersama dengan mata pelajaran selain Biologi. Kegiatan proyek bersama ini dapat membantu meringankan peserta didik dan pendidik dari aspek waktu atau beban belajar tetapi tanpa meninggalkan tujuan utamanya yaitu menumbuhkan sikap dan keterampilan peserta didik untuk peduli lingkungan (sesuai KD-2.1). Hasil pengembangan kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler ini dapat mewujudkan sekolah yang mampu menghasilkan peserta didik yang mandiri, tangguh, dan berkarakter.

Oleh karena itu pada saat menyusun analisis kompetensi, pengampu mata pelajaran "duduk bersama" dengan para pembina dan/atau pelatih ekstrakurikuler untuk bersama-sama menentukan dan menyepakati kegiatan aktualisasi yang akan diterapkan pada kegiatan ekstrakurikuler. Setelah analisis kompetensi dilakukan oleh pengampu mata pelajaran, maka pembina dan/atau pelatih ekstrakurikuler menindaklanjutinya sebagaimana tercantum pada Permendikbud RI Nomor 62 Tahun 2014 tentang Ekstrakurikuler Pasal 4 Ayat (2), bahwa Pengembangan berbagai bentuk Kegiatan Ekstrakurikuler Pilihan dilakukan melalui tahapan: (a) identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik; (b) analisis sumber daya yang diperlukan untuk penyelenggaraannya; (c) pemenuhan kebutuhan sumber daya sesuai pilihan peserta didik atau menyalurkannya ke satuan pendidikan atau lembaga lainnya; (d) penyusunan program Kegiatan Ekstrakurikuler; dan (e) penetapan bentuk kegiatan yang diselenggarakan.

Langkah berikutnya adalah menentukan sumber daya yang dipelukan dalam merealisasikan kegiatan. Atas dasar langkah ini maka disusunlah program kegiatan. Contoh program kegiatan dapat dilihat pada Tabel 1.5 berikut.

Tabel 1. 5 Contoh Penyusunan Program

Program Ekstrakurikuler	Nama Kegiatan	Rasional	Tujuan	Deskripsi kegiatan	Pengelolaan				Evaluasi
					Waktu	Sarpras	Penjab	Pendanaan	
Kepramukaan model aktualisasi, Karya Ilmiah Remaja, Jurnalis	Proyek Pohon Asuh	Tuntutan keterampilan menganalisis data hasil observasi tentang berbagai tingkat keanekaragaman hayati (gen, jenis dan ekosistem) di Indonesia.	• Mencapai kompetensi pada aspek keterampilan dalam bentuk proyek • Menumbuhkembangkan sikap dan perilaku yang peduli lingkungan	Peserta didik melakukan kegiatan proyek yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, analisis, dan pelaporan	Semester ganjil, dilaksanakan selama 1 semester	Lahan, Polybag, Pot, Peralatan berkebun	Pembina, Pelatih, Guru mapel	Mandiri, donator, atau sesuai peruntukan (BOS, Komite, dll).	Ketercapaian tujuan pada setiap indikator yang telah ditetapkam dalam perencanaan

Catatan:

(1) Proyek Pohon Asuh dapat dilakukan pada kegiatan aktualisasi pada ekstrakurikuler wajib. Apabila sebagai ekstrakurikuler wajib maka kegiatan `tersebut tidak digunakan pada ekstrakurikuler pilihan.

(2) Proyek pohon asuh yang dikembangkan dalam kegiatan ekstrakurikuler dapat digunakan untuk mendukung beberapa mata pelajaran lain seperti mapel Geografi, bahasa Indonesia, dan Bahasa Inggris.

(3) Kegiatan ini merupakan bagian dari komponen kesiswaan yang dirumuskan pada RKS/RKJM/RKT/RKAS.

b. Pelaksanaan Program

Penjadwalan Kegiatan Ekstrakurikuler dirancang di awal tahun pelajaran oleh guru mata pelajaran dan pembina ekstrakurikuler di bawah bimbingan kepala sekolah/madrasah atau wakil kepala sekolah/madrasah. Jadwal Kegiatan Ekstrakurikuler diatur agar tidak menghambat pelaksanaan kegiatan intra dan kokurikuler.

c. Penilaian dan Evaluasi Program

Pelaksanaan program kegiatan ekstrakurikuler perlu dilakukan penilaian dan evaluasi. Penilaian merupakan salah satu umpan balik untuk mengetahui ketercapaian hasil belajar. Untuk mengetahui pencapaian kompetensi ekstrakurikuler maka diperlukan penilaian. Pada akhir kegiatan ekstrakurikuler perlu diketahui pencapaian kompetensi yang dicapai oleh peserta didik. Penilaian kegiatan ekstrakurikuler menunjukkan kinerja peserta didik dalam bentuk kualitatif dan dilengkapi dengan deskripsi. Kriteria keberhasilan meliputi proses dan pencapaian kompetensi peserta didik dalam kegiatan Ekstrakurikuler.

Peserta didik wajib memperoleh nilai minimal “baik” pada kegiatan ekstrakurikuler pada setiap semesternya. Nilai yang diperoleh pada kegiatan ekstrakurikuler berpengaruh terhadap kenaikan kelas peserta didik. Bagi peserta didik yang belum

mencapai nilai minimal perlu mendapat bimbingan terus menerus untuk mencapainya.

Dalam kegiatan ekstrakurikuler dilaksanakan penilaian dengan menggunakan penilaian yang bersifat otentik mencakup penilaian sikap dan keterampilan. Penilaian sikap dengan menggunakan penilaian berdasarkan pengamatan, penilaian diri, penilaian antar teman, dan/atau jurnal. Penilaian keterampilan sebagaimana dimaksud dengan menggunakan penilaian unjuk kerja, proyek, dan portofolio.

Seiring kegiatan ekstrakurikuler sebagai pendukung kegiatan intrakurikuler, maka penilaian pencapaian kompetensi yang diamanatkan dalam KD mata pelajaran dapat diperoleh melalui hasil kerjasama antara guru mata pelajaran dengan pelatih ekstrakurikuler.

Contoh kegiatan ekstrakurikuler berupa proyek Pohon Asuh yang terdapat pada uraian ini, dapat dilaksanakan pada ekstrakurikuler wajib (model aktualisasi) hasil penilaiannya dapat digunakan oleh mata pelajaran Biologi, Geografi, Bahasa Indonesia, dan/atau Bahasa Inggris untuk penilaian keterampilan. Nilai keterampilan tersebut diperoleh dari hasil penggunaan Rubrik Penilaian Proyek. Sedangkan nilai sikap diperoleh dari hasil penggunaaan instrumen pengamatan. Nilai yang dituliskan pada rapor berupa sebutan: 1) Sangat Baik/SB, 2) Baik/B, 3) Cukup/C, dan 4) Kurang/K disertai dengan deskripsi yang menggambarkan sikap dan keterampilan kegiatan proyek pohon asuh.

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui keefektifan dan efisiensi pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler termasuk kendala dan masalah serta solusi yang dilakukan dalam pelaksanaan kegiatan tersebut. Dengan evaluasi ini diharapkan akan menjadi bahan pertimbangan dalam memperbaiki pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler agar menjadi lebih baik pada masa mendatang.

Aspek yang dievaluasi terkait dengan pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler meliputi:

- Program kegiatan ekstrakurikuler.
- Silabus kegiatan ekstrakurikuler.
- Rencana pelaksanaan kegiatan.
- Pelaksanaan kegiatan.

- Relevansi materi mata pelajaran dengan kegiatan ekstrakurikuler.

Berdasarkan rentang waktu, evaluasi dapat dilaksanakan dalam rentang per kegiatan, bulanan, atau semester. Dengan evaluasi yang dilakukan secara berkesinambungan akan dapat diambil berbagai langkah tindak lanjut, baik yang terkait dengan perbaikan program, kesinambungan program dan pemantapan program.

Penilaian dan evaluasi kegiatan ekstrakurikuler dilakukan untuk mengukur ketercapaian tujuan pada setiap indikator yang telah ditetapkan dalam perencanaan. Satuan pendidikan hendaknya mengevaluasi setiap indikator yang sudah tercapai maupun yang belum tercapai. Berdasarkan hasil evaluasi, satuan pendidikan dapat melakukan perbaikan rencana tindak lanjut untuk siklus kegiatan berikutnya.

Contoh kegiatan ekstrakurikuler pada SMK yang juga memuat tentang panduan pelaksanaan, lembar kerja, sistematika laporan, penilaian adalah sebagai berikut:

Contoh Kegiatan Ekstrakurikuler untuk SMK

Panduan Pelaksanaan Kegiatan Proyek Pohon Asuh

Tujuan	Indikator
1. Mencapai kompetensi pada aspek keterampilan dalam bentuk proyek	• Menyusun perencanaan proyek Pohon Asuh • Melaksanakan proyek Pohon Asuh • Menyusun laporan hasil proyek Pohon Asuh
2. Menumbuhkembangkan sikap dan perilaku yang peduli lingkungan	• Menyirami tanaman • Menyiangi tanaman • Memupuk tanaman • Tidak memetik bagian dari tanaman tanpa alasan tertentu

Tabel 1. 6 Contoh Lembar Kerja Tugas Proyek Pohon Asuh berdasarkan hasil analisis

LEMBAR KERJA

MATA PELAJARAN : BIOLOGI

(Dasar Bidang Kejuruan pada Bidang Keahlian Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan/Madrasah Aliyah Kejuruan)

KELAS : X

TUGAS PROYEK : POHON ASUH

TUJUAN : MENJAGA KEBERLANGSUNGAN HIDUP POHON

KOMPETENSI DASAR:

1.1 Memahami nilai-nilai keimanan dengan menyadari hubungan keteraturan dan kompleksitas alam terhadap kebesaran Tuhan yang menciptakannya..

2.1 Berperilaku ilmiah: teliti, tekun, jujur terhadap data dan fakta, disiplin, tanggung jawab,dan peduli dalam observasi dan eksperimen, berani dan santun dalam mengajukan pertanyaan dan berargumentasi, peduli lingkungan, gotong royong, bekerjasama, cinta damai, berpendapat secara ilmiah dan kritis, responsif dan proaktif dalam dalam setiap tindakan dan dalam melakukan pengamatan dan percobaan di dalam kelas/laboratorium maupun di luar kelas/laboratorium

3.3 Mengdeskripsikan berbagai tingkat keanekaragaman hayati di Indonesia melalui hasil obesrvasi.

4.3 Melakukan analisis ekologi di lingkungan sekitar.

PERENCANAAN PROYEK

Lakukan prosedur kerja untuk untuk persiapan penyelesaian proyek ini:

1. Mempelajari berbagai literatur yang berhubungan dengan keanekaragaman hayati (gen, jenis, dan ekosistem)
2. Menentukan lahan/lokasiproyek Pohon Asuh
3. Menyediakan pohon yang akan digunakan dalam proyek
4. Menentukan data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek.

5. Menyiapkan peralatan yang digunakan untuk menggali data yang diperlukan (instrument/Lembar Kerja/camera/alat tulis, dll.).
6. Selesaikan proyek ini selama ….minggu/bulan.
7. Buatlah jadwal rencana kegiatan untuk pengamatan, penggalian dan pengolahan data, serta pelaporan.
8. Lakukan bersama kelompok, jika mengalami kesulitan konsultasikan dengan Pembina/Pelatih/Guru

PELAKSANAAN PROYEK

1. Lakukan penempatan/penanaman pohon di lahan langsung, pot, polybag, atau pot gantung.
2. Rawat tanaman secara teratur dengan cara menyiram, menyiangi, memberi pupuk, dan menjaga seluruh bagian tanaman dari kerusakan.
3. Gali informasi/data tentang kondisi tanaman secara berkala dengan bantuan peralatan, instrumen/tabel/camera/alat tulis, dll.
4. Informasi/data yang telah diperoleh diolah dan dianalisis.
5. Buat simpulan atas kegiatan dan hasil yang diperoleh.

PELAPORAN HASIL PROYEK

1. Tulis berbagai kegiatan yang kalian telah lakukan mulai dari perencanaan hingga pelaksanaan proyek.
2. Lengkapi laporan hasil proyek dengan gambar-gambar yang kalian peroleh di lapangan untuk memperkuat bukti.
3. Gunakan sistematika berikut untuk memandu kalian dalam menuliskan deskripsi laporan hasil proyek.

Contoh Sistematika Laporan Proyek Pohon Asuh

SISTEMATIKA

LAPORAN PROYEK

MATA PELAJARAN : BIOLOGI
(Dasar Bidang Kejuruan pada Bidang Keahlian Kesehatan Sekolah Menengah Kejuruan/Madrasah Aliyah Kejuruan)
KELAS : X
TUGAS PROYEK : POHON ASUH
TUJUAN : MENJAGA KEBERLANGSUNGAN HIDUP POHON

A. PERENCANAAN PROYEK:
   1. Prosedur kerja
   2. Peralatan yang digunakan
   3. Penjadwalan

B. PELAKSANAAN PROYEK:
   1. Kegiatan perawatan pohon (menyiram, menyiangi, memberi pupuk, melindungi tanaman dari kerusakan).
   2. Kegiatan observasi dan penggalian Data
   3. Pengolahan dan Analisis Data
   4. Masalah dan pemecahannya
   5. Membuat gambar kondisi Pohon Asuh setelah mendapat perawatan

C. HASIL PROYEK:

Contoh Rubrik Penilaian Proyek

Nama Siswa/Kelompok : ……..

Judul Proyek : Pohon Asuh

Tujuan : Menjaga keberlangsungan hidup pohon.

Aspek yang dinilai	Skor			
	1	2	3	4
1. Perencanaan mempersiapkan prosedur kerja:				
Menentukan data yang akan digali				
Mempersiapkan peralatan (instrumen/Lembar Kerja/kamera/alat tulis)				
Penyusunan jadwal kegiatan proyek				
2. Pelaksanaan Menanam				
Menyirami				
Menyiangi				
Memberi pupuk				
Menjaga tanaman dari kerusakan				
Penggalian data				
Pengolahan data				
Analisis data				
Pemecahan Masalah				
Pembuatan Produk/gambar kondisi Pohon Asuh				
3. pelaporan Mendeskripsikan semua proses kegiatan yang telah dilakukan				
Didukung data hasil pengamatan, penggalian data, dan pengolahan.				
Penulisan laporan secara sistematis				
Menggunakan kaidah penulisan bahasa Indonesia yang baik dan benar.				
Komentar:				

Catatan:

1. Pembina/Pelatih/Guru mengembangkan kriteria skor 4, 3, 2, 1.
2. Kegiatan ini dapat digunakan sebagai model pembelajaran berbasis proyek pada kegiatan intrakurikuler.

Contoh Pengamatan Sikap Peduli Lingkungan dalam Kegiatan Proyek Pohon Asuh

No	Nama Peserta Didik	Indikator yang dinilai				Skor yang diperolah	Nilai
		Menyirami	Menyiangi	Memupuk	Mengembangbiakkan		
1	IGO	√	√	√	√	4	SB
2	ENGGI	√	√	√	-	3	B
3	DIONI	√	√	-	-	2	B
4	AHMATO	√	-	-	-	1	C
5	JENG SINTA	-	-	-	-	0	KK

Keterangan:

a. Nilai yang diperolah dari kegiatan ini sebagai nilai kegiatan ekstarkurikuler wajib, dan dilaporkan kepada guru mata pelajaran untuk memberikan nilai sikap peduli lingkungan, dan juga dapat dimanfaatkan oleh mata pelajaran lain yang bergabung dalam proyek pohon asuh, selain mata pelajaran biologi.

b. Kriteria Nilai sebagai berikut: a) Skor <2: Kurang/K, b) Skor 2: Cukup/C, c) Skor 3: Baik/B, d) Skor 5: Sangat Baik/SB

d. Pelaporan

Laporan mempunyai peranan yang penting dalam pelaksanaan program kegiatan ekstrakurikuler karena dalam pelaksanaan kegiatan hubungan antara guru pembina ekstrakurikuler dengan guru mata pelajaran merupakan bagian dari keberhasilan pelaksanaan kegiatan tersebut. Agar laporan itu efektif dan komunikatif maka penyusunan laporan minimal harus mencakupi aspek latar belakang, tujuan, sasaran, hasil yang diharapkan, program kegiatan, pelaksanaan, masalah dan solusi pemecahan masalah, serta simpulan.

e. Tindak Lanjut

Tindak lanjut merupakan komponen penting dalam siklus pelaksanaan suatu program. Pada akhir pelaksanaan kegiatan ekstrakurikuler ini diperlukan tindak lanjut untuk menentukan langkah berikutnya yang akan dilakukan. Tindak lanjut hasil evaluasi program kegiatan ekstrakurikuler dapat dilakukan dengan cara mengindentifikasi hasil laporan kegiatan ekstrakurikuler diantaranya kelengkapan Pembina/pelatih ekstrakurikuler yang berupa:

- Program kegiatan ekstrakurikuler
- Silabus materi kegiatan ekstrakurikuler
- Rencana pelaksanaan kegiatan
- Pelaksanaan kegiatan
- Penilaian hasil kegiatan
- Hasil evaluasi

Berdasarkan hasil evaluasi program kegiatan ekstrakurikuler yang telah dilakukan maka tindak lanjut berikutnya dapat berupa:

- Perbaikan program, jika memang ternyata tujuan yang telah ditentukan belum tercapai. Maka program kegiatan ekstrakurikuler tersebut perlu dirancang ulang untuk memperbaiki program berikutnya.
- Pemantapan program, jika program kegiatan ekstrakurikuler yang diprogramkan itu dapat dilaksanakan sesuai dengan yang telah direncanakan.

- Penyusunan program ekstrakurikuler untuk tahun berikutnya berdasarkan hasil evaluasi

f. Aktivitas Pembelajaran

Secara umum aktivitas pembelajaran pada materi pengembangan ektrakurikuler untuk aktualisasi diri peserta didik, diawali dengan ***kegiatan persiapan***:

Kegiatan ini dilaksanakan untuk mempersiapkan sarana pendukung kegiatan pembelajaran di kelas sekaligus perkenalan dengan fasilitator di kelas.

Kegiatan pendahuluan:

Kegiatan ini untuk memberikan motivasi dan apersepsi/pengkondisian implementasi kurikulum serta penyampaian tujuan pembelajaran, dll.

Kegiatan inti:

Kegiatan inti dilaksanakan mengikuti urutan pembelajaran saintifik, meliputi aktivitas pembelajaran 1, membahas materi perbedaan dan keterkaitan antara kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler, dan kegiatan pembelajaran 2 membahas pengelolaan dan pengkoordinasian kegiatan ekstarkurikuler.

Kegiatan Penutup:

Kegiatan ini untuk merangkum hasil pembelajaran, refleksi dan umpan balik, dan tindak lanjut.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran 1 adalah sebagai berikut:

1. Pada pembelajaran mata latih pengembangan ektrakurikuler untuk aktualisasi diri peserta didik, aktivitas peserta didik mempelajari 2 sub materi latih yang dikemas pada kegiatan pembelajaran 1 dan 2, yaitu (1) materi perbedaan dan keterkaitan antara kegiatan Ekstrakurikuler dan Intrakurikuler, dan (2) materi pengelolaan dan pengkoordinasian kegiatan ekstrakurikuler.
2. Waktu yang tersedia untuk mempelajari kegiatan pembelajaran pengembangan ekstrakurikuler untuk aktualisasi diri disesuaikan dengan struktur program pendidikan dan pelatihan di PPPPTK BMTI, terdiri dari: kegiatan persiapan pembelajaran, kegiatan pendahuluan, kegiatan inti meliputi kegiatan pembelajaran 1 dan kegiatan pembelajaran 2, dan kegiatan penutup.
3. Selama mengikuti pembelajaran, Anda perlu berkonsentrasi, bekerja secara mandiri dan bekerja kelompok, serta menyiapkan bahan bacaan yang bersumber dari uraian materi pada buku ini, diantaranya:
    a. Permendikbud Nomor 65 Tahun 2013 tentang Standar Proses. b. Permendikbud Nomor 57 tentang kurikulum 57 Tahun 2014 tentang kurikulum 2013 SD/MI.
    b. Permendikbud Nomor 58 tentang kurikulum 2013 SMP/Mts.
    c. Permendikbud Nomor 59 tentang kurikulum 2013 SMA/MA
    d. Permendikbud Nomor 60 tentang Kurikulum 2013 SMK/MAK.
    e. Permendikbud Nomor 62 Tahun 2014 tentang Ekstrakurikuler.
    f. Permendikbud Nomor 63 Tahun 2014 tentang Kepramukaan.
    g. Permendikbud Nomor 103 Tahun 2014 tentang Pembelajaran.
    h. Permendikbud Nomor 104 Tahun 2014 tentang Penilaian.
4. Penyusunan program intrakurikuler dirancang menjadi satu kesatuan dengan kegiatan kokurikuler dan ekstrakurikuler. Kegiatan intrakurikuler yang dilaksanakan melalui pembelajaran di kelas maupun di luar kelas dapat dioptimalkan dengan memberikan tugas kepada pesera didik melalui kegiatan kokurikuler. Kegiatan ini

dilakukan dalam rangka meningkatkan pemahaman terhadap materi yang diberikan pada saat intrakurikuler.

5. Kegiatan pembelajaran perlu dibantu oleh pengurus kelas. Oleh karena itu Anda pilih satu orang sebagai ketua kelas, satu orang sebagai wakil, dan satu orang sekretaris. Apabila ada kegiatan kelompok, maka setiap kelompok memilih ketua dan sekretaris kelompok. Ketua kelas dan wakil bertugas mengkoordinasikan kegiatan pelatihan dari awal hingga akhir termasuk pengumpulan tugas-tugas, sedangkan sekretaris kelas mengatur notula kegiatan baik kegiatan kelas maupun kegiatan di masing-masing kelompok. Semua tugas dan notula dari awal hingga akhir kegiatan diserahkan kepada fasilitator di kelas pada hari terakhir pelatihan (sebelum kegiatan penutupan).
6. Pada kegiatan pembelajaran satu Anda akan melaksanakan pembelajaran yang urutannya mengikuti alur saintifik sebagai berikut:
    a. Amati dan simaklah gambar/foto kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler secara individu melalui layar LCD di kelas.
    b. Carilah informasi tentang perbedaan dan keterkaitan kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler dari bacaan uraian materi kegiatan pembelajaran 1.
    c. Bekerjalah dalam kelompok, masing-masing kelompok beranggotakan 5 orang.
    d. Diskusikan dalam kelompok hasil pengamatan yang diperoleh dan tentukan fakta-fakta yang mendukung masalah yang dianalisis, kemudian tuliskan pada kertas plano.
    e. Komunikasikan data hasil diskusi kelompok yang telah dideskripsikan pada kertas plano (model menyajian di kertas plano diserahkan kepada kreativitas kelompok).
    f. Tempelkan kertas plano di dinding tembok kelas, kemudian secara bergantian masing-masing kelompok membaca hasil kerja kelompok lain, sekaligus memberikan masukan secara tertulis di kertas yang telah tersedia, jangan lupa setiap masukan harus diberi identitas nama dan asal kelompok.
    g. Diskusikan dalam kelompok untuk membandingkan fakta-fakta hasil pengamatan pada kelompok lain dengan hasil kerja kelompoknya sendiri.

h. Kumpulkan hasil kerja tersebut kepada fasilitator melalui ketua kelas, jangan lupa memberi identintas kelompok dilengkapi dengan nama anggota.

Pertanyaan diskusi:

LK. 01

Bagaimana hasil analisis Anda tentang konsep, prinsip, manfaat dan langkah-langkah kegiatan intrakurikuler dan kegiatan ekstrakurikuler berdasarkan informasi yang telah Anda dapatkan?

LK. 02

Bagaimanakah keterkaitan antara kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler? Berikan contoh konkret berdasarkan pengalaman Anda atau berdasarkan informasi yang telah Anda dapatkan dari sumber bacaan!

i. Di akhir kegiatan pembelajaran sub materi satu Anda akan mengomunikasikan hasil kerja kelompok pada kertas plano yang di tempel di dinding untuk diketahui dan diperbaiki oleh kelompok lain yang nantinya akan digunakan sebagai kesimpulan bersama.

Aktivitas pembelajaran 2 adalah sebagai berikut:

Pada kegiatan pembelajaran dua Anda akan melaksanakan pembelajaran yang urutannya mengikuti alur saintifik, akan tetapi setelah Anda menggali informasi Anda akan diminta bermain peran, yaitu memerankan komponen sekolah (KS, Wakasis,

Pembina/Pelatih Eksktrakurikuler, dan Guru Mapel) dalam mengelola dan mengkoordinasikan kegiatan ekstrakurikuler. Langkah yang harus dilakukan pada aktivitas pembelajaran kedua ini adalah sebagai berikut:

1. Amati dan simaklah tayangan video kegiatan ekstrakurikuler secara individu melalui layar LCD di kelas.
2. Carilah informasi tentang pengelolaan dan pengkoordinasian kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler dari bacaan uraian materi pada bahan ajar ini atau dari sumber lain.
3. Lakukan kegiatan bermain peran untuk mensimulasikan seorang Kepala Sekolah sedang mengelola dan mengkoordinasikan kegiatan ekstrakurikuler mulai dari kegiatan identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik berdasarkan proses analisis kompetensi mata pelajaran, analisis sumber daya yang diperlukan, menyusun program ekstrakurikuler, melaksanakan program, menilai dan mengevaluasi, melaporkan, hingga tindak lanjut kegiatan ekstrakurikuler, dengan langkah sebagai berikut:
   a. Pilihlah masing-masing satu orang untuk berperan sebagai:
      - Kepala Sekolah/KS.
      - Wakil Kepala Sekolah urusan Kesiswaan/Wakasis
      - Pembina/pelatih ekstrakurikuler/Pembina ekskul
      - Pelatih ektrakurikuler/pelatih ekskul
   b. Peserta yang tidak berperan sebagai tersebut di atas, berperanlah sebagai guru, kemudian bagilah menjadi 5 jenis rumpun mata pelajaran yang berbeda.
   c. Peserta yang berperan sebagai Kepala Sekolah mengatur kegiatan penyusunan program kegiatan ekstrakurikuler dengan langkah sebagai berikut:
      - Guru mapel (ada 5 rumpun mapel) diminta melakukan analisis kompetensi mata pelajaran, kemudian hasilnya dituangkan ke dalam Format 1.
      - Hasil analisis kompetensi mata pelajaran dikomunikasikan dengan wakasis, pembina kesiswaan dan/atau pelatih ekstrakurikuler.
      - Wakasis bersama pembina dan/atau pelatih ekstrakurikuler menindaklanjuti hasil analisis kompetensi mata pelajaran, yang selanjutnya digunakan

sebagai dasar penyusunan program kegiatan aktualisasi pada kegiatan ekstrakurikuler wajib, hasilnya dituangkan pada Format 2.

- Komunikasikan hasil kerja tim di depan kelas, oleh 4 orang yang berperan sebagai KS, wakasis, pembina/pelatih, dan wakil guru mapel.

LK. 03

ANALISIS KOMPETENSI MATA PELAJARAN (MAPEL)

MAPEL	KD dari KI-1	KD dari KI-2	KD dari KI-3	KD dari KI-4	Indikator akan dikembangkan		Bentuk kegiatan aktualisai ekstrakurikuler wajib
					Sikap	Keterampilan	

LK. 04

Program Kegiatan

Program Ekstrakurikuler	Nama Kegiatan	Rasional	Tujuan	Deskripsi kegiatan	

a. Di akhir kegiatan pembelajaran dua yang berperan sebagai KS, Wakasis, Pembina/Pelatih Eksktrakurikuler, dan Guru Mapel akan mengomunikasikan hasil kerja tim agar dapat diketahui oleh semua peserta.
b. Tagihan yang harus Anda penuhi pada aktivitas pembelajaran dua adalah: hasil kerja kelompok yang dituliskan pada format LK. 03 dan LK. 04.
c. Setelah Anda mengikuti seluruh rangkaian kegiatan pembelajaran, diharapkan secara jujur Anda dapat menjawab pertanyaan sebagai berikut:
    1) Bagaimana kebermanfaatan kegiatan ektrakurikuler terhadap pencapaian kompetensi yang diamanatkan dalam program intrakurikuler?
    2) Bagaimana pendapat Anda terhadap program intrakurikuler dan ekstrakurikuler?
    3) Bagaimana peran pembina, guru, dan pelatih pada kegiatan intrakurikuler dan ekstrakurikuler?
    4) Bagaimana pendapat Anda tentang kesulitan dalam menyusun dan mengkoordinasikan program intrakurikuler dan ekstrakurikuler?

E. Rangkuman

1. Intrakurikuler merupakan kegiatan pengembangan diri yang dilaksanakan melalui kegiatan proses belajar mengajar yang merupakan inti dari proses yang terjadi di sekolah sebagai lembaga formal. Kegiatan ini dapat terjadi secara berkesinambungan antara konsep pembelajaran yang dilaksanakan di dalam kelas dan di luar kelas berdasarkan penerapan kurikulum yang dilaksanakan oleh satuan pendidikan.
2. Kegiatan intrakurikuler wajib diikuti oleh peserta didik, bersifat mengikat, dilaksanakan dengan jadwal dan waktu yang jelas, dilaksanakan terus menerus sesuai kalender akademik. Sasaran dan tujuan intrakurikuler adalah menumbuhkan kemampuan akademik peserta didik, dimana kegiatannya berada di bawah tanggungjawab guru mapel atau guru kelas.

3. Intrakurikuler dilakukan sekolah secara teratur, jelas, dan terjadwal. Kegaitan ini dikelola secara sistematik yang merupakan program utama dalam proses mendidik peserta didik. Intrakurikuler, kokurikuler, dan kegiatan ekstrakurikuler merupakan kegiatan kurikulum pada satuan pendidikan yang saling terkait satu dengan yang lain, dalam rangka mencapai mutu satuan pendidikan. Kegiatan kokurikuler adalah kegiatan kurikuler yang mendukung kegiatan intrakurikuler berupa tugas-tugas pendukung pembelajaran.
4. Kegiatan Ekstrakurikuler dapat memfasilitasi bakat, minat, dan kreativitas peserta didik yang berbeda-beda, dimana kegiatannya berada dibawah tanggungjawab pembina dan/atau pelatih ekstrakurikuler.
5. Kegiatan ekstrakurikuler meliputi ekstrakurikuler wajib dan ekstrakuriuler pilihan. Kegiatan ekstrakurikuler wajib berupa kepramukaan. Ada tiga macam model pelaksanaan kepramukaan, yaitu sistem blok, aktualisasi, dan reguler.
6. Kestrakurikuler wajib adalah program ekstrakurikuler yang harus diikuti oleh seluruh peserta didik, terkecuali bagi Peserta Didik dengan kondisi tertentu yang tidak memungkinkan untuk mengikuti kegiatan Ekstrakurikuler tersebut.
7. Penyusunan program intrakurikuler dirancangkan menjadi satu kesatuan dengan kegiatan kokurikuler dan ekstrakurikuler. Kegiatan ini dilakukan dalam rangka meningkatkan penguasaan terhadap kompetensi yang diamanatkan dalam intrakurikuler.
8. Langkah penyusunan program intrakurikuler yang harus dilalui oleh pendidik adalah dengan melakukan analisis kompetensi mata pelajaran. Melalui analisis ini akan terpetakan Kompetensi Dasar tertentu yang memerlukan pengembangan atau aktualisasi lebih lanjut. Aktualisasi dari pembelajaran tersebut akan diwadahi pada kegiatan ekstrakurikuler.
9. Pelaksanaan Program Kegiatan Ekstrakurikuler yang telah disusun perlu dilakukan penilaian, evaluasi, laporan, dan rencana tindaklanjut.

F. Tes Formatif

Petunjuk:

- Kerjakan soal berikut ini dengan cermat
- Pilih salah satu jawaban yang paling tepat

Soal:

1. Peserta didik merupakan anggota masyarakat yang dipandang perlu mendapatkan layanan pendidikan agar dapat tumbuh menjadi individu berkualitas dalam dimensi sikap, penggetahuan, maupun keterampilan. Pada pernyataan manakah kegiatan yang mendukung bahwa satuan pendidikan perlu mengoptimalkan pembentukan sikap dan keterampilan?

    A. Pendidikan nasional berfungsi mengembangkan kemampuan dan membentuk watak serta peradaban bangsa yang bermartabat dalam rangka mencerdaskan kehidupan bangsa.
    B. Pendidikan bertujuan untuk berkembangnya potensi peserta didik agar menjadi manusia yang beriman dan bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa, berakhlak mulia, sehat, berilmu, cakap, kreatif, mandiri, dan menjadi warga negara yang demokratis serta bertanggung jawab.
    C. Setiap pendidikan harus dapat memerankan fungsinya membentuk individu berkualitas dalam dimensi sikap, pengetahuan, maupun keterampilan seiring dengangan tuntutan jaman.
    D. Setiap satuan pendidikan wajib mengembangkan kegiatan untuk mewadahi potensi peserta didik sebagaimana tercantum pada Permendikbud Nomor 62 Tahun 2014 tentang Kegiatan Ekstrakurikuler pada Pendidikan Dasar dan Menengah dan Permendikbud Nomor 63 Tahun 2014 tentang Pendidikan Kepramukaan.

2. Berikut adalah pernyataan yang kurang tepat berkaitan dengan intrakurikuler, kokurikuler, dan ektrakurikuler.

    A. Intrakurikuler merupakan kegiatan pengembangan diri yang dilaksanakan melalui kegiatan proses belajar mengajar yang merupakan inti dari proses yang terjadi di sekolah sebagai lembaga formal.
    B. Antara intrakurikuler, kokurikuler, dan ekstrakurikuler belum tentu ada keterkaitan atau belum tentu dapat dikaitkan satu dengan lainnya.
    C. Agar supaya peserta didik memahami dan mendalami materi yang dipelajari pada kegiatan intrakurikuler maka diperlukan kegiatan kokurikuler, kegiatan kokurikuler ini dapat berupa tugas-tugas yang mendukung pembelajarannya.
    D. Ekstrakurikuler dilaksanakan diluar intrakurikuler, kegiatan ekstrakurikuler terdiri atas kegiatan ekstrakurikuler wajib dan pilihan, waktu

pelaksanaan, sasaran dan program, teknis pelaksanaan, evaluasi dan kriteria keberhasilan berbeda dengan kegiatan intrakurikuler.

3. Pernyataan berikut berkaitan dengan karakteristik untuk mengetahui perbedaan intrakurikuler dengan ekstrakurikuler, kecuali:

   A. Kegiatan intrakurikuler wajib diikuti oleh peserta didik, bersifat mengikat, dilaksanakan dengan jadwal dan waktu yang jelas, dilaksanakan terus menerus sesuai kalender akademik.
   B. Sasaran dan tujuan intrakurikuler adalah menumbuhkan kemampuan akademik peserta didik, dimana kegiatannya berada dibawah tanggungjawab guru mata pelajaran atau guru kelas, keberhasilan peserta didik dalam menguasai kompetenesi disesuaikan dengan kurikulum yang diberlakukan oleh sekolah, dan dinilai dengan menggunakan tes dan non tes.
   C. Kegiatan ekstrakurikuler wajib tidak harus diikuti oleh peserta didik, bersifat mengikat, dilaksanakan dengan jadwal dan waktu yang jelas, dilaksanakan terus menerus.
   D. Ekstrakurikuler pilihan disesuaikan dengan bakat dan minat peserta didik. Sasaran dan tujuan ekstrakurikuler adalah menemukan dan mengembangkan potensi peserta didik, serta memberikan manfaat sosial yang besar dalam mengembangkan kemampuan berkomunikasi, bekerja sama dengan orang lain.

4. Pengembangan berbagai bentuk kegiatan ekstrakurikuler pilihan dapat dilakukan melalui tahapan sebagai berikut. Manakah langkah yang tepat?

   A. (a) analisis sumber daya yang diperlukan untuk penyelenggaraannya (b); identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik; (c) pemenuhan kebutuhan sumber daya sesuai pilihan peserta didik atau menyalurkannya ke satuan pendidikan atau lembaga lainnya; (d) penyusunan program kegiatan ekstrakurikuler; dan (e) penetapan bentuk kegiatan yang diselenggarakan.
   B. (a) identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik; (b) analisis sumber daya yang diperlukan untuk penyelenggaraannya; (c) pemenuhan kebutuhan sumber daya sesuai pilihan peserta didik atau menyalurkannya ke satuan pendidikan atau lembaga lainnya; (d) penyusunan program kegiatan ekstrakurikuler; dan (e) penetapan bentuk kegiatan yang diselenggarakan.
   C. (a) analisis sumber daya yang diperlukan untuk penyelenggaraannya; (b) identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik; (c) pemenuhan kebutuhan sumber daya sesuai pilihan peserta didik atau menyalurkannya ke satuan pendidikan atau lembaga lainnya; (d)

penetapan bentuk kegiatan yang diselenggarakan, dan (e) penyusunan program Kegiatan ekstrakurikuler.

D. (a) identifikasi kebutuhan, potensi, dan minat peserta didik; (b) pemenuhan kebutuhan sumber daya sesuai pilihan peserta didik atau menyalurkannya ke satuan pendidikan atau lembaga lainnya; (c) analisis sumber daya yang diperlukan untuk penyelenggaraannya; (d) penyusunan program kegiatan ekstrakurikuler; dan (e) penetapan bentuk kegiatan yang diselenggarakan.

5. Kegiatan ekstrakurikuler pada satuan pendidikan dikembangkan dengan menggunakan prinsip berikut:

   A. Partisipasi aktif yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler menuntut keikutsertaan peserta didik dan orang tua peserta didik secara penuh sesuai dengan minat dan pilihan masing-masing; dan menyenangkan yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler dilaksanakan dalam suasana yang menggembirakan bagi peserta didik.
   B. Partisipasi aktif yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler menuntut keikutsertaan peserta didik secara penuh sesuai dengan minat dan pilihan masing-masing; dan menyenangkan yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler dilaksanakan dalam suasana yang menggembirakan bagi peserta didik dan segenap warga sekolah.
   C. Partisipasi aktif yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler menuntut keikutsertaan seluruh *stakeholder* secara penuh sesuai dengan minat dan pilihan masing-masing; dan menyenangkan yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler dilaksanakan dalam suasana yang menggembirakan bagi peserta didik.
   D. Partisipasi aktif yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler menuntut keikutsertaan peserta didik secara penuh sesuai dengan minat dan pilihan masing-masing; dan menyenangkan yakni bahwa kegiatan ekstrakurikuler dilaksanakan dalam suasana yang menggembirakan bagi peserta didik.

G. Kunci Jawaban

1. D

2. B

3. C

4. B

5. D

KEGIATAN BELAJAR KB-2 DASAR-DASAR KELISTRIKAN PLTMH

A. Tujuan

- Melalui pengamatan dan diskusi peserta diklat dapat menguraikan konsep dasar kelistrikan, besaran dan satuan listrik dengan rasa ingin tahu,kerjasama dan teliti
- Melalui diskusi peserta diklat dapat menganalisis rangkaian arus searah (DC) sesuai dengan kondisi operasi dan fungsi rangkaian DC dengan rasa ingin tahu , kerjasama dan teliti
- Melalui diskusi peserta diklat dapat menganalisis rangkaian arus bolak-balik (AC) sesuai sesuai dengan kondisi operasi dan fungsi rangkaian dengan rasa ingin tahu , kerjasama dan teliti
- Melalui praktikum peserta diklat dapat merakit rangkaian DC sesuai SOP secara teliti dan tanggung jawab
- Melalui praktikum peserta diklat dapat merakit rangkaian AC sesuai SOP secara teliti dan tanggung jawab
- Melalui praktikum peserta diklat dapat menggunakan peralatan ukur listrik sesuai SOP secara teliti dan tanggung jawab

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

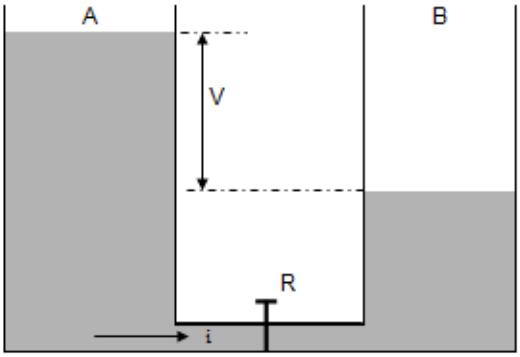
- Menguraikan konsep dasar kelistrikan, besaran dan satuan listrik dengan benar.
- Menganalisis rangkaian arus searah (DC) sesuai dengan kondisi operasi dan fungsi rangkaian DC.
- Menganalisis rangkaian arus bolak-balik (AC) sesuai dengan kondisi operasi dan fungsi rangkaian AC.
- Menggunakan peralatan ukur listrik sesuai SOP.

C. Uraian Materi

Rangkaian Arus Searah (DC)

1.1 Konsep Dasar Listrik

Terjadinya aliran listrik dapat dianalogikan dengan cara sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Analogi hubungan antara aliran dan hambatan pada suatu bejana

Pada gambar 2.1 terlihat adanya dua buah bejana A dan B berisi air, dihubungkan oleh sebatang pipa yang dilengkapi dengan kran pengatur R. Perbedaan tinggi permukaan air antara kedua bejana adalah V. Apabila kran R dibuka maka air bejana A akan mengalir menuju bejana B melalui pipa penghubung dengan kuat arus sebesar i. Selama masih ada perbedan tinggi permukaan air antara kedua bejana maka arus air akan terus ada disepanjang pipa penghubung.

Terjadinya aliran listrik pada suatu penghantar (kabel) dapat juga dijelaskan dengan cara yang sama dengan pengertian bahwa :

- Arus air disepanjang pipa analog dengan arus listrik sepanjang penghantar
- Pipa penghubung analog dengan kabel penghubung
- Kran pengatur aliran air analog dengan tahanan listrik atau hambatan listrik.
- Perbedaan tinggi permukaan air dari kedua bejana analog dengan beda potensial listrik atau beda tegangan listrik atau sering disebut tegangan listrik saja.

Berdasarkan penjelasan-penjelasan tersebut di atas, dapat dimengerti bahwa mengalirnya arus listrik dalam suatu peralatan listrik dapat terjadi jika diantara ujung-ujung terminalnya ada beda potensial atau beda tegangan dan alat tersebut tidak memiliki tahanan yang besar tak terhingga.

1.2. Besaran dan Satuan Listrik

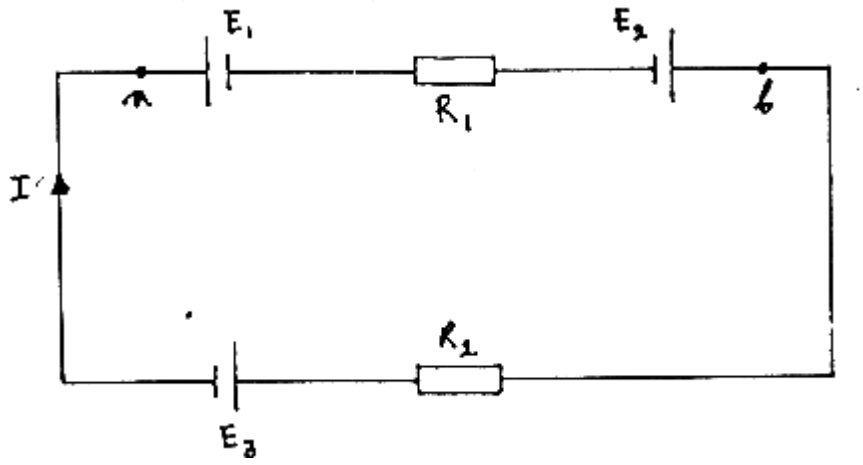
- Arus listrik (I)

  Arus listrik pada penghantar diukur berdasarkan jumlah muatan listrik yang mengalir melewati satu satuan luas penghantar tertentu dalam satu detik.

  Muatan listrik dinyatakan dalam satuan Coulomb, jadi apabila pada sebuah penghantar mengalir muatan dengan kecepatan satu Coulomb per detik maka arus listrik yang mengalir pada penghantar tersebut adalah satu ampere.

- Beda potensial atau Beda Tegangan (U)

  Untuk memperjelas pengertian tentang beda tegangan pada suatu rangkaian listrik, perhatikan gambar 2.2 berikut ini :



Gambar 2. 2 Beda tegangan pada suatu rangkaian listrik

Keterangan gambar :

- I adalah arus listrik yang mengalir dalam rangkaian
- E1, E2, E3 adalah sumber tegangan listrik

- R1 dan R2 adalah hambatan atau tahanan listrik

Selanjutnya beda tegangan antara dua buah titik a dan b pada rangkaian listrik seperti gambar di atas, adalah kerja atau energi yang dibutuhkan untuk memindahkan satu satuan muatan positip sebesar atau Coulomb dari titik a ke b atau sebaliknya. Beda tegangan dinyatakan dalam satuan volt. Jadi satu volt adalah beda tegangan antara dua buah titik, apabila dibutuhkan energi sebanyak satu joule untuk memindahkan muatan listrik sebesar satu coulomb dari titik yang satu ke titik yang lain.

- Daya listrik (P)

Daya listrik nilainya ditentukan berdasarkan perkalian antara arus, tegangan dan faktor daya. Secara matematis, persamaan daya listrik dapat dituliskan sebagai berikut :

P = UI cos f

Dimana :

P = daya listrik dalam satuan watt

U = tegangan listrik dalam satuan volt

I = arus listrik dalam satuan ampere

Cos φ = faktor daya, nilainya terletak antara (1) dan (-1) tergantung jenis beban yang terpasang dalam rangkaian Instalansi Listrik.

- Energi Listrik (W)

Energi listrik nilainya ditentukan berdasarkan perkalian antara daya listrik (P) dan waktu selama listrik digunakan. Secara matematis, persamaan energi dapat dituliskan sebagai berikut :

W = pt

Dimana :

W = energi listrik dalam satuan watt-jam (WH)

P = daya listrik dalam satuan watt (w)

t = waktu dalam satuan jam(H)

Energi listrik adalah besaran listrik terpakai yang biasanya kita bayarkan ke PLN tapi dengan satuan yang lebih besar yaitu KWH.

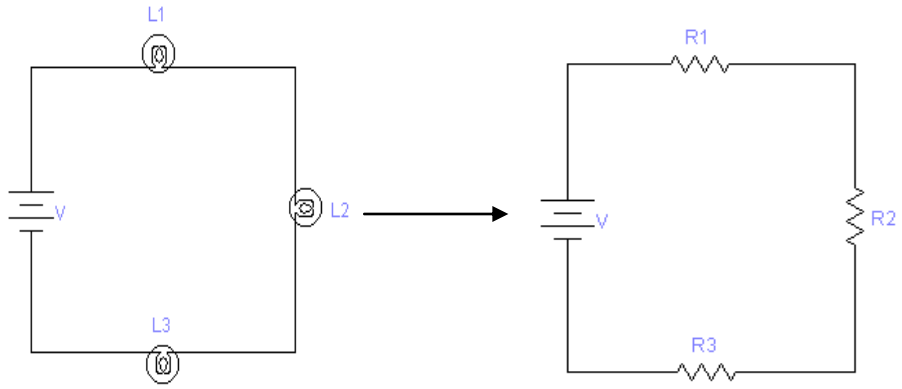
❖ Rekapitulasi Besar-besaran dan satuan-satuan Listrik

Besaran-basaran	Simbol	Satuan	Persamaan matematik
Muatan Listrik	q,Q	coulumb	-
Arus listrik	i,I	ampere	I=(dq/dt)
Tegangan atau beda potensial	e,E atau v,V	volt	E=(w/t)
Daya listrik	p,P	watt	P=e.i
Kerja (energi) listrik	w,W	Joule atau watt-detik atau watt- jam	W=p.t

1.3 Rangkaian Listrik

Rangkaian Seri

Rangkaian seri adalah rangkaian dimana arus hanya mengalir dalam satu lintasan saja.



(a) (b)

Gambar 2. 3 Rangkaian seri (a) Rangkaian Dasar, (b) Rangkaian Pengganti

Beberapa karakteristik atau teorema dasar dalam rangkaian seri, yaitu:

1. Resistansi total rangkaian seri adalah sama dengan penjumlahan dari masing – masing resistansi dalam rangkaian

$$R_t = R_1 + R_2 + ...+ R_n$$

2. Besarnya arus total yang mengalir dalam rangkaian seri adalah sama dengan arus yang mengalir ke setiap komponen / resistansi.

$$I_t = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

3. Besarnya tegangan total rangkaian seri adalah sama dengan penjumlahan dari jatuh tegangan pada masing – masing komponen / resistansi.

$$V_t = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

4. Tegangan jatuh pada masing – masing komponen / resistansi adalah sebanding dengan besar resistansinya.

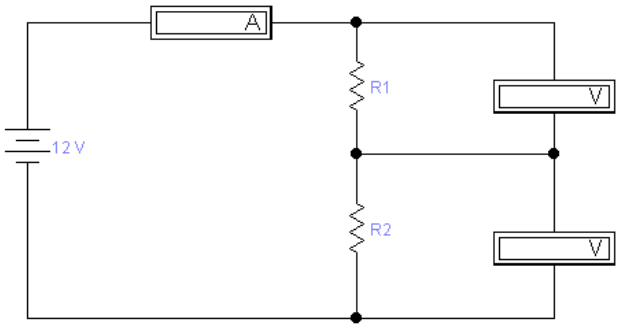
$$V_1 = R_1 . I ;\ V_2 = R_2 . I ; V_n = R_n . I$$

5. Daya total rangkaian adalah sama dengan penjumlahan dari daya hilang pada masing – masing komponen / resistansi.

$$P_t = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

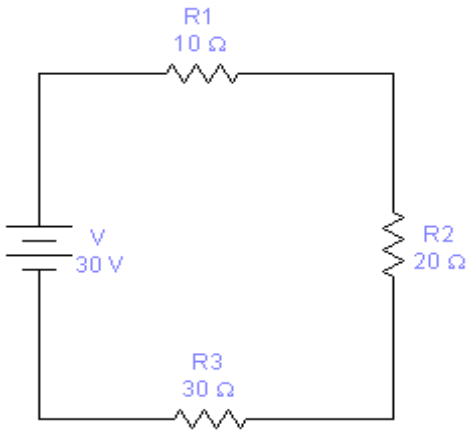
$$\text{Dimana : } P_1 = I^2 . R_1 ; P_2 = I^2 . R_2 \ ; P_n = I^2 . R_n$$

Pengukuran tegangan dan arus rangkaian seri adalah seperti gambar 3.2 di bawah ini, dimana arus dipasang seri sedangkan tegangan dipasang paralel pada setiap resistor yang akan diukur.



Gambar 2. 4 Pengukuran Tegangan dan Arus Rangkaian Seri

Contoh 1:



3 buah resistor dengan besar 10 ohm, 15 ohm dan 30 ohm dihubungkan secara seri. Bila besar tegangan sumber rangkaian ini adalah 30 volt, berapakah resistansi tahanan total rangkaian ini ?

diketahui : R_1 = 10 ohm

R_2 = 15 ohm

R_3 = 30 ohm

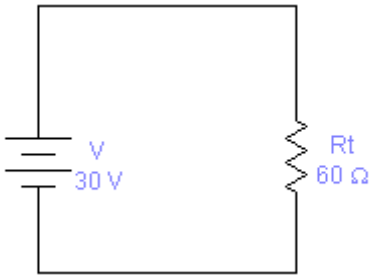
V = 30 volt

Ditanya : R total dan arus total rangkaian ?

Jawab:

$R_t = R_1 + R_2 + R_3$

= 10 ohm + 20 ohm + 30 ohm = 60 ohm

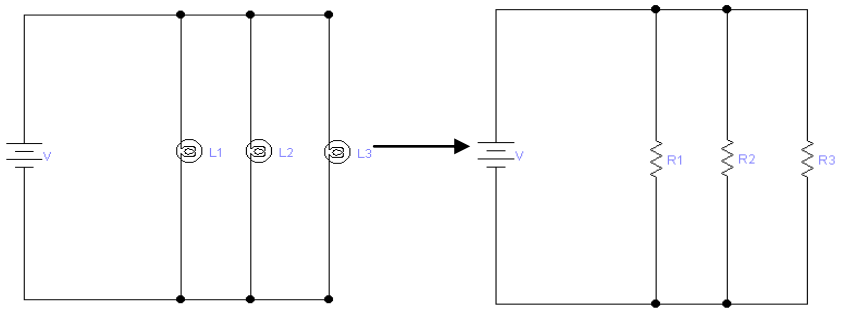


$$\overrightarrow{I_t}\quad It = \frac{V}{Rt} = \frac{30\ ohm}{60\ volt} = 0{,}5 Amper$$

→ Rangkaian pengganti

3.2. Rangkaian Paralel

Rangkaian paralel didefinisikan sebagai suatu rangkaian yang memiliki lintasan arus yang lebih dari satu dalam besar tegangan yang sama.



(a) (b)

Gambar 2. 5 Rangkaian Paralel (a) Rangkaian dasar (b) Rangkaian Pengganti

Didalam rangkaian parallel ada beberapa karakteristik / teorema yang berlaku, diantaranya:

1. Besar Resistansi total rangkaian adalah :

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

2. Besarnya arus total yang mengalir dalam rangkaian adalah sama dengan penjumlahan dari masing – masing cabang / lintasan.

$$I_t = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$$

3. Besarnya tegangan total adalah sama dengan tegangan dimasing – masing cabang / lintasan

$$V_t = V_1 = V_2 = \ldots = V_n$$

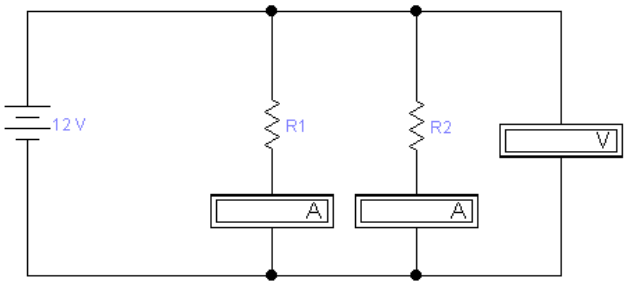
4. Besarnya arus dari masing – masing lintasan adalah :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \;;\; I_2 = \frac{V}{R_2} \;;\; I_n = \frac{V}{R_n}$$

5. Daya total rangkaian adalah sama dengan penjumlahan dari masing – masing resistor.

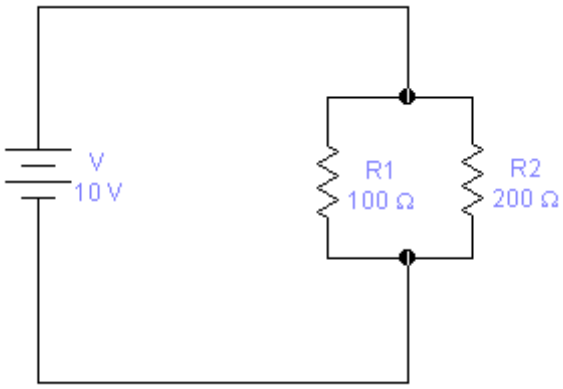
$$P_t = P_1 + P_2 + \ldots + P_n$$

Pengukuran tegangan dan arus rangkaian paralel adalah seperti gambar 2.6 di bawah ini,



Gambar 2. 6 Pengukuran Tegangan dan Arus Rangkaian Paralel

Hitunglah besarnya arus yang pada resistor 100 ohm dan 200 ohm pada rangkaian di bawah ini.



Diketahui: R_1 = 100 ohm

R_2 = 200 ohm

V = 10 volt

Ditanya: Arus pada masing – masing R ?

Jawab

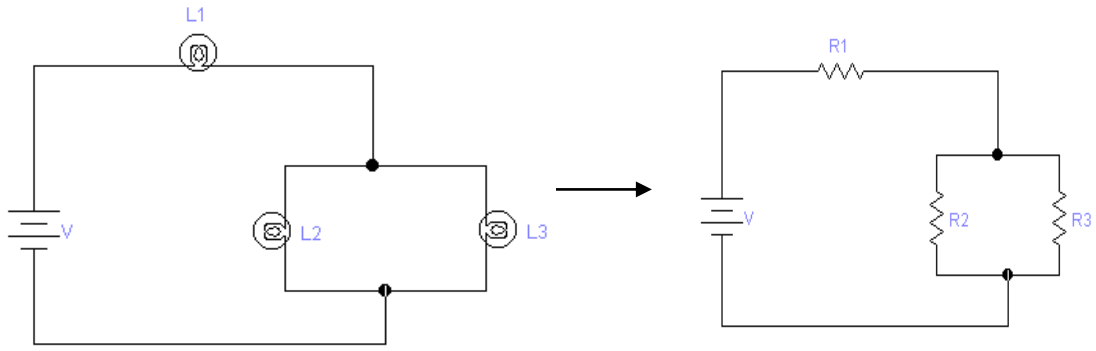
Karena harga tegangan adalah sama, maka kita dapat langsung menggunakan persamaan:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{10\ volt}{100\ ohm} = 0{,}1\ A$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{10\ volt}{200\ ohm} = 0{,}05\ A$$

3.3 Rangkaian Kombinasi Seri dan Paralel

Sejauh ini kita telah mendefinisikan dengan baik rangkaian seri dan paralel untuk mendapatkan harga resistansi total, tegangan, arus dan dayanya. Tapi di dalam kenyataannya terkadang suatu rangkaian listrik dapat merupakan suatu kombinasi dari rangkaian seri dan paralel. Perhatikan gambar 2.7 rangkaian di bawah ini:

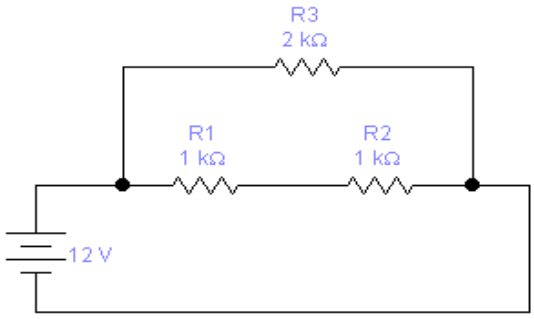


Gambar 2. 7 Rangkaian Kombinasi Seri dan Paralel

Beberapa langkah yang dapat kita lakukan untuk memecahkan suatu persoalan rangkaian kombinasi antara lain:

1. Gambarkan secara jelas dan sederhana diagram rangkaian kombinasi tersebut kemudian tentukan titik – titik percabangannya.
2. Setelah titik percabangan ditentukan, barulah kita menentukan setiap titik cabang tersebut merupakan suatu rangkaian seri atau paralel.
3. Tuliskan harga – harga yang diketahui
4. Bilamana rangkaian paralel merupakan bagian dari rangkaian seri terlebih dahulu dihitung harga resistansi pada rangkaian paralel dan kemudian rangkaian seri demikian sebaliknya bila rangkaian seri merupakan bagian dari rangkaian paralel, terlebih dahulu dihitung harga resistansi pada rangkaian seri dan baru kemudian rangkaian paralel.
5. Tentukan semua persamaan – persamaan yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan kemudian selesaikan berdasarkan teorema rangkaian seri dan paralel di atas.

Tentukanlah daya total dan daya dari masing – masing resistansi rangkaian di bawah ini:



Diketahui : R_1 = 1 Kohm

R_2 = 1 Kohm

R_3 = 2 Kohm

V = 12 Volt

Ditanya: daya total dan daya pada masing-masing R?

Jawab:

Terlihat bahwa R1 dan R2 membentuk rangkaian seri sehingga,

$R_t = R_1 + R_2$ = 1 Kohm + 1 Kohm = 2 Kohm

Hasil ini kemudian di paralelkan dengan R_3

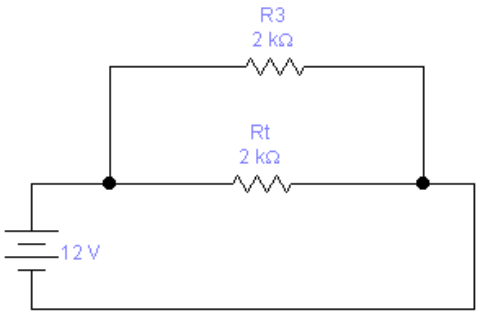
$$\frac{1}{R_{tt}} = \frac{1}{Rt} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{tt} = \frac{R_t.R_3}{R_t + R_3} = \frac{2\ Kohm.2\ Kohm}{2\ Kohm + 2\ Kohm} = 1\ Kohm$$

Arus total rangkaian adalah

$$I = \frac{V}{R_{tt}} = \frac{12\ volt}{1\ Kohm} = 12\ mA$$

Bila dilihat dari gambar terlihat bahwa arus total ini terbagi sama rata rangkaian parallel



$I_1 = I_2 = 0{,}5 \times I = 0{,}5 \times 12\ mA = 6\ mA$

Daya pada R3 adalah:

$P_3 = V.\ I_1 = 12 \times 6\ mA = 72\ mW.$

Sedangkan untuk daya pada R_1 dan R_2 adalah:

$P_1 = I_2^2\ .\ R_1 = (6 \times 10^{-3})^{\ 2}\ A(1\ Kohm) = 36\ mW$

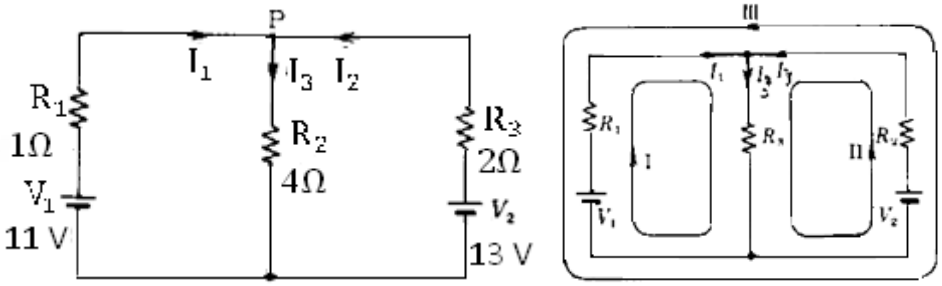
$P_2 = I_2^2\ .\ R_2 = (6 \times 10^{-3})^{\ 2}\ A(1\ Kohm) = 36\ mW$

P total rangkaian adalah :

$P_t = 72\ mW + 36\ mW + 36\ mW = 144\ mW$

1. **Hukum Kirchoff.**

   Untuk menganalisa suatu persoalan (permasalahan) pada rangkaian listrik yang kompleks penyelesaiannya dengan menggunakan Hukum Ohm sering sekali tidak dapat diselesaikan. Contoh seperti yang diperlihatkan pada gambar rangkaian 2.8, bila kita ingin menentukan arus yang mengalir pada masing-masing tahanan, dengan menggunakan Hukunm Ohm tidak tahu apa yang harus kita kerjakan.



Gambar 2. 8 rangkain pararel dengan dua sumber tegangan

Untuk menganalisa rangkaian listrik yang agak kompleks seperti diatas harus menggunakan Hukum Kirchoff, yang mana hukum tersebut ada 2 adalah sebagai berikut :

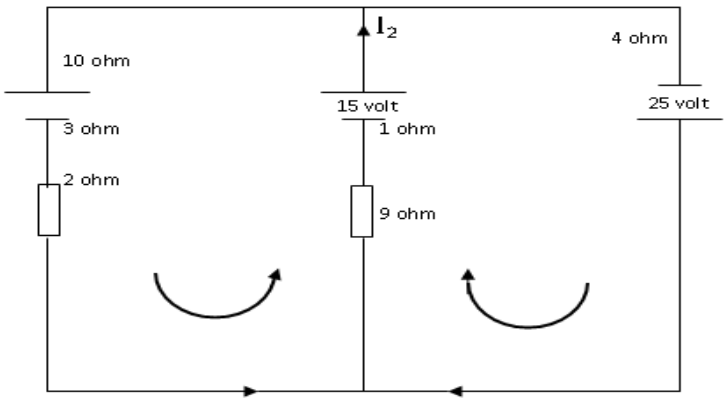
Hukum Kirchoff I : *Perjumlahan arus yang masuk/menuju suatu titik didalam suatu rangkaian listrik adalah sama dengan nol.*

Hukum Kirchoff II : *Perjumlahan tegangan pada rangkaian tertutup didalam suatu rangkaian listrik adalah sama dengan nol.*

Jadi, Hukum Kirchoff I artinya semua yang menuju dan meninggalkan pada suatu titik sama dengan nol, dimana arus yang menuju suatu titik diberi tanda + (positip) dan arus yang meninggalkan suatu titik diberi tanda – (negatip).

Seperti yang telah dijelaskan diatas arus yang menuju suatu titik diberi tanda positip dan yang meninggalkan suatu titik diberi tanda negatip, bila sebaliknya arus yang menuju auatu titik diberi tanda negatip dan arus yang meninggalkan suatu titik diberi tanda positip maka hasilnyapun akan sama.
Prosedur penggunaan hukum-hukum Kirchoff dalam rangkaian listrik adalah sebagai berikut :

- Misalkan dan langsung menandai arah-arah arus listrik pada konduktor dalam rangkaian listrik. Dalam memisalkan penandaan arah-arah arus dimaksud, tidak perlu apakah itu benar atau tidak benar.
- Tentukan arah peninjauan rangkaian tertutup. Ini perlu mengingat tanda hasil kali RI akan diberi tanda positip jika arah tinjauan ini searah dengan arah permisalan arus di atas yang dijelaskan sebelumnya. Tetapi RI akan di beri tanda negatip jika arah tinjauan berlawanan dengan arah pemisahan arus.
- Pemberi tanda positip pada sumber tegangan (E) di lakukan jika arah tinjauan terlebih dahulu masuk pada kutup negatif dan kemudian keluar pada kutup positip, sebaliknya (E) diberi tanda negati[jika arah tinjauan terlebih masuk pada kutup positip dan kemudian keluar pada kutub negatip. Unruk lebih jelasnya perhatikan contoh analisa rangkaian di bawah ini menggunakan hukum Kirchoff.



Gambar 2. 9 Aliran arus

Tentukan arus listrik yang mengalir pada setiap resistor dalam rangkaian. Misalkan arah-arah arus I1, I2, dan I3 seperti gambar di atas. Dengan demikian maka menurut hukum Kirchoff.

$$I_1 + I_3 - I_2 = 0 \text{ ..... (1)}$$

Misalkan rangkaian-rangkaian tertutup dalam rangkaian listrik di atas adalah ; ADEFA, ADCBA DAN AFEDCBA. Dengan demikian maka menurut hukum kirchoff.

- Untuk arah tinjauan ADEFA diperoleh persamaan sebagai berikut : 9I2 + I2 (1) + 3I1 = 15 - 10 = 5 …..(2)
- Untuk arah tinjauan ADCBA

  9I2 + I2 (1) = 4I3 = 15 + 25 = 40 ……(3)
- Untuk arah tinjauan AFEDCBA

  -2I1 – 3I1 + 4I3 = 10 + 25 = 35 ……..(4)

Manipulir persamaan-persamaan diatas seperti berikut ini :

$$I_1 = I_2 - I_3$$

$$10I_2 + I_2 + 5I_1 = 5$$

$$10I_2 + 4I_3 = 40$$

$$10I_2 + 5 (I_2 - I_3) = 5$$

$$15I_2 - 5I_3 = 5$$

$$30I_2 - 10I_3 = 10$$

$$30I_2 + 12I_3 = 120$$

$$22I_2 = 110$$

$$I_3 = 5 \text{ A}$$

$$I_2 = 2 \text{ A}$$

$$I_1 = -3 \text{ A}$$

4.1 Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff berbunyi : “Di dalam sebuah rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik (ϵ) dengan penurunan tegangan (*I.R*) sama dengan nol. Maksud dari jumlah penurunan potensial sama dengan nol adalah tidak ada energi listrik yang hilang dalam rangkaian tersebut, atau dalam arti semua energi listrik bisa digunakan atau diserap.

$$V = 0 \; atau \; \varepsilon + I\,R = 0$$

Hukum II Kirchhoff dirumuskan sebagai

ΣE +ΣIR = 0

Keterangan :

Σ*E = jumlah ggl sumber arus (V)*

Σ*IR = jumlah penurunan tegangan. (V)*

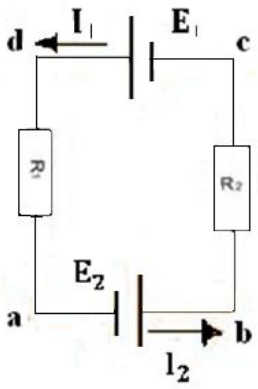
I = arus listrik (A)

R = hambatan (W)

Penggunaan Hukum II Kirchhoff adalah sebagai berikut:

1. Pilih rangkaian untuk masing-masing lintasan tertutup dengan arah tertentu. Pemilihan arah loop bebas, tapi jika memungkinkan diusahakan searah dengan arah arus listrik.
2. Jika pada suatu cabang, arah loop sama dengan arah arus, maka penurunan tegangan (IR) bertanda positif, sedangkan bila arah loop berlawanan arah dengan arah arus, maka penurunan tegangan (IR) bertanda negatif.
3. Bila saat mengikuti arah loop, kutub sumber tegangan yang lebih dahulu dijumpai adalah kutub positif, maka gaya gerak listrik bertanda positif, sebaliknya bila kutub negatif maka penurunan tegangan (IR) bertanda negatif.

Hukum *Kirchhoff* pada Rangkaian Satu Loop - Dengan menerapkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff I, kalian dapat mencari besar arus dan tegangan pada rangkaian dengan satu sumber tegangan. Namun, bagaimanakah kita mencari arus dan tegangan jika pada rangkaian terdapat lebih dari satu sumber tegangan? Perhatikan Gambar 2.10 skema rangkaian tertutup dengan dua sumber tegangan dan dua hambatan berikut ini.



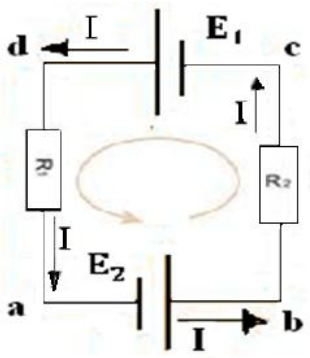
Gambar 2. 10 Skema rangkaian tertutup dengan dua sumber tegangan

Kita dapat mencari besar arus dan tegangan pada resistor dengan menggunakan prinsip Hukum Kirchoff II yang telah dipaparkan sebelumnya.

Perhatikan kembali rangkaian pada Gambar 2.11. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian tertutup dengan loop tunggal (1 loop). Untuk menganalis rangkaian tersebut, kita dapat menggunakan hukum Kirchoff II dengan mengikuti langkah berikut.

a. Memilih arah loop. Agar lebih mudah, arah loop dapat ditentukan searah dengan arah arus yang berasal dan sumber tegangan yang paling besar dan mengabaikan arus dan sumber tegangan yang kecil (ingat, arah arus bermula dan kutub positif menuju kutub negatif).
b. Setelah arah loop ditentukan, perhatikan arah arus pada percabangan. Jika arah arus sama dengan arah loop, penurunan tegangan (IR) bertanda positif. Namun, jika arah arus berlawanan dengan arah loop, IR bertanda negatif.
c. Jika arah loop menjumpai kutub positif pada sumber tegangan lain, maka nilai E positif. namun, jika yang dijumpai lebih dulu adalah kutub negatif, maka E bertanda negatif.

nah, dengan mengikuti langkah di atas, mari kita analisis bersama rangkaian tersebut. Pada rangkaian tersebut, jika E2>E1, kita dapat menentukan arah loop sebagai berikut.



Gambar 2. 11 penentuan arah arus pada loop

(arah loop dan a—b–c—d—a.)

Setelah menentukan arah loop, kita dapat menerapkan hukum Kirchhoff II sebagai berikut.

IR2 – E1 + IR1 – E2 = 0

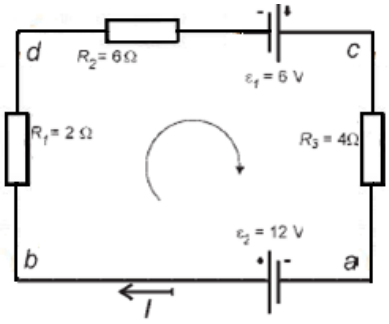
I(R1 + R2) = E1 + E2

Jadi kuat arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah :

I = (E1 + E2) / (R1 + R2)

Contoh soal Penggunaan Hukum II Kirchhoff

1. Suatu rangkaian seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini, dengan hukum Kirchhoff II hitunglah arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut.



Gambar 2. 12 penerapkan hukum II Kirchhoff

Loop satu cara penyelesaiannya adalah

1. Dipilih loop abdca, dengan arah dari a – b – d – c – a

2. Dengan menerapkan hukum II Kirchhoff: Σε + Σ(IR) = 0 dan memperhatikan aturan yang disepakati tentang tanda-tandanya, sehingga diperoleh:

   $-\varepsilon_2 + I R_1 + I R_2 - \varepsilon_1 + I R_2 = 0$ atau

   $-\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I(R_1 + R_2 + R_3) = 0$ atau

   $I = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (R_1+R_2+R_3) = (12 + 6) / (2 + 6 + 4) = 1{,}5A$

   Jadi, **arus yang mengalir adalah 1,5 A dengan arah dari a – b – d – c – a.**

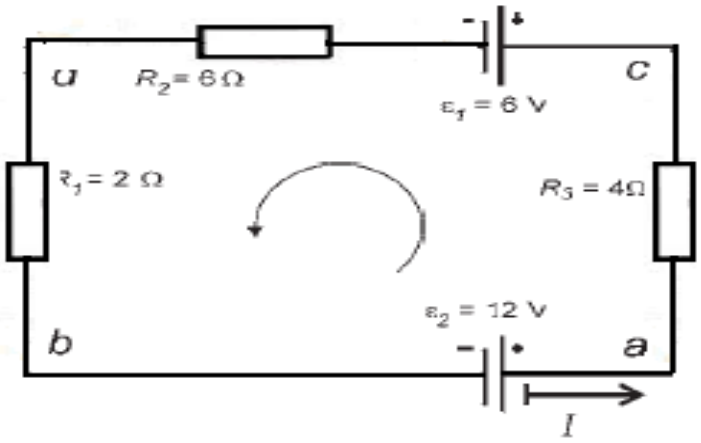
*) **Untuk contoh soal nomer 2**

1. Dipilih loop acdb, dengan arah dari a – c – d – b – a.
2. Dengan menetapkan hukum II Kirchhoff: Σε + Σ(IR) = 0 dan memperhatikan aturan yang disepakati tentang tanda-tandanya, sehingga diperoleh:

   $-\varepsilon_2 + I R_1 + I R_2 + \varepsilon_1 + I R_3 = 0$ atau

   $-\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I(R_1 + R_2 + R_3) = 0$ atau

   $I = (-\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (R_1+R_2+R_3) = (-6 + 12) / (2 + 6 + 4) =$ **0,5 A**
3. Suatu rangkaian seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini, dengan hukum II Kirchhoff, hitunglah arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut!



Gambar 2. 13 penerapkan hukum II Kirchhoff

*) **Untuk contoh soal nomer 1**, cara penyelesaiannya adalah

1. Dipilih loop abdca, dengan arah dari a – b – d – c – a
2. Dengan menerapkan hukum II Kirchhoff: $\Sigma\varepsilon + \Sigma(IR) = 0$ dan memperhatikan aturan yang disepakati tentang tanda-tandanya, sehingga diperoleh:

   $-\varepsilon_2 + I R_1 + I R_2 - \varepsilon_1 + I R_2 = 0$ atau

   $-\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I(R_1 + R_2 + R_3) = 0$ atau

   $I = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (R_1+R_2+R_3) = (12 + 6) / (2 + 6 + 4) = 1{,}5A$

   Jadi, **arus yang mengalir adalah 1,5 A dengan arah dari a – b – d – c – a.**

*) **Untuk contoh soal nomer 2,**

1. Dipilih loop acdb, dengan arah dari a – c – d – b – a.
2. Dengan menetapkan hukum II Kirchhoff: $\Sigma\varepsilon + \Sigma(IR) = 0$ dan memperhatikan aturan yang disepakati tentang tanda-tandanya, sehingga diperoleh:

   $-\varepsilon_2 + I R_1 + I R_2 + \varepsilon_1 + I R_3 = 0$ atau

   $-\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + I(R_1 + R_2 + R_3) = 0$ atau

   $I = (-\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / (R_1+R_2+R_3) = (-6 + 12) / (2 + 6 + 4) =$ **0,5 A**

Rangkaian dengan Dua Loop atau Lebih **-** Rangkaian yang memiliki dua loop atau lebih disebut juga rangkaian majernuk. Langkah-langkah dalam menyelesaikan rangkaian majemuk adalah sebagai berikut.

a. Gambarlah rangkaian listrik majemuk tersebut.

b. Tetapkan arah kuat arus untuk setiap cabang,

c. Tulislah persaman-persarmaan arus untuk tiap titik cabang menggunakan Hukum IKirchhoff

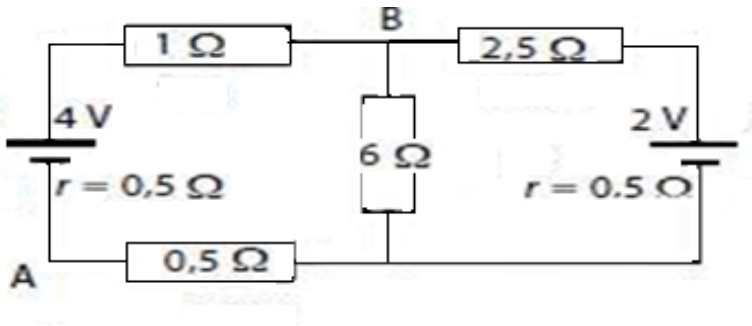
d. Tetapkan loop beserta arahnva pada setiap rangkaian tertutup.

e. Tulislah persarnaan-persamaan untuk setiap loop rnenggunakan Hukurn II Kirchhoff

f. Hitung besaran-besaran yang ditanyakan menggunakan persarnaan-persamaan pada langkah e.

Contoh menghitung Rangkaian dengan Dua Loop atau Lebih

1. Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut:



Gambar 2. 14 Rangkaian majemuk

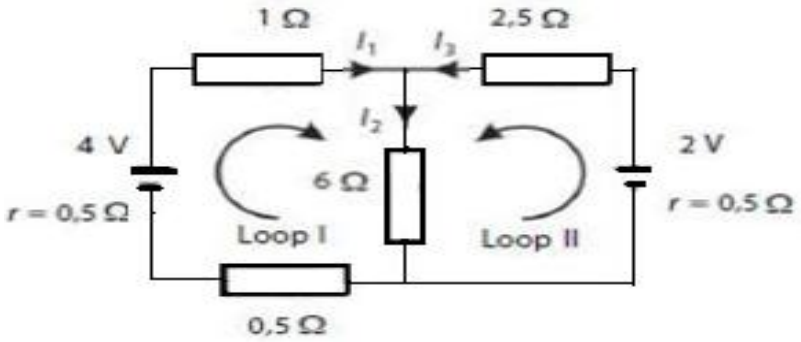
Ditanya:

a. Kuat arus yang mengalir dalam hambatan 1Ω, 2,5Ω dan 6Ω

b. beda potensial antara titik A dan B

*) Untuk penyelesaian contoh soal loop 2 pada (Gambar 2.38)

Rangkaian pada soal bisa diubah menjadi seperti gambar berikut



Gambar 2. 15 Rangkaian majemuk

a. berdasarkan Hukum I Kirchhoff,

$I_1 + I_3 = I_2$ atau $I_1 = I_2 - I_3$ .....(1)

Berdasarkan hukum II Kirchhoff untuk loop I diperoleh

$\Sigma E + \Sigma IR = 0$

$-4 + (0,5 + 1 + 0,5)I_1 + 6I_2 = 0$

$I_1 + 3I_2 = 2$ ..... (1)

Berdasarkan hukum Kirchhoff II, untuk loop II diperoleh

$\Sigma E + \Sigma IR = 0$

$2 – (2,5 + 0,5)I_1 + 6I_2 = 0$

$3I_3 – 6I_2 = 2$ ……. (3)

Substitusikan persamaan (1) ke (2), sehingga diperoleh

$I_1 = 6/9$ A

$I_2 = 4/9$ A dan $I_3 = -2/9$ A

Jadi, kuat arus yang mengalir pada hambatan 1Ω adalah 2/9 A, yang mengalir pada hambatan 2,5Ω adalah 4/9 A, dan yang mengalir pada hambatan 6Ω adalah 2/9 A (tanda

(–) menunjukan bahwa arah arus berlawanan arah dengan arah pemisalan.

5.Daya dan Energi Listrik

Pada setiap bulan ke rumah-rumah kita selalu datang tagihan rekening listrik, karena energi listrik yang kita gunakan, berapa kilowatt jam (kwh) dikalikan dengan nilai rupiah/kwh harus dibayar.

Jadi, mengapa energi listrik yang kita gunakan harus dibayar !. Jika kita bekerja sudah tentu akan menerima upah, dengan demikian sama, ini yang menjadi alasan seperti halnya pertanyaan diatas mengapa energi listrik harus dibayar. Pendek kata, karena kita menerima energi listrik yang bekerja untuk itu harus membayarnya.

Pada saat energi listrik bekerja, pertama-tama yang timbul pada pikiran kita adalah energi panas karena disetiap rumah-rumah tangga kebanyakan menggunakan peralatan listrik seperti : pemanas listrik, pemasak nasi (rice cooker) dan sebagainya. Peralatan listrik tersebut memanfaatkan energi listrik yang dirudah menjadi energi panas. Sudah tentu energi listrik yang digunakan tidak hanya dirubah menjadi energi panas, akan tetapi dapat pula dirubah menjadi energi mekanik dan energi cahaya.

Sementara itu, pada saat membayar besar kecilnya jumlah energi listrik yang bekerja sudah tentu akan menjadi salah satu masalah. Maka diperlukan untuk menentukan besar kecilnya jumlah energi listrik yang bekerja. Untuk menentukan jumlah tersebut harus terdapat satuan.

Seperti yang telah kita ketahui bahwa energi yang bekerja adalah satuannya Joele dengan simbol (J). Dimana, 1 J sama dengan energi yang bekerja pada suatu benda yabg digerakkan oleh tenaga 1 N (Newton)dengan jarak 1 m. Jadi energi yang bekerja pada benda yang digerakkan kesuatu arah terdiri dari perkalian tenaga (N) dengan jarak (m), dengan demikian satuannya adalah N x m (Nm) (Newtonmeter). Sehubungan dengan itu, 1 (N) artinya pada benda seberat 1 kg diberikan tenaga percepatan sebesar 1 (m/s2).

Contohnya pemanas elektrik, lampu, dan TV, selalu dinyatakan dalam watt (W).Selain itu ada juga motor yang biasanya dinyatakan dalam satuan horsepower (disingkat HP) atau dalam bahasa Indonesia adalah tenaga kuda. Kita tahu bahwa semakin besar rating watt suatu peralatan, maka semakin besar energi yang dibutuhkan per satuan waktu. Pada (a), semakin besar rating daya dari lampu, semakin banyak energi cahaya yang dihasilkan per detiknya. Pada (b), semakin besar rating daya suatu pemanas, semakin banyak energi panas yang dihasilkan per detiknya. Pada (c), semakin besar nilai rating daya suatu motor, semakin besar kerja mekanis yang dapat dihasilkan per detiknya.

Gambar 2. 16 Konvensi energi

Seperti yang anda ketahui, daya berhubunggan dengan energi, yang merupakan kapasitas untuk melakukan kerja. Secara umum, daya didefinisikan sebagai laju dalam mengerjakan sesuatu, sama dengan, laju transfer energi.

Simbol daya adalah P.

Ditulis

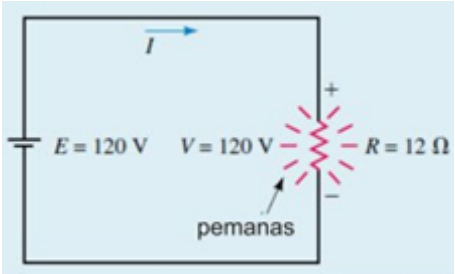
P = W/t [watt, W]

Dimana

W adalah kerja (atau energi) dalam Joule

t adalah selang waktu dalam detik.

Satuan SI untuk daya adalah watt. Dari persamaan kita lihat bahwa P juga memiliki satuan Joule per detik. Jika kita mensubsitusikan W = 1 J dan t = 1 detik, anda akan mendapatkan P = 1 J/ 1detik. Dari sini, kita dapatkan bahwa satu watt adalah satu Joule per detik. Ada juga satuan daya yang lainnya yaitu *horsepower*, dimana 1 hp = 746 watt.



Gambar 2. 17 Konvensi energi listrik menjadi panas

Contoh

Hitunglah power yang disuplai ke pemanas elektrik pada gambar 2.17 menggunakan rumus daya listrik

Gambar 2.17 : Daya yang dikirim ke beban (misal pemanas) dapat dihitung dari rumus daya yang mana saja.

Solusi : I = V/R = 120 V / 12 Ω = 10 A.. Sehingga, dayanya dapat dihitung dengan cara

P = VI = (120 V) (10 A) = 1200 W, atau

$P = I^2 R = (10\ A)^2\ (12\ \Omega) = 1200$ W, atau

$P = V^2/R = (120\ V)^2\ /12\ \Omega = 1200$ W

Ketiga rumus memberikan hasil yang sama.

Contoh

Tentukan total energi yang digunakan dari lampu 100-W yang digunakan selama 12 jam dan pemanas 1.5 kW yang digunakan selama 45 menit.

Solusi:

Ubah semua besaran dalam satuan yang sama, konversikan 1.5 kW menjadi 1500 W dan 45 menit menjadi 0.75 h. Lalu,

W = (100 W) (12 h) + (1500 W) (0.75 h) = 2325 Wh = 2.325 kWh

Contoh

Misal anda menggunakan beberapa peralatan listrik : sebuah pemanas 1.5 kW selama 7.5 jam, sebuah pemanas air 3.6 kW selama 17 menit, 3 buah lampu 100-W selama 4 jam, sebuah pemanggang 900 W selama 6 menit. Apabila biaya per kilowatthour nya adalah $0.09, berapa yang harus anda bayar?

Solusi : Ubah waktu menit menjadi jam. Sehingga

W = (1500) (7.5) + (3600) (17/60) + (3) (100) (4) + (900) (6/60) = 13 560 Wh = 13.56 kWh

harga yang harus dibayar = (13.56 kWh) ($0.09/kWh) = $1.22

Selain itu ada juga satuan mega joule (MJ) yang digunakan untuk menggantikan kWh, dimana 1kWh = 3.6 MJ.

Rangkaian Arus Bolak-Balik (AC)

2.1 Konsep Dasar Arus Bolak-balik

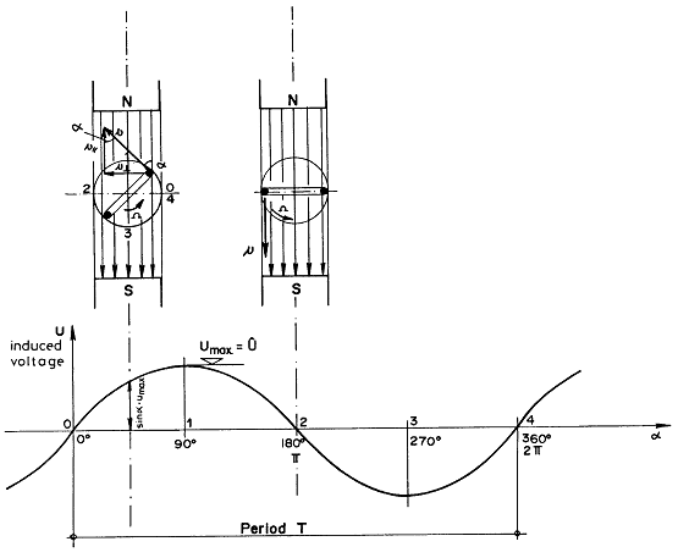
Seperti diketahui bahwa dalam teknik listrik dikenal ada dua jenis arus listrik, yaitu arus searah (*Direct Current*) yang disingkat dengan *DC* dan arus bolak-balik (*alternating Current*) yang disingkat dengan *AC*. Secara sederhana arus bolak-balik dapat didefinisikan sebagai berikut :

Arus bolak-balik adalah arus listrik yang arah serta besarnya berubah secara berkala seiring dengan perubahan waktu.

2.1.1 Pembangkitan arus bolak-balik

Prinsip terbangkitnya gaya gerak listrik (ggl) adalah merupakan peristiwa induksi. Dimana apabila sebuah batang penghantar digerak-gerakkan dalam medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan terbangkit ggl induksi. Besarnya ggl yang terbangkit seperti yang ditemukan oleh Tuan Faraday, ditentukan oleh cepatnya perubahan, fluxi magnet yang dilingkupi oleh penghantar tersebut.

Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.18 kumparan dengan panjang 1 (m), lebar 2r (m) yang memotong garis-garis gaya magnet kerapatan fluksi B (T), selanjutnya kumparan tersebut digerakkan (diputarkan) dengan kecepatan sudut ω (rad/s) maka pada kumparan tersebut pada setiap setengah putaran terjadi perubahan besar dan arah ggl. Sehingga terbangkit ggl induksi.



Gambar 2. 18

Sekarang perhatikan gambar 2.18 bagaimana terbangkitnya ggl induksi *e (V)*. Karena kecepatan sudut w maka sudut θ rad terhadap sumbu *X-X*^{1} adalah :

$$\theta = \omega t \ (rad)$$

dimana jari-jari kumparan α (m), maka kecepatan sudut *v (m/s)* adalah :

$$v = \omega r \ (m/s)$$

Kecepatan sudut v^1 *(m/s)*yang memotong langsung garis-garis gaya magnet adalah :

$$v^1 = v \sin \omega t \ (m/s)$$

Sehingga ggl induksi *ea, eb (v)* yang dibangkitkan adalah :

$$e_a = e_b = B\, v^1 = B\, v \sin \omega t \ (v)$$

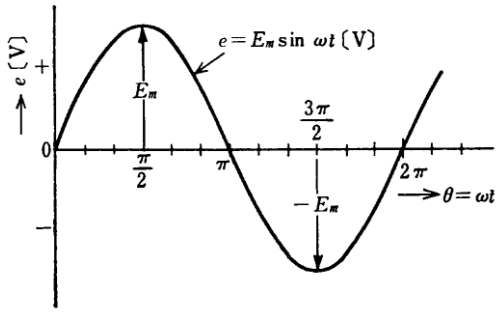
Ggl e antara siakt-sikat yang diperlihatkan pada gambar 2.18 adalah :

$$e = e_a + e_b = 2B\, v \sin \omega t \ (v)$$

dimana nilai maksimum ggl $E_m = 2B\, v \ (v)$, sehingga :

$$e = E_m \sin \omega t \ (v)$$

Berdasarkan uraian diatas dapat dimengerti bahwa, jika kumparan pada gambar 2.18 diputar sejauh 2π radian, maka teganagn yang terbangkit akan berbentuk gelombang sinus seperti yang ditunjukan pada gambar 2.19.



Gambar 2. 19.

Dari gambar 2.19 diatas jelas terlihat bahwa tegangan akan mencapai harga maksimum pada saat wt sama dengan $\pi/2$ rad dan $3\pi/2$ rad. Karena pada saat ini harga sinus sama dengan satu. Harga maximum disebut juga harga puncak (peakvalue) atau amplitudo. Sedangkan harga dari maksimum positif ke maksimum negatif disebut harga puncak ke puncak (*peak to peak*).

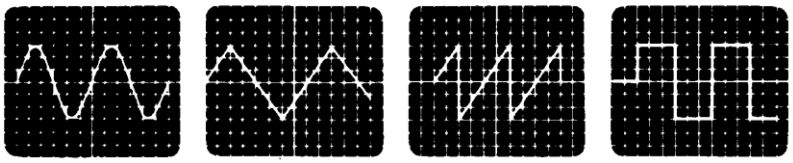
2.1.2 Bentuk Gelombang Arus Bolak-Balik

Bertolak dari pengertian arus bolak-balik di atas, kiranya dapat dipahami bahwa, karena besar dan arahnya berubah setiap saat, maka arus bolak-balik tidak akan berbentuk garis lurus, tetapi berbentuk gelombang.

Bentuk gelombang arus bolak-balik yang lazim dikenal ada tiga jenis, yaitu :

a. Bentuk Gelombang Sinusioda
b. Bentuk Gelombang Kotak
c. Bentuk Gelombang Segitiga

Penggunaan bentuk gelombang kedua dan ketiga banyak ditemukan pada teknik elektronika. Sedangkan dalam teknik listrik arus kuat yang paling sering digunakan adalah bentuk yang pertama yaitu gelombang sinusioda.

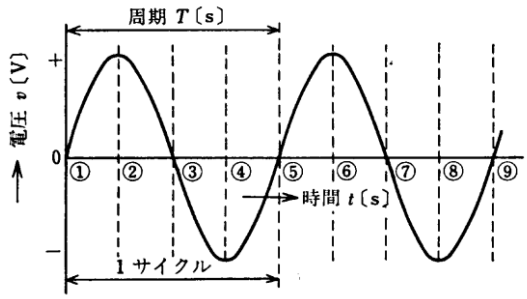


Gambar 2. 20.

2.1.3 Perioda dan Frekuensi

Perioda arus bolak-balik didefinisikan sebagai berikut : “Perioda adalah waktu yang dibutuhkan oleh satu gelombang penuh untuk merambat (perhatikan gambar 2.21 Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.21 arus bolak-balik bentuk gelombangnya berubah-ubah secara priodik, perubahan dari 1 sampai 5 atau dari 2 sampai 6 disebut 1 cycle, perubahan ini bila dihubungkan dengan waktu *T (s)* disebut periode. Sedangkan frekuensi didefinisikan sebagai berikut :

Frekuensi adalah banyaknya gelombang penuh yang terbangkit dalam satu detik.



Gambar 2. 21

Dari dua definisi di atas dapat dimengerti bahwa, jika suatu gelombang arus bolak-balik mempunyai periode sebesar T detik maka banyaknya gelombang penuh yang terbangkit setiap detiknya adalah :

$$f = \frac{1}{T}$$

dimana : f = frekwensi dalam cycle/detik atau *Hertz (Hz)*

T = periode dalam detik

Karena sudut yang ditempuh oleh suatu gelombang penuh adalah 2π radian, sedangkan waktu menempuh sudut tersebut adalah *T*, maka secara matematik hubungan ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$2\pi = \omega T$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Karena : $T = \frac{1}{T}$

Maka : $\omega = 2\pi f$

2.1.4 Harga Rata-rata dan Harga Efektif

Seperti diketahui bahwa arus bolak-balik tidak mempunyai harga yang konstan, melainkan berubah berkala seiring dengan perubahan waktu. Sehingga dapat dimengerti bahwa arus bolak-balik tersebut akan berbentuk gelombang. Salah satu

dari bentuk gelombang arus bolak-balik yang lazim dikenal adalah gelombang sinus, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.21.

Harga tegangan *e (v)* di atas jelas berubah-ubah tergantung waktu t, sehingga harga ini disebut dengan harga sesaat yaitu harga pada saat t tertentu. Sedangkan harga pada saat tegangan mencapai harga tertinggi disebut harga maximum atau harga puncak (*peak value*) atau disebut juga dengan amplitudo. Disamping itu dikenal pula harga puncak ke puncak atau harga *peak to peak*, yaitu harga dari maksimum positip ke maksimum negatif. Namun yang lebih banyak dipergunakan dalam perhitungan-perhitungan adalah harga arus bolak-balik yang dikenal dengan harga rata-rata dan harga efektif.

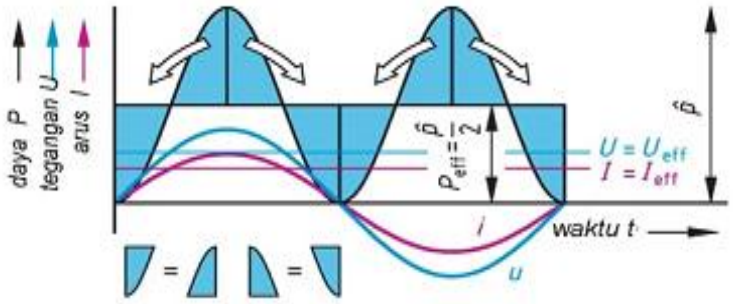
2.1.5 Harga Rata-rata (Averange Value)

Yang dimaksud dengan harga rata-rata arus bolak-balik adalah seperti definisi berikut ini :

Harga rata-rata arus bolak-balik adalah harga arus bolak-balik yang setara dengan suatu harga arus rata (arus dc) yang dalam waktu yang sama dapat memindahkan sejumlah listrik yang sama.

*S*eperti yang diperlihatkan pada gambar 2.22 harga sesaat dari bentuk gelombang sinus selama setengah perioda dirata-ratakan, dengan kata lain nilai sesaat garis lengkung tersebut menjadi nilai rata-rata, dengan notasi E_{av} atau I_{av}. Sehingga hubungan antara nilai maksimum E_m, I_m dan nilai rata-rata E_{av}, I_{av} sebagai berikut :

$$E_{av} = \frac{2}{\pi} E_m , I_{av} = \frac{2}{\pi} I_m$$



Gambar 2. 22.

Harga Efektif (*Root Mean Square/RMS Value*)

Harga arus bolak-balik yang ekivalen dengan harga arus searah yang didasarkan kepada ukuran tenaga dikenal sebagai harga efektif (harga sesungguhnya dari arus bolak-balik). Dengan demikian harga efektif arus bolak-balik dapat didefinisikan sebagai berikut :

Harga efektif arus bolak-balik adalah arus bolak-balik yang ekivalen dengan sebuah harga arus searah yang dalam waktu yang sama dapat menimbulkan sejumlah tenaga yang sama pada tahanan yang sama

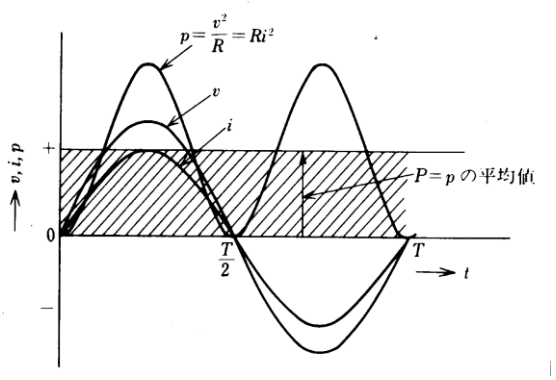
, jika saklar S dihubungkan pada posisi terhubung, sehingga daya *P (W)* yang ditunjukan oleh watt meter adalah :

$$p = VI = \frac{V^2}{R} = RI^2(W)$$

Selanjutnya, saklar S dihubungkan pada posisi terhubung, maka daya *P (W)* yang ditunjukan oleh watt meter merupakan daya yang dibutuhkan oleh tahanan R yang dihubungkan dengan nilai sesaat tegangan *v (V)* dan dialiri nilai sesaat arus *i (A)*, maka dengan *p (W)* adalah :

$$p = vi = \frac{V^2}{R} = Ri^2$$

Garis lengkung p pada gambar 1-6 merupakan kwadrat dari *v, i.*



Gambar 2. 23.

Pada saat itu, daya *P* yang ditunjukan oleh watt meter adalah nilai rata-rata dengan *p*, maka:

$$P = \frac{V^2}{R}\left(nilai\ rata-rata\right) = Ri^2\left(nilai\ rata-rata\right)$$

sehingga :

$$P = RI^2 = Ri^2$$

$$\therefore I = \sqrt{i^2}$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{V^2}{R}$$

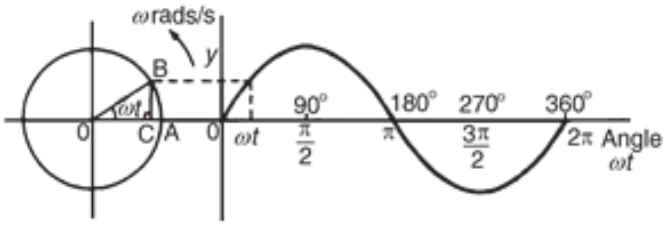
$$\therefore V = \sqrt{v^2}$$

Hubungan antara nilai maksimum dan nilai efektif sebagai berikut :

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m, V = \frac{1}{\sqrt{2}} V_m$$

2.1.6 Persamaan bentuk gelombang sinusiodal.

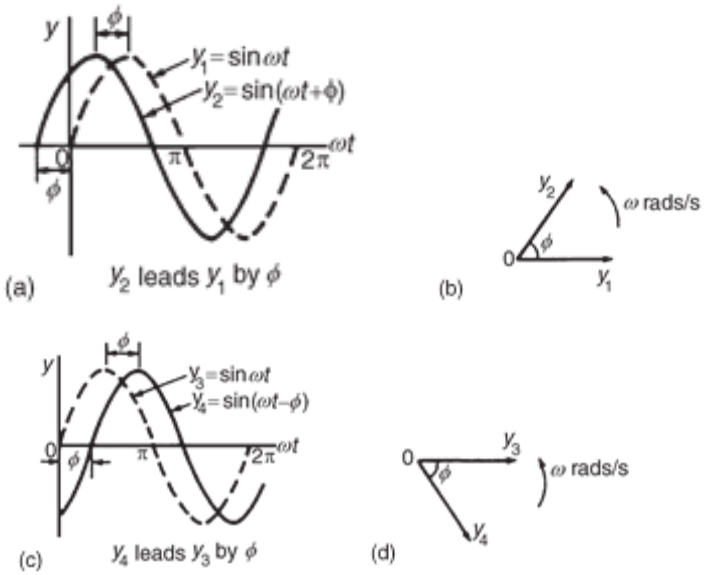
Pada gambar 2.24 OA menyatakan vektor dengan bebas berputar arahnya berlawanan dengan jarum jam dengan kecepatan sudut *ω rad/s*. Putaran vektor diketahui sebagai phasor.



Gambar 2. 24.

Setelah waktu *t* vektor OA berputar melalui sudut *ωt*. Jika garis BC dibangun tegak lurus terhadap OA seperti yang ditunjukan, selanjutnya

$$\sin \omega t = \frac{BC}{OB} \ , \qquad BC = OB \sin \omega t$$



Gambar 2. 25.

Jika semua komponen vertikal diproyeksikan pada grafik y terhadap sudut ωt (dalam radian), nilai maksimum resultan kurva sinis OA. Kuantitas perubahan gelombang sinus dapat dinyatakan sebagai phasor.

Kurva sinus tidak selalu dimulai dari 0^0. Untuk menunjukan fungsi prioda adalah dinyatakan dengan $y = \sin(\omega t \pm \phi)$, dimana Φ perbedaan phasa (sudut) dibandingkan dengan $y = \sin \omega t$. Pada gambar 2.25(a), $y_2 = \sin(\omega t \pm \phi)$,

mendahului Φ radian dari $y_1 = \sin \omega t$. Dan ini disebut y_1 lead Φ radian. Phasor y_1 dan y_2 seperti yang ditunjukan pada gambar 2.25(b) bila waktu t = 0.

Pada gambar 2.25(c), $y_4 = \sin(\omega t \pm \phi)$ tertinggal $y_3 = \sin \omega t$. Dan ini disebut y_1 mendahului Φ radian. Phasor y_3 dan y_4 seperti yang ditunjukan pada gambar 2.25 (d) bila waktu t = 0.

Jadi tegangan sinusioda, $v = V_m \sin(\omega t \pm \Phi)$, selanjutnya

(a). Amplitude atau nilai maksimum = V_m

(b). Nilai puncak ke puncak = *2 Vm*

(c). Kecepatan = ω rad/s

(d). Waktu perioda, $T = 2\pi/\omega$ detik

(e). Frekwensi, $f = \omega/2\pi \; Hz \; (dimana \; \omega = 2\pi f)$

(f). Φ = sudut mendahului atau tertinggal (dibandingkan dengan $v = V_m \; Sin\omega t$)

Contoh soal 1 : tegangan bolak-balik $v = 282.8 \sin 314t \; volt$. Tentukan (a) tegangan rms, (b) frekuensi dan (c) nilai sesaat tegangan bila t = 4 ms.

(a) Pernyataan secara umum untuk tegangan bolak-balik adalah,

$v = V_m \sin(\omega t \pm \phi)$

Bandingkan $v = 282.8 \sin 314t$ dengan pernyataan secara umum bahwa tegangan maksimum adalah 282.8 V

Maka tegangan rms,

$V_{rms} = 0.707 \; x \; nilai \; maksimum = 0.707 \; x \; 282.8 = 200V$

(b) Kecepatan sudut,

$\omega = 314 \; rad/s, \quad 2\pi f = 314$

$f = \dfrac{314}{2\pi} = 50 \; Hz$

(c) Bila t = 4 ms,

$v = 282.8 \sin(314x4x10^{-3}) = 282.8 \sin(1.256) = 268.9 \; V$

2.2 Rangkaian Arus Bolak-balik Seri

2.2.1 Rangkaian Arus bolak-balik dengan Tahanan

Gambar 2.26, memperlihatkan rangkaian hanya terdiri dari sebuah tahanan (R) dan anggaplah dihubungkan dengan sumber tegangan *v* :

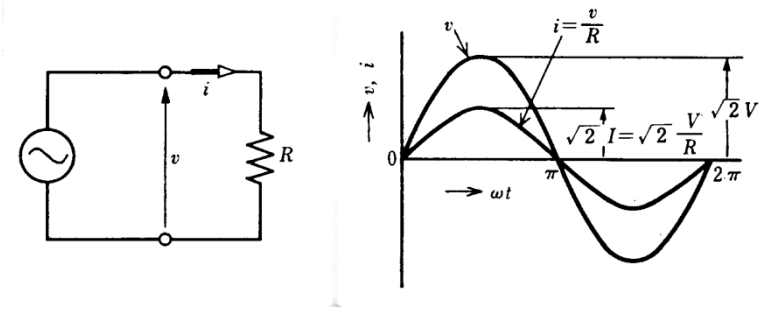
$$v = \sqrt{2}\,V \sin \omega t$$

sehingga mengalir arus (i) :

dari persamaan di atas, $\sqrt{2}\,V/R$ merupakan arus maksimum (I_m).

Sehingga nilai efektifnya I (A) menjadi persamaan sebagai berikut :

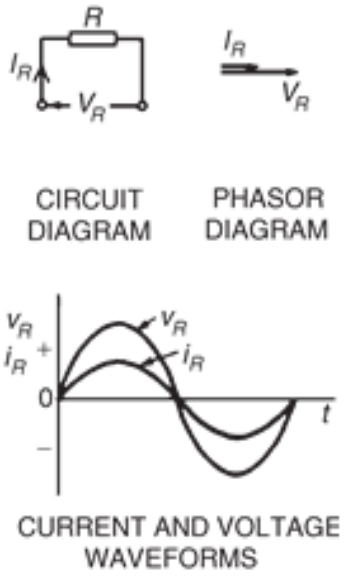
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{V}{R}(A)$$



Gambar 2. 26. Rangkaian dengan tahanan.

Gambar 2.26 b memperlihatkan bentuk gelombang hubungan v dan I pada saat itu. Dengan demikian pada rangkaian terdiri dari tahanan yang disuplai oleh tegangan bolak-balik, tegangannya sefasa dengan arus yang mengalir, besarnya seperti yang dituliskan pada persamaan di atas, sama halnya pada rangkaian arus searah.

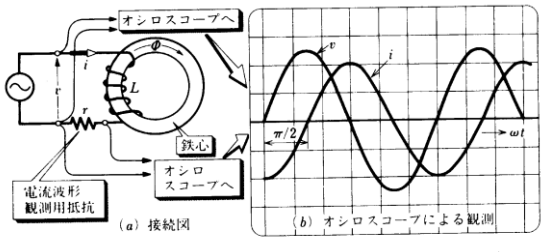
Hubungan arus dan tegangan bila digambarkan secara vektor diperlihatkan pada gambar 2.27.



Gambar 2. 27.

2.2.2 Rangkaian dengan Induktansi

Rangkaian yang terlihat pada gambar 2.28 adalah kumparan induktansi L (H) disuplai oleh tegangan bolak-balik *v* (V), hubungan tegangan *v* dan arus *i* (A) yang mengalir dapat dilihat dengan oscilloscope.



Gambar 2. 28. Rangkaian dengan induktasi.

Arus i yang mengalir melalui kumparan L, adalah tertinggal π/r rad dari tegangan v. Misalnya pada gambar 2.28 arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan induktansi L adalah :

$$i = \sqrt{2}\, I \sin \omega t \,(A)$$

Apabila sebuah kumparan dengan induktansi sebesar L (H) disuplai dengan arus bolak-balik, maka pada kumparan tersebut akan terbangkit ggl induksi sebesar :

$$v = -e_L = L\frac{di}{dt}$$

Dari persamaan $v = \sqrt{2}\,\omega LI \sin(\omega t + \pi/2)$ dapat dipahami bahwa tegangan v akan mencapai harga maksimum pada saat $\sin(\omega t + \pi/2) = 1$ sehingga :

$$V_m = \sqrt{2}\,\omega LI\,(V)$$

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \omega LI\,(V)$$

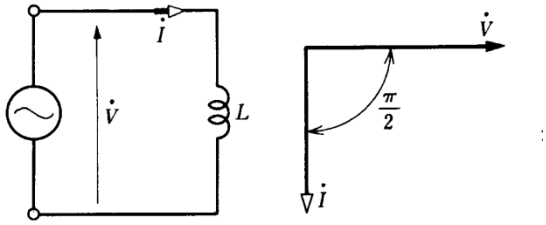
Jadi :

$$I = \frac{V}{\omega L}(A)$$

$$\frac{V}{I} = \omega L(\Omega)$$

Besaran ωL disebut sebagai reaktansi induktif dan dinotasikan X_L.

Hubungan V dan I dapat digambarkan secara vektor seperti yang terlihat pada gambar 2.29.



Gambar 2. 29. Hubungan antara v dan i secara vektor.

Contoh soal 1: (a) Hitung reaktansi kumparan pada induktansi 0.32 H jika dihubungkan pada sumber tegangan dengan frekuensi 50 Hz, (b) kumparan dengan reaktansi 124 Ω pada suatu rangkaian dengan frekuensi sumber 50 kHz. Tentukan induktansi kumparan.

(a) Reaktansi induktif,

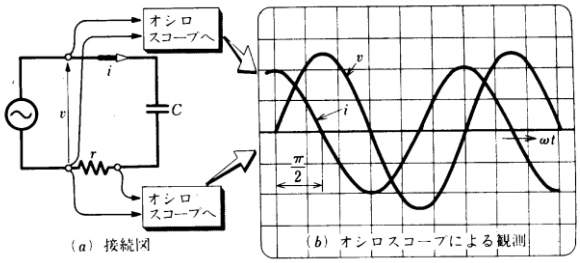
$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(0.32) = 100.5\Omega$$

(b) Induktansi,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{124}{2\pi(5000)}H = 3.95H$$

2.2.3 Rangkaian dengan Kapasitor

Rangkaian yang terlihat pada gambar 2.30 adalah kapasitansi (c) disuplai oleh tegangan bolak-balik v (V), hubungan tegangan (v) dan arus i (A) yang mengalir dapat dilihat dengan oscilloscope.



Gambar 2. 30. Rangkaian dengan kapasitor.

Arus i yang mengalir melalui kapasitor C adalah mendahului π/2 rad dari tegangan v. Misalkan pada gambar 2.30, tegangan bolak-balik yang disuplai pada kapasitor C adalah :

$$v = \sqrt{2}V \sin \omega t (V) \qquad (1)$$

Maka besarnya muatan listrik q pada kapasitor dapat dihitung sebagai berikut :

$$q = Cv = \sqrt{2}CV \sin \omega t \qquad (2)$$

Sedangkan besarnya arus yang mengalir adalah :

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{dv}{dt} \qquad (3)$$

$$i = \sqrt{2}\,\omega CV \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)(A) \quad (4)$$

Jika persamaan (4) dengan persamaan (1) jelas terlihat bahwa antara arus dan tegangan terdapat geseran fasa. Dalam hal ini arus mendahului (leading) terhadap tegangan sejauh π/2 (rad) atau dengan kata lain tegangan tertinggal (lagging) dari arus sejauh π/2 rad. Adapun bentuk gelombang sesaat (grafik sinusoidal) dapat dilukiskan seperti gambar 2.30.

Dari persamaan I = √2 ωCV sin (ωt + π/2) dapat diketahui bahwa pada saat sin(ωt + π/2) = 1 harga arus mencapai maksimum, sehingga :

$$I_m = \sqrt{2}\,\omega CV\,(A)$$

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \omega CV = \frac{V}{1/\omega C}$$

Besaran 1/ωC disebut sebagai reaktansi kapasitif yang dinotasikan dengan X_c, jadi X_c = 1/ωc.

Karena : ω = 2 π f

Maka : $X_c = \frac{1}{2\pi f c}$

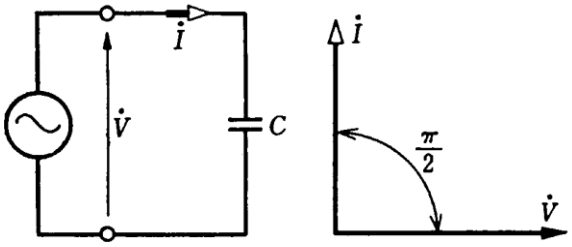
Dimana :

X_c = Reaktansi kapasitif (Ω)

f = Frekuensi (Hz)

C = kapasitas (F)

Hubungan *V* dan *I* dapat digambarkan secara vektor yang diperlihatkan pada gambar 2.31.



Gambar 2. 31. Hubungan v dan i secara vektor.

Contoh soal 2 : tentukan reaktansi kapasitif pada kapasitor 10 µF bila dihubungkan pada rangkaian dengan frekuensi (a) 50 Hz (b) 20 kHz.

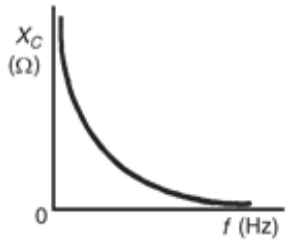
(a). Reaktansi kapasitif pada frekuensi 50 Hz,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(10x10^{-6})} = \frac{10^{-6}}{2\pi(50)(10)} = 318.3\Omega$$

(b). Reaktansi kapasitif pada frekuensi 20 kHz,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(20x10^{3})(10x10^{-6})} = \frac{10^{-6}}{2\pi(20x10^{3})(10)} = 0.796\Omega$$

Sehingga frekuensi naik dari 50 Hz ke 20 kHz, X_C turun dari 318.3 Ω sampai 0.796 Ω (lihat gambar 2.32).



Gambar 2. 32.

2.3.4 Rangkaian Seri R dan L

Pada gambar 2.33, tahanan R (Ω) dann induktansi L (H) dihubungkan seri yang disuplai oleh tegangan bolak-balik V (v) sehingga mengalir arus I (A), tegangan V_R (v) diantara terminal R adalah seperti ysng telah kita pelajari sebelumnya sefasa dengan arus I, dimana besarnya adalah :

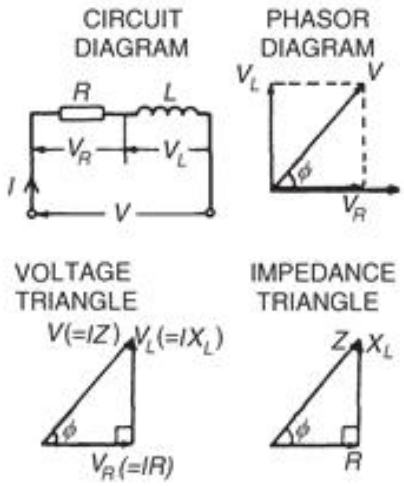
$$V_R = RI\,(V)$$

Tegangan V_L (v) diantara terminal L adalah seperti yang telah kita pelajari sebelumnya, mendahului terhadap arus sejauh π/2 rad, dimana besarnya adalah :

$$V_L = X_L I = \omega L I\,(V)$$

Jumlah tegangan (V) dari gambar 2.33 a dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$V = V_R + V_L$$



Gambar 2. 33. Rangkaian seri RL.

Hubungannya dapat digambarkan secara vektor diagram seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.33b. Besaran tegangan (V) dari vektor diagram menjadi :

$$V = \sqrt{V_R{}^2} + V_L{}^2$$
$$= \sqrt{(RI)^2} + (X_L I)^2 = I\sqrt{R^2} + X_L{}^2$$

Jadi besarnya arus I :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2} + X_L{}^2} \qquad (A)$$

Dimana, perbedaan fasa φ V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{V_L}{V_R} = \tan^{-1}\frac{X_L}{R}(rad)$$

Sehingga, pada rangkaian seri R dan L, arus I tertinggal dari tegangan V sejauh

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{X_L}{R}(rad)$$

,

besarnya seperti yang dituliskan pada persamaan diatas.

Contoh soal 3 : Suatu kumparan mempunyai 4 Ω dan induktansi 9.55 mH. Hitung (a) reaktansi, (b) impedansi dan (c) arus dengan sumber tegangan 240V, 50Hz. Tentukan juga sudut perbedaan phasa antara tegangan sumber dan arus.

$$R = 4\Omega, L = 9.55\,mH = 9.55x10^{-3}H, f = 50\,Hz, V = 240V$$

(a) Reaktansi induktif,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(9.55x10^{-3}) = 3\Omega$$

(b) Impedansi,

$$Z = \sqrt{\left(R^2 + {X_L}^2\right)} = \sqrt{(4^2 + 3^2)} = 5\Omega$$

(c) Arus,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{5} = 48A$$

Phasor diagram dan segitiga tegangan dan impedansi seperti yang ditunjukan pada gambar 2-8.

$$\tan\phi = \frac{X_L}{R}, \phi = arctan\frac{X_L}{R} = arctan\frac{3}{4} = 36^0.52'\ tertinggal$$

2.2.5 Rangkaian Seri R dan C

Pada gambar 2.34a, tahanan R (Ω) dan kapasitor C (F) dihubungkan seri yang disuplai oleh tegangan bolak-balik v (V) dengan frekuensi f (Hz), sehingga mengalir arus I (A), tegangan V_R (V) diantara terminal R sefasa dengan arus I dimana besarnya adalah :

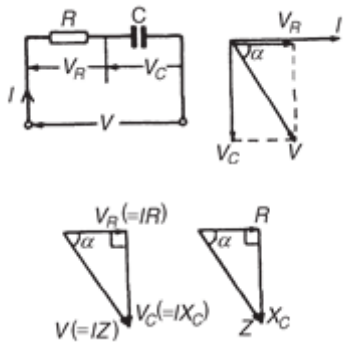
$$V_R = RI\,(V)$$

Tegangan V_c diantara terminal C adalah seperti yang telah kita pelajari sebelumnya, tertinggal terhadap arus sejauh $\pi/2$ rad, dimana besarnya adalah :

$$V_c = X_c I = \frac{1}{\omega C} I\,(v)$$

Jumlah tegangan V, dari gambar 2.34a, dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$V = V_R + V_c$



Gambar 2. 34. Rangkaian seri RC.

Hubungannya dapat digambarkan secara vektor diagram seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.34b. Besarnya tegangan V dari vektor diagram menjadi :

$$V = \sqrt{V_R{}^2} + V_c{}^2$$
$$= \sqrt{(RI)^2} + (X_c I)^2 = I\sqrt{R^2} + X_c{}^2$$

Jadi besarnya arus I :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2} + X_c{}^2} \qquad (A)$$

dimana, perbedaan fasa φ V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{V_c}{V_R} = \tan^{-1}\frac{X_c}{R}(rad)$$

Sehingga pada rangkaian seri R dan C,arus I mendahului dari tegangan sejauh,

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{X_c}{R}(rad)$$

besarnya seperti yang dituliskan pada persamaan diatas.

Contoh soal 4 : Suatu resistor 25Ω dihubungkan seri dengan kapasitor 45 µF. Hitung (a) impedansi dan (b) arus pada sumber tegangan 240V, 50Hz. Tentukan juga sudut perbedaan phasa antara tegangan sumber dengan arus.

$$R = 25\Omega, C = 45\mu F = 45x10^{-6}F, V = 240V, f = 50Hz$$

Diagram rangkaian seperti yang ditunjukan pada gambar 2.34.

Reaktansi kapasitif,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(45x10^{-6})} = 70.74\Omega$$

(a) Impedansi,

$$Z = \sqrt{(R^2 + {X_C}^2)} = \sqrt{[(25)^2 + (70.74)^2]} = 75.03\Omega$$

(b) Arus,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{240}{75.03} = 3.20A$$

Sudut perbedan phasa antara tegangan sumber dan arus,

$$\varphi = arctan\left(\frac{X_C}{R}\right) = arctan\left(\frac{70.74}{25}\right) = 70^0 32' \; mendahului$$

(medahului artinya arus mendahului tegangan, maka arah phasor berlawanan dengan jarum jam).

2.2.6 Rangkaian Seri R L C

Pada gambar 2.35, tahanan *R (Ω)*, induktansi *L (H)* kapasitor *C (F)* dihubungkan seri yang disuplai oleh tegangan bolak-balik *V(V)* dengan frekuensi *f (Hz)* sehingga pada

rangkaian tersebut mengalir arus *I (A)*, besarnya masing-masing tegangan V_R, V_L, V_C *(V)* adalah :

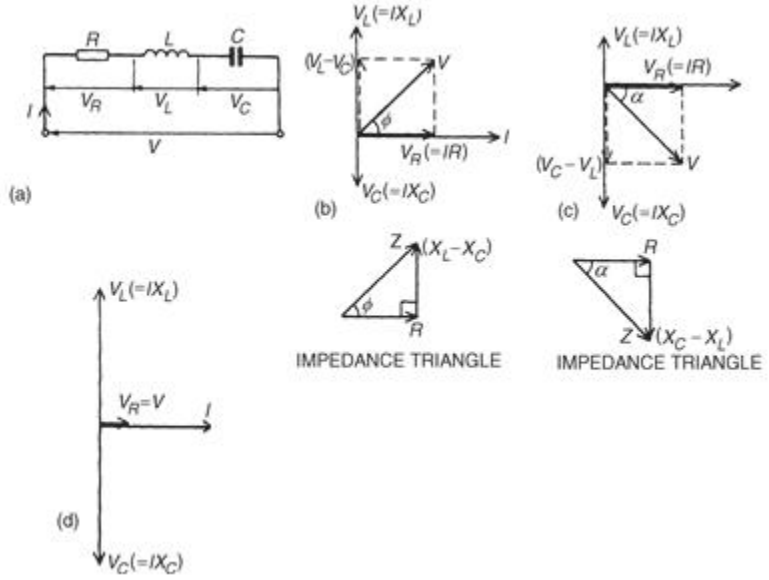
$V_R = RI\ (V)$ (sefasa terhadap arus I)

$V_L = X_L I = \omega LI\ (V)$ (mendahului $\pi/2$ (rad) terhadap arus I)

$V_C = X_C L = I/\omega CI\ (V)$ (terbelakang $\pi/2$ rad terhadap arus I)

Jumlah tegangan V, dari gambar 2-10a, dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$V = V_R + V_L + V_C$$



Gambar 2. 35. Rangkaian seri RLC.

Hubungannya seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.35b pada saat $X_L > X_C$ sedangkan gambar 2.35c pada saat $X_C > X_L$. Dari gambar vector ini besarnya tegangan V menjadi :

$$V = \sqrt{VR^2} + (V_L - V_C)^2 = I\sqrt{R^2} + (X_L - X_C)^2 (V)$$

Jadi besarnya arus I adalah :

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2} + (X_L - X_C)^2} (A)$$

sedangkan impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R^2} + \left(X_L - X_C\right)^2 = \sqrt{R^2} + X^2\,(\Omega)$$

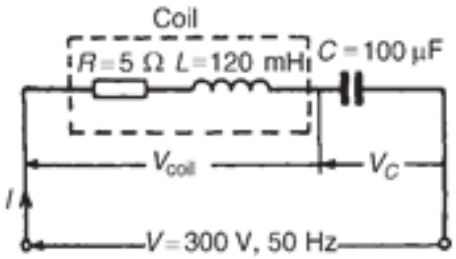
$$X = \left|X_L - X_C\right| = \left|\omega L - \frac{1}{\omega C}\right|(\Omega)$$

dimana,

Dari persamaan di atas, $X = /X_L\text{-}X_C/\,(\Omega)$ disebut jumlah reaktansi, pada saat $X_L > X_C$ jumlah reaktansi bersifat induktip, pada saat $X_L < X_C$ jumlah reaktansi bersifat kapasitip. Dimana hubungan antara *Z, R, X_L, X_C* dilukiskan seperti gambar 2.35.

Contoh soal 5 : resistansi kumparan 5 Ω dan induktansi 120 mH dihubungkan seri dengan kapasitor 100 µF, dihubungkan pada sumber tegangan 300 V, 50 Hz.
Hitunglah : (a) arus yang mengalir, (b) perbedaan phasa antara sumber tegangan dengan arus, (c) tegangan pada kumparan dan (d) tegangan pada kapasitor.

Rangkaian diagram seperti yang ditunjukan pada gambar 2.36,



Gambar 2. 36.

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(120x10^{-3}) = 37.70\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(100x10^{3})} = 31.83\Omega$$

Maka X_L lebih besar dari X_C berarti rangkaian induktif.

$X_L - X_C = 37.70 - 31.83 = 5.87\Omega$

$Z = \sqrt{[R^2 + (X_L - X_C)^2]} = \sqrt{[(5)^2 + (5.87)^2]} = 7.71\Omega$

(a) Arus,

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{300}{7.71} = 38.91A$$

(b) Perbedaan phasa,

$$\Phi = \arctan\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) = arctan\frac{5.87}{5} = 49^0 35'$$

(c) Impedansi kumparan,

$$Z_{COIL} = \sqrt{\left(R^2 + {X_L}^2\right)} = \sqrt{[(5)^2 + (30.70)^2]} = 30.03\Omega$$

(d) Tegangan pada kumparan,

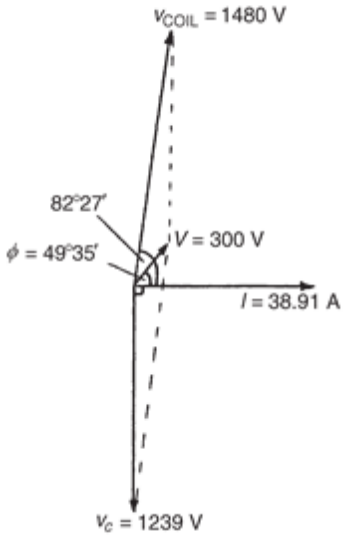
$$V_{COIL} = IZ_{COIL} = (38.91)(31.03) = 1480V$$

$$\Phi = arctan\frac{X_L}{R} = arctan\left(\frac{37.70}{5}\right) = 82^0 27'\ tertinggal$$

(e) Tegangan pada kapasitor,

$$V_C = IX_C = (38.91)(38.03) = 1293V$$

Diagram phasor ditunjukan pada gambar 2.37. Sumber tegangan V adalah perjumlahan phasor dari V_{COIL} dan V_C.



Gambar 2. 37

2.3 Rangkaian Arus Bolak-balik Paralel

2.3.1 Rangkaian Paralel R dan L

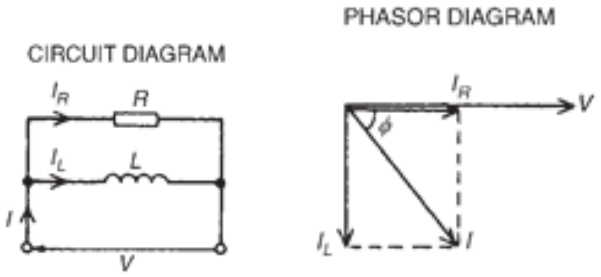
Pada gambar 2.38a, tahanan R (Ω) dan induktansi L (H) dihubungkan paralel disuplai oleh tegangan bolak-balik V (v) dengan frekuensi f (Hz) sehingga mengalir arus I_R, I_L pada tahanan R (Ω) dan induktansi L (H) maka persamaannya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I_R = \frac{V}{R}(A) \ \left(sefasa\ dengan\ tegangan\ V\right)$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{\omega L}(A) \ \left(tertinggal\ \frac{\pi}{2}\ rad\ terhadap\ tegangan\right)$$

Sehingga arus I (A) pada rangkaian tersebut menjadi : $I = I_R + I_L$

Hubungannya bila dilukiskan secara vektor diagram seperti yang terlihat pada gambar 2.38b.



Gambar 2. 38. Rangkaian paralel RL.

Besarnya arus I dari diagram vektor dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$I = \sqrt{I_R{}^2} + I_L{}^2 = \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2} + \left(\frac{V}{X_L}\right)^2 = V\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2} + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2$$

Jadi jumlah impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{(1/R)^2 + (1/X_L)^2}}(\Omega)$$

Dari gambar 2.38b. Perbedaan fasa φ antara V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{I_L}{I_R} = \tan^{-1}\frac{1/X_L}{1/R}$$

Contoh soal 1 : resistor 20Ω dihubungkan paralel dengan induktansi 2.387mH disuplai oleh sumber tegangan 60V, 1kHz.

Hitung : (a) arus di masing-masing cabang, (b) arus sumber, (c) sudut phasa rangkaian, (d) impedansi rangkaian.

Rangkaian dan phasor diagram ditunjukan pada gambar 3-1.

(a) Arus yang mengalir pada resistor,

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{60}{20} = 3A$$

Arus yang mengalir pada induktansi,

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{2\pi fL} = \frac{60}{2\pi(1000)(2.387x10^{-3})} = 4A$$

(b) Dari phasor diagram, arus sumber,

$$I = \sqrt{(I_R{}^2 + I_L{}^2)} = \sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5A$$

(c) Sudut phasa rangkaian,

$$\Phi = arctan\frac{I_L}{I_C} = arctan\frac{4}{3} = 53^0 8' \; tertinggal$$

(d) Impedansi rangkaian,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{60}{5} = 12\Omega$$

2.3.2 Rangkaian Paralel R, L dan C

Pada gambar 3-2a, tahanan R (Ω), inuktansi L (H) dan kapasitor C (F) dihubungkan paralel disuplai oleh tegangan bolak-balik V (V) dengan demikian frekuensi f (Hz) sehingga mengalir arus masing-masing I_R, I_L, I_C maka persamaannya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I_R = \frac{V}{R}(A) \qquad (sefasa\ dengan\ tegangan)$$

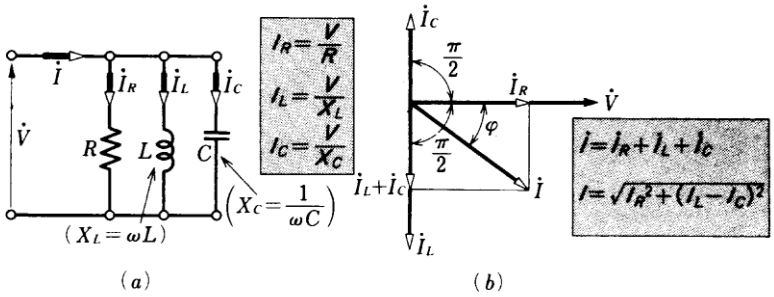
$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{V}{\omega L}(A) \qquad (tertinggal\ \pi/2\ rad\ terhadap\ tegangan)$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \omega CV\,(A) \qquad (mendahului\ \pi/2\ rad\ terhadap\ tegangan)$$

Sehingga, jumlah arus I (A) pada rangkaian tersebut menjadi :

$$I = I_R + I_L + I_C$$

Hubungannya bila dilukiskan secara vektor diagram, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.39b.



Gambar 2. 39. Rangkaian paralel RLC.

Besarnya arus I dari diagram vektor dapat dituliskan menjadi persamaan sebagai berikut :

$$I = \sqrt{I_R{}^2} + \left(I_L - I_C\right)^2 = \sqrt{\left(V/R\right)^2} + \left(V/X_L - V/X_C\right)^2$$
$$= V\sqrt{\left(1/R\right)^2} + \left(1/X_L - 1/X_c\right)^2$$

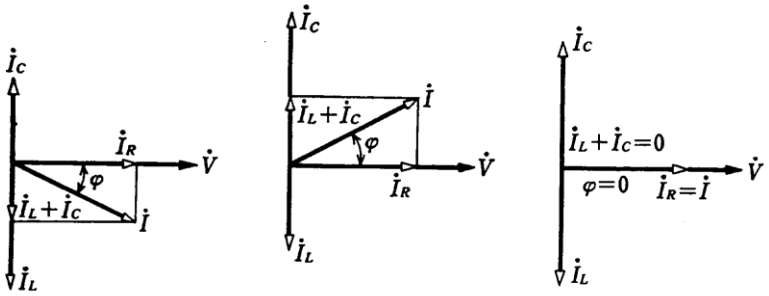
Jadi jumlah impedansi Z (Ω) adalah :

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sqrt{\left(1/R\right)^2} + \left(1/X_L - 1/X_C\right)^2}\left(\Omega\right)$$

Dari gambar 2.39b, perbedaan fasa φ antara V dan I menjadi :

$$\varphi = \tan^{-1}\frac{I_L - I_C}{I_R} = \tan^{-1}\frac{1/X_L - 1/X_C}{1/R}$$

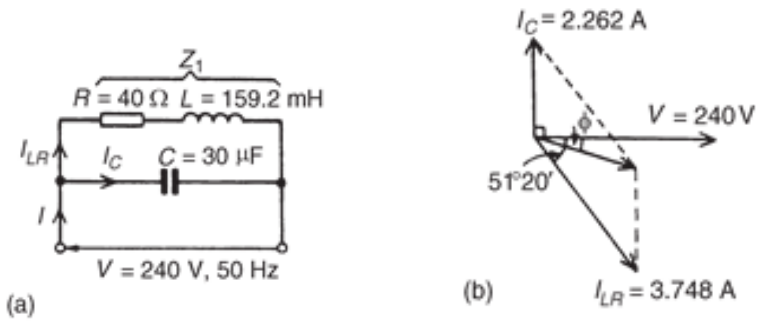
Dari gambar 2.39b juga dapat dimengerti bahwa pada saat $I_L > I_C$ arus tertinggal, pada saat $I_L < I_C$ arus mendahului. Sedangkan pada saat $I_L = I_C$ arus sefasa. Hubungannya seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.40



Gambar 2. 40.

Contoh soal 1 : Induktansi kumparan 159.2mH dan resistansi 40Ω dihubungkan paralel dengan kapasitor 30 µF disuplai oleh sumber tegangan 240V, 50Hz.
Hitung : arus pada kumparan dan sudut phasanya, (b) arus pada kapasitor dan sudut phasanya, (c) impedansi rangkaian.

Rangkaian diagram ditunjukan pada gambar 2.41.



Gambar 2. 41.

(a) Reaktansi induktif kumparan,

$$X_L = 2\pi fL = 2\pi(50)(159.2x10^{-3}) = 50\Omega$$

$$Z_1 = \sqrt{\left(R^2 + {X_L}^2\right)} = \sqrt{40^2 + 50^2} = 64.03\Omega$$

$$I_{LR} = \frac{V}{Z_1} = \frac{240}{64.03} = 3.748A$$

$$\phi_1 = arctan\frac{X_L}{R} = arctan\left(\frac{50}{40}\right) = \arctan 1.25 = 51^0 20'\ tertinggal$$

(lihat diagram phasor pada gambar 2.39b.)

(b) Reaktansi kapasitif,

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(50)(30x10^{-6})} = 106.1\Omega$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{240}{106.1} = 2.262A\ mendahului\ sumber\ tegangan\ 90^0$$

(lihat diagram phasor pada gambar 2.41b.)

(c) Arus sumber I adalah perjumlahan phasor dari I_{LR} dan I_C. disini dapat digambarkan diagram phasor melalui pengkuran dan skala arus I dan sudut phasa relatif terhadap V. (arus I akan selalu menjadi diagonal seperti gambar 2.41).

Alternatif lain arus I_{LR} dan I_C dapat diuraikan kembali kedalam komponen horizontal dan vertikal. Komponen horizontal I_{LR} adalah,

$$I_{LR}\cos(51^0 20') = 3.748\ cos51^0 20' = 2.342A$$

Komponen horizontal I_C adalah $I_C cos90^0 = 0$

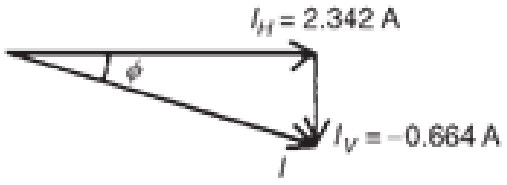
Jadi total komponen horizontal, $I_H = 2.342A$

Komponen vertikal,

$$I_{LR} = -I_{LR}\sin(51^0 20') = -3.748 sin51^0 20' = -2.962A$$

$$I_C = I_C sin90^0 = 2.262 sin90^0 = 2.262A$$

Jadi total koponen vertikal, $I_V = -2.962 + 2.262 = -0.664A$



Gambar 2. 42.

I_H dan I_V ditunjukan pada gambar 2.42, dari disini,

$$I = \sqrt{[(2.342)^2 + (-0.664)^2]} = 2.434A$$

$$\Phi = arctan\left(\frac{0.664}{2.342}\right) = 15^0 50'$$

sehingga arus sumber, $I = 2.434A\ tertinggal\ terhadap\ V\ 15^0 50'$

(d) Impedansi rangkaian,

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{240}{2.434} = 98.60\Omega$$

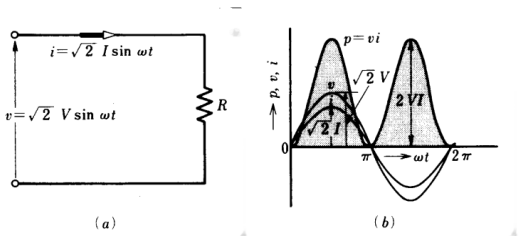
2.4 Daya Arus Bolak-balik

2.4.1 Daya pada rangkaian resistif

Jika tegangan v (t) dihubungkan dengan tahanan R, arus *i* (t) akan mengalir dan pada tahanan akan timbul disipasi daya, yang berarti bahwa temperatur tahanan akan bertambah.

Telah kita ketahui bahwa daya yang diserap oleh tahanan R dapat dihitung menurut Hukum *Joule* sebagai berikut :

$$P = R\, i^2 \text{ atau } P = v\, i$$



Gambar 2. 43.

Andaikan tegangan terpakai berbentuk sinus maka :

$$v = Vm \sin \omega t$$

kemudian arusnya adalah :

$$i = Im \sin \omega t$$

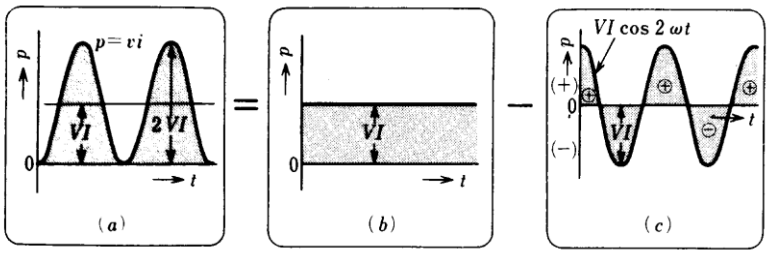
sehingga :

$$p = u\,i = \sqrt{2}\,V \sin \omega t \,.\, \sqrt{2}\,I \sin \omega t = 2\,VI \sin^2 \omega t$$

$$= VI\,(1 - \cos 2\,\omega t)$$

$$= VI - VI \cos 2\,\omega t\ (W)$$

Dari persamaan diatas jika kita hubungkan dengan waktu maka daya p adalah *VI* (W) merupakan nilai daya maksimum. Hubungkan seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.44.



Gambar 2. 44.

Daya arus bolak-balik P (W) seperti yang diperlihatkan pada persamaan diatas karena merupakan nilai rata-rata daya P maka :

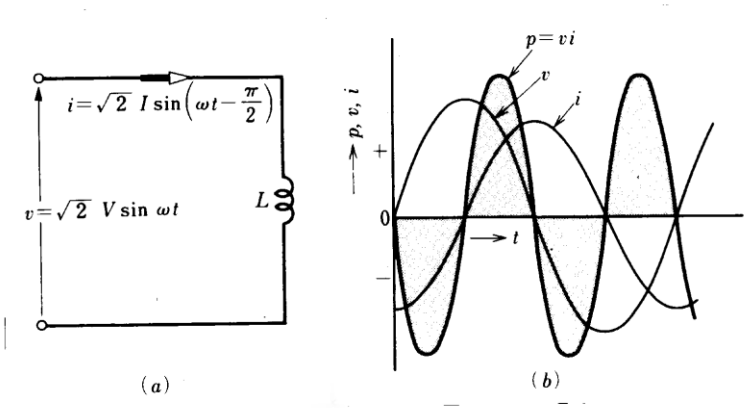
$P = (VI - VI \cos 2\,\omega t)$

Dari persamaan ini, nilai rata-rata VI = VI, atau dari gambar 4-2c, nilai rata-rata $VI \cos \omega t = 0$ sehingga daya P menjadi :

$P = VI\ (W)$

Dengan demikian, daya arus bolak-balik yang diserap pada rangkaian yang terdiri hanya dari tahanan R (Ω) adalah seperti yang diperlihatkan pada persamaan diatas.

2.4.2 Daya pada Rangkaian hanya dengan Induktansi L



Gambar 2. 45.

Seperti yang diperlihatka pada gambar 2.45, pada rangkaian yang hanya terdiri dari induktansi L (H) dihubungkan dengan tegangan bolak-balik :

$$v = \sqrt{2}\ V\ Sin\ \omega t\ (V)$$

Arus i (A) yang mengalir pada rangkaian tersebut tertinggal $\pi/2$ (rad) dari tegangan v, sehingga persamaannya menjadi :

$$i = \sqrt{2}\ I\ Sin\ (\omega t - \pi/2)\ (A)$$

sehingga daya sesaat p (W) pada rangkaian ini menjadi :

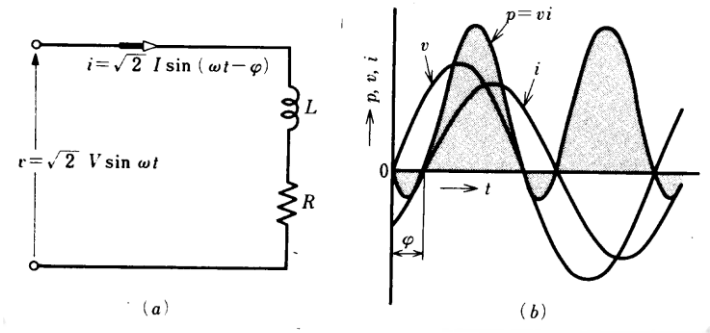
$$p = vi$$
$$= \sqrt{2}\ V\ Sin\ \omega t\ .\ \sqrt{2}\ I\ Sin\ (\omega t - \pi/2)$$
$$= -2VI\ Sin\ \omega t\ Cos\ \omega t$$
$$= -VI\ Sin\ 2\omega t$$

Daya arus bolak-balik P (W) karena merupakan nilai rata-rata daya p, dari gambar 4-3 dapat dimengerti bahwa :

$$P = (-VI\ Sin\ 2\omega t) = 0$$

Pada induktansi L, seperti yang diperlihatkan pada gambar 4-3b dari lengkung garis p dapat diketahui bahwa, pada saat setengah perioda (+) dari sumber tegangan energi listrik diberikan, selanjutnya pada setengah perioda berikutnya (-) ke sumber tegangan energi listrik diberikan lagi, apa bila di rata-ratakan maka disipasi dayanya menjadi sama dengan nol. Sehingga pada rangkaian yang terdiri hanya induktansi L tidak terdapat daya.

2.4.3 Daya pada rangkaian dengan Impedansi Z.



Gambar 2. 46.

Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.46, adalah rangkaian impedansi Z yang terdiri dari tahanan R (Ω) dan induktansi L (H) yang dihubungkan seri selanjutnya dihubungkan dengan sumber tegangan bola-balik :

$$v = \sqrt{2}\ V \sin \omega t \ \text{(V)}$$

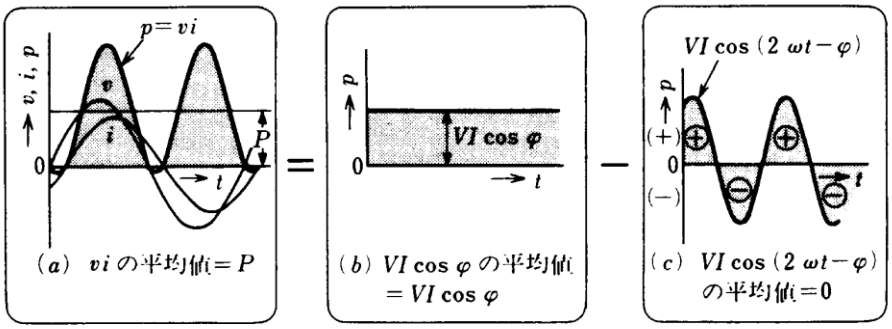
arus i (A) yang mengalir pada rangkaian tersebut tertinggal $\varphi = \tan^{-1} \omega L/R$ (rad) dari tegangan v, sehingga persamaannya menjadi :

$$i = \sqrt{2}\ I \sin(\omega - \varphi) \ \text{(A)}$$

Sehingga daya sesaat p (W) pada rangkaian ini menjadi :

$$p = vi$$
$$= \sqrt{2}\ V \sin \omega t \cdot \sqrt{2}\ I \sin(\omega t - \varphi)$$
$$= 2\ VI \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi)$$
$$= VI \cos \varphi - VI \cos(2\omega t - \varphi) \ \text{(W)}$$

Hubungan antara v, i, p dapat digambarkan seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.46b menjadi garis lengkung. Dari persamaan diatas, bahwa daya p terdiri dari *VI Cos* φ dikurangi dengan *VI Cos (2*ω*t-*φ*)*, ini bila digambarkan menjadi seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.47.



Gambar 2. 47.

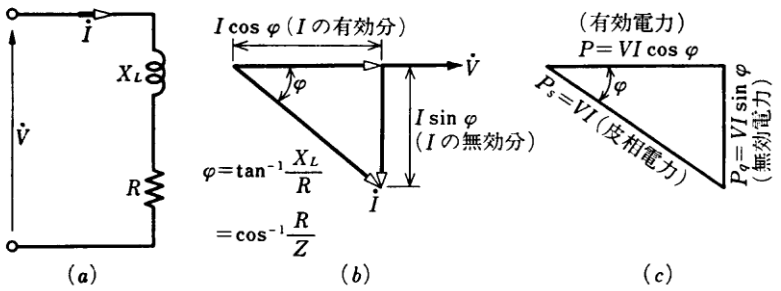
Nilai rata-rata *VI Cos (2*ω*-*φ*)* dari gambar 4-5c dapat kita ketahui menjadi nol, maka daya arus bolak-balik P (W) sebagai berikut :

$$P = VI\ Cos\ \varphi\ (W)$$

Sehingga,dari persamaan diatas bahwa daya arus bolak-balik terdiri dari nilai tegangan dan arus dengan perbedaan fasa φ.

2.4.3 Jenis-jenis Daya Arus Bolak-Balik dan Faktor Daya.

Jika sebuah beban induktip dengan impedansi *Z = R + jXL* disuplai dengan sumber v, maka vektor diagramnya antara arus dan tegangan dapat dilukiskan seperti gambar 2.48b.



Gambar 2. 48.

Jika tegangan (v) ditempatkan pada sumber real pada suatu bidang komplek, maka arus (I) dapat diuraikan pada sumbu real dan sumbu imajener, dari gambar 2.48 tersebut dapat dipahami bahwa *I Cos φ* merupakan harga real dan *I Sin φ* merupakan harga imajiner. Sehingga arus (I) dapat dituliskan dalam bilangan komplek sebagai berikut :

$$S = V\,I$$
$$= V\,(I\,Cos\,\varphi - j\,I\,Sin\,\varphi)$$
$$= VI\,Cos\,\varphi - j\,VI\,Sin\,\varphi$$

Dari persamaan diatas jelas terlihat bahwa daya arus bolak-balik terdiri pula dari harga real dan harga *imajiner*. Harga real *VI Cos φ* disebut Daya Nyata (*True Power*) dinotasikan dengan P dan satuannya adalah *Watt*, sehingga :

$$P = VI\,Cos\,\varphi$$

Dan harga imajiner VI Sin φ disebut Daya Reaktif (*Reaktif Power*) dinotasikan dengan Q dan satuannya adalah Var (*Volt Ampere Reactif*), sehingga :

$$Q = VI\,Sin\,\varphi$$

Sedangkan perkalian antara tegangan (V) dan arus (I) seperti persamaan diatas disebut Daya Semu (*Apparent Power*) dinotasikan dengan S dan satuannya adalah *VA* (*Volt Ampere*).

Akhirnya daya arus bolak-balik dapat dituliskan menjadi :

$$S = P - j\,Q$$

Dari persamaan diatas dapat dilukiskan segi tiga dayanya seperti gambar 2.48c. Dengan menerapkan dalil Phitagoras dan dalil-dalil Trigonometri hubungan antara Daya Semu (S), Daya Nyata(P), Daya Reaktif (Q) dapat dihitung sebagai berikut :

$$Daya\,Semu\,S = \sqrt{(daya\,nyata\,P)^2 + (daya\,reaktif\,Q)^2}$$

$$VI = \sqrt{(VI\,Cos\,\varphi)^2 + (VI\,Sin\,\varphi)^2}$$

Selain daya semu terhadap pula daya nyata :

$$P = VI\,Cos\,\varphi\,(W)$$

Persamaan ini pada umumnya disebut daya listrik, jika kita uraikan menjadi :

$$\cos\varphi = \frac{P}{VI} = \frac{daya\,nyata}{daya\,semu}$$

Dari sini selain daya semu *VI* (VA) yang diserap oleh beban pada kenyataan terdapat juga faktor, faktor ini disebut Faktor Daya (*Power Factor*).

Faktor Daya diatas disebut dengan faktor daya tertinggal (*Cos φ Lag*). Kemudian apabila beban listrik tersebut adalah beban kapasitif dengan impedansi Z = R – jXc, maka dayanya dalam bentuk bilangan komplek dapat dituliskan sebagai berikut :

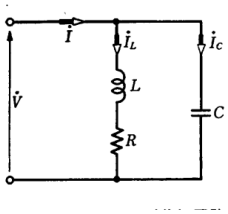
$$S = P + jQ$$

Dan segitiga dayanya adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.48c. Sedangkan faktor dayanya disebut faktor daya mendahului (*Cos φ Lead*).

2.5 Perbaikan Faktor daya

2.5.1 Pentingnya Perbaikan Faktor Daya

Seperti diketahui bahwa dalam banyak hal perbaikan arus bolak-balik terdapat pergeseran fasa antara arus tegangan. Ada kalanya geseran fasa tersebut sama dengan nol, yaitu apabila beban yang digunakan adalah beban resestif misalnya : lampu pijar, strika listrik dan sebagainya dalam kehidupan sehari-hari adalah jenis beban induktif seperti yang dijumpai pada transformator, motor-motor listrik, lampu TL dan sebagainya. Sehingga arus dan tegangan tidak akan se-fasa, seperti yang ditunjukan pada gambar 2.49. Akibatnya arus yang mengalir tidak seluruhnya menghasilkan energi. Seperti telah dibahas dalam topik sebelumnya bahwa arus yang akan menghasilkan energi hanyalah arus yang sefasa dengan tegangan.



Gambar 2. 49.

Dari gambar 2.49 dapat diketahui bahwa arus yang bersifat resistif yang akan menghasilkan energi adalah *VI cos* φ. Dengan demikian dapat dipahami bahwa semakin besar sudut φ semakin kecil *Cos* φ (faktor daya). Akibatnya *VI cos* φ akan semakin kecil bila dibandingkan dengan *VI*. Sehingga untuk mendapatkan suatu daya tertentu diperlukan arus yang lebih besar, yang berarti pula akan menyerap daya semu atau (VA) yang lebih besar. Hal ini jelas merupakan suatu kerugian.

Karena semakin besar suatu beban menyerap VA akan semakin sedikit jumlah beban yang dapat dipasang. Oleh karena itu sedapat mungkin haruslah ada usaha untuk memperkecil sudut pergeseran fasa ini yang berarti memperbesar faktor daya.

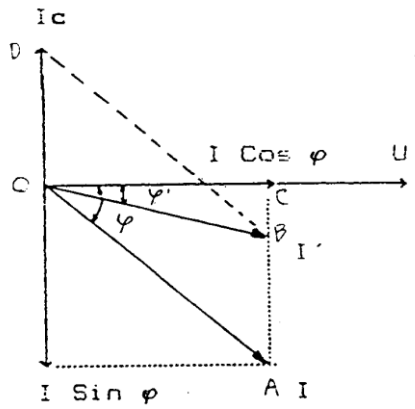
2.5.2 Perhitungan Harga Kapasitor

Usaha yang dapat dilakukan untuk memperkecil geseran fasa antara arus dan tegangan (memperbesar faktor daya), adalah dengan menambah kapasitor secara

paralel pada beban tersebut. Karena seperti kita ketahui bahwa arus yang mengalir pada kapasitas berlawanan dengan arus yang mengalir pada beban induktif. Sehingga dengan demikian arus reaktif akan menjadi lebih kecil dan bila dapat diharapkan menjadi nol. Gambar rangkaian dan vektor diagram dari usaha perbaikan faktor daya ini adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.50.

Arus I dan sudut φ pada gambar 2.50 adalah kondisi sebelum dipasang kapasitas (C), sedangkan setelah dipasang kapasitor arus yang mengalir berubabh menjadi I' dan sudut geseran fasa berubah menjadi φ'.

Ternyata arus I' lebih kecil dari I dan sudut φ' lebih kecil dari sudut φ. Berarti *Cosφ'* (faktor daya sesudah dipasang C) lebih besar cos φ (faktor daya sebelum dipasang C). Selanjutnya berapakah harga kapasitas C (μF) yang harus dipasang untuk memperkecil sudut pergeseran fasa dari φ menjadi φ'.



Gambar 2. 50.

A. Cara yang pertama dapat diselesaikan dengan menerapkan dalil-dalil *trigonometri* pada gambar 2.50 sebagai berikut :

OC = I Cos φ

OD = AB = IC

AB = AC – BC

Perhatikan Δ OCA

BC = OC tan φ'

Jadi I_c = AB – BC

= OC tan φ - OC tan φ'

= I Cos φ (tan φ - tan φ')

$$karena, X_C = \frac{V}{I_C} dan, C = \frac{Ic}{2\pi fV}$$

$$maka, C = \frac{I_C}{2\pi fV}$$

$$C = \frac{ICos\varphi(\tan\varphi - \tan\varphi')}{2\pi fV}$$

Dimana : C = Kapasitansi (Farad)

I = Arus yang mengalir sebelum dipasang kapasitor (A)

φ = Sudut pergeseran fasa sebelum dipasang kapasitor

φ'= Sudut pergeseran fasa yang diinginkan

V = Tegangan (V)

Selanjutnya bila diinginkan sudut geseran fasa sama dengan nol (faktor daya = 1), berarti $I_c = I\ Sin\ \varphi$ (perhatikan gambar 8-2), jadi harga kapasitor yang harus dipasang adalah :

$$C = \frac{ISin\varphi}{2\pi fV}$$

B. Cara kedua dapat diselesikan dengan menerapkan teori daya sebagai berikut :

Diketahui :

Daya : 450 (VA)

Faktor daya 80 %

Frekuensi f =50 (Hz)

Tentukan nilai C supaya faktor daya menjadi 100 % ($Cos\varphi = 1$)

Penyelesaian :

Daya aktif kumparan L : $P_l = VI_lCos\varphi = 220 \times 0.8 \times I_l$

Daya reaktif kumparan L : $Q_l = VI_l Sin\phi = 220 \times 0.6 \times I_l$

Daya aktif kapasitor C : $P_c = 0$

Daya reaktif kapasitor C : $Q_c = VI_c Sin(-\pi/2) = -220 \times I_c$

Sehingga jumlah daya :

$(P_l + P_c) + j(Q_l + Q_c)$

$\{(220 \times 0.8 \times I_l) + 0\} + j\{(220 \times 0.6 \times I_l) - 220 \times I_c\}$

Supaya faktor daya 100% ($Cos\ \varphi = 1$) dari persamaan diatas maka bilangan imageneri harus sama dengan nol, jadi :

$220 \times 0.6 \times I_l - 220 \times I_c = 0$

$220(0{,}6I_l - I_l) = 0$

Sehingga :

$0{,}6I_l - I_c = 0$

$P = VI_l$

Dimana : $450 = 220 \times I_l$

$$I_l = \frac{450}{220} = 2.045(A)$$

$$0.6I_l = I_c$$

$$I_c = 0.6 \times 2.045 = 1.227(A)$$

$$I_c = \frac{V}{X_c} = \frac{220}{1.227}(A) \qquad X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_c = \frac{V}{I_c} = \frac{220}{1.227} = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$1.227 = 2\pi fC \times 220$$

$$C = \frac{1.227}{2\pi f\ 220} = \frac{1.227}{440 \times 3.14 \times 50} = 17.76 \times 10^{-6}(F)$$

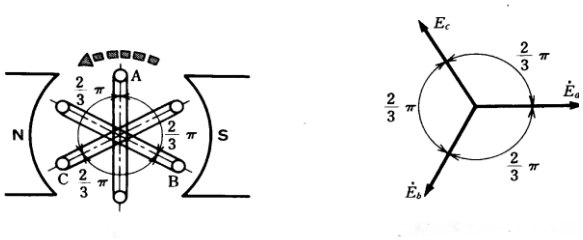
jadi nilai kapasitor $C = 17.76\ (\mu F)$

2.6 Rangkaian Tiga Fasa

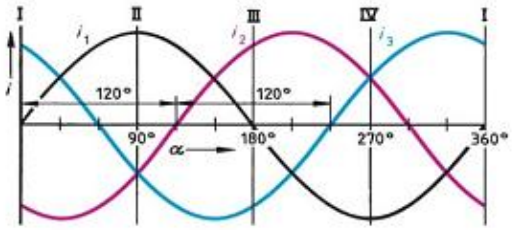
2.6.1 Pembangkit Tegangan Tiga Phasa

Gambar 2.51 menunjukkan sebuah alternator tiga phasa yang mempunyai dua buah kutub dengan sistem jangkar berputar (generator berkutub luar), alternator ini mempunyai tiga kumparan A, B dan C yang ditempatjan satu sama lain dengan jarak 120^0 listrik (2/3 π rad).

Bila mana arah perputaran rotor (jangkar) seperti yang ditunjukan anak panah (perhatikan gambar 2.51a), maka tegangan yang terkait pada masing-masing kumparan adalah dalam urutan A, B dan C.



Gambar 2. 51.



Gambar 2. 52.

Karena masing-masing kumparan tersebut ditempatkan satu sama lain dengan jarak 120^0 (2/3 π rad), maka tegangan yang terbangkit pada kumparan B akan mencapai harga maksimum 120^0 setelah harga maksimum pada kumparan A dan tegangan yang terbangkit pada kumparan C akan mencapai harga maksimum 120^0 (2/3 π rad) setelah harga maksimum pada kumparan B atau 240^0 (2/3 π rad) setelah harga maksimum pada kumparan A.

Dengan demikian tegangan yang terbangkit pada ketiga kumparan, satu sama lain akan mempunyai geseran phasa sebesar 120^0 listrik (π/3 rad). Adapun bentuk gelombangnya adalah seperti yang ditunjukan pada gambar 2.51b. Masing-masing

gelombang tegangan berbentuk sinusioda dan mempunyai harga maksimum (*Em*) yang sama.

Secara metematis persamaan masing-masing gelombang tegangan pada gambar 2.51b diatas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$ea = \sqrt{2}\, E\, Sin\, w.t$$
$$eb = \sqrt{2}\, E\, Sin\left(w.t - 2/3\pi\right)$$
$$ec = \sqrt{2}\, E\, Sin\left(w.t - 4/3\pi\right)$$

Selanjutnya grafik sinusioda (vektor sesaat) seperti gambar 2.51b diatas dapat pula dilukiskan dalam bentuk vektor diagram seperti yang ditunjukan pada gambar 6-1c.

Dengan demikian dapat dipahami bahwa jumlah tegangan dari ketiga phasa adalah sama dengan nol. Perhatikan gambar 2.51, masing-masing tegangan berbeda masing-masing 2/3π (rad). Dari gambar 2.51b dapat dimengerti tegangan yang dibangkitkan pada saat waktu t_1, t_2, t_3, …..dan seterusnya bila di jumlahkan maka :

$$ea + eb + ec = 0$$

atau, dari gambar 2.52 dapat dimengerti juga, penjumlahan vektornya menjadi :

$$Ea + Eb + Ec = 0$$

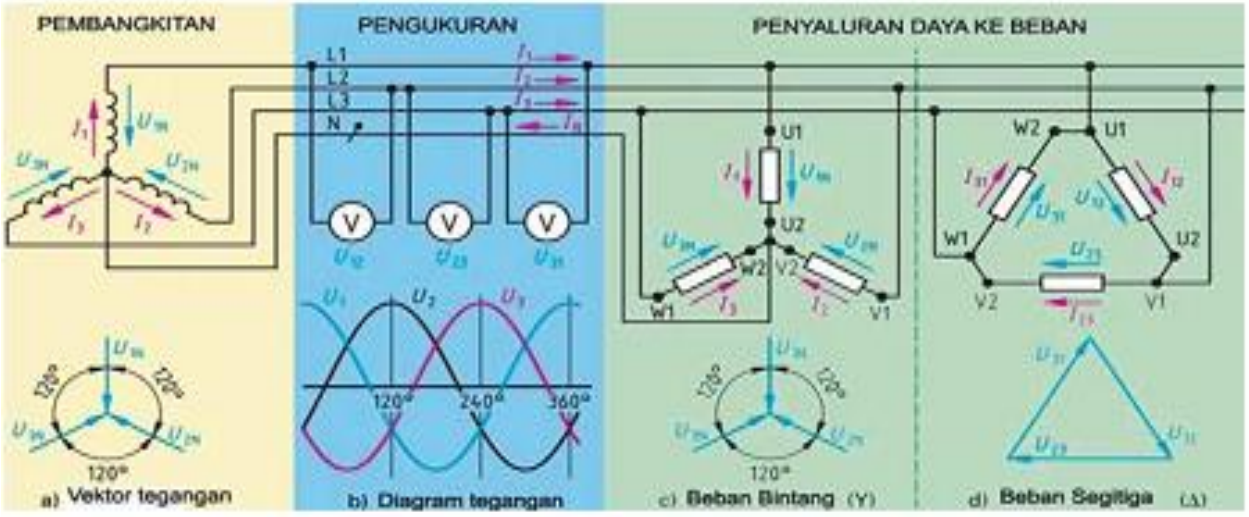
Dalam bentuk phasornya dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$Ea = E \angle 0$$
$$Eb = E \angle -2/3\ \pi$$
$$Ec = E \angle -4/3\ \pi$$

2.6.2 Tegangan dan Arus Rangkaian Tiga Phasa

Gambar 2.53 adalah *Alternator* (*Generator*) tiga phasa dimana masing-masing kumparannya a, b, c dihubungkan berbentuk huruf Y, hubungan seperti ini disebut hubungan Y (*Y-Connection*) atau hubungan bintang (*Star Connection*).

Demikian juga, seperti yang ditunjukan pada gambar 2.53 dihubungkan berbentuk Δ, hubungan seperti ini disebut hubungan segitiga (*Delta Connection*) dan berbentuk Y, hubungan seperti ini disebut hubungan bintang (*Star Connection*)



Gambar 2. 53. Hubungan bintang dan segitiga.

Tegangan arus antara sumber tegangan dan beban disebut tegangan phasa (*phase voltage*) dan arus phasa (*phase current*), sedangkan tegangan dihubungkan ke beban melalui penghantar antara phasa dengan phasa disebut tegangan jala-jala (*line voltage*).

Penggunaan Alat Ukur Listrik

3.1 Pengertian alat ukur dan pengukuran.

Pengukuran adalah suatu perbandingan antara suatu besaran dengan besaran lain yang sejenis secara eksperimen dan salah satu besaran dianggap sebagai standar.

Dalam pengukuran listrik terjadi juga pembandingan, dalam pembandingan ini digunakan suatu alat bantu (alat ukur). Alat ukur ini sudah dikalibrasi , sehingga dalam pengukuran listrikpun telah terjadi pembandingan. Sebagai contoh pengukuran tegangan pada jaringan tenaga listrik dalam hal ini tegangan yang akan diukur diperbandingkan dengan penunjukan dari voltmeter.

Pada pengukuran listrik dapat dibedakan dua hal:

a. Pengukuran besaran listrik, seperti arus (ampere), Tegangan (Volt), Daya Listrik (watt),dll

b. Pengukuran besaran nonlistrik, seperti suhu, kuat cahaya, tekanan dll. Dalam melakukan pengukuran pertama harus ditentukan cara pengukurannya. Cara dan pelaksanaan pengukuran itu dipilih sedemkian rupa sehingga alat ukur yang ada dapat digunakan dan diperoleh efisiensi setinggi tingginya. Jika cara pengukuran dan alatnya sudah ditentukan , penggunaanya harus dengan baik pula. Setiap alat harus diketahui dan diyakini cara kerjanya. Dan harus diketahui pula apakah alat alat yang akan digunakan dalam keadaan baik dan mempunyai kelas ketelitian sesuai dengan keperluannya.

Alat ukur listrik yaitu peralatan yang memungkinkan untuk mengamati besaran-besaran listrik, instrumentasi perlu dipelajari agar dalam pemakaian tidak terjadi kesalahan.Yang perlu diperhatikan dalam pengukuran adalah:

- Alat ukur tidak boleh membebani/mempengaruhi yang diukur atau disebut mempunyai impedansi masuk yang besar.

Accuracy artinya : Mempunyai keseksamaan yang tinggi, yaitu alat harus mempunyai ketepatan dan ketelitian yang tinggi (mempunyai accuracy error dan precision error yang tinggi).

a) Mempunyai kepekaan (sensitifitas) yang tinggi, yaitu batas input signal yang sekecil- kecilnya sehingga mampu membedakan gejala-gejala yang kecil.
b) Mempunyai stabilitas yang tinggi sehingga menolong dalam pembacaan dan tidak terganggu karena keadaan yang tidak dikehendaki.
c) Kemampuan baca (realibilitas) yang baik, hal ini banyak tergantung dari skala dan alat penunjukan serta piranti untuk menghindari kesalahan paralak.
d) Kemantapan (reabilitas) alat tinggi, yaitu alat yang dapat dipercaya kebenarannya untuk jangka waktu yang lama.

3.2 Simbol dan Data Teknis Alat Ukur

Mengukur pada hakekatnya membandingkan suatu besaran yang belum diketahui besarannya denganbesaran lain yang diketahui besarnya. Untuk keperluan tersebut diperlukan alat ukur. Pekerjaan pengukuran,memerlukan alat ukur yang baik. Alat ukur yang baik setidak - tidaknya mengandung informasi besaran-besaranyang diukur yang sesuai dengan kondisi senyatanya. Akan tetapi di dalam proses pengukuran terdapat kekeliruan-kekeliruan. Ada 2kelompok kekeliruan, yaitu kekeliruan sistematik (berkaitan dengan alat ukur, metodepengukuran, dan faktor manusia) dan kekeliruan acak (berkaitan dengan faktor non teknis/sistematik).Pada prinsipnya memilih alat ukur listrik adalah upaya untuk mendapatkan alat ukur yang sesuai dengan besaran-besaran listrik yang hendak diketahui nilai besarannya. Hal ini berkaitan dengan upaya untuk menentukan nilai kuantitas besaran listrik yang hendak diketahui. Ada 2 besaran listrik yang esensial yang hendak diketahui nilaibesarannya, yaitu arus dan tegangan. Ragam, jenis, tanda gambar, tanda huruf, prinsip kerja, penggunaan, daerahkerja, dan penggunaan daya

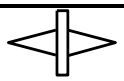
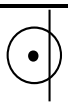
Alat Ukur Elektronika dan Fungsinya | Alat ukur elektronik (listrik) merupakan perkakas/alat yang digunakan untuk mengukur besaran-besaran listrik seperti hambatan listrik (R), kuat arus listrik (I), beda potensial listrik (V), daya listrik (P), dan lainnya. Terdapat dua jenis alat ukur yaitu alat ukur analog dan alat ukur digital.

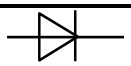
Simbol Pengukuran

Simbol adalah salah satu merupakan bahasa informasi dalam teknik listrik, terutama dalam sistem pengukuran listrik. Kita dapat menggunakan suatu alat ukur melalui simbol yang tertera pada alat ukur itu sendiri.

Pada tabel dibawah ini dapat dilihat simbol pengukuran disertai dengan penjelasannya. Simbol-simbol tersebut tertera pada alat ukur itu sendiri. Sehingga dengan membaca simbol tersebut kita dapat mengetahui tipe, kelas dan cara penggunaan suatu alat ukur

Tabel 2. 1 Simbol Pengukuran

Macam - macam alat ukur	Simbol	Macam - macam alat ukur	Simbol
Alat ukur kumparan putar dengan magnet		Alat ukur dengan pelindung besi	
Alat ukur kumparan putar dengan kumparan silang		Alat ukur dengan pelindung elektrostatis	
Alat ukur magnet putar		Alat ukur tidak statis	ast.
Alat ukur besi putar		Instrumen dengan arus searah	
Alat ukur elektrodinamis		Instrumen dengan arus bolak - balik	
Alat ukur elektrodinamis dengan pelindung besi		Instrumen dengan arus searah dan arus bolak - balik	
Alat ukur elektrodinamis kumparan silang		Instrumen arus putar dengan satu alat ukur	
Alat ukur elektrodinamis kumparan silang dengan pelindung besi		Instrumen arus putar dengan dua alat ukur	
Alat ukur dengan induksi		Instrumen arus putar dengan tiga alat ukur	
Alat ukur dengan bimental		Kedudukan pemakaian alat ukur harus tegak lurus	
Alat ukur elektrostatis		Kedudukan pemakaian alat ukur horizontal / mendatar	
Alat ukur dengan vibrasi		Kedudukan pemakaian miring sebesar sudut yang ditunjukkan	
Alat ukur dengan termokopel		Pengatur kedudukan jarum pada nol	

Alat ukur kumparan putar dengan termokopel		Tegangan uji Angka di dalam bintang berarti tegangan uji dalam kV (tanpa angka berarti tegangan ujinya 500 V)	
Alat ukur termokopel yang diisolasi		Awas perhatian (perhatikan petunjuk pemakaian)	
Alat ukur dilengkapi dengan penyearah		Instrumen yang diperbincang kan. Jika diperbandingkan tegangan uji tidak ditentukan	
Alat ukur kumparan putar dengan penyearah			

Klasifikasi Dan Ketelitian Alat Ukur

Akurasi tingkat ketelitian alat ukur dibagi dalam dua tingkat yaitu :

- Peralatan ukur presisi : **Kelas 0,1, 0,2, 0,5**
- Peralatan ukur industri : **Kelas 1,0, 1,5, 2,5, 5,0**

Tingkat kelas pengukuran yang dimaksud di atas adalah " *prosentase kesalahan ukuran dari nilai sebenarnya pada skala penunjukan penuh* ".

Misal sebuah ampere meter kelas 1,5 penunjukan skala penuh 5A. Maka kesalahan ukurnya = 1,5%. 5A = $\pm$ 0,075A. Apabila ampere meter tersebut dipakai untuk mengukur arus menunjuk 4A, maka nilai sebenarnya arus yang diukur adalah : 4A $\pm$ 0,075 A = 4,075A atau 3,925 A.

Angka kelas setiap alat ukur tertera pada bagian bawah papan skalanya dan dari contoh penggunaan alat ukur di atas diketahui bahwa semakin rendah angka kelas alat ukur semakin tinggi tingkat akurasinya. Dengan ketentuan bahwa tingkat kelas alat ukur tersebut ditentukan pada temperatur normal ***20^0 C***, posisi normal dan untuk alat ukur AC pada frekuensi ***45 - 65 Hz.***

Ketelitian alat ukur satu sama tipe lainnya berbeda karena efek pembebanan, konstruksi, pembuatan dan penyetelannya. Tingkat ketelitian suatu alat ukur ditentukan oleh besarnya arus alat ukur itu sendiri saat beroperasi.

Besarnya kesalahan ukur adalah :

- Kesalahan = Nilai penunjukan - nilai sebenarnya

Nilai kesalahan positif apabila nilai penunjukan lebih besar dari nilai penunjukkan.

- Kesalahan Relatif $= \frac{\text{Nilai penunjukkan} - \text{Nilai sebenarnya}}{\text{Nilai sebenarnya.}}$

  Nilai sebenarnya.

- Kesalahan penunjukan relatif $= \frac{\text{Nilai penunjukkan} - \text{Nilai sebenarnya}}{\text{Nilai skala penuh}}$

Contoh soal :

Pada suatu rangkaian mengalir arus 1,5A. Nilai penunjukkan ampere meter 1,47 A pada skala penuh 2,5A.

- Kesalahan ukur = 1,47 - 1,5 = - 0,03ª

- Kesalahan Relatif $= \frac{-0,03}{1,5} = -2\,\%$

- Kesalahan penunjukan relatif $= \frac{-0,03}{2,5}$ = - 1,2%

Jadi tingkat ketelitian alat ukur diukur berdasarkan prosentase kesalahan relatif. Dengan kata lain tingkat ketelitian berdasarkan kepada sensivitas alat ukur. Dimana sensivitas diukur berdasarkan kepada kuat arus yang dibutuhkan alat ukur pada penunjukkan skala penuh.

Sebagai perbandingan semakin kecil arus yang dibutuhkan, maka semakin tinggi tingkat ketelitiannya. Biasanya tingkat ketelitian ini dinyatakan dalam ohm/volt,

dimana :

$$\text{Sensivitas} = \frac{1}{I} = \Omega / V$$

Contoh soal :

1. Sebuah alat ukur mengkonsumsi arus 20 μA pada penunjukkan skala penuh, tentukanlah sensivitas alat ukur tersebut.

   Sensivitas = $\frac{1}{I}$

   $$\text{Sensivitas} = \frac{1}{20.10^{-6}}$$

   $$= 50.10^{3}\ \Omega/V = 50\ k\ \Omega/V$$

3.3 .Alat-alat ukur listrik

Alat-alat ukur listrik yang akan dipelajari dalam modul ini meliputi :

AVO meter = Pengukur arus, tegangan dan tahanan listrik

Wattmeter = Pengukur daya listrik (Daya nyata)

KWH meter = Pengukur energi listrik

Megger = Pengukur tahanan isolasi dll

3.1.3 AVO meter (Multimeter)

Amati gambar multimeter dibawah ini dan pahami bagian-bagian yang ada pada mulltimeter agar tidak terjadi kesalahan dalam melakukan pengukuran

Gambar 2. 54 multimeter

Multimeter disebut juga AVO meter, berfungsi untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik dan hambatan atau tahanan listrik. Bagian-bagian utama alat ukur ini adalah :

- Switch Selector

  Berfungsi untuk memilih range besaran listrik yang akan diukur. Jika multimeter akan digunakan untuk mengukur tegangan maka switch selector diputar hingga menempati range tegangan pada batas ukur yang sesuai. Jika akan digunakan untuk mengukur tahanan listrik maka switch selector diputar hingga menempati range tahanan pada batas ukur yang sesuai. Demikian seterusnya untuk pengukuran arus listrik.

- Ohm adjuster atau pengatur posisi nol untuk pengukuran tahanan listrik.

  Pengaturan posisi nol ini dilakukan setiap kali merubah posisi batas ukur. Apabila setelah diatur ternyata posisi jarum tidak mau diam pada posisi nol maka ada kemungkinan baterai alat ukur ini sudah melemah sehingga harus diganti dengan yang baru.

- Pengaturan posisi nol untuk pengukuran tenaga dan arus listrik sebelum alat ukur ini digunakan untuk mengukur arus atau tegangan listrik maka posisi jarum penunjuk harus berada pada posisi nol dan ini dapat dilakukan

dengan memutar pengaturan posisi nol menggunakan obeng instrumen atau obeng lain yang sesuai.

- Papan skala :

  Merupakan deratan garis-garis bilangan yang tersusun secara teratur dimana nilai pengukuran dapat dibaca menurut aturan-aturan tertentu.

- Probe

  Merupakan kabel penghubung antara alat ukur dengan obyek yang akan diukur.

- Lubang terminal untuk menempatkan probe

  Hal-hal lain yang perlu diperhatikan pada saat menggunakan multimeter

- Sebelum melakukan pengukuran, pastikan bahwa posisi switch selector sudah tepat berada pada range besaran yang akan diukur dan memenuhi batas ukur yang di izinkan.
- Pada saat mengukur tegangan, maka posisi switch selector jangan sekali-kali berada pada posisi Ohm atau posisi range pengukuran tahanan.
- Pada saat membaca penunjukan jarum, posisi penglihatan harus sedemikian rupa sehingga bayangan jarum pada cermin kecil tidak kelihatan. Hal ini untuk menghindari kesalahan pembacaan.
- Setelah selesai menggunakan multimeter maka posisi switch selector di geser ke posisi off. Apabila multimeter tidak memiliki posisi off maka posisi switch selector digeser ke posisi range tegangan dengan batas ukur yang terbesar.

Secara umum kita mengenal pengukuran dan bahkan semua orang telah melakukan pengukuran seperti mengukur panjang/ketinggian, bobot, volume dan besaran fisika lainnya. Dalam mengukur besaran-besaran kelistrikan secara konsep sama dengan mengukur besaran-besaran fisika. Tetapi mengukur besaran atau menggunakan alat-alat ukur listrik penanganannya membutuhkan secara spesifik, diantaranya :

$\Rightarrow$ Jangkauan (range) yang sangat luas mulai dari besaran piko (10^{-12}) samapai dengan besaran Gega (10^{9}).

⇒ Alat ukur dapat rusak apabila batas ukur dan besaran yang diukur tidak tepat.

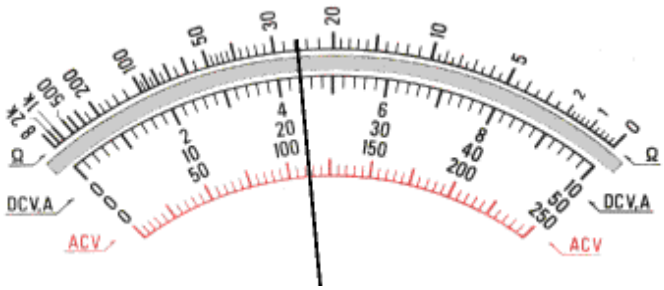
⇒ Hasil pengukuran tidak tepat karena salah memilih kelas dan batas ukur alat ukur.

⇒ Dapat membahayakan si pengukur apabila salah menggunakan alat ukur dan salah lingkungan pengukuran.

Untuk dapat melaksanakan pengukuran dan penggunaan alat-alat ukur listrik, diperlukan penguasaan materi seperti diuraikan di bawah.

3.3.1 Pembacaan skala

Pada umumnya skala untuk pengukuran tegangan adalah skala linier seperti di tunjukan dalam gambar berikut ini :



Gambar 2. 55 skala linier multimeter

Sebelum kalian mempelajari cara melakukan dan membaca alat ukur analog dengan melihat simpangan jarum penunjuk,coba kalian amati gambar diatas

a. Jika batas ukur pada skala 0 -10 berapakah nilai tiap divisi?
b. Jika batas ukur pada skala 0 – 50 berapakak nilai tiap divisi?
c. Jika batas ukur pada skala 0-250 berapakah nilai tiap divisi?

Harga masing-masing devisi ini dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Harga satu divisi} = \frac{\text{Batas ukur yang dipilih}}{\text{Jumlah divisi total}}$$

Jadi apabila meter tersebut memiliki batas ukur 100 volt, 250 volt dan 500 volt, maka harga satu divisi untuk masing-masing batas ukur adalah 2 volt, 5 volt dan 10 volt.Skala untuk pengukuran tahanan listrik adalah skala non linier.Skala pengukuran tahanan listrik terletak pada susunan yang paling atas dimana titik nolnya terletak disebelah kanan. Apabila switch selector diputar pada batas ukur skala pengukuran tahanan (skala Ohm).Selanjutnya apabila switch selector diputar pada batas ukur R x 100 atau R x 10.000 maka nilai pengukurna adalah jumlah skala yang ditunjukkan jarum dikalikan masing-masing dengan 100 atau 10.000.

Gambar 2. 56 papan sekala multimeter

Dari gambar diatas tentukanlah:

a. Batas Ukur
b. Divisi
c. Nilai yang terukur

Cara menghitung :

Misalnya Batas Ukur yang digunakan 10 VDC dengan Skala Maksimum 10 VDC dan jarum diatas menunjuk pada angka 4 lebih 2 kolom kecil masing-masing kolom kecil bernilai 0,2 karena antara angka 4 dan 5(tidak tertulis), terbagi jadi (5 kolom kecil) Sehingga JP= 4,4

Jawab :

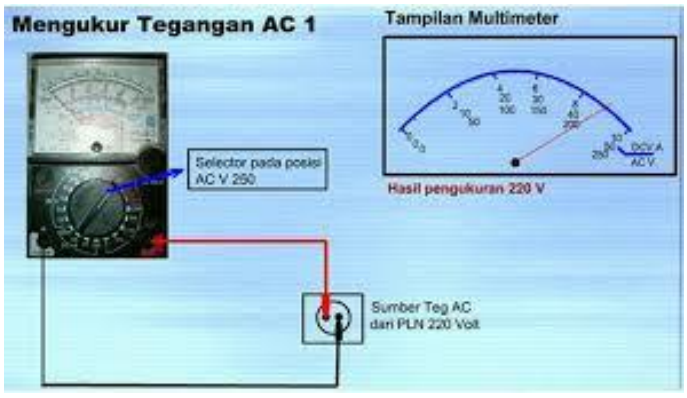
a. Batas ukur 10 Vdc
b. Divisi =Tiap divisi batas ukur/ jumlah divisi total , 10/50 = 0,2
c. nilai terukur = 4,4 V DC

3.3.3 Mengukur Tegangan DC

Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut :

- Pasanglah kabel probe ke lubang terminal yang tersedia. Pilihlah kabel yang merah ke terminal positif (+) dan hitam ke terminal negatif (-) atau ke terminal COMMON.
- Geser switch selector ke range pengukuran tegangan DC, pada batas ukur yang sesuai dengan besarnya perkiraan tegangan DC yang akan diukur.
- Hubungkan kabel probe dari terminal positif (+) ke kutub positip sumber yang akan di ukur. Demikian pula kabel probe negatif (-) ke kutub negatip sumber yang akan di ukur. Usahakan agar hubungan-hubungan ini jangan terbalik karena akan mengakibatkan gerakan jarum terbalik dari arah gerakan yang seharusnya.
- Baca petunjuk jarum pada skala DC Volt.

Mengukur Tegangan AC (Tegangan Arus Bolak Balik)



Gambar 2. 57 mengukur tegangan AC

3.3.4 Tang ampere

Tang ampere berfungsi sama seperti multimeter biasa. Tetapi penggunaannya untuk mengukur arus listrik, tang ampere lebih praktis.

Ampere meter yang memiliki Clamp Ampere, umumnya model Ampere meter Digital memiliki Clamp Ampere, baik menyatu dengan Alat ukur maupun terpisah Fisik tang ampere, seperti dalam gambar berikut ini :

.

Gambar 2. 58 tang amper

3.3.5 Megger

Megger adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur tahanan isolasi listrik. Pada bagian-bagian tertentu dari peralatan listrik adakalanya perlu terisolasi dari aliran listrik. Bahan yang dipakai untuk menghambat aliran listrik adalah isolator, misalnya plastik, karet, ebonit dan lain-lain. Isolator yang baik biasanya memiliki tahanan atau Resistansi tak terhingga. Dalam praktek ternyata tidak ada isolasi yang betul-betul sempurna tetapi mempunyai nilai Resistansi yang besar sekali. Jadi dalam hal ini, pada isolasi apapun ada arus listrik yang mengalir padanya tetapi nilainya sangat kecil. Karena itu setiap isolator dapat di pandang sebagai suatu konduktor atau pengantar yang nilai tahanannya tinggi sekali, dan diukur dalam mega Ohm. Harga resistansi ini berbanding langsung terhadap panjang bahan isolasii dan berbanding terbalik terhadap luas penampangnya.

Sebelum seluruh instalasi atau bagian instalasi atau penambahan-penambahan instalasi dihubungkan pada sumber suplay maka harus dilakukan pengetesan terlebih dahulu terhadap tahanan isolasi antara keseluruhan konduktor dengan tanah. Alat yang dipakai untuk pengetesan dimaksud, adalah sebuah ohm meter bersumber tegangan sendiri sebesar 500 Volt DC. Tegangan ini biasanya dibangkitkan oleh sebuah generator DC yang diputar dengan tegangan atau oleh battery yang diperlengkapi dengan Converter transistor.

Gambar 2. 59 meger

Tujuan melakukan pengetesan isolasi adalah untuk meyakinkan kwalitas bahan-bahan isolasi berada dalam kondisi yang baik, artinya tidak memungkinkan adanya kebocoran arus ke tanah atau antara penghantar dengan penghantar. Dua macam test di bawah ini yang perlu dilakukan adalah :

- Mengetes Resistansi isolasi semua penghantar terpasang terhadap tanah. Harga resistansi ini tidak boleh lebih rendah dari harga minimum yang diizinkan.
- Mengetes resistansi isolasi antara penghantar yang satu dengan penghantar yang lainnya.

3.3.6 Wattmeter

Wattmeter pada dasarnya merupakan penggabungan dari dua alat ukur yaitu Amperemeter dan Voltmeter, untuk itu pada Wattmeter pasti terdiri dari kumparan arus (kumparan tetap) (kumparan putar), sehingga pemasangannya juga sama yaitu kumparan arus dipasang seri dengan beban dan kumparan tegangan dipasang paralel dengan sumber tegangan. Apabila alat ukur Wattmeter dihubungkan dengan sumber daya (gambar Rangkaian wattmeter jenis elektrodinamometer), arus yang melalui kumparan tetapnya adalah i1 , serta arus yang melalui kumparan putarnya i2 , dan dibuat supaya masing-masing berbanding lurus dengan arus beban i dan tegangan beban v, maka momen yang menggerakkan alat putar pada alat ukur ini adalah i1. i2 = Kvi untuk arus searah, dimaka K adalah adalah suatu konstanta, dengan demikian besarnya momen berbanding lurus dengan daya pada beban VI .

Untuk jaringan arus bolak balik maka :

$$i_1 1_2 = Kvi = KVI[\cos\phi - \cos(2\omega t\text{-}\phi)]$$

Yang didapat dengan asumsi bahwa :

$V = V_m \sin \omega t$

$i = I_m (\sin - \omega t)$

Elektrodinamika, wattmeter analog tradisional adalah sebuah instrumen elektrodinamik. Alat ini berisi sepasang koil-koil permanen, dikenal sebagai koli arus, dan koil yang dapat bergerak yang dikenal sebagai koil potensional.

Koil arus terkoneksi secara seri dengan rangkaian, sedangkan koil potensional terhubung secara paralel. Juga, pada wattmeter analog, koil potensional memiliki jarum yang bergerak pada skala untuk mengindikasikan pengukuran. Arus mengalir melalui koil arus menghasilkan medan elektromagnetik disekitar koil. Tenaga medan ini proporsi dengan jalur arus dan fasa-nya. Koil potensional

memiliki, aturan umum, resistor dengan nilai tinggi terhubung seri dengan koil tersebut untuk memperkecil arus yang mengalir melaluinya.

Hasil dari pengaturan ini ialah pada rangkaian DC, pembelokan jarum bisa proporsional untuk arus dan tegangan, dengan demikian sesuai dengan persamaan

W = V x A atau P = V x I.

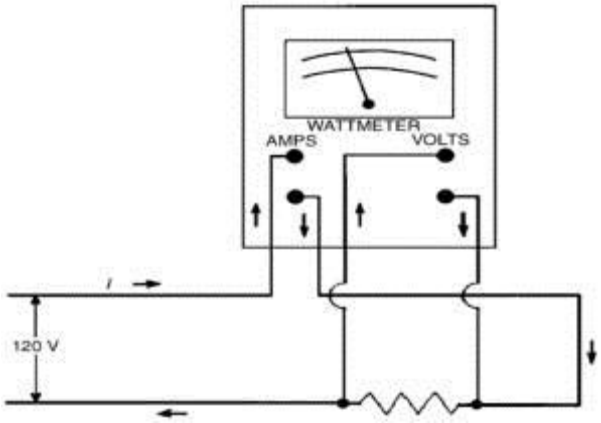
Pada rangkaian AC pembelokan-nya proporsional dengan produk rata-rata tegangan dan arus saat itu juga, dengan demikian mengukur *true power*, dan kemungkinan (tergantung karakteristik beban) memperlihatkan pembacaan yang berbeda yang diperoleh dengan mengalikan hasil pembacaan yang ditunjukkan oleh voltmeter dan ammeter tunggal pada rangkaian yang sama.

Dua rangkaian dari sebuah wattmeter dapat rusak oleh arus yang berlebihan. Ammeter dan voltmeter rentan terhadap panas yang berlebihan - dalam kasus overload, jarum penunjuknya dapat bergerak keluar dari skala - tetapi pada wattmeter, salah satu atau kedua rangkaian arus dan potensial dapat menjadi panas secara berlebihan tanpa jarum penunjuknya bergerak hingga akhir dari skala. Hal ini dikarenakan posisi jarum tergantung pada *power factor*, tegangan dan arus. Dengan demikian, rangkaian dengan *power factor* rendah akan memberikan pembacaan yang rendah pada wattmeter, bahkan saat kedua rangkaiannya di bebani hingga batas maksimum aman-nya. Oleh karena itu, sebuah wattmeter dinilai bukan hanya dalam watt, tetapi juga dalam volt dan ampere.

Wattmeter Elektronik, wattmeter elektronik digunakan untuk pengukuran power kecil dan langsung, atau untuk pengukuran power pada frekuensi yang berada pada rentang instrumen tipe elektrodinamometer.

Digital Wattmeter, digital wattmeter elektronik digital modern/energy meter menghasilkan sampel tegangan dan arus ribuan kali dalam sedetik. Nilai rata-rata tegangan instan yang dikalikan dengan arus adalah true power (daya murni). Daya murni yang dibagi oleh volt-ampere (VA) nyata adalah power factor. Rangkaian komputer menggunakan nilai sampel untuk menghitung tegangan RMS, arus RMS, VA, power (watt), power factor, dan kilowatt-hours (kwh). Model yang sederhana menampilkan informasi tersebut pada layar display LCD. Model yang lebih canggih menyimpan informasi tersebut dalam beberapa waktu lamanya, serta dapat mengirimkannya ke peralatan lapangan atau lokasi pusat.

Pengukuran Dengan Menggunakan Wattmeter



Gambar 2. 60 rangkaian pengukuran wattmeter

Dalam sebuah rangkaian listrik,daya didefinisikan sebagai laju energi yang dihantarkan atau kerja yang dilakukan per satuan waktu

Dalam pengukuran daya,ada 2 metode yaitu:

1. Metode Pengukuran Daya Secara Tidak Langsung

   Ada dua jenis pengukuran daya menggunakan metode pengukuran tak langsung, ditinjau dari letak kedua alat ukur, yaitu ampermeter dan voltmeter :

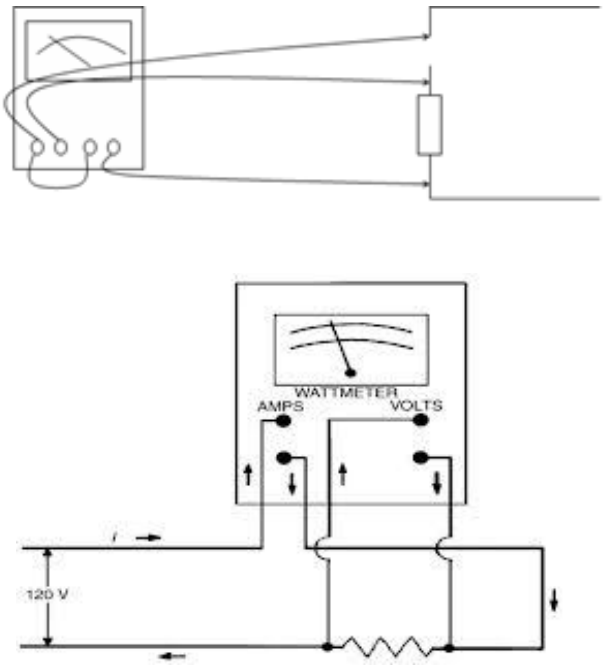
   Voltmeter dipasang sebelum ampermeter

   Voltmeter dipasang setelah Ampermeter

2. Metode Pengukuran Daya Secara Langsung

Pengukuran daya listrik secara langsung adalah dengan menggunakan wattmeter namun disini, akan dibahas mengenai penggunaan Wattmeter. Wattmeter adalah instrumen pengukur daya listrik yang pembacaannya dalam satuan watt dimana merupakan kombinasi voltmeter dan amperemeter. Dalam pengoperasiannya harus memperhatikan petunjuk yang ada pada manual book atau tabel yang tertera pada wattmeter. Demikian juga dalam hal pembacaannya harus mengacu pada manual book yang ada

Untuk keperluan pengukuran daya listrik maka penyambungan wattmeter dilakukan sebagai berikut:

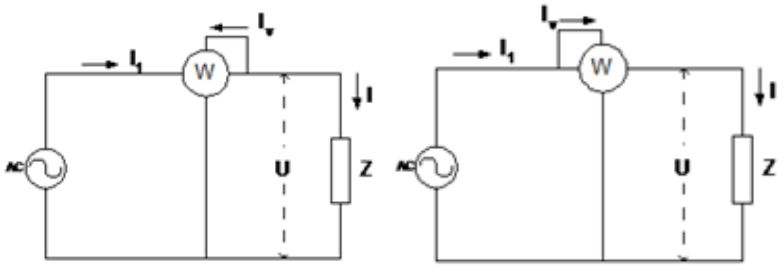


Gambar 2. 61 Rangkaian Pengukuran Daya Aktif dengan Wattmeter

Gambar 2. 62 Wattmeter Standard

Mengenal Kesalahan Ukur pada Pengukuran Daya dengan Wattmeter

Wattmeter elektrodinamis memiliki sepasang kumparan, yaitu kumparan arus dan kumparan tegangan. Cara penyambungan kedua kumparan tersebut akan menentukan nilai kesalahan ukur yang akan diperoleh. Untuk jelasnya perhatikan cara penyambungan wattmeter yang diperlihatkan pada gambar 2.63a dan 2.63b.



(a) (b)

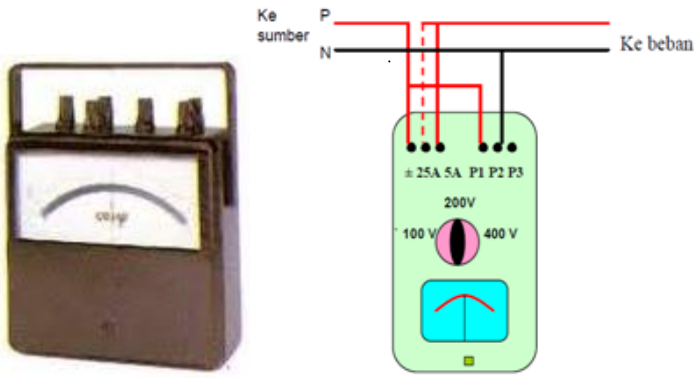
Gambar 2. 63 Penyambungan Wattmeter elektrodinamis

Pada Gambar 2.63a, kumparan arus mendeteksi arus beban I + Iv , dan kumparan tegangannya mendeteksi tegangan beban U. Akibatnya daya yang diukur wattmeter merupakan daya beban ditambah daya disipasi kumparan tegangan. Oleh karena itu cara ini sesuai untuk pengukuran arus besar.

Pada gambar 2.63b, kumparan arus beban I , dan kumparan tegangannya mendeteksi tegangan beban U + Ua . Akibatnya daya yang diukur wattmeter merupakan daya beban ditambah daya disipasi kumparan arus. Oleh karena itu cara ini sesuai untuk pengukuran arus kecil.

3.3.7. Cos Phi Meter

Alat ini digunakan untuk mengukur besarnya faktor kerja (power factor) yang merupakan beda fase antara tegangan dan arus. Definisi faktor kerja adalah cosinus sudut fasa antara arus dan tegangan,pengukuran faktor daya biasanya menyangkut penentuan sudut fasa.Cara penyambungannya secara seri dan paralel,alat ini mempunyai kumparan arus dan kumparan tegangan.



Gambar 2. 64 Cos Phi Meter dan pengawatan

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1. Mengidentifikasi Materi dasar kelistrikan

Sebelum melakukan kegiatan aktivitas pembelajaran, peserta diklat berdiskusi dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut :

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran dasar kelistrikan? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

3. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
5. Apa bukti yang harus diunjuk kerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-01**.Jika Saudara bisa menjawab pertanyan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran.

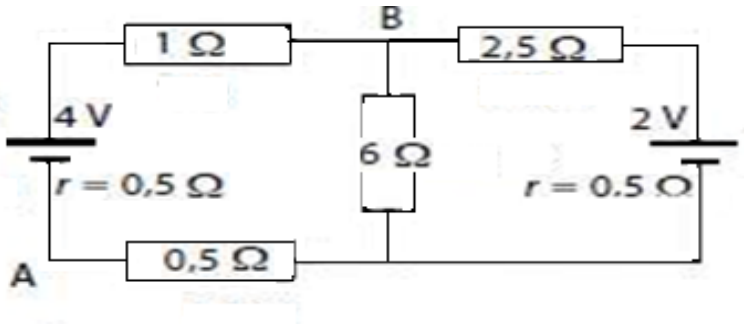
Aktivitas 2. Menerapkan hukum OHM Pada rangkaian Listrik Searah

Lakukanlah pehitungan dengan menggunkan hukum ohm,hubungan antara tegangan ,arus dan hambatan dengan menggunakan **LK-02**.

Aktivitas 3 : Menerapkan hukum kirchoff

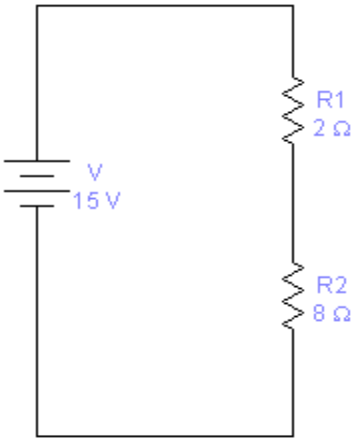
Dari penjelasan tentang hukum kircoff, dimana Hukum *Kirchhoff* pada Rangkaian Satu Loop - Dengan menerapkan Hukum Ohm dan Hukum Kirchoff I, saudara dapat mencari besar arus dan tegangan pada rangkaian dengan satu sumber tegangan. bagaimanakah kita mencari arus dan tegangan jika pada rangkaian terdapat lebih dari satu sumber tegangan? Perhatikan Gambar skema rangkaian tertutup dengan dua sumber tegangan dan dua hambatan berikut ini.

Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut:



Untuk menyelesaikan soal tersebut,maka gunakan **LK-03**.Kemudian untuk tugas praktikum gunakan **LK -01P**.

Aktivitas 4. Menghitung Tegangan,arus pada rangkaian Seri



2 buah resistor dipasang dalam rangkaian seri, dengan harga resistansi sebesar 2 ohm dan 8 ohm. Tentukanlah daya total dan daya yang hilang dari masing – masing resistor tersebut bila besarnya tegangan sumber adalah 10 volt ?

Diketahui : R_1 = 2 ohm

R_2 = 8 ohm

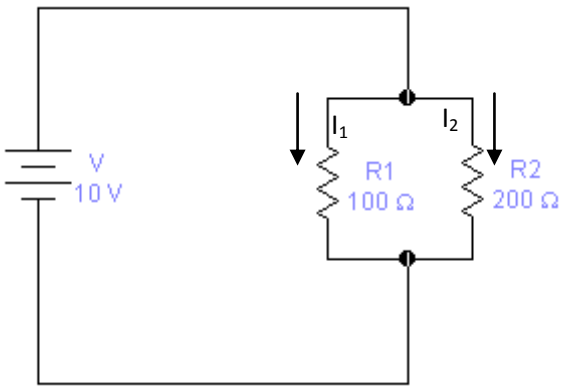
V = 10 volt

Ditanya : daya total dan daya pada masing – masing R ?

Untuk menjawabnya gunakan **LK-04.**

Aktivitas 5. Menghitung nilai tegangan,arus dan Hambatan pada rangkaian Paralel

Hitunglah besarnya arus yang pada resistor 100 ohm dan 200 ohm pada rangkaian di bawah ini.



Diketahui: R_1 = 100 ohm

R_2 = 200 ohm

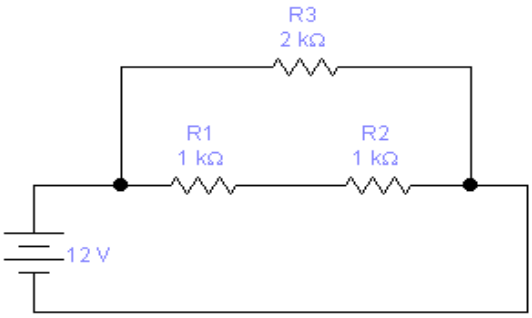
V = 10 volt

Ditanya: Arus pada masing – masing R ?

Untuk menjawabnya gunakan **LK-05**.

Aktivitas 6. Menghitung nilai tegangan,arus dan Hambatan pada rangkaian Seri-Paralel

Tentukanlah daya total dan daya dari masing – masing resistansi rangkaian di bawah ini:



Diketahui : R_1 = 1 Kohm

R_2 = 1 Kohm

R_3 = 2 Kohm

V = 12 Volt

Ditanya: daya total dan daya pada masing-masing R

Untuk menjawabnya gunakan **LK-06**

Aktivitas 7 . Menghitung nilai maksimum,frekuensi,waktu perioda

Tegangan bolak-balik dinyatakan *v = 20 sin 157.1t* volt. Tentukan (a) nilai maksimum (b) frekuensi (c) waktu priode (d) berapa kecepatan sudut yang menyatakan phasor bentuk gelombang tersebut?

Untuk menjawabnya gunakan **LK-07**.

Aktivitas 8. Menganalisis rangkaian Bolak-balik Seri

saudara telah melakukan analisis rangkaian AC,maka amati gambar rangkaian yang ditunjukan pada gambar dibawah ini tentukan tegangan V_1 dan V_2 jika frekuensi sumber 1kHz. Gambar diagram phasor dan tentukan tegangan sumber V dan sudut phasa rangkaian. Gunakan **LK-08** untuk menjawab permasalahan tersebut. Untuk kegiatan praktikum gunakan **LK-02.**

Aktivitas 9. Menganalisis rangkaian Bolak-Balik Paralel

saudara telah menganalis rangkaian arus bolak-balik paralel untuk lebih memahaminya maka jawablah kasus di bawah ini pada **LK-09**. Untuk kegiatan praktikum gunakan **LK-03**

.

Tahanan R = 4 (Ω) dan reaktansi induktip X_L = 3 (Ω) dihubungkan paralel disuplai oleh tegangan bolak-balik sebesar 120 (V).

Tentukan :

a) Nilai arus I (A)
b) Tegangan V (v)
c) Perbedaan fasa φ (rad)
d) Gambarkan vector diagram hubungan arus dan tegangan

Aktivitas 10: Menganalisis Daya Bolak-balik

Suatu rangkaian dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-nalik *100 (V)* sehingga mengalir arus sebesar *10 (A)* dengan pergeseran fasa 30° tertinggal. Tentukan daya yang diserap pada rangkaian tersebut. Juga tentukan faktor daya pada saat itu. Untuk menjawabnya gunakan **LK-10**.

Aktivitas 11: Menghitung perbaikan faktor daya

Untuk menghitung perbaikan faktor daya selesaikan kasus di bawah ini dan gunakan **LK-11** untuk menjawabnya. untuk melaksanakan praktikum gunakan **LK-04.P** Sebuah ballast lampu TL mempunyai resistansi R = 40 (Ω) dan induktansi L = 1,25 (H). Jika ballast ini dihubungkan pada sumber tegangan 220 (V) yang mempunyai frekuensi f = 50 (Hz). Tentukan :

a) Besarnya C yang harus dipasang agar Cos φ = 0,9 leading
b) Besarnya arus I (A) sesudah dipasang C
c) S, P dan Q sebelum dan sesudah dipasang C
d) Penghematan daya semu (VA) setelah dipasang C

Aktivitas 12: Menentukan batas ukur

Sebuah meter kumparan putar 100 (μA), 1000 (Ω) digunakan sebagai Voltmeter. Tentukan nilai tahanan muka yang sesuaiuntukmendapatkan Voltmeter dengan batas untuk:

a. 0,5 Volt b. 5 Volt c. 50 Volt

Untuk penyelesaian soal diatas gambarkan rangkaian dengan memperlihatkan susunan rangkaian yang dapat digunakan untuk bermacam-macam batas ukur dengan menggunakan *selector switch*.Untuk menjawabnya gunakan ***LK -11.***

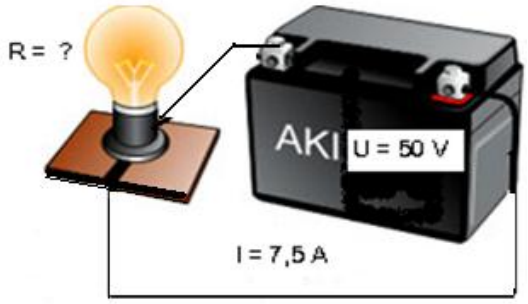
E. Rangkuman

- Metoda arus mata jala (mesh) dan tegangan simpul yang dikemukakan oleh Kirchoff merupakan cara yang paling utama dari analisis rangkaian arus searah dengan elemen pasif resistor (rangkaian resistif). Tetapi, dengan menghitung resistansi ekivalen dari cabang-cabang seri dan parallel yang digabungkan dengan aturan-aturan pembagi tegangan pada rangkaian seri dan pembagian arus pada rangkaian parallel dapat memberikan cara lain guna menganalisis suatu rangkaian.
- Arus bolak-balik (AC/alternating current) adalah arus listrik dimana besar dan arahnya arus berubah-ubah setiap saat.. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoida
- Fasor adalah sebuah vektor yang digunakan untuk menggambarkan besaran yang nilainya bervariasi menurut fungsi waktu dan membentuk grafik fungsi sinus (gelombang AC) sepeperti besaran listrik AC, fasor adalah vektor yang yang berotasi dalam arah yang berlawanan dengan arah perputaran jarum jam dengan laju sudut ω konstan yang sama dengan frekuensi sudut dari gerak sinusoida
- Usaha yang dapat dilakukan untuk memperkecil geseran fasa antara arus dan tegangan (memperbesar faktor daya), adalah dengan menambah kapasitor secara paralel pada beban.
- Pengukuran daya pada sistem arus balik dibedakan menjadi tiga jenis daya, yaitu Daya semu (S) yang diukur dalam satuan VA atau kVA, Daya Aktif (P) yang diukur dalam satuan watt atau kW dan Daya Reaktif (Q) yang diukur dalam satuan VAR atau kVAR
- Pengukuran adalah proses untuk mendapatkan informasi besaran fisis tertentu, seperti tegangan (V), arus listrik (I), hambatan (R), konduktivitas (ρ), dan lainnya. Data yang diperoleh dapat berupa nilai dalam bentuk angka (kuantitatif) maupun

berupa pernyataan yang merupakan sebuah pernyataan atau generalisasi (kualitatif).

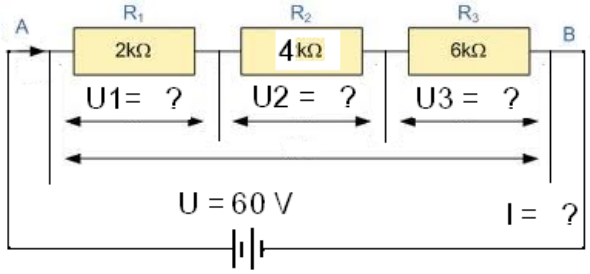
F. Tes Fromatif

1. Sumber tegangan 50 volt mensuplay suatu rangkaian listrik dan mengalirkan arus sebesar 7.5ampere. Hitunglah tahanan rangkain listrik dimaksud.



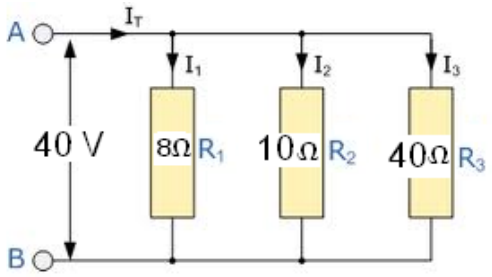
Gambar 2. 1 menghitung harga R

2. Tiga buah resistor atau tahanan listrik masing-masing 2 Ω, 4 Ω dan 6 Ω di hubung secara seri dan di suplay dengan tegangan DC 60 volt. Hitunglah arus listrik dalam rangkaian seri dimaksud dan beda tegangan pada masing-masing resistor.



3. Tiga buah Resistor 8 Ω, dan 40 Ω dihubung secara paralel dan dii suplay oleh sumber listrik 40 volt.

   Hitunglah arus total dan tahanan total rangkaian paralel dimaksud.



Gambar 2. 2 rangkaian pararel

2. tegangan bolak-balik $v = 75\sin(200\pi t - 0.25)volt$

   Tentukan (a) amplitude, (b) nila puncak ke puncak, (c) nilai rms, (d) waktu prioda, (e) frekuensi, dan (e) sudut phasa relatif (dalam derajat dan menit) *75 sin 200πt.*

5. Diketahui rangkaian seri R, L, dan C

   Tegangan masing-masing komponen U_R = 25 volt, U_L = 40 volt, U_C = 55 volt

   Arus (I) 0,345 A dan kapasitansi kapasitor (F) 20 μF.

   Hitung;

   a. Frekuensi (f)
   b. Tegangan total (U)
   c. Impedansi (Z)
   d. Nilai R dan L

G. Kunci Jawaban

1. Jawab :

   $R = \frac{U}{I}$ $R = \frac{50}{7,5}$ atau $R = \frac{50 \times 2}{15} = 6,67\ \Omega$

2. Jawab :

   RT = R1 + R2 + R3

   = 2 + 4 + 6

   = 12 Ω

   $I = \frac{U_T}{R_T}$ $I = \frac{60}{12} = 5$ A

   U1 = IR1

   = 5 x 2

   = 0 volt

   U2 = IR2

   = 5 x 4

   = 20 volt

   U3 = IR3

   = 5 x 6

   = 30 volt

3. Jawab :

   I_1 = (U/R1)

   = (40/8)

   = 5 A

   IT = I1 + 12 + 13

   = 5 + 4 + 1

   = 10 A

   $I_2 = \frac{U}{R_2}$

   $= \frac{40}{10}$

   $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

   $= \frac{1}{8} + \frac{1}{10} + \frac{1}{40} = 4$ A

   $= \frac{3+4+3}{40} = \frac{10}{40}$

$$I_3 = \frac{U}{R_s} \qquad R_T = \frac{40}{10}$$

$$= \frac{40}{40} \qquad = 4\ \Omega$$

$$= 1\ A$$

4. Jawab :

Bandingkan $v = 282.8\sin(200\pi t - 0.25)$ dengan pernyataan umum $v = V_m \sin(\omega t \pm \phi)$,menjadi :

(a) Amplitude atau nilai maksimum = 75V

(b) Nilai puncak ke puncak = 2 x 75 = 150V

(c) Nilai rms = 0.707 x nilai maksimum = 0.707 x 75 = 53V

(d) Kecepatan sudut, ω = 200π rad/s

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{200\pi} = \frac{1}{100} = 0.01\ s\ atau\ 10\ ms$$

(e) Frekuensi,

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.01} = 100\ Hz$$

(f) Sudut phasa, Φ = 0.25 radian tertinggal 75 sin 200π

$$0.25\ rad = \left(0.25x\frac{180}{\pi}\right) = 14^0.19'$$

Sudut phasa = $14^0.19'$

5. Jawaban:

a. Frekuensi adalah, f **= 99,79 Hz**

b. . Tegangan total adalah, $U_T = 29,16\ volt$

c. Impedansi rangkaian adalah, **Z = 84,42 Ω**

d. Resistansi dan reaktansi induktif rangkaian adalah, **R =** $72,46\ \Omega$**, X_L = 184,84 mH**

LEMBAR KERJA KB-2

LK – 01

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran dasar kelistrikan? Sebutkan!

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

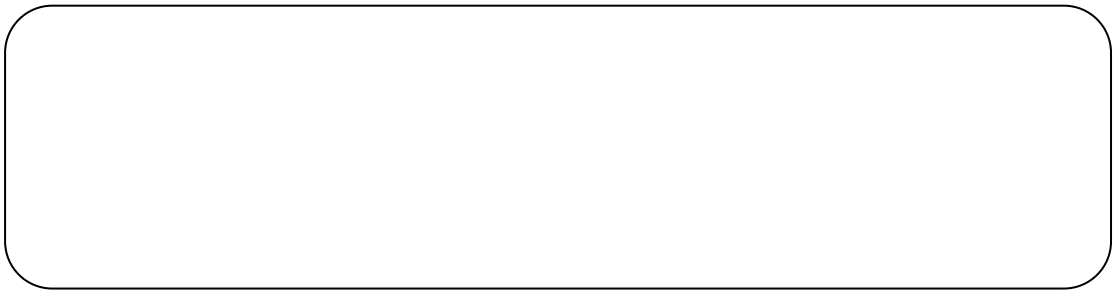
3. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

4. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

5. Apa bukti yang harus diunjuk kerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

LK – 02

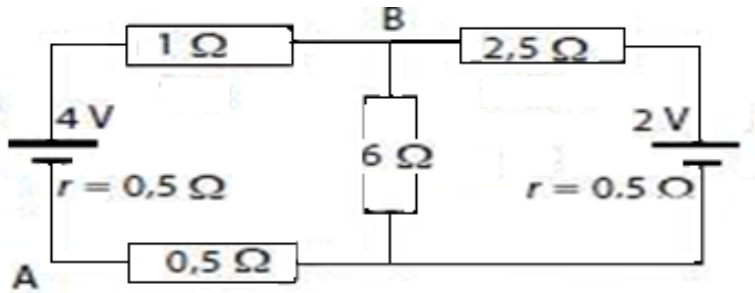
Arus listrik sebesar 40 miliamper akan dibagi menjadi dua cabang arus masing-masing sebesar 30 miliamper dan 10 miliamper melalui suatu jaringan resistor di mana resistan totalnya sama dengan atau lebih besar dari 10 ohm.



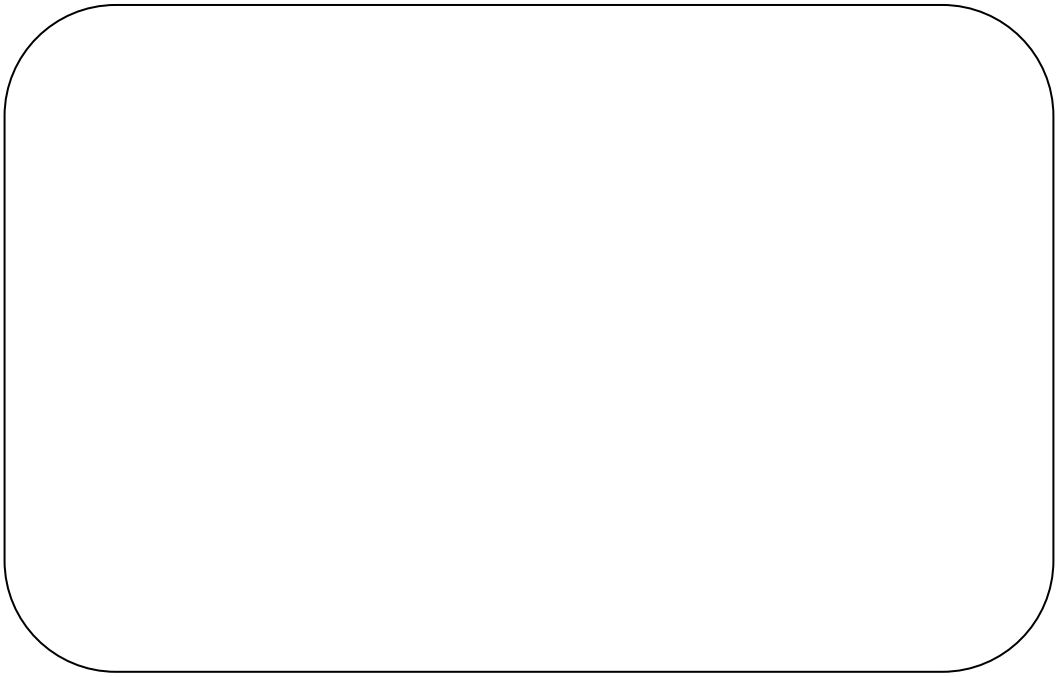
LK – 03

Rangkaian yang ditunjukan pada gambar berikut ini, gunakan Hukum Kirchhoff untuk menghitung : a). Arus yang mengalir pada masing-masing cabang rangkaian, b). Tegangan jatuh (*drop voltage*)pada resistor 6Ω.

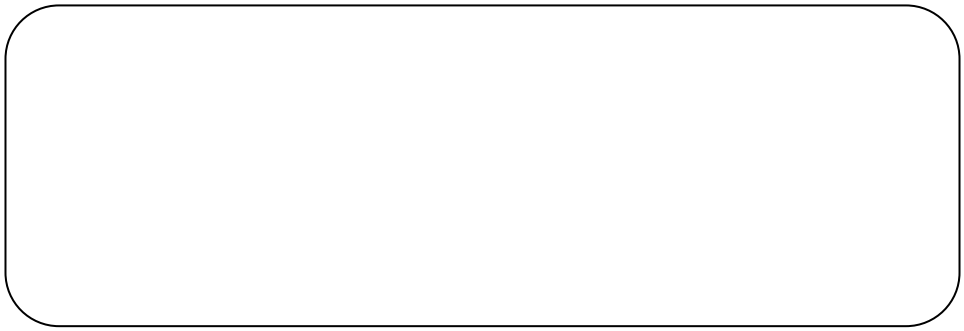
Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut:



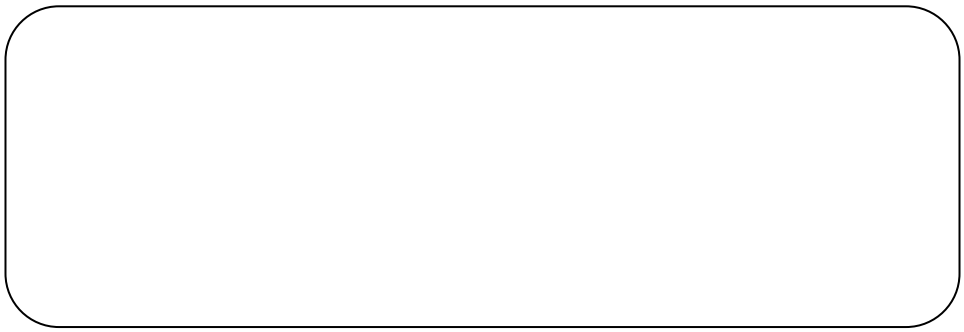
LK – 04



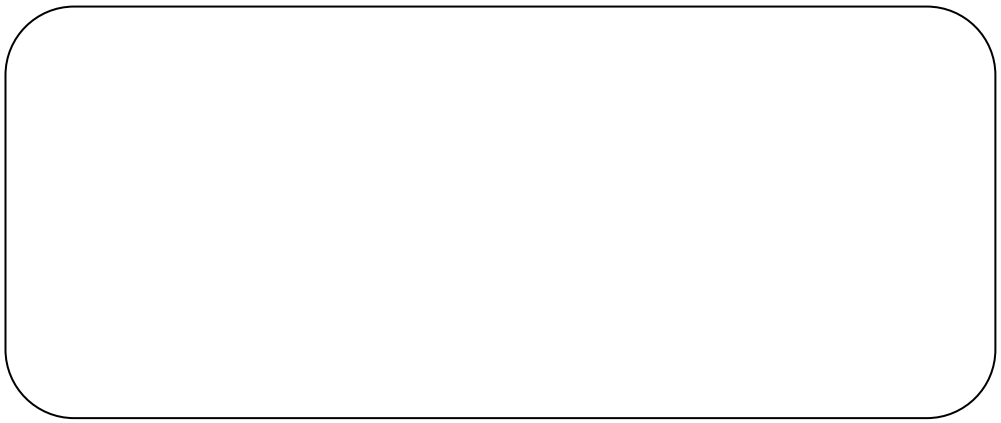
L**K-05** Menghitung Nilai Tegangan,arus dan Hambatan pada rangkaian paralel



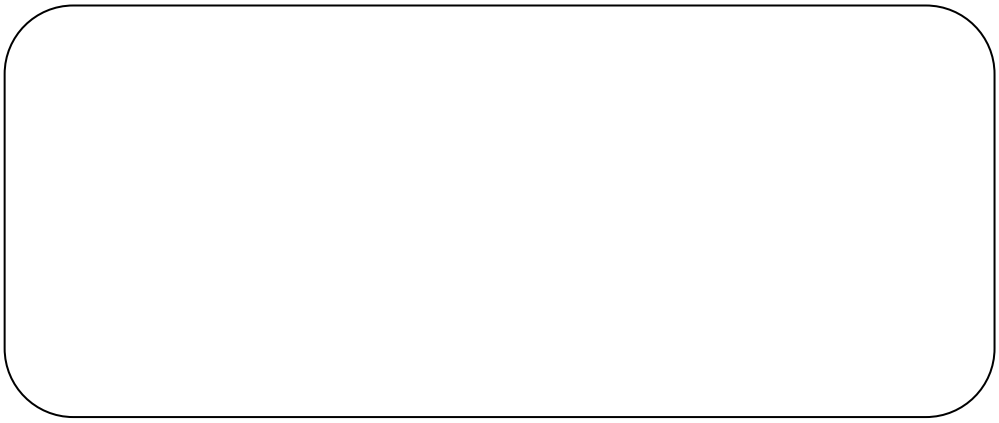
LK-06 Menghitung Nilai Tegangan,arus dan Hambatan pada rangkaian Seri – Paralel



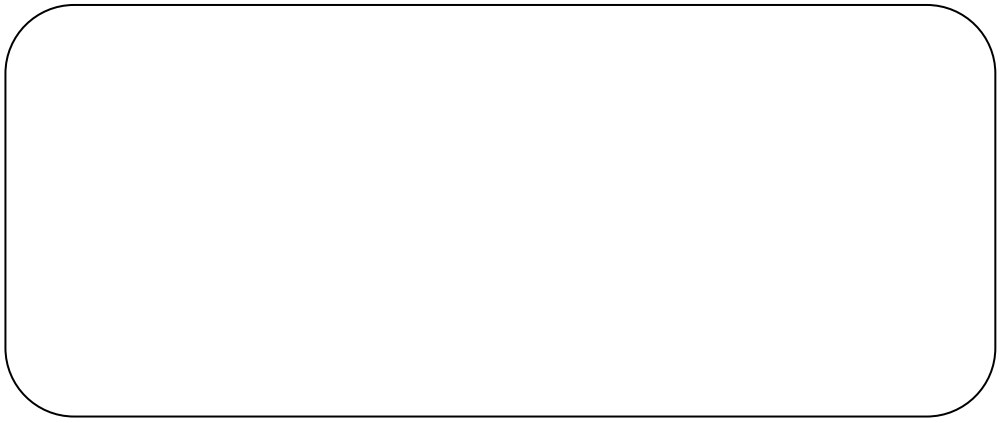
LK-07 Menghitung nilai maksimum,frekuensi,waktu perioda



LK-08 Menganalisis Rangkaian Bolak-balik Seri

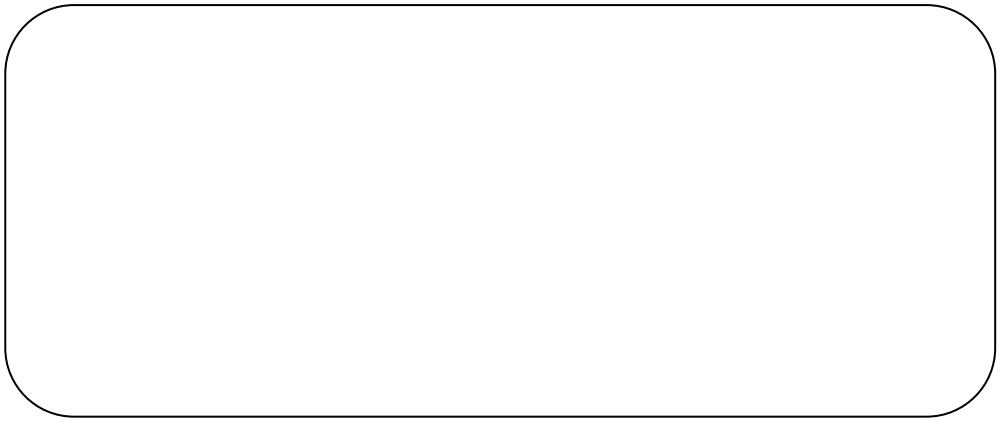


LK-09 Menganalisis Rangkaian Bolak-balik Paralel



LK-10 Menghitung Daya Bolak-balik

LK-11 Menghitung Perbaikan Faktor Daya



LK-12 Menghitung Ketelitian Alat Ukur

TUGAS PRAKTIK:

LK-01P

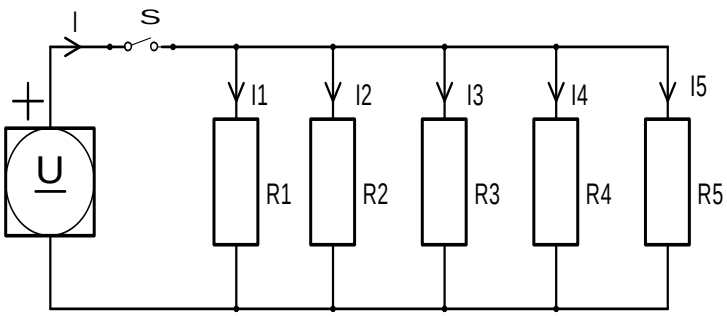
RANGKAIAN DC

DAFTAR PERALATAN, KOMPONEN, DAN BAHAN

No.	Nama Alat/Komponen/Bahan	Spesifikasi	Jumlah	*Keterangan*
1	**2**	**3**	**4**	***5***
	Alat			
1	Sumber tegangan DC	20 volt	1 bh	
2	Miliampere Meter DC	Batas ukur : 0-10-30-100 mA	1 bh	
3	Voltmeter DC	Batas ukur : 0-3-10-30 volt	1 bh	
	Komponen			
1	Resistor/tahanan	2 kΩ s.d 5 kΩ	5 bh	
	Bahan			
1	Kabel Penghubung	Hitam, merah		Secukupnya

TUGAS

1. Buatlah rangkaian percobaan sebagaimana gambar di bawah ini !



Gambar Rangkaian Pengukuran Hukum Kirchoff Arus (KCL)

2. Tetapkan dan catat nilai R_1 sampai R_5 yang Anda gunakan !

   R_1 = ……ohm

   R_2 = ……ohm

   R_3 = ……ohm

   R_4 = ……ohm

   R_5 = ……ohm

3. Ukurlah arus yang mengalir pada tiap cabang (I_1 s.d I_5, dan I) menggunakan mA meter dengan batas ukur yang sesuai secara bergantian! Buatlah tabelnya dan Catatlah:

4. Bandingkanlah harga I terhadap jumlah I_1 s.d I_5 !
5. Buatlah Analisa dan Kesimpulan dari hasil pengukuran anda !

LK-02P

Rangkaian AC

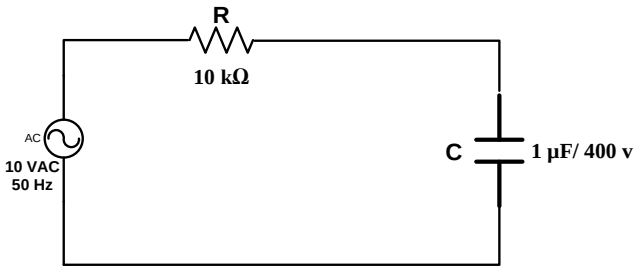
1. JUDUL : Rangkaian Seri Resistive-Capacitive (RC) Seri

2.PERALATAN DAN BAHAN :

- 1 buah sumber Tegangan AC
- 1 buah resistor 10 kΩ
- 1 buah Capasitor 1 µF
- 1 buah Multimeter

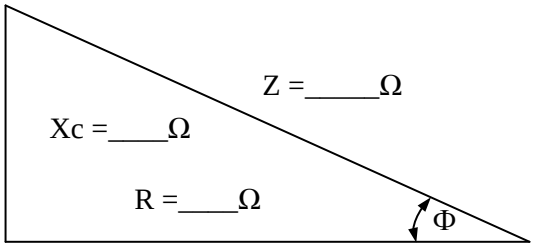
3.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Buatlah rangkaian RC seri seperti pada gambar dibawah ini.



2. Hitunglah berikut ini :
   (a) Reaktansi kapasitif (Xc) = $\frac{1}{2\pi fC}$ = _____ohm
   (b) Impedansi (Z) = $\sqrt{R^2 + Xc^2}$ = _____ohm
3. Dengan multimeter, ukurlah nilai berikut :
   (a) Tegangan resistor (V_R) =_____volt AC.
   (b) Tegangan capasitor (V_C) =_____volt AC.
   (c) Arus yang melalui rangkaian (I_T) =_____ampere AC.
4. Hitunglah impedansi pada rangkaian menggunakan rumu berikut:
   (a) $I_T = \frac{V_R}{R}$ =_____ampere.
   (b) $Z_T = \frac{V_T}{I_T}$ =_____ohm.

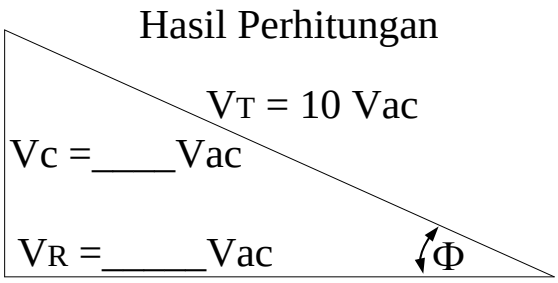
5. Lengkapi segitiga impedansi berikut ini sesuai rangkaian yang telah di buat dengan mengunakan nilai R, Xc, dan Z yang telah dihitung :

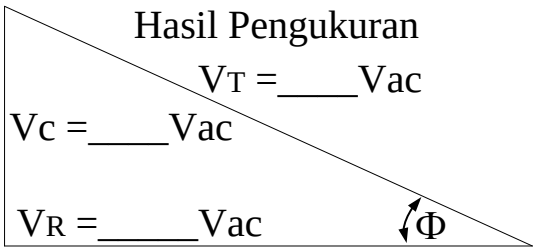


6. Hitunglah drops tegangan pada rangkaian :
   (a) $V_R = I_T \times R =$_____volt AC.
   (b) $V_C = I_T \times X_C =$_____ volt AC.

7. Buktikan tegangan yang dijumlahkan vector dengan nilai yang anda hitung :
   $V_T = \sqrt{V_{R^2} + V_{C^2}}$ =_____volt AC.

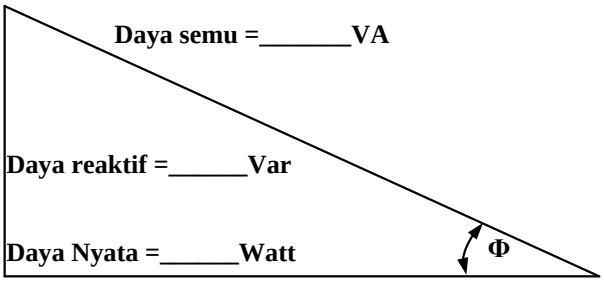
8. Lengkapi segitiga tegangan berikut mengunakan perhitungan tersebut, nilai yang diukur :





9. Hitunglah perubahan daya pada rangkaian tersebut :
   (a) Daya nyata = $I_T \times V_R$ = _____watt.
   (b) Daya semu = $I_T \times V_T$ =_____VA.
   (c) Daya reaktif = $I_T \times V_c$ =_____var.

10. Lengkapi segitiga tegangan berikut menggunakan nilai perhitungan daya nyata, daya semu, dan daya reaktif :



11. Simpulkan hasil percobaan diatas.

Analisa :

1. Bandingkan nilai perhitungan dan nilai pengukuran pada table berikut ini :

Nilai	Perhitungan	Pengukuran
$\mathbf{I_T}$		
Z		
$\boldsymbol{V_R}$		
$\boldsymbol{V_C}$		

2. Tentukan sudut fasa pada rangkaian dengan mengunakan metode trigonometri berikut :

   (a) Sudut fasa (Ø) = arc tan $\frac{X_C}{R}$ = _____

   (b) Sudut fasa (Ø) = arc tan $\frac{V_C}{V_R}$ = _____

   (c) Sudut fasa (Ø) = arc cos $\frac{W}{VA}$ = _____

3. Tentukan faktor daya pada rangkaian :

   Faktor daya (pf) = $\frac{\text{daya nyata}}{\text{daya semu}}$ = _____

4. Tentukan nilai cos pada sudut phasa, dan nilai ini harus sama dengan faktor daya pada rangkaian.

   Cos Ø =

LK-03.P

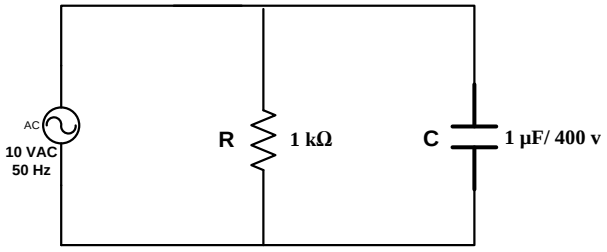
1. JUDUL : Rangkaian Resistor-Kapasitor (RC) paralel

2.PERALATAN DAN BAHAN :

- Sumber tegangan AC
- Resistor 1 kΩ
- Capasitor 1 µF/ 400 v
- Multimeter

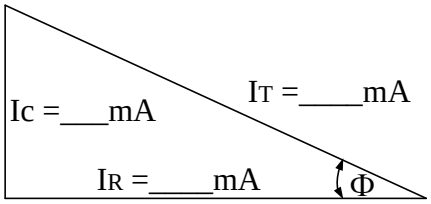
3.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Rangkailah rangkaian paralel RC seperti pada gambar dibawah ini.



2. Hitunglah dibawah ini
   (a) Reaktansi kapasitif $(Xc) = \frac{1}{2\pi fC} =$ _____Ω
   (b) Arus yang melalui resistor $(I_R) = \frac{V}{R} =$ _____ampere
   (c) Arus yang melalui kapasitor $(I_C) = \frac{V}{X_C} =$ _____ampere
   (d) Arus total $(I_T) = \sqrt{{I_R}^2 + {I_C}^2} =$ _____ampere
   (e) Impedansi $(Z) = \frac{V}{I_T} =$ _____Ω

3. Lengkapi segitiga arus dibawah ini dengan menggunakan nilai pada langkah ke 2



4. Ukurlah nilai arus AC berikut

   (a) arus yang melalui resistor $(I_R) =$ _____ampere

   (b) arus yang melalui kapasitor $(I_C) =$ _____ampere

   (c) Arus total $(I_T) =$ _____ampere

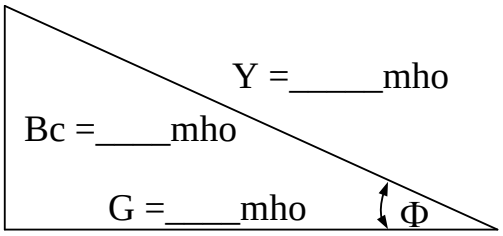
5. Hitunglah nilai dibawah ini

   (a) Admitansi $(Y) = \frac{1}{Z} =$ _____mho / siemens

   (b) Konduktansi $(G) = \frac{1}{R} =$ _____mho / siemens

   (c) Kapasitif suseptansi $(B_C) = \frac{1}{X_C} =$ _____mho / siemens

6. Lengkapi segitiga admitansi dibawah ini



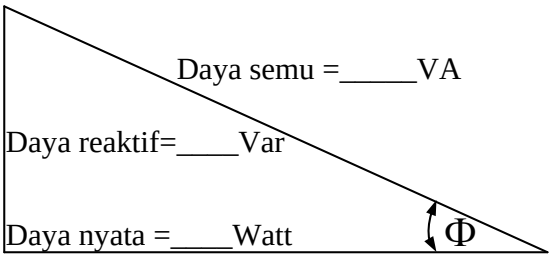
7. Hitung daya yang diubah dalam rangkaian tersebut :

   (a) Daya nyata $= I_{R^2} \times R =$ _____watt

   (b) Daya semu $= I_{T^2} \times Z =$ _____VA

   (c) Daya reaktif $= I_{C^2} \times X_C =$ _____var

8. Lengkapi segitiga daya berikut ini



9. Simpulkanlah dari percobaan tersebut

Analisa

1. Bandingkanlah nilai yang dihitung dengan pengukuran pada table berikut

Nilai	Perhitungan	Pengukuran
I_R		
I_C		
I_T		

2. Tentukan sudut pasa $\emptyset$ dari rangkaian tersebut dengan menggunakan metode trigonometri berikut :
   (a) Sudut fasa $(\emptyset) = arc\,sin\frac{I_C}{I_T} =$ _____
   (b) Sudut fasa $(\emptyset) = arc\,tan\,\frac{var}{W} =$ _____
3. Tentukanlah nilai dari :
   (a) $cos\,sin\,\emptyset =$ _____
   (b) Faktor daya $= \frac{Daya\ nyata}{Daya\ semu} =$ _____

4. Dan saat dipasang induktor 8 Henry pada rangkaian tersebut secara paralel maka hitunglah :

   (a) $X_L = 2\pi fL =$ _____Ω

   (b) $I_L = \frac{V}{X_L} =$ _____ampere

   (c) $I_X = I_L - I_C =$_____ampere

   (d) $I_T = \sqrt{{I_R}^2 + {I_X}^2} =$ _____ampere

   (e) $Z = \frac{V}{I_T} =$ _____Ω

   (f) $\emptyset = arc\ sin\ \frac{I_X}{I_T} =$ _____

   (g) $Pf = \cos\emptyset =$ _____

5. Bagaimana nilai faktor daya pada rangkaian saat tanpa dipasang induktor mendapat hasil berbeda dengan rangkaian saat dipasang induktor ? mengapa ?

   _____

   _____

   _____

   _____

6. Mengapa arus total berbeda setelah dipasang induktor ?

   _____

   _____

   _____

LK-04P.

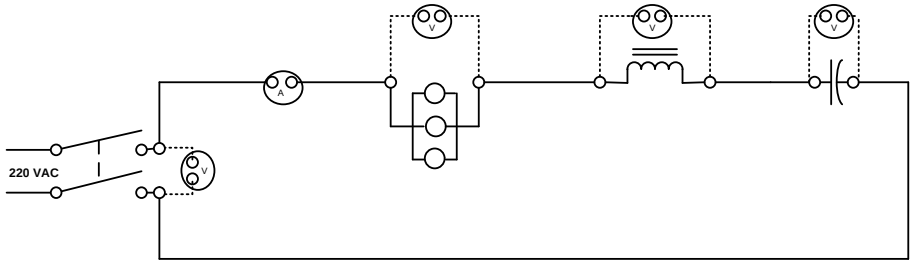
1.JUDUL : INDUKTANSI di Rangkaian AC

2.PERALATAN DAN BAHAN :

- 1 - Voltmeter AC
- 1 - Amperemeter (0-5A)
- 1 - Bank lampu (lampu pijar 40W,60W,100W)
- 1 - Saklar pemutus DPST
- Ballast 10W, 20W, 40W
- *Kapasitor 3,25 µF, 4,5 µF,7,5µF*
- *Kabel Penghubung*

3.PROSEDUR PRAKTIKUM :

1. Hubungkan peralatan seperti yang ditunjukan di gambar di bawah ini!



2. Rangkailah peralatan sesuai dengan gambar rangkaian (percobaan pertama adalah rangkaian seri RL dengan menggunakan lampu pijar sebagai beban R dan Ballast sebagai beban L)
3. Selesaikanlah laporan anda

TUGAS DAN PERTANYAAN

1. Hitunglah nilai-nilai; U, R,XBL,Xc,Z,Cos Ψ,dan tabulasikan kedalam table hasil perhitungan
2. Lukislah vector diagram tegangan masing-masing percobaan untuk tegangan 220 V
3. Bandingkanlah hasil perhitungan tegangan total dengan hasil pengukuran
4. Melalui analisis vector hitunglah nilai induktansi ballast dan kapasitansi kapasitor serta factor daya rangkaian

5. Berilah komentar anda terhadap hasil-hasil pengukuran dan perhitungan dalam bentuk analisis data
6. Buatlah kesimpulan dari percobaan ini

TABEL HASIL PENGUKURAN

Rangkaian	U	UR	UBL	UC	URL	I
RL Seri						
RC Seri						
RLC Seri						

PENGOLAHAN DATA

TABEL HASIL PENGHITUNGAN

Rangkaian	U	R	XBL	XC	Z	Cos Ψ
RL Seri						
RC Seri						
RLC Seri						

VEKTOR DIAGRAM

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 KOMPONEN AKTIF

A. Tujuan

a. Setelah mengamati berbagai macam komponen aktif, peserta dapat menafsirkan karakteristik diode penyearah dengan teliti
b. Setelah membaca teks bahan bacaan, peserta dapat menafsirkan karakteristik diode zener dengan teliti dan hati-hati.
c. Setelah mengikuti kegiatan praktikum peserta dapat Menafsirkan karakteristik Transistor bipolar.
d. Setelah membaca teks bahan bacaan, peserta dapat menafsirkan karakteristik FET dengan teliti dan hati-hati.
e. Setelah membaca teks bahan bacaan, peserta dapat menafsirkan karakteristik MOSFET dengan teliti dan hati-hati.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

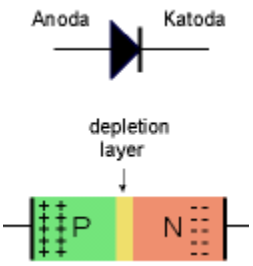
Setelah mempelajari Kegiatan belajar ini peserta diklat dapat

a. Menafsirkan karakteristik diode penyearah
b. Menafsirkan karakteristik diode zener
c. Menafsirkan karakteristik Transistor bipolar
d. Menafsirkan karakteristik FET
e. Menafsirkan karakteristik MOSFET

C. Uraian Materi

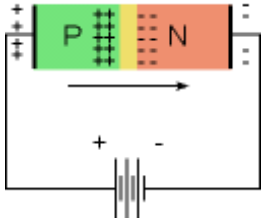
Dioda Penyearah

Dioda memiliki fungsi yang unik, yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Struktur dioda tidak lain adalah sambungan semikonduktor P dan N. Satu sisi adalah semikonduktor dengan tipe P dan satu sisinya yang lain adalah tipe N. Dengan struktur demikian arus hanya akan dapat mengalir dari sisi P menuju sisi N.



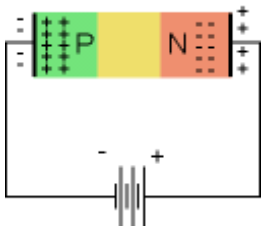
Gambar 3. 65 Struktur Dioda

Gambar di atas menunjukkan sambungan PN dengan sedikit porsi kecil yang disebut lapisan deplesi (*depletion layer*) dan terdapat keseimbangan *hole* dan elektron. Seperti yang sudah diketahui, pada sisi P banyak terbentuk *hole-hole* yang siap menerima elektron sedangkan di sisi N banyak terdapat elektron-elektron yang siap untuk bebas merdeka. Lalu jika diberi bias positif, dengan arti kata memberi tegangan potensial sisi P lebih besar dari sisi N, elektron dari sisi N dengan serta merta akan tergerak untuk mengisi *hole* di sisi P. Tentu saja jika elektron mengisi *hole* disisi P maka akan terbentuk *hole* pada sisi N karena ditinggal elektron. Ini disebut aliran *hole* dari P menuju N dan jika mengunakan terminologi arus listrik maka dikatakan terjadi aliran listrik dari sisi P ke sisi N.



Gambar 3. 66 Rangkaian Bias Maju

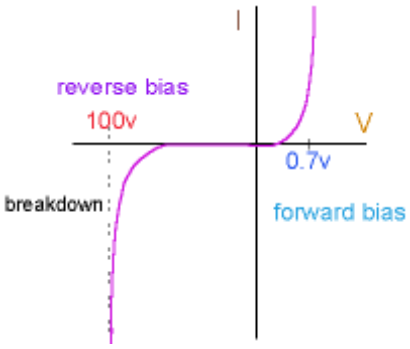
Sebalikya, apakah yang terjadi apabila polaritas tegangan dibalik dengan memberikan bias negatif (*reverse bias*). Dalam hal ini, sisi N mendapat polaritas tegangan lebih besar dari sisi P.



Gambar 3. 67 Rangkaian Bias Mundur

Tentu jawabanya adalah tidak akan terjadi perpindahan elektron atau aliran *hole* dari P ke N maupun sebaliknya. *Hole* dan elektron masing-masing tertarik ke arah kutub berlawanan. Bahkan lapisan deplesi (*depletion layer*) semakin besar dan menghalangi terjadinya arus.

Demikianlah penjelasan bagaimana dioda hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Dengan tegangan bias maju yang kecil saja dioda sudah menjadi konduktor. Tidak serta merta di atas 0 volt tetapi memang tegangan beberapa volt di atas nol baru bisa terjadi konduksi. Ini disebabkan karena adanya dinding deplesi (*deplesion layer*). Pada dioda yang terbuat dari bahan Silikon tegangan konduksi adalah di atas 0.7 volt. Kira-kira 0.2 volt batas minimum untuk dioda yang terbuat dari bahan Germanium.

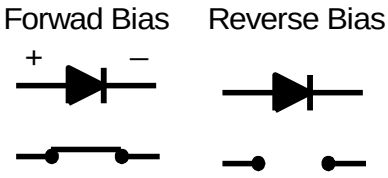


Gambar 3. 68 Grafik Hubungan Tegangan Bias dan Arus Dioda

Sebaliknya, untuk bias negatif dioda tidak dapat mengalirkan arus memang ada batasnya. Sampai beberapa puluh bahkan ratusan volt baru terjadi *breakdown* dan dioda tidak lagi dapat menahan aliran elektron yang terbentuk di lapisan deplesi.

Tegangan di mana arus mulai bertambah secara cepat disebut tegangan lutut *(knee)* atau *offset.* Pada dioda silikon, tegangan ini sama dengan potensial barier, sekitar 0,7 V. (Dioda germanium mempunyai tegangan *offset* 0,3 V). Tegangan di mana arus mulai bertambah secara cepat disebut tegangan lutut *(knee)* atau *offset.* Pada dioda silikon, tegangan ini sama dengan potensial barier, sekitar 0,7 V.

Pendekatan Pertama



Gambar 3. 69 Dioda ideal

Marilah kita dekati karakteristik dioda. Apa yang dilakukan oleh dioda?. Dioda konduk dengan baik dalam arah *forward* dan buruk dalam arah *reverse*. Jika diambil inti sarinya maka yang kita peroleh adalah suatu dioda ideal berlaku sebagai konduktor yang sempurna (bertegangan nol) bila diberi *forward* bias dan berlaku sebagai isolator yang sempurna (berarus nol) bila diberi *reverse* bias. Dalam istilah rangkaian, dioda ideal berlaku seperti saklar (*switch*).

Pendekatan Kedua

Kita membutuhkan tegangan *offset* sekitar 0,7 V sebelum dioda silikon konduk dengan baik. Tegangan sumber besar, 0,7 V tidak menjadi persoalan. Akan tetapi, jika tegangan sumber tidak besar maka kita harus memperhitungkan adanya tegangan lutut tersebut.

Pendekatan Ketiga

Pada pendekatan ketiga dari dioda, kita perhitungkan tahanan bulk RB. Seperti yang lalu, dioda konduk pada 0,7V

VF = 0,7V + IFR_B

Tahanan DC dari Dioda

Jika *Anda* menghitung perbandingan dari tegangan total dioda terhadap arus total dioda, *Anda* akan memperoleh tahanan dc dioda tersebut. Dalam arah *forward* tahanan dc ini diberi simbol RF dan dalam arah *reverse* diberi simbol RR.

Tahanan *forward*

Dioda adalah tahanan yang nonlinier. Oleh karena itu,tahanan dc-nya bervariasi dengan arus yang melaluinya. Sebagai contoh adalah beberapa pasang arus dan tegangan *forward* untuk tipe 1N914 : 10 mA pada 0,65 V, 30 mA pada 0,75 V, dan 50 mA pada 0,85 V. Pada titik pertama tahanan dc-nya adalah 65, 25 dan 17 ohm. Perhatikan bahwa tahanan dc berkurang bila arus naik. Dalam setiap hal, tahanan *forward* adalah kecil.

Tahanan *Reverse*

Merupakan dua pasang arus dan tegangan *reverse* untuk 1N914; 25 nA pada 20V ; 5 PA pada 75 V. Pada titik pertama, tahanan dc-nya adalah 800M Ohm dan Pada titik kedua, 15 MegaOhm.

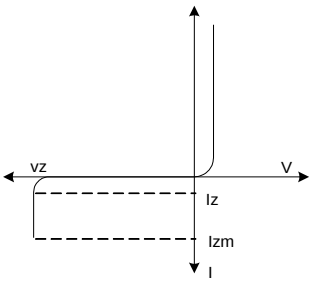
Perhatikanlah bahwa tahanan dc berkurang bila kita mendekati tegangan *breakdown* (75 V). Walaupun demikian, tahanan *reverse* dioda tetap tinggi, masih dalam ukuran MegaOhm.

Dioda Zener

Dioda Zener bekerja di daerah *breakdown*. Dioda ini merupakan tulang punggung dari pengatur tegangan, yaitu rangkaian yang menjaga tegangan beban tetap.

Gambar 3. 70 Simbol Dioda Zener

Grafik Arus dan Tegangan



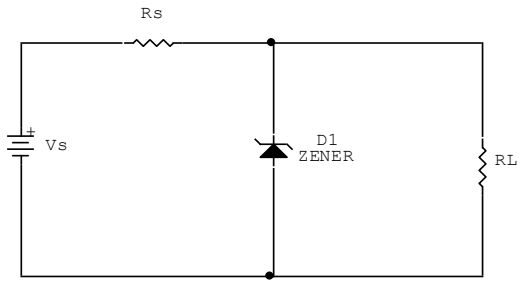
Gambar 3. 71 Grafik arus dan tegangan

Batas Kemampuan Maksimum

Penyerapan daya pada dioda zener sama dengan hasil kali tegangan dan arusnya.

$$Pz = Vz\ Iz$$

Dioda zener yang dibeli di pasaran mempunyai batas kemampuan ¼ W sampai 50 W.



Gambar 3. 72 Grafik Arus dan Tegangan Rangkaian Dioda Zener

Contoh Soal

Dioda zener mempunyai Vz = 10V. Gunakan pendekatan zener ideal untuk menghitung arus arus zener minimum dan maksimum jika Vs = 20-40V dan Rs = 820Ω. Jika rangkaian tersebut belum di pasang beban RL?

$$Is = \frac{Vs - 10}{RS}$$

$$Iz\min = \frac{20-10}{820} = 12{,}2mA$$

$$Iz\ \max = \frac{40-10}{820} = 36{,}6mA$$

Tegangan theveninnya adalah

$$Vth = \frac{RL}{RL = RS}.Vs$$

Arus seri adalah

$$Is = \frac{Vs - Vs}{Rs}$$

Arus zener adalah

Is =Iz +IL

Transistor Bipolar

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, pemotong (*switch*ing), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik dan diatur berdasarkan arus inputnya *Bipolar Junction Transistor* (BJT) atau tegangan inputnya *Field Effect Transistor* (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.

Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal. Tegangan atau arus yang dipasang di satu terminalnya yang mengatur arus yang lebih besar melalui 2 terminal lainnya. Transistor adalah komponen yang sangat penting dalam dunia elektronika modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi pengeras suara, sumber listrik stabil, dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai *logic gate*, memori, dan komponen-komponen lainnya.

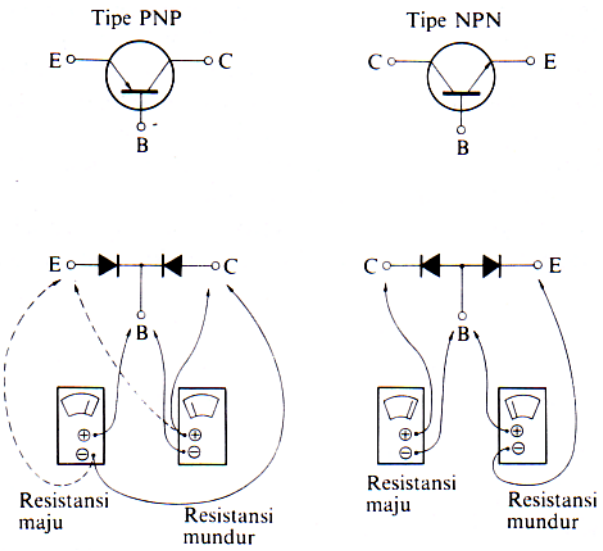
Pada awalnya ada dua tipe dasar transistor, yaitu *Bipolar Junction Transistor* (BJT atau transistor bipolar) dan *Field-Effect Transistor* (FET) yang masing-masing bekerja secara berbeda.

Transistor bipolar dinamakan demikian karena kanal konduksi utamanya menggunakan dua polaritas pembawa muatan elektron dan lubang untuk membawa arus listrik. Dalam BJT, arus listrik utama harus melewati satu daerah/lapisan pembatas yang dinamakan *depletion zone* dan ketebalan lapisan ini dapat diatur dengan kecepatan tinggi dengan tujuan untuk mengatur aliran arus utama tersebut.

FET (dinamakan juga transistor unipolar) hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan (elektron atau hole, tergantung dari tipe FET). Dalam FET, arus listrik utama mengalir dalam satu kanal konduksi sempit dengan *depletion zone* di kedua sisinya (dibandingkan dengan transistor bipolar di mana daerah basis memotong arah arus listrik utama). Sementara itu, ketebalan dari daerah perbatasan ini dapat diubah dengan perubahan tegangan yang diberikan untuk mengubah ketebalan kanal konduksi tersebut. Lihat artikel untuk masing-masing tipe transistor tersebut untuk mendapatkan penjelasan yang lebih lanjut.

BJT *(Bipolar Junction Transistor)* adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua dioda yang terminal positif atau negatifnya berdempet sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (E), kolektor (C), dan basis (B).

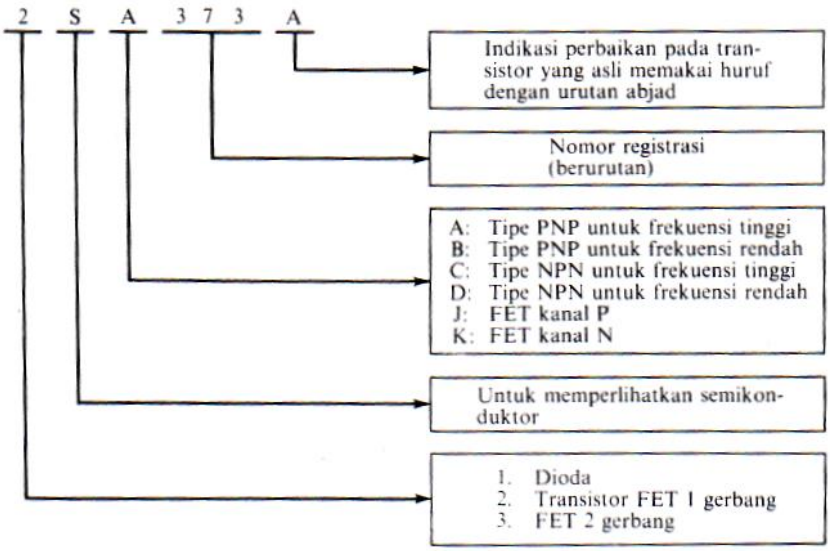
Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis biasanya dilambangkan dengan β atau h_{FE}. β dan biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor-transisor BJT.



Gambar 3. 73 Mengukur Resistansi Transistor BJT

Indikasi transistor

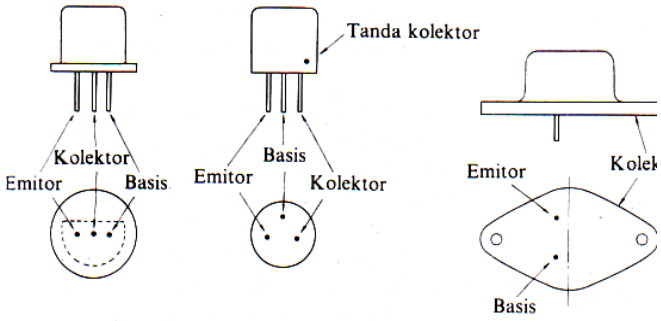
Sebuah transistor diberi indikasi/nama seperti misalnya 2S 0. . . , Sementara itu, IS berarti sebuah dioda. Metoda indikasi ditunjukkan pada Gbr. 2.39 Huruf A, B, C dan D diikuti 2S memperlihatkan karakteristik transistor karena itu sangat penting untuk diketahui.



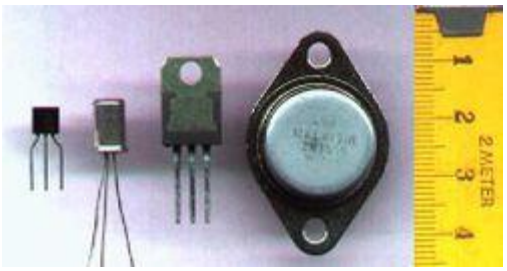
Gambar 3. 74 Indikator Transistor

Karakteristik transistor

Pada karakteristik transistor sebuah huruf yang menyatakan frekuensi yang digunakan dan tipe dari *junction* (hubungan) adalah sangat penting, bersama batas maksimum, penguatan arus *(h_{FF}* atau h_{fe}), juga frekuensi *cut off* (patah) transistor. Semuanya diperlihatkan pada daftar karakteristik. Karakteristik tersebut berubah pada pemakaian frekuensi yang melebihi *fa_b (j,.).* Jika transistor diganti dengan tipe yang sama maka tidak timbul masalah. Akan tetapi, jika diganti dengan tipe yang berbeda maka tidak akan bekerja bahkan mungkin menjadi rusak.



Gambar 3. 75 Bentuk Transistor



Gambar 3. 76 Berbagai Macam Transistor

Arus bias

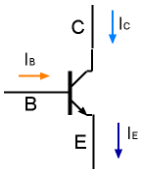
Ada tiga konfigurasi yang umum untuk merangkai transistor, yaitu rangkaian *Common Emitter* (CE), *Common Collector* (CC), dan *Common Base* (CB). Akan tetapi, saat ini akan dijelaskan lebih detail mengenai konfigurasi transistor rangkaian CE. Dengan menganalisa rangkaian CE dapat diketahui beberapa parameter penting dan berguna terutama untuk memilih transistor yang tepat untuk aplikasi tertentu. Tentu untuk

aplikasi pengolahan sinyal frekuensi audio semestinya tidak menggunakan transistor power sebagai contohnya.

Arus Emiter

Dari hukum Kirchhoff diketahui bahwa jumlah arus yang masuk ke satu titik akan sama jumlahnya dengan arus yang keluar. Jika hukum tersebut diaplikasikan pada transistor maka hukum itu menjelaskan hubungan.

$$I_E = I_C + I_B$$



Gambar 3. 77 Arus Emitor

Persamaan (1) tersebut mengatakan arus emiter I_E adalah jumlah dari arus kolektor I_C dengan arus base I_B. Arus I_B sangat kecil sekali atau disebutkan $I_B << I_C$ karena itu dapat di nyatakan

$$I_E = I_C$$

Alpha (α)

Pada tabel data transistor (*databook*) sering dijumpai spesifikasi α_{dc} (alpha dc) yang tidak lain adalah

$$\alpha_{dc} = I_C/I_E$$

Defenisinya adalah perbandingan arus kolektor terhadap arus emitor.

Besar arus kolektor umumnya hampir sama dengan besar arus emiter. Oleh karena itu, idealnya besar α_{dc} adalah = 1 (satu). Akan tetapi, umumnya transistor yang ada memiliki α_{dc} kurang lebih antara 0.95 sampai 0.99.

Beta (β)

Beta didefenisikan sebagai besar perbandingan antara arus kolektor dengan arus base.

$\beta = I_C/I_B$

β adalah parameter yang menunjukkan kemampuan penguatan arus (*current gain*) dari suatu transistor. Parameter ini tertera di *databook* transistor dan sangat membantu para perancang rangkaian elektronika dalam merencanakan rangkaiannya.

Misalnya, jika suatu transistor diketahui besar β=250 dan diinginkan arus kolektor sebesar 10 mA maka berapakah arus bias base yang diperlukan. Tentu jawabannya sangat mudah, yaitu

$I_B = I_C/b = 10mA/250 = 40$ uA

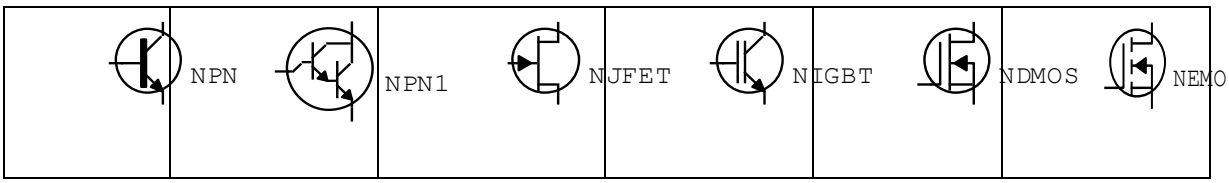
Arus yang terjadi pada kolektor transistor yang memiliki β = 200 jika diberi arus bias base sebesar 0.1mA adalah

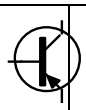
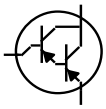
$I_C = \beta.I_B = 200 \times 0.1mA = 20$ mA

Berdasarkan rumusan ini, lebih terlihat defenisi penguatan arus transistor, yaitu sekali lagi, arus base yang kecil menjadi arus kolektor yang lebih besar.

Secara umum, transistor dapat dibeda-bedakan berdasarkan banyak kategori, yaitu

a. Materi semikonduktor; germanium, silikon, gallium arsenide.
b. Kemasan fisik; *through hole metal, through hole plastic, surface mount, ic*, dan lain-lain.
c. Tipe; UJT, BJT, JFET, IGFET (MOSFET), IGBT, HBT, MISFET, VMOSFET, serta pengembangan dari transistor, yaitu *Integrated Circuit* (IC) dan lain-lain.
d. Polaritas; NPN atau N-channel, PNP atau P-channel.
e. Maximum kapasitas daya; *low power, medium power, high power*.
f. Maximum frekuensi kerja; *low, medium*, atau *high frequency, rftransistor*, *microwave*, dan lain-lain.
g. Aplikasi; amplifier, saklar, *general purpose*, audio, tegangan tinggi, dan lain-lain.



 PNP	 PNP1	PJFET	PIGBT	PDMOS	PEMOS
Transistor	Darlington	JFET	IGBT	DMOSFET	EMOSFET

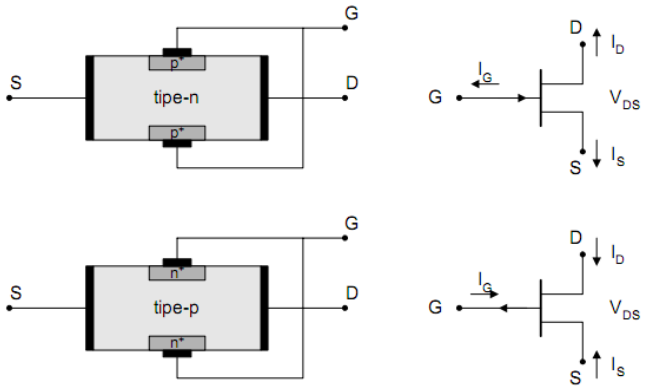
Gambar 3. 78 Simbol Jenis-jenis Transistor

Field Effect Transistor (FET)

Pada FET hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan, dikelompokkan sebagai devais unipolar. Dibandingkan dengan BJT, FET memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah:

1. Hambatan dalam input sangat bcsar, yaitu sekitar - 10^6 Ω untuk JFET (Junction FET) dan – 10^8 Ω untuk MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)
2. Noisenya kecil, karena pembawa muatan pada FET tidak melewati hubungan p-n sama sekali.
3. densitas FET sangat tinggi sehingga dapat dibentuk rangkaian integrasi lebih padat
4. Lebih stabil terhadap suhu
5. Disamping itu kekurangan FET dibandingkan dengan BJT adalah:
6. Kecepatan switchingnya lebih rendah/lambat
7. Tidak mampu menanggani daya besar, walaupun saat ini sudah ada FET yang mampu bekerja untuk daya besar.

Konstruksi fisik simbol JFET ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 3. 79 Konstruksi fisik dari JFET dan simbulnya

FET memiliki 3 terminal yaitu Source(S), Drain(D), dan Gate(G). Source adalah terminal tempat pembawa muatan mayoritas masuk ke kanal untuk menyediakan arus melalui kanal. Drain adalah terminal arus meninggalkan kanal. Gate adalah elektroda yang mengontrol konduktansi antara Source dan Drain. Sinyal input diberikan pada terminal Drain. Sedangkan Substrate atau bulk umumnya dihubungkan dengan Source. Material pada substrate biasanya netral atau *didope* sedikit.

Umumnya sinyal input diberikan pada terminal Gate. Dalam rangkaian input, terminal Gate dan kanal bertindak seolah-olah sebagai kapasitor plat sejajar, dan konduktivitas kanal dapat diubah oleh tegangan Gate terhadap Source. Untuk kanal-n, tegangan positif pada Gate menginduksi muatan negatif pada kanal sehingga ada aliran elektron dari Source ke Drain.

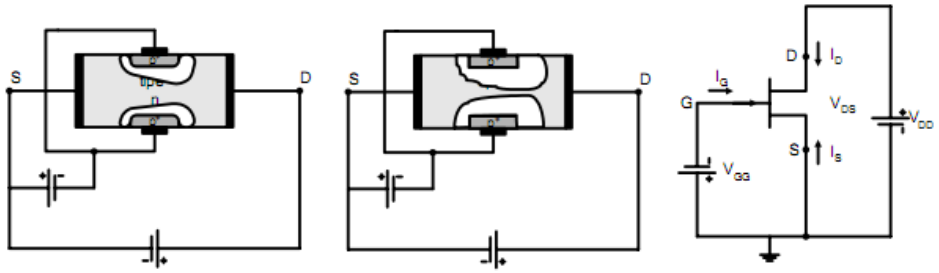
Ada analogi yang sangat mirip antara JFET dengan BJT. Banyak formula-formula dalam rangkaian JFET mirip dengan formula pada BJT, yaitu dengan menganalogikan sbb:

Bipolar	**JFET**
Emiter	Source
Basis	Gate
Kolektor	Drain

Pembiasan pada JFET

JFET tidak bekerja berdasarkan arus listrik melainkan akibat medan listrik yang terjadi tegangan input ke terminal gerbang (Gate). Medan listrik dipakai untuk mengontrol lebar saluran tempat terjadinya konduksi antara terminal pembuangan (Drain) dan sumber (Source). Sehingga FET akan sangat efektif jika mendapat tegangan disamping memiliki impedansi input yang sangat besar dalam orde ~MΩ.

Arus Drain melalui satu jenis bahan semikonduktor, yaitu tipe-n untuk kanal-n dan tipe-p untuk kanal-p. Pada JFET kanal-n pembawa muatannya adalah elektron bebas, sehingga terminal D harus diberi potensial positif. Selanjutnya JFET kanal-n dibias dengan cara seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. 80 Pembiasan pada JFET kanal-n

Sebagai pendekatan tidak ada arus yang mengalir pada Gate I_G = 0, hal ini karena hambatan dalam input JFET = ∞.

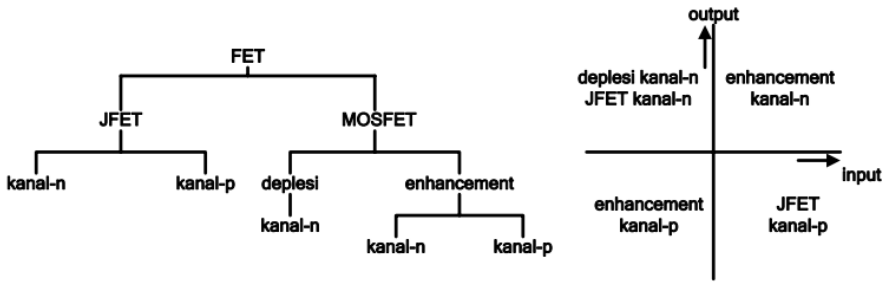
Perhatikan lapisan deplesi yang terbentuk akibat pembiasan, lebar lapisan deplesi ini bervariasi terhadap V_{DS}. Kanal-n tsb akan tertutup yaitu lebar kanal = 0 terjadi pada saat $V_{DS} = V_p$ (dengan V_p adalah tegangan pinch-off/penjepit) dan untuk $V_{DS} > V_p$ praktis hambatan Drain tak berubah.

Pada JFET, *junction Field effect transistor*, Gate dan kanal membentuk hubungan PN konvensional, namun memiliki hambatan dalam besar akibat bias mundur. Sedangkan pada IGFET, Insulated Gate Field Effect Transistor, atau MOSFET, *Metal Oxide Semiconductor* FET, memiliki elektroda yang terpisah dari kanal oleh lapisan tipis S_1O_2. Tegangan yang diberikan pada Gate dapat menginduksikan muatan di kanal untuk

mengontrol arus Drain. Hambatan dalam inputnya sangat besar dan tidak bergantung pada polaritas tegangan Gate, disamping itu juga relatif tidak terpengaruh oleh suhu.

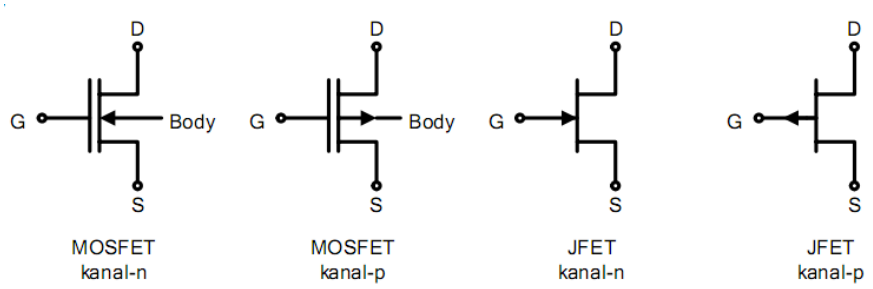
Ada dua tipe MOSFET yaitu tipe *enhancement* dan tipe *depletion*. Pada tipe *enhancement* arus pada kanal hanya terjadi jika diberi tegangan Gate. Sedangkan pada tipe *depletion* arus pada kanal dapat terjadi pada saat tegangan Gate = 0. Dalam simbul skematik tipe *enhancenzent* ditandakan dengan garis putus-putus pada kanal, sedangkan tipe *depletion* ditandakan dengan garis utuh untuk kanal.

Secara skematik pengelompokkan FET dan peta tegangan output (dengan *Source* di-*ground*-kan) diberikan berikut ini.



Gambar 3. 81 Penggolongan FET dan peta tegangan input/output

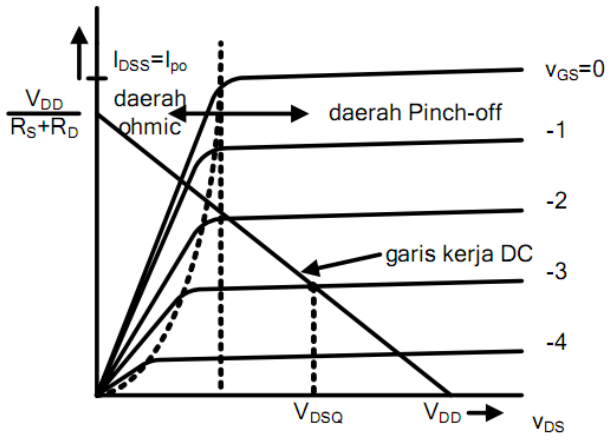
Sedangkan diagram skematik dari berbagai tipe FET ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 82 Diagram skematik FET.

Karakteristik JFET

Karakteristik output JFET kanal-n pada konfigursi CS (c*ommon source*) dengan v_{GS} ≤0 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3. 83 Kakterisktik output V_{DS} vs I_D

JFET berlaku sebagai devais linear sampai daerah depleksi pada bias mundur G-S yang memperlebar kanal, dikenal sebagai kondisi *pinchoff:* Hubungan antara i_D terhadap v_{Gs} bersifat kuadratik, sebagai:

$$i_D = I_{DSS}\left(1+\frac{v_{GS}}{V_{po}}\right)^2$$

dengan I_{DSS}*:* arus drain pada saat v_{GS} = 0 volt,merupakanarus saturasi pada ssat Gate terhubung singkat. $I_{DSS} = k_I\, T^{-3/2}$

$\Delta V_{PO}=-k_V \Delta T$

V_{PO} : tegangan drain pada saat pinch-off = - VGs(off).

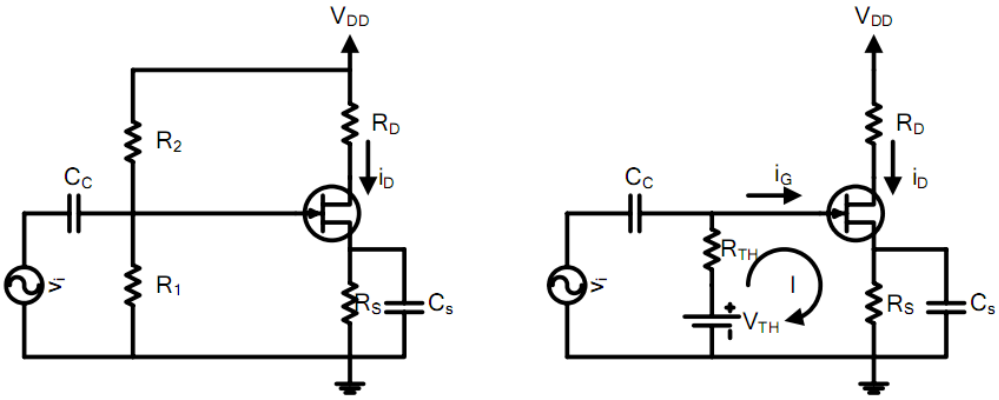
K_1 dan k_V : konstanta yang bergantung pada jenis FET

Nilai $V_{GS(off)}$ sulit diukur secara akurat, sedangkan besaran *IDSS* dan g_{mo} lebih mudah diukur dengan ketelitian tinggi. Untuk itu bisa dilakukan pendekatan yaitu:

$$V_{GS(off)} = \frac{-2I_{DSS}}{g_{m0}}$$

Garis Kerja

Berikut ini rangkaian common source dari FET berikut rangkaian pengganti Thevenin pada bagian inputnya.



Gambar 3. 84 Rangkaian *Common Source* dan rangkaian penggantinya

Dari rangkaian pengganti tsb terlihat bahwa V_{TH} dan R_{TH}, adalah tegangan dan hambatan pengganti Thevenin, yaitu

$$V_{th} = V_{DD}\frac{R_1}{R_1 + R_2} \text{dan } R_{th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Selanjutnya untuk loop I, untuk I_G =0 diperoleh

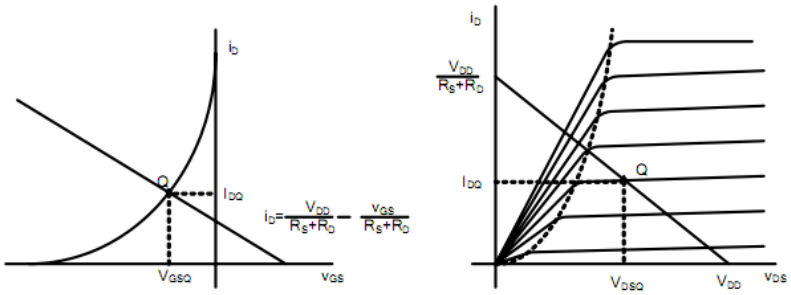
$$i_D = \frac{V_{GG}}{R_S} - \frac{v_{GS}}{R_S},$$

persamaan ini merupakan persamaan garis lurus antara i_D dan *VGS* dikenal sebagai garis *bias transfer,* dengan V_{GG} = Vth. Titik potongdengan persaman

$$i_D = I_{DSS}\left(1 + \frac{v_{GS}}{V_{po}}\right)^2$$

merupakan titik kerja, seperti ditunjukan pada Gambar 3.21. Sedangkan dari loop D-S, arus drain dapat dihitung yaitu sebesar

$$i_D = \frac{v_{DD}}{R_S + R_D} - \frac{v_{DS}}{R_S + R_D}.$$



Gambar 3. 85 Titik Kerja

Pada Gambar 3.21b , Titik kerja V_{DSQ} dicari dengan

$V_{DSQ} = V_{DD} - (Rs+R_D)\, I_{DQ}$

Dari kurva transkonduktansi ID VS. V_{Gs} berbentuk kurva kuadratik yang menunjukkan bahwa nilai transkonduktansi bergantung pada V_{Gs} yang dapat didekati dengan pendekatan linear sebagai :

$$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right),$$

Dengan transkonduktansi maksimum adalah

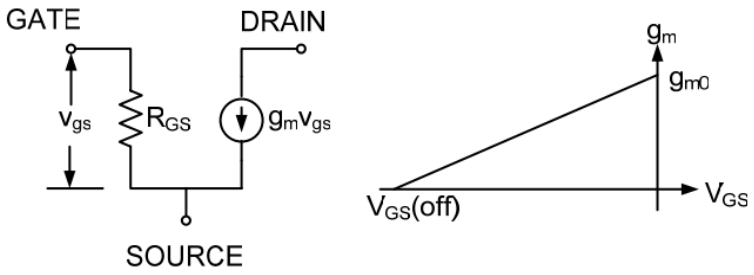
$$g_{mo} = g_m\big|_{V_{GS}=0}.$$

$$I_d = g_m V_{gs} + \frac{1}{r_{ds}} V_{ds}$$

Dengan g_m transkonduktansi bersama, $g_m = \left.\frac{I_d}{V_{gs}}\right|_{V_{ds}=0}$

$$r_{ds} = \frac{1}{g_{ds}} : \text{hambatan drain, } r_{ds} = \left.\frac{V_{ds}}{I_d}\right|_{V_{gs}=0}.$$

Rangkaian ekivalennya ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 86 Rangkaian ekivalen JFET untuk sinyal kecil

Contoh :

Transistor FET 2N5457 diketahui I_{DSS} = 8 mA dan g_{mo} = 5000 µS. Tentukan (a) nilai $V_{gs(off)}$ dan (b) nilai g_m pada saat V_{Gs} =-2 V

Solusi:

Tegangan $V_{Gs(off)}$ dicari dengan menggunakan persamaan

$$V_{GS(off)} = \frac{-2I_{DSS}}{g_{m0}}, \text{ sehingga } V_{GS(off)} = -3{,}2 \text{ V}$$

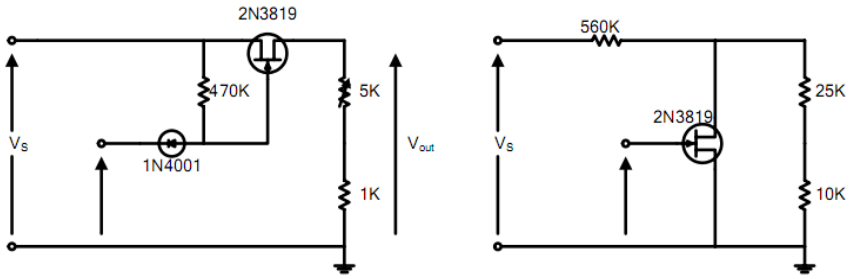
b.Transkonduktasi dicari dengan ,

$$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right),$$

sehingga diperoleh g_m= 1875 µS.

FET sebagai saklar

Rangkaian saklar dengan FET ditunjukkan pada Gambar 3.23. Agar FET terkonduksi antara D dan S perlu tegangan V_{GS} = 0. Sehingga dari Gambar 3.23a pulsa negatif ke dioda akan mematikan FET sedangkan pada Gambar 3.23b jika ada pulsa negatif akan mematikan FET akibatnya sinyal melewati beban.

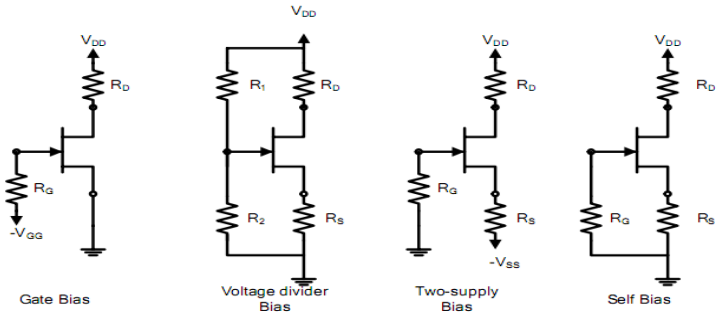


a b

Gambar 3. 87 Rangkaian saklar dengan FET.

FET sebagai penguat

Untuk membuat JFET berfungsi sebagai penguat, ada banyak cara pembiasan, namun yang perlu dingat bahwa antara Gate dengan Source harus mendapat bias mundur. Cara yang paling buruk dilakukan dengan *pembiasan Gate* yaitu dengan memberikan tegangan V_{GG} pada terminal Gate. Cara ini tidak baik karena titik kerja Q bervariasi terhadap I_{DSS} dan $V_{GS(ott)}$). Beberapa teknik pembiasan ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3. 88 Beberapa teknik pembiasan pada JFET kanal -n.

Self Bias pada *Common Source*

Rangkaian *Common Source* dengan metoda pembiasan self-bias ditunjukkan pada gambar berikut ini. Hambatan R_G digunakan untuk menjaga tegangan gate $V_{oN} = 0$ volt. Pada saat Gate dalam keadaan open, menyebabkan tegangan Gate menj adi negatif sehingga FET akan *pinch-off.* Dengan adanya R_G ini timbul arus bocor dalam orde ~nA dan perlu dipilih nilai R_G agar $V_{GN} = 0$ volt (arus I_G diabaikan).

Hal ini berarti $I_D = I_S$ sehingga akan terjadi beda potensial di *Source* sebesar:

$V_s = I_D R_s$

$V_{GS} = - I_D R_s$ (dengan $V_{GN} = 0$ V)

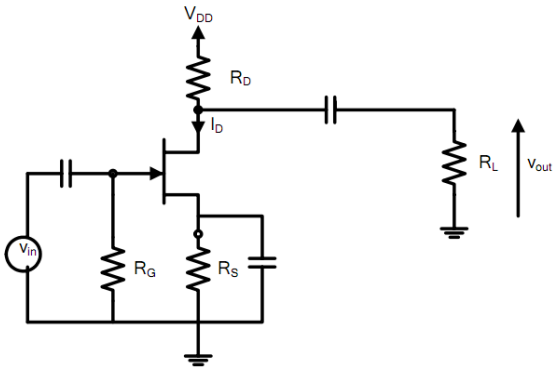
$V_D = V_{DD} - I_D R_D$

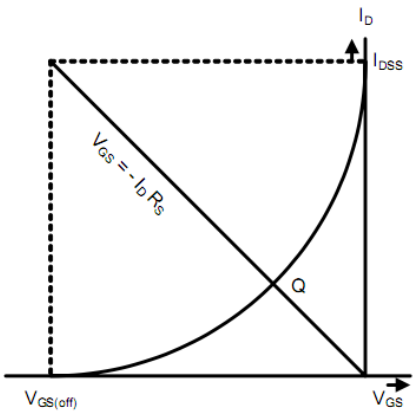
$V_{DS} = V_D - V_S$.

Pemilihan nilai R_s optimum jika diketahui kurva transkonduktasi (I_D VS- V_{GS})

$$R_S = \frac{-V_{GS(off)}}{I_{DSS}}.$$

Dari relasi $V_{Gs} = -I_D.R_s$ menunjukkan bahwa kurva linear, kurva ini memotong kurva transkonduktansi di titik Q (titik operasi FET), seperti ditunjukkan dalam gambar.





Gambar 3. 89 Rangkaian *Common Source* dengan self-bias.

Dari Gambar 3.25 di atas , diketahui menggunakan FET dengan I_{DSS} = 6 mA, $V_{GS(off)}$= - 4 V. Jika diberi V_{DD} = 20 V, R_D = 5,6 KΩ dan dikehendaki V_{DQ}= 12 V, maka diperoleh:

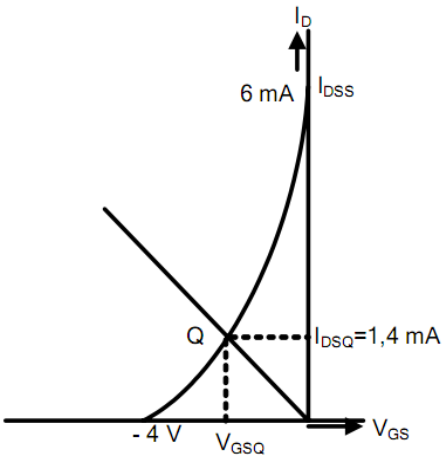
$V_{RD}=V_{DD}-V_{DQ}= 20\ V - 12\ V = 8\ V$

$$I_{DQ} = \frac{V_{RD}}{R_D} = \frac{8\ \text{V}}{5{,}6\ \text{k}\Omega} = 1{,}4\ \text{mA}$$

Untuk menghitung V_{GSS} dilakukan dengan memanfaatkan persamaan

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right)^2$$

yaitu dengan membuat $I_D = I_{DQ}$ diperoleh V_{GSQ} = - 2,1 V (atau dapat dilakukan dengan menggunakan kurva transkonduktansi seperti gambar berikut ini).



Gambar 3. 90 Garis beban

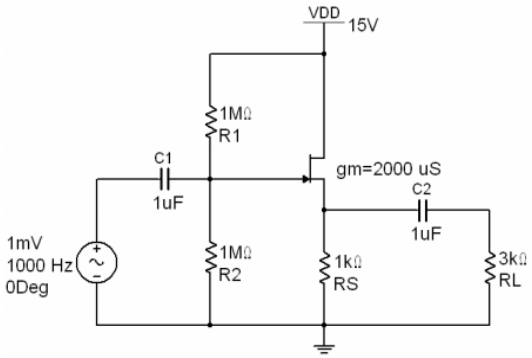
Selanjutnya diperoleh

$$R_S = \frac{-V_{GSQ}}{I_{DQ}} = \frac{2{,}08\ \text{V}}{1{,}4\ \text{mA}} = 1{,}5\ \text{k}\Omega,$$

sedangkan R_G yang cocok adalah $470k\Omega$.

Contoh:

Perhatikan rangkaian *Source Follower* berikut ini.



Gambar 3. 91 Rangkaian *Source Follower*

Analisa DC

Tegangan *gate* adalah

Tegangan Gate adalah

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{DD} = 7{,}5\,\mathrm{V}$$

Tegangan source VS = VG= 7, 5 V (pada saat VGS = 0) Diperoleh tegangan antara drain dan source VDS = VDD - VS= 7,5V

Arus drain

$$I_D = \frac{V_S}{R_S} = \frac{7{,}5\,\mathrm{V}}{1\,\mathrm{k\Omega}} = 7{,}5\,\mathrm{mA}$$

Analisa AC

Hambatan source, rs = RS // RL =1 kΩ//3 kΩ = 750 Ω

Penguatan tegangan adalah

$$A_V = \frac{g_m r_s v_{in}}{(1 + g_m r_s) v_{in}} = \frac{g_m r_s}{(1 + g_m r_s)} = 0{,}6$$

Rangkaian Common Source

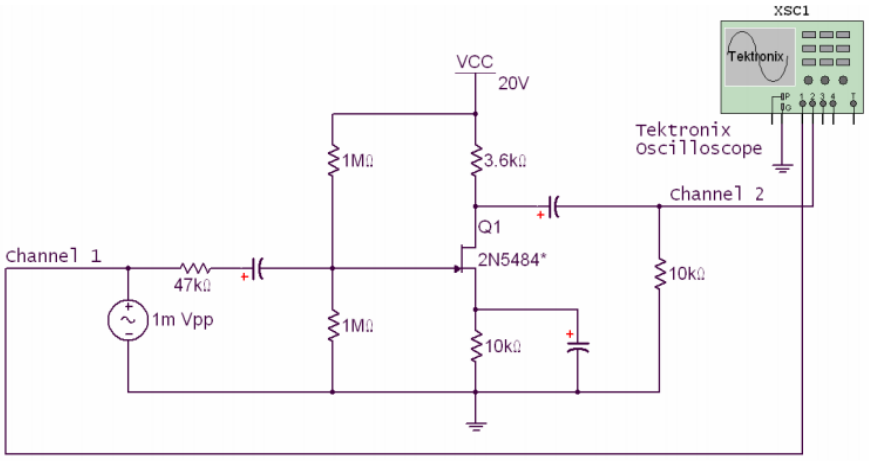
Jika diketahui gm = 5000 uS

Pada saat analisa AC, diperoleh hambatan drain adalah rd= RD ll RL = 3,6 kΩ//10 kΩ =2,65 kΩ,

Sehingga penguatan tegangan adalah

AV= -gmrd =-(5000 uS)(2,65kΩ) =-13,3

Ada beda fasa antara input dan output sebesar 180°.



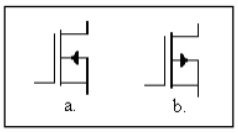
Gambar 3. 92 Rangkaian *Common Source*

MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silicon ini yang akan digunakan sebagai landasan (substrat) penguras (drain), sumber (source), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor ini dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silicon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (Bipolar Junction Transistor), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah. Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor MOS dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1.1 Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*)

Pada transistor mode *depletion*, antara *drain* dan *source* terdapat saluran yang menghubungkan dua terminal tersebut, dimana saluran tersebut mempunyai fungsi sebgai saluran tempat mengalirnya elektron bebas. Lebar dari saluran itu sendiri dapat dikendalikan oleh tegangan gerbang. Transistor MOSFET mode pengosongan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 3.29.

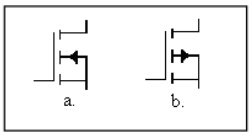


Gambar 3. 93 Simbol Transistor MOSFET Mode *Depletion*

(a). N-*Channel Depletion* (b). P-*Channel Depletion*

1.2 Transistor Mode peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*)

Transistor mode *enhancement* ini pada fisiknya tidak memiliki saluran antara drain dan sourcenya karena lapisan bulk meluas dengan lapisan SiO2 pada terminal gate. Transistor MOSFET mode peningkatan terdiri dari tipe-N dan tipe-P, simbol transistor ditunjukkan dalam Gambar 3.30.



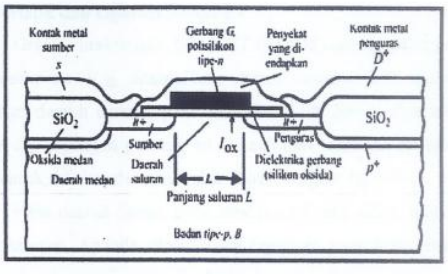
Gambar 3. 94 Simbol Transistor MOSFET Mode Enhancement

(a). N-Channel Enhancement (b). P-Channel Enhancement

Dilihat dari jenis saluran yang digunakan, transistor MOSFET dapat dikelompokan menjadi tiga, antara lain:

NMOS

Transistor NMOS terbuat dari substrat dasar tipe p dengan daerah source dan drain didifusikan tipe n+ dan daerah kanal terbentuk pada 3 permukaan tipe n. NMOS yang umumnya banyak digunakan adalah NMOS jenis enhancement, dimana pada jenis ini source NMOS sebagian besar akan dihubungkan dengan –Vss mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan +Vdd. Dalam aplikasi gerbang NMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, PMOS, atau dengan NMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah NMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT. Negatif MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus penguras sumber menggunakan saluran dari bahan elektron, sehinga arus yang mengalir jika tegangan gerbang lebih positif dari substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari VT (*Voltage Treshold*). Skematik MOSFET tipe-n ditunjukkan dalam Gambar 3.31



Gambar 3. 95 Skematik MOSFET tipe-n

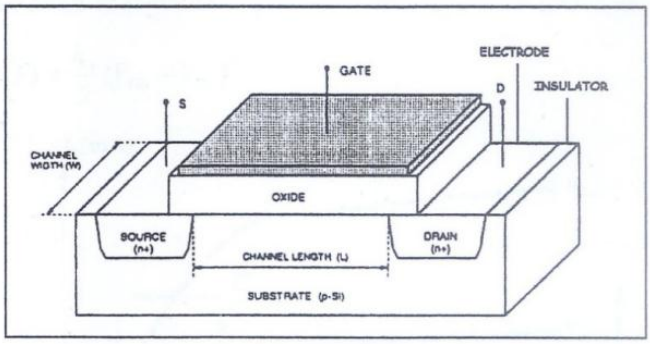
Sumber: Hodges-Jackson 1987: 37

PMOS

Transistor PMOS terbuat dari substrat dasar tipe-n dengan daerah source dan drain didifusikan tipe p+ dan deerah kanal terbentuk pada permukaan tipe p. Positif MOS adalah MOSFET yang mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran positif berupa hole, dimana arus akan mengalir jika tegangan gerbang lebih negative terhadap substrat dan nilai mutlaknya lebih besar dari VT. PMOS yang umumnya banyak digunakan adalah PMOS jenis enhancement, dimana pada jenis ini source PMOS sebagian besar akan 4 dihubungkan dengan +Vdd mengingat struktur dari MOS itu sendiri hampir tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan -Vss. Dalam aplikasi gerbang PMOS dapat dikombinasikan dengan resistor, NMOS, atau dengan PMOS lainnya sesuai dengan karakteristik gerbang yang akan dibuat. Sebagai contoh sebuah PMOS dan resistor digabungkan menjadi sebuah gerbang NOT.

CMOS (*Complementary MOS*)

MOSFET tipe complementary ini mengalirkan arus penguras sumber melalui saluran tipe-n dan tipe-p secara bergantian sesuai dengan tegangan yang dimasukkan pada gerbangnya (gate). 1. 2. Bentuk Dasar MOSFET 1) NMOS tipe Enhancement Struktur transistor NMOS terdiri atas substrat tipe-p dengan daerah source dan drain diberi difusi n+ . Diantara daerah source dan drain terdapat suatu daerah sempit dari substrat p yang disebut channel yang ditutupi oleh lapisan tang penghantar (isolator) yang terbuat dari SiO2. Panjang channel disebut Length (L) dan lebarnya disebut Width (W). Gerbang (gate) terbuat dari polisilikon dan ditutup oleh penyekat yang diendapkan. Struktur transistor NMOS terdiri atas substrat tipe-p dan tipe-n. kedua parameter ini sangat penting untuk mengontrol MOSFET. Parameter yang tidak kalah penting adalah ketebalan lapisan oksida yang menutupi daerah *channel (tox).* Di atas lapisan insulating tersebut didepositkan polycrystalline silicon (polysilicone) electrode, yang disebut dengan gerbang (gate). struktur fisik NMOSFET tipe enhancement ditunjukkan dalam Gambar 3.32.



Gambar 3. 96 Struktur fisik N-MOSFET tipe *Enhancement* 2) PMOS tipe *Enhancement*

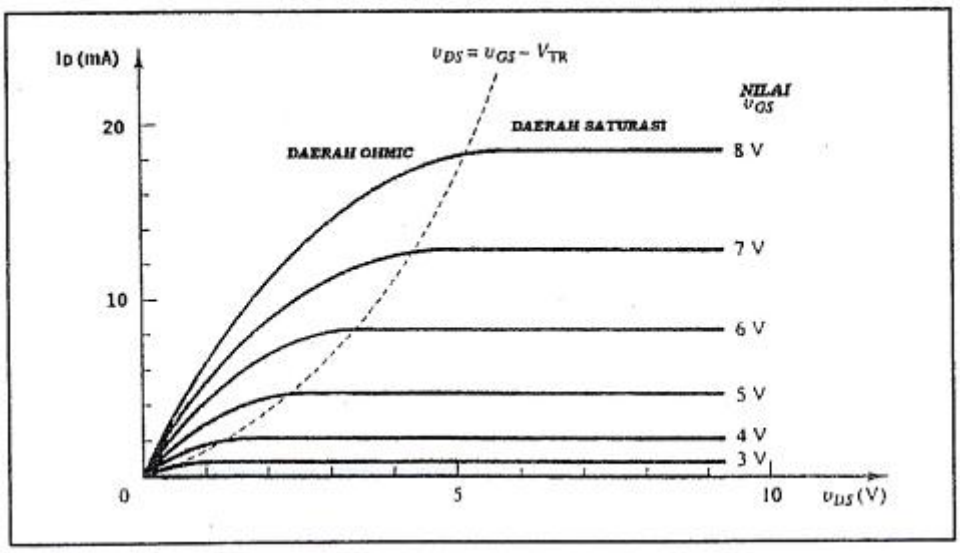
Struktur transistor PMOS terdiri atas substrat tipe-n dengan daerah source dan drain diberi difusi p+ , dan untuk kondisi yang lain adalah sama dengan NMOS.

3. Karaktristik dan Operasi MOSFET

Grafik karakteristik MOSFET (NMOS) arus ID sebagai fungsi VDS dengan parametr VGS ditunjukkan dalam Gambar 3.33. Pada MOSFET terdapat tiga daerah operasi yaitu daerah *cut-off*, linear dan saturasi. Pada daerah cut-off, tegangan gerbang lebih kecil dari tegangan ambang, sehingga tidak terbentuk saluran, dan arus tidak dapat mengalir (ID = 0). Pada daerah linear, pada awalnya gerbang diberi tegangan hingga terbentuk saluran.

$$I_D\,(\mathrm{LIN}) = k_n \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Apabila drain diberi tegangan yang kecil, maka elektron akan mengalir dari source menuju drain atau arus akan mengalir dari *drain* ke *source*. Selanjutnya saluran tersebut akan bertindak sebagai suatu tahanan, sehingga arus drain (ID) akan sebanding dengan tegangan drain. ID (LIN) = kn (1) Apabila tegangan drain tersu ditingkatkan hingga tegangan pada gate menjadi netral, lapisan inversi saluran pada sisi *drain* akan hilang, dan mencapai suatu titik yang disebut titik *pinch-off.* Pada titik *pinch-off* ini merupakan permulaan dari daerah kerja saturasi. Apabila melebihi titik ini, peningkatan tegangan *drain* tidak akan mengubah arus drain, sehingga arus *drain* tetap (konstan).



Gambar 3. 97 Grafik karakteristik MOSFET arus ID sebagai gungsi VDS dengan parameter VGS Sumber: Geiger, Allen, Strader, 1990: 151

Bentuk operasi untuk MOSFET saluran-p adalah sama seperti pada trasistor MOSFET saluran-n. pernyataan arus drain identik dengan polaritas tegangan dan arah arus terbalik.

- Cutoff =VSG.p ≤ -VTp

ID (OFF) = 0

- Linear = $V_{SG,p} \geq - V_{Tp}$, dan $V_{SD,p} \leq V_{SG,p} + V_{TP}$

$$I_{D,P}(LIN) = kp \left[(V_{SG,p} - V_{TP}) V_{SD,p} - \frac{V_{SD,p}^2}{2} \right]$$

- Saturasi = $V_{SG,p} \geq - V_{Tp}$, dan $V_{SD,p} \geq V_{SG,p} + V_{TP}$

$$I_D(SAT) = \frac{k_p}{2} \left(V_{SG,p} - V_p \right)^2$$

Tegangan Ambang (*Threshod Voltage*)

Tegangan ambang dapat didefinisikan sebagai tegangan minimal yang diperlukan suatu sistem (dalam hal ini transistor MOS) untuk mulai mengalir atau dalam sebuah MOS adalah tegangan antara gate dan ground yang menyebabkan arus antara *drain* dan

source maksimal (saturasi). Tegangan ambang ini diatur dengan menggunakan pengubahan konsentrasi doping. Tegangan ambang untuk MOSFET dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_T = V_{T0} + \gamma.\left(\sqrt{|-2\varphi_F|} + V_{SB} - \sqrt{|2\varphi_F|}\right)$$

Dengan :

VT = tegangan ambang (V)

VTO = tegangan ambang untuk VSB = 0 (V)

γ= efek bias body (V1/2)γ

VSB = tegangan source-body (bulk)

φF = potensial fermi (V)φ Dengan tegangan *body (bulk)* dihubungkan ground (VB = 0V).

Dalam analisis teknologi CMOS efek bias badan tidak perlu dimasukkan dalam perhitungan (Haznedar, 1990). Logika dasar CMOS dapat dibias dengan VT = VTO, sehingga untuk memudahkan penulisan, VT akan digunakan untuk menyatakan tegangan ambang jika VT = VTO.

$$\gamma = \frac{\sqrt{2q.N_a.E_s}}{C_{OX}}$$

q adalah besar muatan,

Na adalah jumlah pembawa muatan mayoritas akseptor,

F potensial fermi φEs adalah permitivitas silikon,

C_{OX} adalah kapasitansi persatuan luas. atau potensial keseimbangan elektrostatik (equilibrum electrostatic). Besarnya dapat ditentukan dengan persamaan :

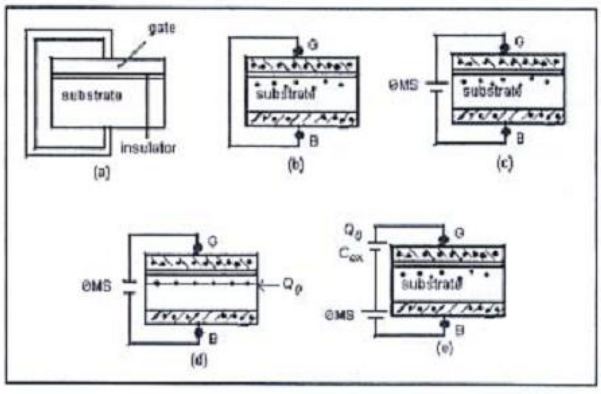
$$\varphi_F = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{n_i}{p}\right)$$

(Semikonduktor tipe-p)

$$\varphi_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{n}{n_i}\right)$$ (Semikonduktor tipe-n)

k adalah konstanta boltzman, T adalah temperatur dalam kelvin, q besaran muatan dalam coulomb, dan p dan n adalah konsentrasi pembawa muatan mayoritas (dianggap sama dengan konsentrasi doping Na, ni adalah konsentrasi pembawa muatan dalam semikonduktor intrinsik.

Jika VSB MOSFET adalah positif, maka akan meningkatkan tegangan ambang efektif untuk MOSFET kanal-n. Dalam rangkaian terintegrasi NMOS, substrat selalu dihubungkan dengan tegangan paling negatif dalam sistem, sehingga analisis karakteristik fungsi alih akan menddekati keakuratannya. Pada kebanyakan chip MOS, untuk mengubah tegangan ambang dilakukan dengan mengubah konsentrasi doping saluran yang diatur oleh banyaknya ion yang ditanamkan (implant) ke saluran. Penamahan implant tipe-p menyebabkan tegangan ambang lebih positif dan sebaliknya penambahan implant tpe-n menyebabkan tegangan ambang lebih negatif. Tegangan ambang disimbolkan dengan VTN untuk implant tipe-n dan VTP untuk implant tipe-p.
Dalam persambungan MOSFET, untuk membedakan dengan terminal sumber S, terminal gerbang diberi simbol G dan terminal substrat diberi simbol B (*bulk/body*) seperti dalam Gambar 3.34.



Gambar 3. 98 Struktur Persambungan MOSFET

Sumber : Suprapto, 2000:7

Besarnya potensial statik di antara gerbang dan substrat tergantung pada konsentrasi atom ketidakmurniannya dan tidak bergantung pada bahan diantaranya. Secara matematis dapat ditulis.

$$\sum_{gerbang}^{bulk}(potensial\ statik)=\varphi_{bulk}$$

Dengan : φ gerbang = potensial batang gerbang

φ bulk = potensial bahan substrat

Keberadaan potensial statik ini menyebabkan muatan timbul pada kedua sisi isolator, dalam hal ini silikon dioksida. Muatan batas ini akan hilang jika potensial total dalam loop tertutup gerbang SiO_2 substrat-gerbang sma dengan nol. Untuk mencapai kondisi demikian, maka:

φVGB = φms

Dengan φ ms adalah potensial statik antara gerbang dan bulk, didefinisikan sebagai:

φms =φgerbang -φ bulk. Potensial statik persambungan MOS tidak hanya dipengaruhi φms pengaruh lainnya dihasilkan oleh muatan oksida silikon yang ditumbuhkan selama proses pabrikasinya. Proses kontaminasi dan ionisasi menyebabkan muatan timbul dalam silikon dioksida. Pemberian muatan ini adalah penambahan muatan tidak bergerak yang besarnya tidak tergantung tegangan. Pengaruh muatan terhadap persambungan MOS dimodelkan sebagai suatu lapisan tunggal SiO_2 bermuatan Q0 positif maka dalam substrat terbentuk atom-atom acceptor. Sedangkan di permuakaannya tertumpuk elektron, sehingga saluran terbentuk. Untuk menghilangkan pengaruh ini perlu diberikan muatan sebesar –Q0 pada gerbang dengan jalan memberikan suatu sumber tegangan luar dengan terminal negatif pada gerbang. ox) adalah potensial gerbang terhadap substrat melalui φPotensial oksida silikon (SiO6. Besarnya potensial ini adalah : ox o x ox t ε φ = (12) Dengan : Cox = kapasitansi persatuan luas tox = ketebalan silikon dioksida ox = permitivitas ruang hampa = 8.86E-12 F/mε Untuk muatan maupun kapasitasnya dinyatakan dalam A Q0 10 dan A ox) dapatφCox . A adalah luas melintang dioksida silikon. Potensial oksida silikon (dinyatakan: (13) Tegangan yang digunakan untuk menetralkan persambungan MOS adalah tegangaan pita datar (*flat Band Voltage*) dan disimbolkan dengan VFB. Besarnya

tegangan pita datar ini adalah : (14) Pada rangkaian tertutup persambungan MOS terdapat empat macam tegangan, yaitu: 1) Tegangan sumber luar (VGB) ox)φ2) Tegangan oksida silikon (s)φ3) Tegangan permukaan (ms)φ4) Tegangan kontak (Tegangan sumber luar yang besarnya tidak sama menimbulkan tegangan permukaan di permukaan substrat. Hal ini terjadi untuk mencapai keadaan setimbang. Secara matematis dapat ditulis: ms (15)φs + φox + φVGB = ox konstan, maka pengubahan nilai VGB akan menyebabkan perubahanφms dan φKarena s. variasi nilai VGB dan VFB memberikan empat macam keadaan padaφpada persambungan MOS, yaitu: 1) Kondisi pita datar (Flat Band Condition) Pada kondisi ini muatan permukaan dan tegangan permukaan tidak timbul atau sama dengan nol. s = 0φ VGB = VFB, Qsc = 0, 2) Akumulasi (Accumulation) ox o ox C Q– = φ ox o FB ox C Q V – = φ = 11 Kondisi ini tercapai pada saat VGB < VFB. Pada saat ini muatan pada gerbang relatif lebih negatif terhadap muatan pada saat VGB = VFB. Oleh karena itu, lubang akan tertumpuk di permukaan sebagai akibatnya timbul muatan dan tegangan di permukaan: VGB < VFB, Qsc sφ>0, < VFB maka muatan positif ditimbulkan di gerbang. Akibatnya lubang-lubang di permukaan di tekan ke bawah dan meninggalkan ion-ion akseptor bermuatan negatif. Muatan yang ditimbulkan oleh ion-ion ini disebut sebagai muatan pengaturan. Besarnya muatan di dalam semikonduktor yang ditimbulkan saat ini adalah: s). Cox (16)φQsc = QSG – Q0 = (VG – VFB - Sehingga besarnya pengaturan muatan pengaturan: (17) s adalah konstanta dielektrik silikon.εDimana 4) Kondisi pembalikan (*inversion)* Untuk VGB>VFB maka akan tertarik ke permukaan. Sehingga di permukaan substrat bertipe sebaiknya (n). elektron di dalam substrat sebagai pembawa minoritas.

Karakteristik Arus Tegangan

Bila VGS lebih besar dari VT terdapat sebuah saluran penghantar dan VDS menyebabkan arus hanyut (ID) mengalir dari *drain* ke *source*. Tegangan VDS menyebabkan prategangan balik (reverese bias) yang besar dari drain ke body daripada dari source ke body. Jadi terdapat lapisan pengosongan yang lebih lebar pada drain.

$$I_D = k\frac{W}{L}\left[(V_{GS}-V_T)V_{DS}-\frac{V_{DS}^{\ 2}}{2}\right]$$

Parameter traskonduktansi adalah k = k (W/L). subtitusi persamaan 19 dengan parameter traskonduksi menghasilkan persaman:

$$I_D = \frac{k}{2}\left[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^{\ 2}\right]$$

Jika : VGS = VT

$V_{DS} = (V_{GS} - V_T)$

$$maka : I_D = \frac{k}{2}(V_{GS} - V_T)^2$$

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pebelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Komponen Aktif? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-3.1**.Jika Saudara bisa menjawab pertanyan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1 menafsirkan cara kerja komponen aktif melalui pengamatan pada hasil simulasi

Saudara akan mendiskusikan bagaimana komponen aktif bekerja. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara ketahui tentang komponen aktif?
2. Mengapa Saudara perlu menafsirkan cara kerja komponen aktif berdasarkan karakteristiknya?
3. Menurut pendapat Saudara mengapa memilih komponen aktif didasari pada karakteristik dan prinsip kerja komponen?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-3.2.**

Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang cara kerja komponen aktif, Bacalah Bahan Bacaan 3 tentang komponen aktif, kemudian melaksanakan Tugas Praktek dengan menggunakan **LK-3.2.P**

E. Rangkuman

Dioda memiliki fungsi yang unik yaitu hanya dapat mengalirkan arus satu arah saja. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya. Dioda zener merupakan tulang punggung dari pengatur tegangan, yaitu rangkaian yang menjaga tegangan beban tetap.

Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik dan diatur berdasarkan arus inputnya *Bipolar Junction Transistor* (BJT) atau tegangan inputnya *Field Effect Transistor* (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.

Pada FET hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan, dikelompokkan sebagai devais unipolar. JFET tidak bekerja berdasarkan arus listrik melainkan akibat medan listrik yang terjadi tegangan input ke terminal gerbang (Gate). MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah. Bila dilihat dari cara kerjanya, transistor

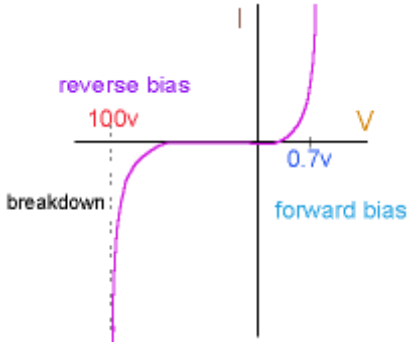
MOS dapat dibagi menjadi dua, yaitu: Transistor Mode Pengosongan (*Transistor Mode Depletion*) dan Transistor Mode peningkatan (*Transistor Mode Enhancement*).

F. Test Formatif

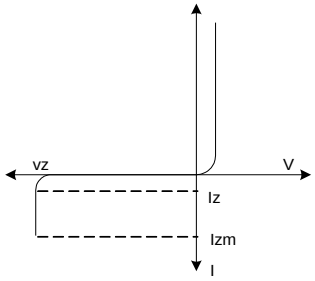
1. Gambarkan karakteristik kelistrikan diode penyearah!
2. Gambarkan karakteristik kelistrikan dari diode zener!
3. Sebutkan tiga konfigurasi bias transistor!
4. Apa perbedaan utama FET dengan transistor?
5. Gambarkan sebuah rangkaian dari inverter CMOS!

G. Kunci Jawaban

1. Karakteristik kelistrikan diode penyearah



2. Karakteristik kelistrikan diode zener



3. Sebutkan tiga konfigurasi bias transistor!

   Common Base

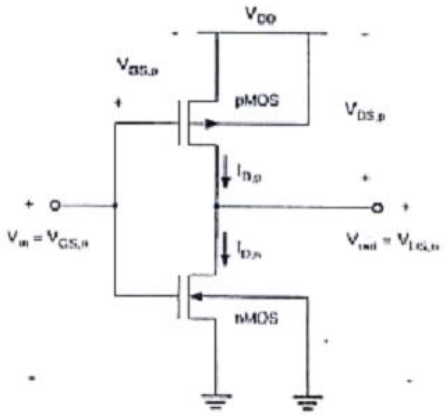
   Common Emitor

   Common Collector

4. Apa perbedaan utama FET dengan transistor?

   Pada transistor arus basis mengendalikan arus kolektor sedangkan pada FET tegangan Gate mengendalikan arus Drain

5. Gambarkan sebuah rangkaian dari inverter CMOS!



LEMBAR KERJA KB-3

LK- 3.1

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran Komponen Aktif? Sebutkan!

   ……

   ……

   ……

   ……

   ……

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

   ……

   ……

   ……

   ……

   ……

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

   ……

   ……

   ……

   ……

   ……

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

   ……

   ……

   ……

……

……

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

……

……

……

……

……

6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

……

……

……

……

……

LK-3.2

1. Apa yang Saudara ketahui tentang komponen aktif?

   ……

   ……

   ……

   ……

   ……

2. Mengapa Saudara perlu menafsirkan cara kerja komponen aktif berdasarkan karakteristiknya?

   ……

   ……

   ……

   ……

   ……

3. Menurut pendapat Saudara mengapa memilih komponen aktif didasari pada karakteristik dan prinsip kerja komponen?

   ……

   ……

   ……

   ……

   ……

LK-3.2.P

TUGAS PRAKTIK:

Dengan menyelesaikan LK-2.2 saudara telah memahami cara kerja komponen aktif

Untuk keperluan eksperimen cara kerja dan karakteristik komponen aktif saudara dapat mengikuti petunjuk berikut:

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk simulasi maupun praktikum;
2. Lakukan pemeriksaan terhadap tegangan kerja simulator;
3. Jika ragu-ragu terhadap apa yang akan saudara lakukan, jangan segan-segan bertanya ke fasilitator untuk meminta klarifikasi sehingga masalahnya menjadi lebih jelas;
4. Disarankan Saudara dapat melihat tayangan video program untuk menyimak demonstrasi penggunaan software simulasi atau pun buku manual trainer rangkaian elektronika sebelum melakukan tugas praktek ini;
5. Lakukan pekerjaan saudara sesuai POS (Prosedur Operasi Standar);
6. Saudara harus melakukan ini di bawah supervisi fasilitator.

Kesehatan dan Keselamatan Kerja :

1. Berdo'alah sebelum memulai kegiatan belajar!
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Gunakanlah peralatan praktikum dengan hati-hati!
4. Pastikan saudara sudah memakai APD.
5. Pastikan tegangan kerja telah sesuai.
6. Pastikan alat ukur bekerja dengan baik

Menafsirkan cara kerja diode penyearah

Peralatan :

- Variabel catu daya

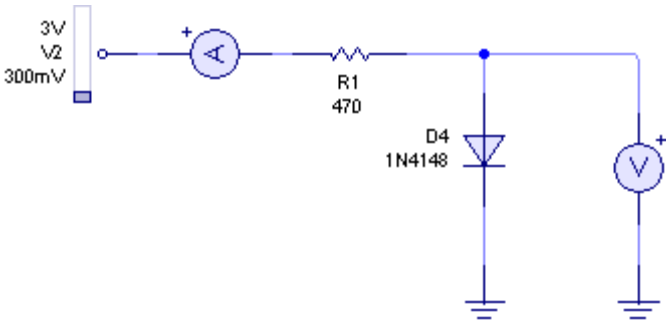
- Volt meter
- Amper meter

Bahan /Komponen :

- Resistor R1 470
- Dioda D4 1N4148

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan mAmper meter dan Volt meter seperti pada gambar
4. Atur catu daya variable sesuai tabel
5. Isilah tabel di bawah ini!

No	V in (mV)	VD4 (mV)	ID4(mA)
1	0		
2	100		
3	200		
4	300		

5	400		
6	500		
7	600		
8	700		
9	800		
10	900		
11	1000		
12	1500		
13	2000		
14	3000		

6. Dari data hasil pengujian buatlah kurva arus dan tegangan
7. Buatlah interpretasi data dan kesimpulan!

Menafsirkan cara kerja diode Zener

Peralatan :

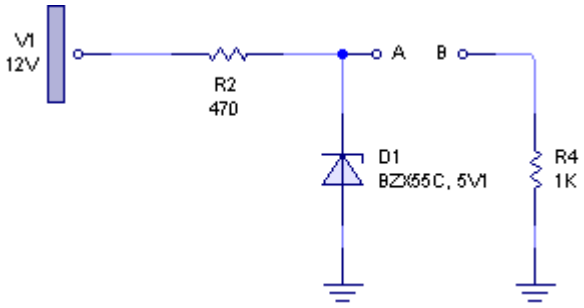
- Variabel catu daya
- Volt meter
- Amper meter

Bahan /Komponen :

- Resistor R2 470
- Dioda Zener D1 BZX55C (Zener 5,1V)
- Resistor 50,100,220,470,1k, 2.2k,10k

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan Volt meter pada titik A
4. Atur catu daya variable sesuai tabel
5. Isilah tabel di bawah ini!

No	V in (V)	VD1	ID1
1	0		
2	1		
3	2		
4	3		
5	4		
6	5		
7	6		
8	7		
9	8		

10	9		
11	10		
12	11		
13	12		

6. Dari data hasil pengujian buatlah kurva arus dan tegangan
7. Buatlah interpretasi data dan kesimpulan!
8. Tegangan input pada 12V.
9. Sambungkan titik A ke titik B

Vin =12 V, ganti R4 dengan nilai Rbeban seperti pada tabel

No	R beban	VA (Vz)
1	10k	
2	2k	
3	1k	
4	470	
5	220	
6	100	
7	50	

10. Apa pengaruh Perubahan R beban terhadap tegangan Zener?

Menafsirkan cara kerja transistor

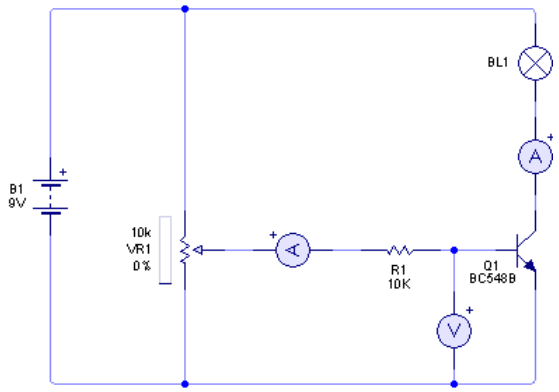
1. Ukurlah nilai resistansi transistor NPN 2N222

Probe Hitam	Probe Merah	Menyimpang	Tetap
B	C		
B	E		
C	E		
C	B		
E	B		
E	C		

2. Ukurlah nilai resistansi transistor PNP BC557

Probe Merah	Probe Hitam	Menyimpang	Tetap
B	H. C		
B	E		
C	E		
C	B		
E	B		
E	C		

3. Buatlah rangkaian sebagai berikut : Gunakan transistor NPN



VR1 ()	V_{BE}(V)	I_B	I_C	V_{CE}
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				
90				
100				

5. Buatlah kurva kolektor yaitu fungsi VCE terhadap IC , gambarkan pula fungsi I_C terhadap I_B?

6. Bagaimana hubungan I_C terhadap I_B ?

KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 RANGKAIAN PENYEARAH DAN PENYETABIL

A. Tujuan

1. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan diode penyearah dengan teliti
2. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan diode zener dengan teliti
3. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan transistor bipolar
4. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan transistor JFET

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

a. Mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan diode penyearah
b. Mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan diode zener
c. Mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan transistor bipolar
d. Mempormulasikan besaran listrik yang terdapat pada rangkaian yang menerapkan transistor JFET

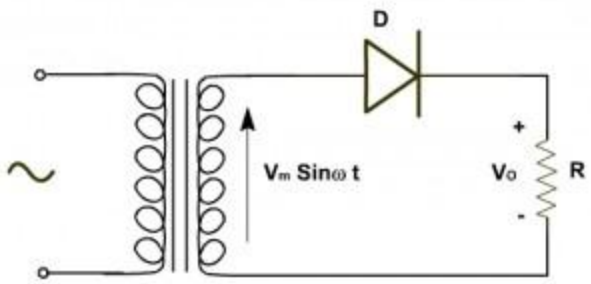
C. Uraian Materi

Rangkaian Penyearah

Konsep dasar penyearah gelombang yang dimaksud dalam buku ini adalah konsep penyearah gelombang dalam suatu *power supply* atau catu daya. Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfiguarsikan secara forward bias. Dalam sebuah power supply tegangan rendah, sebelum tegangan AC tersebut di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu di turunkan

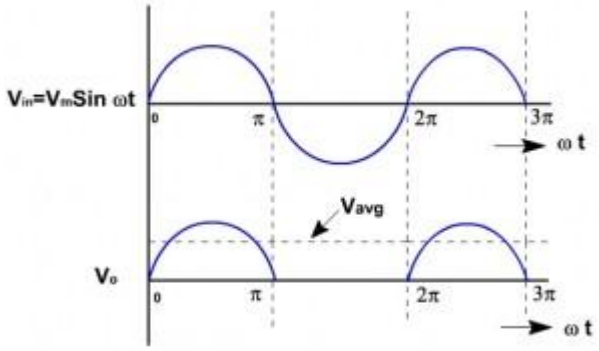
menggunakan transformator stepdown. Ada 3 bagian utama dalam penyearah gelombang pada suatu power supply yaitu, penurun tegangan (transformer), penyearah gelombang / rectifier (diode) dan filter (kapasitor) yang digambarkan dalam blok diagram berikut. Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam 2 jenis yaitu, Penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave rectifier*)



Gambar 4. 1 Rangkaian penyearah setengah gelombang

Penyearah setengah gelombang (*half wave rectifer*) hanya menggunakan 1 buah diode sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC dari transformator. Pada saat transformator memberikan output sisi positif dari gelombang AC maka diode dalam keadaan forward bias sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi reverse bias, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan seperti terlihat pada Gambar 4.2 sinyal output penyearah setengah gelombang berikut.



Gambar 4. 2 Bentuk gelombang output penyearah setengah gelombang

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut.

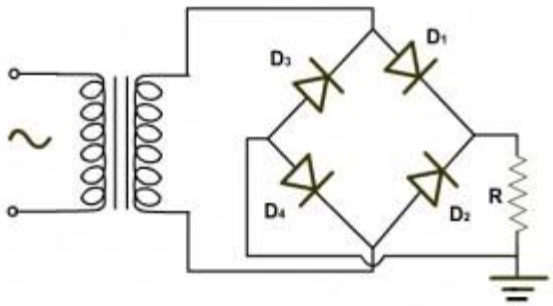
$$VAVG = \frac{Vm}{\pi}$$

Dimana V_{AVG}= tegangan rata-rata DC

Vm = Amplitudo /tegangan maksimum

Vm = Vrms$\sqrt{2}$

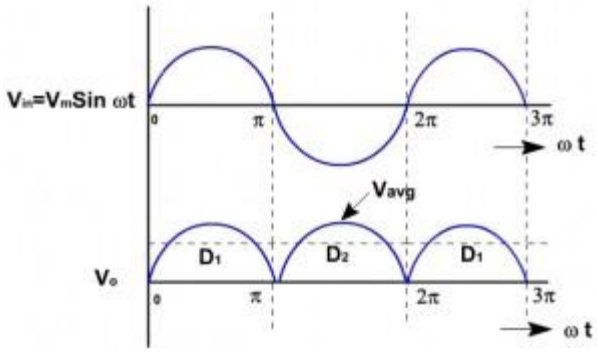
Penyearah Gelombang Penuh (Full wave Rectifier)



Gambar 4. 3 Penyearah Gelombang Penuh

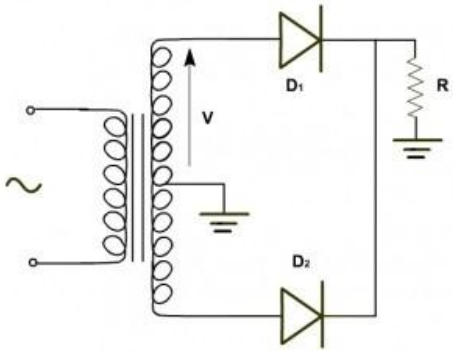
Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 diode dan 2 diode. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 diode menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut : Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 diode diatas dimulai pada saat output

transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi forward bias dan D2, D3 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di leawatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingan level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik output berikut.



Gambar 4. 4 Bentuk Gelombang Penyearah Gelombang Penuh

Penyearah gelombang dengan 2 diode menggunakan tranformator dengan CT (*Center Tap*).



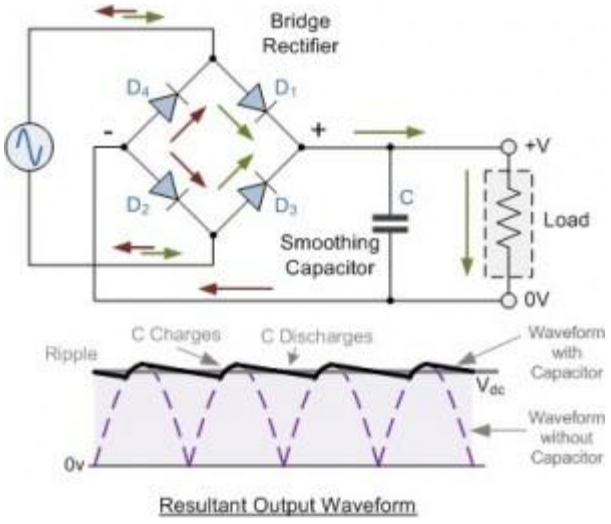
Gambar 4. 5 Penyearah Gelombang Penuh dengan dua dioda

Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 diode dapat dilihat pada Gambar 4.5. Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda ini dapat bekerja karena menggunakan transformator dengan CT. Transformator dengan CT seperti pada Gambar 4.5 dapat memberikan output tegangan AC pada kedua terminal output

sekunder terhadap terminal CT dengan level tegangan yang berbeda fasa 180°. Pada saat terminal output transformator pada D1 memberikan sinyal puncak positif maka terminal output pada D2 memberikan sinyal puncak negatif, pada kondisi ini D1 pada posisi forward dan D2 pada posisi reverse. Sehingga sisi puncak positif dilewatkan melalui D1. Kemuudian pada saat terminal output transformator pada D1 memberikan sinyal puncak negatif maka terminal output pada D2 memberikan sinyal puncak positif, pada kondisi ini D1 posisi reverse dan D2 pada posisi forward. Sehingga sinyal puncak positif dilewatkan melalui D2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar output penyearah gelombang penuh berikut. Formulasi pada penyearah gelombang penuh sebagai berikut.

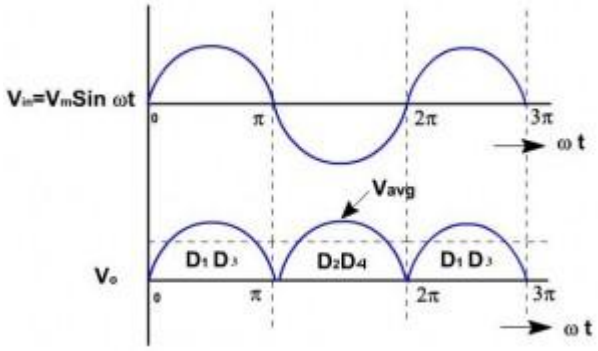
$$Vdc = \frac{2Vmax}{\pi}$$

Penyearah Dilengkapi Filter Kapasitor Agar tegangan penyearahan gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC maka dipasang filter kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah seperti terlihat pada Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Penyearah Gelombang Penuh 4 Dioda

Fungsi kapasitor pada rangkaian diatas untuk menekan riple yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (Direct Current) yang dapat diformulasikan sebagai berikut :



Gambar 4. 7 Bentuk gelobang Penyearah Gelombang Penuh 4 dioda

Kemudian untuk nilai riple tegangan yag ada dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{Riple} = \frac{I_{Load}}{fC}$$

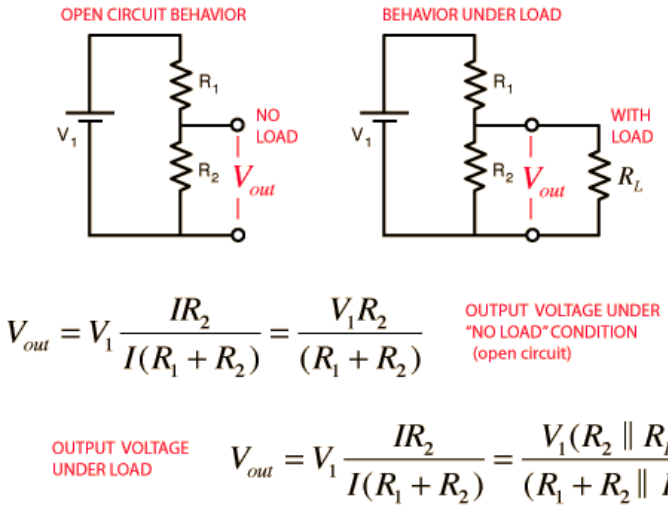
Rangkaian Penyetabil Tegangan

Penyetabil tegangan adalah bagian power supply yang berfungsi untuk memberikan stabilitas output pada suatu *power supply*. Output tegangan DC dari penyearah tanpa regulator mempunyai kecenderungan berubah harganya saat dioperasikan. Adanya perubahan pada masukan AC dan variasi beban merupakan penyebab utama terjadinya ketidakstabilan pada power supply. Pada sebagian peralatan elektronika, terjadinya perubahan catu daya akan berakibat cukup serius. Untuk mendapatkan pencatu daya yang stabil diperlukan regulator tegangan. Regulator tegangan untuk suatu power supply paling sederhana adalah menggunakan dioda zener. Rangkaian dasar penggunaan dioda zener sebagai regulator tegangan dapat dilihat pada gambar rangkaian 3.8 dibawah. Regulator Tegangan Pada Power Supply Rangkaian pencatu daya (*power supply*) dengan regulator diode zener pada gambar rangkaian tersebut, merupakan contoh sederhana cara pemasangan regulator tegangan dengan dioda zener. Diode zener dipasang paralel atau shunt dengan L dan R . Regulator ini hanya memerlukan sebuah diode zener terhubung seri dengan resistor RS . Perhatikan bahwa diode zener dipasang dalam posisi reverse bias. Dengan cara pemasangan ini, diode zener hanya

akan berkonduksi saat tegangan reverse bias mencapai tegangan breakdown dioda zener. Penyearah berupa rangkaian diode tipe jembatan (*bridge*) dengan proses penyaringan atau filter berupa filter-RC. Resistor seri pada rangkaian ini berfungsi ganda. Pertama, resistor ini menghubungkan C1 dan C2 sebagai rangkaian filter. Kedua, resistor ini berfungsi sebagai resistor seri untuk regulator tegangan (dioda zener). Diode zener yang dipasang dapat dengan sembarang dioda zener dengan tegangan breakdown misal dioda zener 9 volt. Tegangan output transformer harus lebih tinggi dari tegangan breakdown dioda zener, misalnya untuk penggunaan dioda zener 9 volt maka gunakan output transformer 12 volt. Tegangan *breakdown* dioda zener biasanya tertulis pada body dari dioda tersebut.

Ketika diperlukan tegangan yang berbeda dari suatu sumber tegangan DC, maka yang terpikir adalah dengan menggunakan hukum pembagian tegangan menggunakan Resistor seperti gambar dibawah ini

.



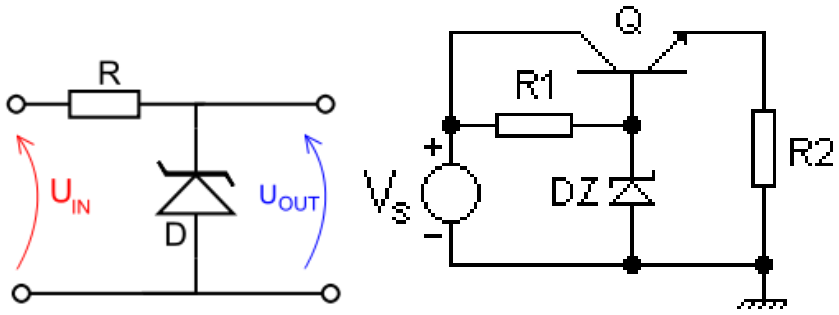
$$V_{out} = V_1 \frac{IR_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{V_1 R_2}{(R_1 + R_2)}$$

$$V_{out} = V_1 \frac{IR_2}{I(R_1 + R_2)} = \frac{V_1 (R_2 \parallel R_L)}{(R_1 + R_2 \parallel R_L)}$$

Gambar 4. 8 resistor pembagi tegangan

Berdasarkan rumus , Vout sangat dipengaruhi oleh resistansi/impedansi dari beban yang dipasang. Kemudian munculah solusi dengan menggunakan dioda "terbalik" yang

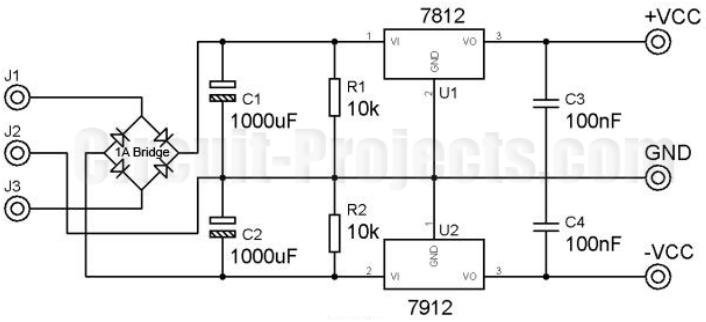
memanfaatkan tegangan *breakdown* dari dioda yang lazim disebut "ZENER". Umumnya zener dipasang seperti gambar berikut :



a. Regulator tegangan dengan Zener b. Regulator tegangan disertai penguat arus

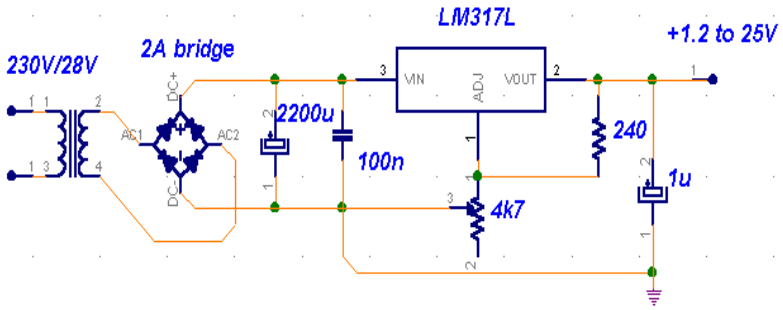
Gambar 4. 9 Regulator tegangan dengan zener

Kestabilan dari regulator menggunakan zener ditentukan oleh besar arus yang di alirkan ke beban. Selanjutnya para produsen komponen elektronika merancang komponen regulator tegangan linear dengan memanfaatkan sifat-sifat dari zener. Ada dua jenis linear regulator yaitu Fixed dan Variabel, untuk Fixed regulator umumnya berkode 78xx (positif regulator) dan 79xx (negatif regulator) sedangkan untuk Variabel regulator contoh yang paling banyak digunakan adalah LM317.



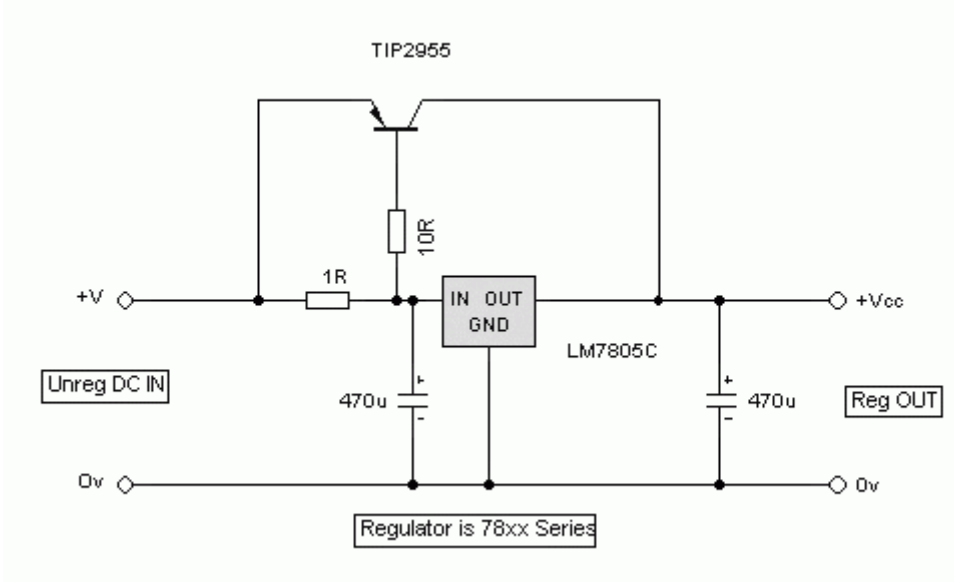
Gambar 4. 10 Contoh rangkaian regulator +12v dan -12v

Untuk LM317 lebih flexibel dengan mengatur nilai resistor pada pembagian tegangan di kaki nomer 1



Gambar 4. 11 Contoh rangkaian regulator variabel menggunakan LM317

IC 78xx maupun LM317 umumnya memiliki rating arus beban maksimum berkisar 1 Ampere, sehingga untuk melayani arus yang lebih dari 1 Ampere diperlukan rangkaian driver arus seperti berikut ini :



Gambar 4. 12 penggunaan TIP2955 / 2SC2955 (Transistor jengkol) untuk menaikkan rating arus Max 5 Ampere

Rangkaian Penyetabil Arus

Regulator arus adalah alat yang dapat menghasilkan arus konstan/ teregulasi. Ada banyak contoh yang membutuhkan sumber arus konstan. Salah satu metoda yang mudah adalah dengan menggunakan rangkaian dasar transistor sebagai sumber arus constant aktif. Rangkaiannya sangat sederhana hanya menggunakan sebuah transistor, tetapi sumber arus versi yang lebik kompleknya juga dapat dirancang.

Aplikasi sumber arus aktif

Sumber arus digunakan pada banyak desain rangkaian. Walaupun sumber tegangan lebih terlihat jelas diperlukan, sumber arus juga sama-sama berguna. Sumber arus dapat digunakan untuk membias transistor dan dapat digunakan juga untuk beban-beban aktif pada tingkat penguat beban tinggi. Ada juga digunakan pada sumber arus emitor pada penguat diferensial. Dapat juga digunakan sebagai satu daya dengan jangkauan tegangan yang lebar. Secara berdiri sendiri sumber arus juga diperlukan pada proses elektrokimia dan elektroporesis.

Rangkaian sumber arus sederhana dengan resistor

Bentuk yang paling sederhana dari sebuah sumber arus adalah resistor sederhana. Jika tegangan sumber lebih tinggi daripada tegangan dimana arusnya diperlukan, maka arus output hampir tergantung pada beban. Pada kondisi tersebut arus dapat dihitung dengan mudah dengan rumus I =V/R karena V beban akan lebih kecil dari V sumber.

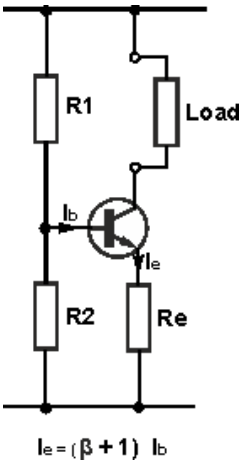
Bentuk sederhana dari sumber arus ini memiliki banyak keterbatasan:

1. Sumber Tegangan tinggi diperlukan dan tidak selalu tersedia
2. Nilai resistansi tinggi memerlukan disipasi daya membuat rangkaian tidak efisien
3. Variasi beban dapat menyebabkan variasi arus jika nilai sumber tegangan tinggi tidak mencukupi.

Dasar-dasar sumber arus konstan dengan komponen aktif (transistor)

Penggunaan transistor memberikan sumber arus / regulator arus yang jauh lebih efektif. Sumber arus bekerja karena pada kenyataannya bahwa arus kolektor dalam sebuah

transistor adalah β kali arus basis. Bebas dari tegangan kolektor, menyediakan tegangan yang cukup untuk memberikan arus pada beban melalui kolektor.



Gambar 4. 13 Sumber arus konstan dengan sebuah transistor

Pada rangkaian diatas arus kolektor adalah B kali arus basis. Umumnya B itu besar dan oleh karena itu dapat dianggap bahwa arus emitor yang besarnya (B+1) kali arus basis dan arus kolektor B kali arus basis sehingga dianggap sama

$$I_e = (\beta + 1)\ I_b$$

$$I_{load} = I_C = \beta\ I_b$$

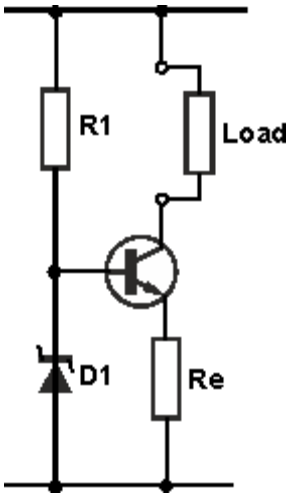
$$= \beta\ \frac{V_e}{(\beta + 1)\ Re}$$

$$\boxed{I_{load} = \frac{V_b - 0.6}{Re}}$$

Dengan mengatur resistor R1 dan R2 memungkinkan dapat mengatur tegangan basis. Tegangan emitor akan berkurang 0,6 volt dengan mengganggap sebuah transistor silicon. Dengan mengetahui tegangan emitor, memungkinkan arus emitor dan kolektor diketahui menggunakan hukum Ohm.

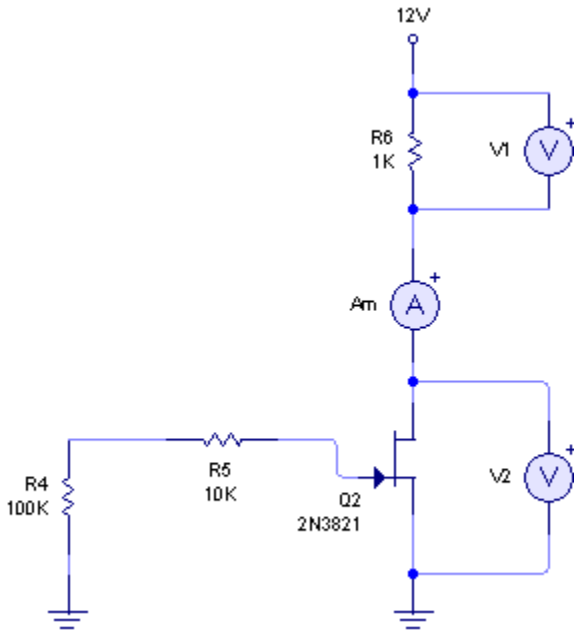
Rangkaian sumber arus yang distabilkan

Untuk mengurangi fluktuasi pada arus pada catu daya cukup menambahkan rangkaian dasar regulasi. Hal ini dpat diperoleh dengan mengganti R2 dengan diode zener sebagai tegangan referensi.



Gambar 4. 14 Rangkaian arus konstan dengan regulasi transistor

Rangkaian di bawah ini merupakan padanan untuk sumber arus yang menggunakan FET. Arus drain yang mengalir akan konstan pada jangkauan beban tertentu. Tegangan pada R6 akan berubah sesuai besaran resistansinya



Gambar 4. 15 Rangkaian arus konstan dengan regulasi JFET

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar Mengidentifikasi Isi Materi Pebelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran rangkaian penyearah dan penyetabil? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-4.1**.Jika Saudara dapat menjawab pertanyan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1 menafsirkan cara kerja rangkaian penyarah dan penyetabil

Saudara akan mendiskusikan bagaimana rangkaian penyearah dan penyetabil bekerja. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penyarah?
2. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian penyarah?
3. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penyetabil tegangan?
4. Mengapa Saudara perlu menganalisis penyetabil tegangan?
5. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penyetabil arus?
6. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian penyetabil arus?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-4.2.**

Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang cara kerja rangkaian penyearah dan penyetabil, Bacalah Bahan Bacaan 4 tentang rangkaian penyearah dan penyetabil, kemudian melaksanakan Tugas Praktek dengan menggunakan **LK-4.2.P**

E. Rangkuman

Penyearah gelombang (rectifier) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah diode yang dikonfiguarsikan secara forward bias.

Penyetabil tegangan adalah bagian *power supply* yang berfungsi untuk memberikan stabilitas output pada suatu *power supply*. Output tegangan DC dari penyearah tanpa regulator mempunyai kecenderungan berubah harganya saat dioperasikan. Adanya perubahan pada masukan AC dan variasi beban merupakan penyebab utama terjadinya ketidakstabilan pada power supply. Regulator tegangan untuk suatu *power supply* paling sederhana adalah menggunakan dioda zener.

Regulator arus adalah alat yang dapat menghasilkan arus konstan/ teregulasi. Ada banyak contoh yang membutuhkan sumber arus konstan. Salah satu metoda yang mudah adalah dengan menggunakan rangkaian dasar transistor sebagai sumber arus constant aktifPenggunaan transistor memberikan sumber arus / regulator arus yang jauh lebih efektif. Sumber arus bekerja karena pada kenyataannya bahwa arus kolektor dalam sebuah transistor adalah β kali arus basis. Bebas dari tegangan kolektor, menyediakan tegangan yang cukup untuk memberikan arus pada beban melalui kolektor.

F. Test Formatif

1. Sebuah penyearah setengah gelombang dipasang untuk menyearahkan tegangan rms 12 V, maka berapakah tegangan DC yang dihasilkan?
2. Dioda zener mempunyai Vz = 10V. Gunakan pendekatan zener ideal untuk menghitung arus arus zener minimum dan maksimum jika Vs = 20-40V dan Rs = 820Ω. Jika rangkaian tersebut belum di pasang beban RL?
3. Bagaimana prinsip kerja penyetabil tegangan menggunakan transistor bipolar
4. Bagaimana prinsip kerja penyetabil arus menggunakan FET
5. Gambarkan rangkaian penyetabil tegangan dengan transistor PNP?

G. Kunci Jawaban

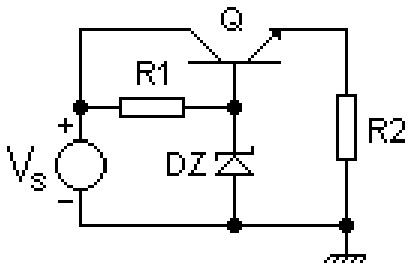
1. $V_{DC}= \frac{Vm}{\pi} = \frac{Vrms.\sqrt{2}}{3,14} = \frac{16,97}{3,14} = 5,4V$

2.

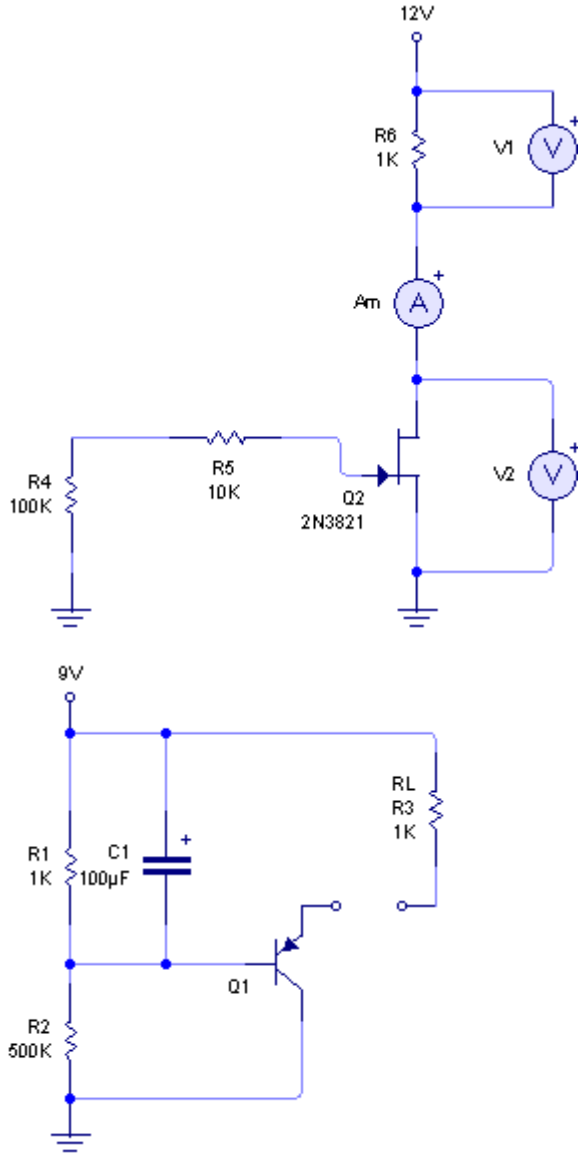
$$Is = \frac{Vs - 10}{RS}$$

$$Iz\min = \frac{20-10}{820} = 12,2mA$$

$$Iz\ \max = \frac{40-10}{820} = 36,6mA$$



3. Pada rangkaian diatas adalah transistor sebagai sumber tegangan dimana R2 adalah sebagai tahanan beban. Pada beban tegangan akan dipertahankan yaitu sekitar tegangan Zener – 0,7 dengan asmumsi transistor silicon walau pun adanya perubahan beban dan tegangan input.Pada saat beban besar maka aka nada arus yang mengalir melalui ransistor Q
4. Regulator arus menggunakan FET dapat diperoleh dengan memberikan tegangan bias pada Gate. Sebagai contoh pada gambar dibawah ini BF256 akan menghasilkan I_{DS}=1,11 mA jika pada V_{GS}=0 V.



5. Rangkaian regulator tegangan dengan transistor PNP

LEMBAR KERJA KB-4

LK–4.1

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran rangkaian penyearah dan penyetabil ? Sebutkan!

……

……

……

……

……

1. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

……

……

……

……

……

2. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

……

……

……

……

……

3. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

……

……

……

……

……

4. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

……

……

……

……

……

5. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

……

……

……

……

……

LK-4.2

1. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penyarah?

……

……

……

……

……

2. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian penyarah?

……

……

……

……

……

3. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penyetabil tegangan?

……

……

……

……

……

4. Mengapa Saudara perlu menganalisis penyetabil tegangan?

……

……

……

……

……

5. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penyetabil arus?

……

……

……

……

……

6. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian penyetabil arus?

……

……

……

……

LK-4.2P

TUGAS PRAKTIK:

Dengan menyelesaikan LK-2.2 saudara telah memahami cara kerja komponen aktif

Untuk keperluan eksperimen cara kerja dan karakteristik komponen aktif saudara dapat mengikuti petunjuk berikut:

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk simulasi maupun praktikum;
2. Lakukan pemeriksaan terhadap tegangan kerja simulator;
3. Jika ragu-ragu terhadap apa yang akan saudara lakukan, jangan segan-segan bertanya ke fasilitator untuk meminta klarifikasi sehingga masalahnya menjadi lebih jelas;
4. Disarankan Saudara dapat melihat tayangan video program untuk menyimak demonstrasi penggunaan software simulasi atau pun buku manual trainer rangkaian elektronika sebelum melakukan tugas praktek ini;
5. Lakukan pekerjaan saudara sesuai POS (Prosedur Operasi Standar);
6. Saudara harus melakukan ini di bawah supervisi fasilitator.

Kesehatan dan Keselamatan Kerja :

1. Berdo'alah sebelum memulai kegiatan belajar!
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Gunakanlah peralatan praktikum dengan hati-hati!
4. Pastikan saudara sudah memakai APD.
5. Pastikan tegangan kerja telah sesuai.
6. Pastikan alat ukur bekerja dengan baik

Menafsirkan Rangkaian Penyearah

Peralatan :

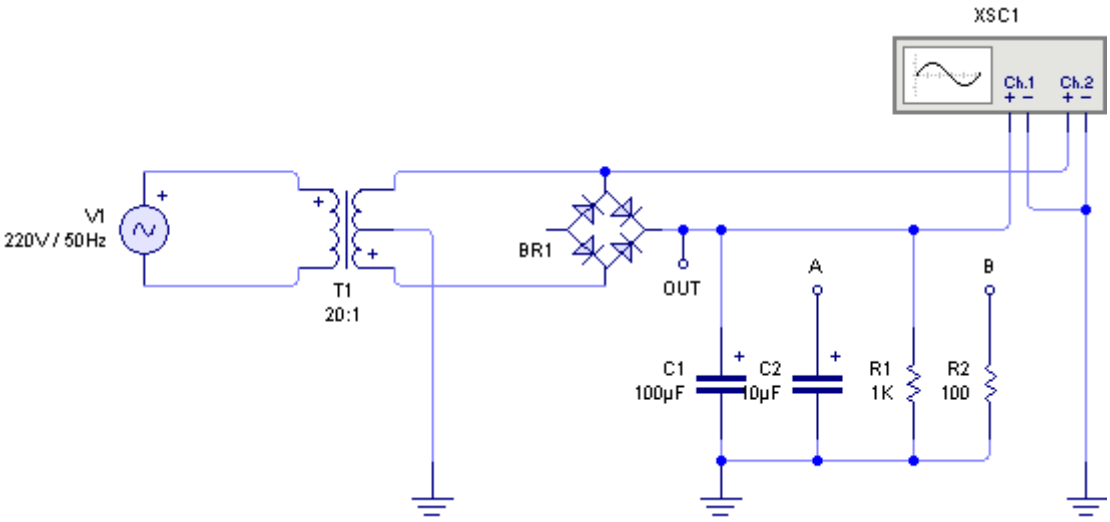
- Osiloskop 2 kanal
- Probe
- projectboard

Bahan /Komponen :

10µF Electrolytic Capacitor	1
100 Resistor (1/4W)	1
100µF Electrolytic Capacitor	1
1K Resistor (1/4W)	1
20:1 Transformer	1
Bridge Rectifier (Ideal)	1

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan alat ukur osiloskop seperti pada gambar diatas
4. Gambarkan bentuk gelombang pada kanal 1 dan kanal 2 dari osiloskop

5. Pasang resistor R2 dan lepas R1
6. Gambarkan bentuk gelombang pada kanal 1 dan kanal 2 dari osiloskop

7. Lepas kapasitor C1 dan pasang kembali R1 dan lepas R2 gambarkan bentuk gelombangnya
8. Pasang kapasitor C2 sehingga diparalel dengan C1 gambar bentuk gelombang outputnya?
9. Dangan melihat gelombang output dari kombinasi C1,C2 dan R1, R2 Isilah table berikut
10. Buatlah interpretasi data dan kesimpulan!

	C1	C2
R1		
R2		

Menafsirkan Rangkaian Penyetabil tegangan dan arus

Peralatan :

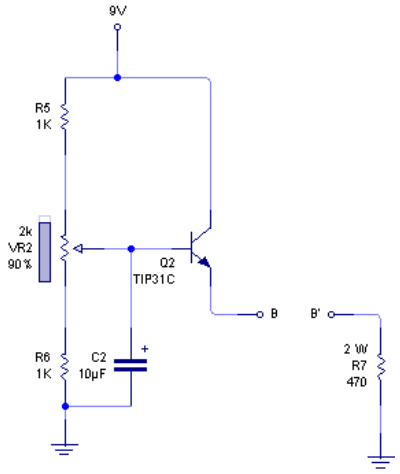
- AVO 2 buah
- Probe
- projectboard

Bahan /Komponen :

Name	Quantity
10µF Electrolytic Capacitor	2
1K Potentiometer	1
1K Resistor (1/4W)	2
22 Resistor (1/4W)	1
24V Voltage Rail (Ideal)	1
2K Potentiometer	1
390 Resistor (1/4W)	1
470 Resistor (1/4W)	2
8.2K Resistor (1/4W)	1
9V Voltage Rail (Ideal)	1
PNP Transistor (Ideal)	1
TIP31C NPN Transistor	1

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!

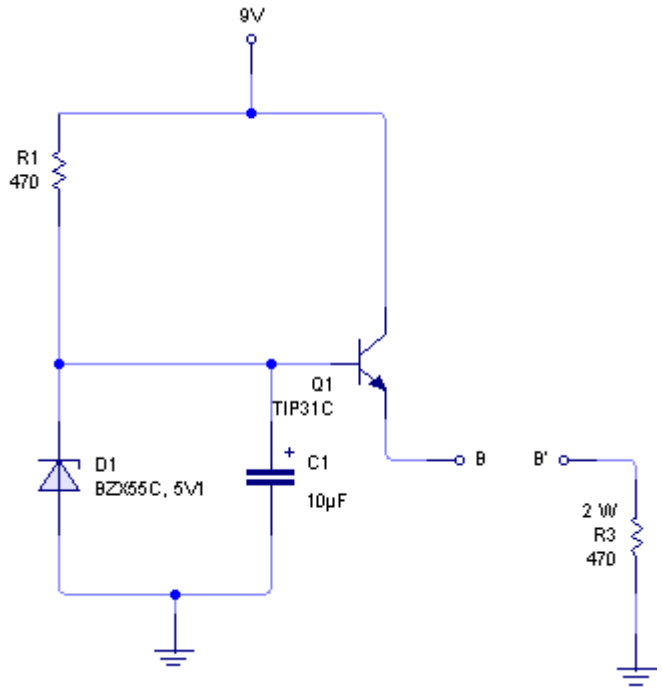


3. Sambungkan alat ukur osiloskop seperti pada gambar
4. Atur VR2=90%. Hubungkan B ke B’
5. Berapa Tegangan Vb dan Ve? Mengapa demikian.
6. Atur R4 dari 500-2000 ohm per 100 ohm kenaikan. Perhatikan Arus dan tegangan Pada beban dari tiap perubahan.

No	R4	I beban	V beban

1	500		
2	600		
3	700		
4	800		
5	900		
6	1000		
7	1100		
8	1200		
9	1300		
10	1400		
11	1500		
12	1600		
13	1700		
14	1800		
15	1900		
16	2000		

7. Amati hubungan antara R_{beban}, tegangan dan Arus
8. Apakah rangkaian ini merupakan regulator tegangan?
9. Lepas VR2 dan R6 ganti dengan diode zener 5,1V seperti gambar berikut

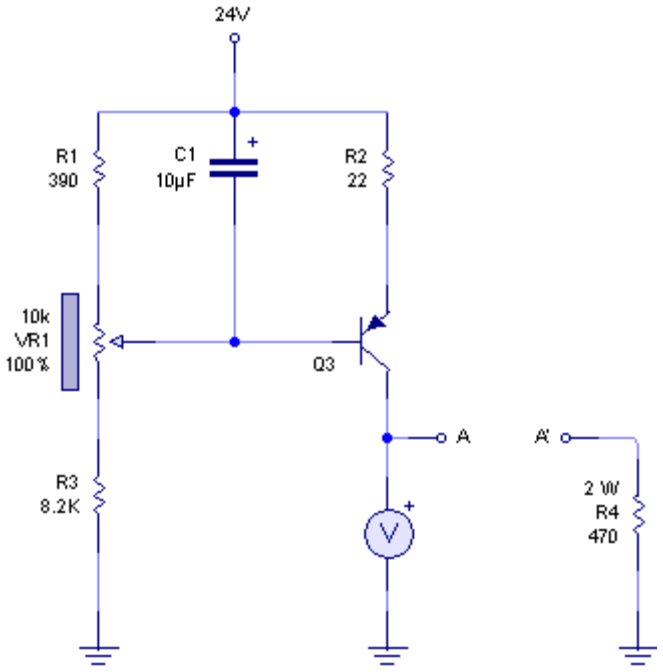


10. Ulangi langkah kerja 6 s.d 7 dan isilah table berikut ini

No	R4	I beban	V beban
1	500		
2	600		
3	700		
4	800		
5	900		
6	1000		
7	1100		
8	1200		
9	1300		

10	1400		
11	1500		
12	1600		
13	1700		
14	1800		
15	1900		
16	2000		

11.Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



12.Sambungkan A ke A’

13.Atur VR1=100%.

14.Berapa Tegangan dan Arus Pada R2? Mengapa demikian?

15.Atur R4 dari 100-2000 ohm per 200 ohm kenaikan. Perhatikan Arus dan tegangan Pada beban dari tiap perubahan.

No	R4	I beban	V beban
1	100		
2	300		
3	500		
4	700		
5	900		
6	1100		
7	1300		
8	1500		
9	1700		
10	1900		

16.Amati hubungan antara Rbeban,tegangan dan Arus beban!.

17.Apakah rangkaian ini merupakan sumber arus?

KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 RANGKAIAN TRANSISTOR SEBAGAI PENGUAT

A. Tujuan

a. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat merancang transistor bipolar sebagai penguat kelas A, B, C, AB
b. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat merancang transistor sebagai penguat audio
c. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat merancang transistor sebagai penguat radio
d. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat dapat merancang transistor sebagai osilator
e. Melalui presentasi peserta diklat dapat menyajikan hasil rancangan penguat transistor dengan percaya diri

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

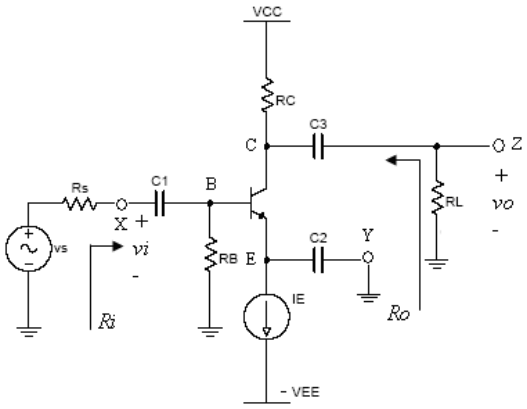
a. Merancang transistor bipolar sebagai penguat kelas A, B, C, AB
b. Merancang transistor sebagai penguat audio
c. Merancang transistor sebagai penguat radio
d. Merancang transistor sebagai osilator

C. Uraian Materi

Konfigurasi Transistor

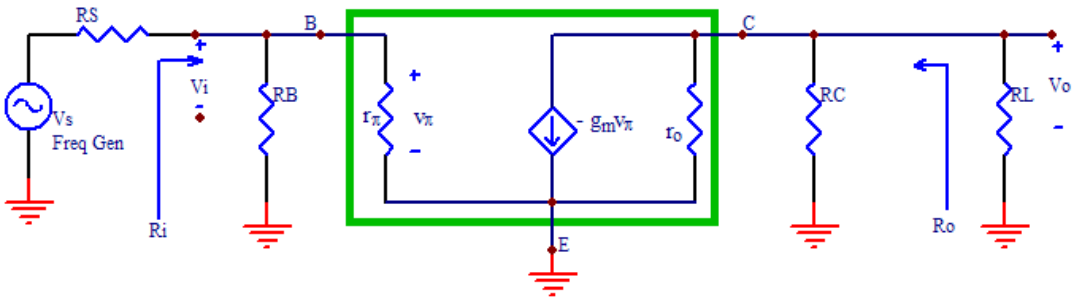
1. Konfigurasi Common Emitter (CE)

Konfigurasi ini memiliki resistansi input yang sedang, transkonduktansi yang tinggi, resistansi output yang tinggi dan memiliki penguatan arus (A_I) serta penguatan tegangan (A_V) yang tinggi. Secara umum, konfigurasi *common emitter* diilustrasikan oleh Gambar 5.1 dibawah ini.



Gambar 5. 1 Konfigurasi common emitter

Untuk menentukan penguatan teoritis-nya, terlebih dahulu akan kita hitung resistansi input dan outputnya. Resistansi Input (Ri) adalah nilai resistansi yang dilihat dari masukan sumber tegangan v_i. Perhatikan bahwa Rs adalah resistansi dalam dari sumber tegangan. Sedangkan resistansi output (Ro) adalah resistansi yang dilihat dari keluaran. Jika rangkaian di atas kita modelkan dengan model-π, maka rangkaian tersebut dapat menjadi seperti Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5. 2 Model phi

Dengan model ini, Ri (resistansi input) adalah:

$R_i = R_B // r_\pi$

Jika $R_B >> r_\pi$ maka resistansi input akan menjadi :

$R_i \approx r_\pi$

Kemudian, untuk menentukan resistansi output konfigurasi CE, kita buat Vs = 0, sehingga $g_m v_\pi = 0$, maka:

$$R_O = R_C // r_o$$

untuk komponen diskrit yang $R_C << r_o$, persamaan tersebut menjadi

$$R_O \approx R_C$$

Dan untuk faktor penguatan tegangan, Av merupakan perbandingan antara tegangan keluaran dengan tegangan masukan:

$$A_v \approx -\frac{\beta(RC // RL // r_o)}{r_\pi + R_S}$$

Jika terdapat resistor R_e yang terhubung ke emiter, maka berlaku:

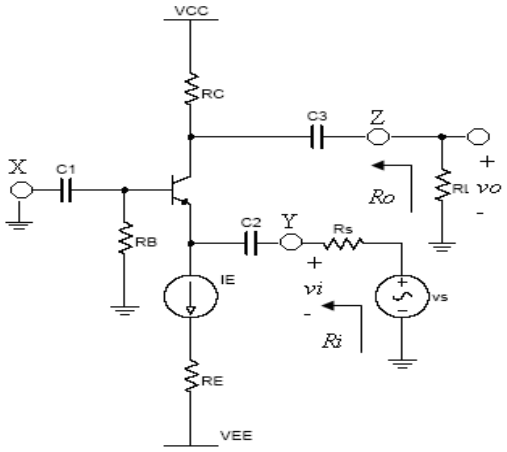
$$Ri = R_B // r_\pi(1 + g_m R_e)$$

$$R_O \approx R_C$$

$$A_v \approx -\frac{RC // RL}{r_e + R_e}$$

2. Konfigurasi Common Base (CB)

Konfigurasi ini memiliki resistansi input yang kecil dan menghasilkan arus kolektor yang hampir sama dengan arus input dengan impedansi yang besar. Konfigurasi ini biasanya digunakan sebagai *buffer*. Konfigurasi *common base* ditunjukkan oleh Gambar 5.3



Gambar 5. 3 Konfigurasi common base

Resistansi input untuk konfigurasi ini adalah : $R_i \approx r_e$

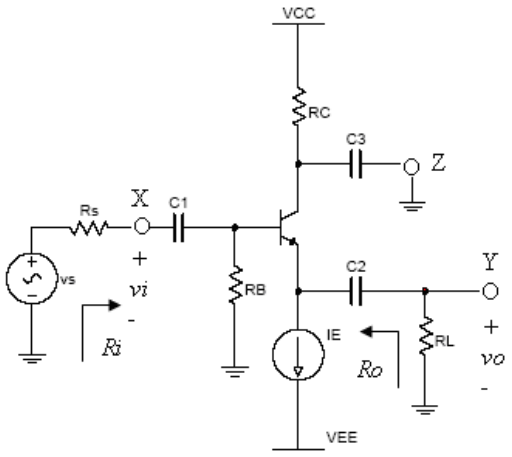
Resistansi outputnya adalah : $R_o = RC$

Faktor penguatan keseluruhan adalah : $$Av = \frac{R_i}{R_i + R_s} Gm(RC \,//\, RL)$$

dengan, R_s adalah resistansi sumber sinyal input dan Gm adalah transkonduktansi.

3. Konfigurasi Common Collector (CC)

Konfigurasi ini memiliki resistansi output yang kecil sehingga baik untuk digunakan pada beban dengan resistansi yang kecil. Oleh karena itu, konfigurasi ini biasanya digunakan pada tingkat akhir pada penguat bertingkat. Konfigurasi *common collector* ditunjukkkan pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5. 4 Konfigurasi common collector

Pada konfigurasi ini berlaku:

Resistansi input: $R_i \approx r_\pi + (\beta + 1)R_L$

Resistansi output: $R_o = r_e \dfrac{(R_s \,//\, RB)}{\beta + 1}$

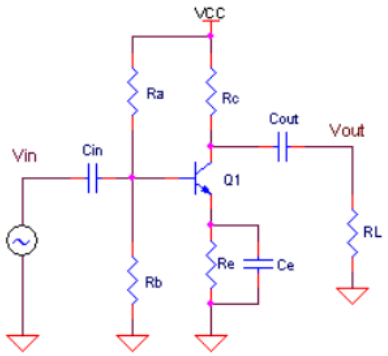
Faktor penguatan: $Av = \dfrac{R_L}{R_L + R_o}$

Klasifikasi Penguat

Kelas operasi dari sebuah penguat transistor ditentukan oleh jumlah waktu (dalam hubungannya dengan input) terhadap aliran arus output rangkaian. Ini merupakan fungsi dari titik kerja penguat. Titik operasi penguat ditentukan oleh bias yang diberikan pada transistor. Ada 4 Kelas operasi pada transistor. Operasi Kelas A, B, C, dan AB. Tiap Kelas operasi memiliki karakteristik dan kegunaan tertentu. Tidak ada satu kelas operasi yang lebih baik dari kelas yang lain. Kelas yang bagus untuk penguat *microphone* belum tentu bagus untuk penguat pemancar.

Operasi kelas A

Operasi kelas A berarti bahwa transistor (100%) selalu beroperasi di daerah aktif. Berarti arus kolektor mengalir sepanjang siklus (360^0) dari siklus input AC. Penguat tipe kelas A dibuat dengan mengatur arus bias yang sesuai di titik tertentu yang ada pada garis bebannya sehingga titik Q berada tepat di tengah garis beban kurva V_{CE}-IC dari rangkaian penguat tersebut dan sebut saja titik ini titik A. Gambar 5.5 berikut adalah contoh rangkaian *common emittor* dengan transistor NPN Q1.

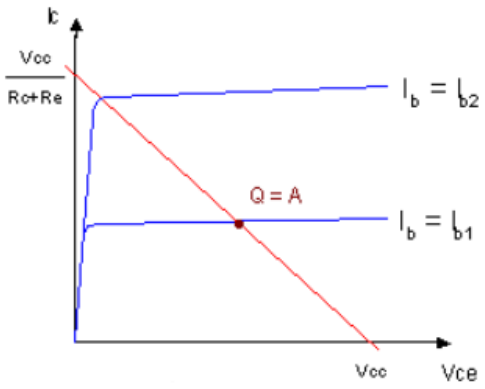


Gambar 5. 5 Rangkaian Dasar Penguat Kelas A

Garis beban pada penguat ini ditentukan oleh resistor Rc dan Re dari rumus

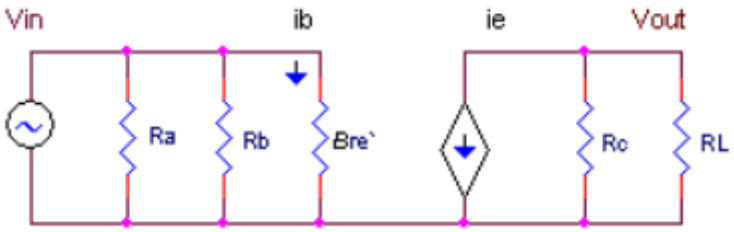
$V_{CC} = V_{CE} + IcRc + IeRe$.

Jika Ie = Ic maka dapat disederhanakan menjadi $V_{CC} = V_{CE} + Ic.(Rc+Re)$. Selanjutnya Anda dapat menggambar garis beban rangkaian ini dari rumus tersebut. Sementara itu, resistor R_a dan R_b dipasang untuk menentukan arus bias. Anda dapat menentukan sendiri besar resistor-resistor pada rangkaian tersebut dengan menetapkan berapa besar arus I_b yang memotong titik Q.



Gambar 5. 6 Garis Beban dan Titik Q Kelas A

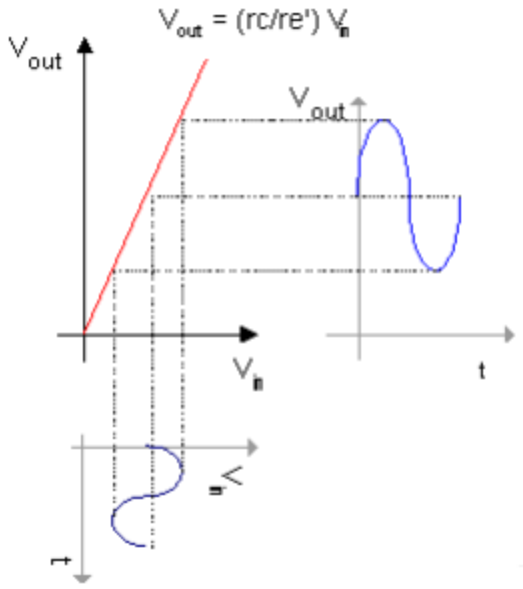
Besar arus I_b biasanya tercantum pada *datasheet* transistor yang digunakan. Besar penguatan sinyal AC dapat dihitung dengan teori analisa rangkaian sinyal AC. Analisa rangkaian AC dilakukan dengan menghubung singkat setiap komponen kapasitor C dan secara imajiner menyambungkan V_{CC} ke ground. Dengan cara ini, rangkaian Gambar 5. 5 dapat dirangkai menjadi seperti Gambar 5.7. Resistor Ra dan Rc dihubungkan ke ground dan semua kapasitor dihubung singkat.



Gambar 5. 7 Rangkaian Imajiner Analisa ac Kelas A

Adanya kapasitor Ce menyebabkan nilai Re pada analisa sinyal AC menjadi tidak berarti. Anda dapat mencari lebih lanjut literatur yang membahas penguatan transistor untuk mengetahui bagaimana perhitungan nilai penguatan transistor secara detail. Penguatan didefenisikan dengan Vout/Vin = rc/re`, rc adalah resistansi Rc paralel dengan beban RL (pada penguat akhir, RL adalah speaker 8 Ohm), dan r'e adalah resistansi penguatan transitor. Nilai r'e dapat dihitung dari rumus r'e = hfe/hie yang datanya juga ada pada

data sheet transistor. Gambar 5.8 menunjukkan ilustrasi penguatan sinyal input serta proyeksinya menjadi sinyal output terhadap garis kurva X-Y rumus penguatan vout = $(R_c/R_e)\ V_{in}$.

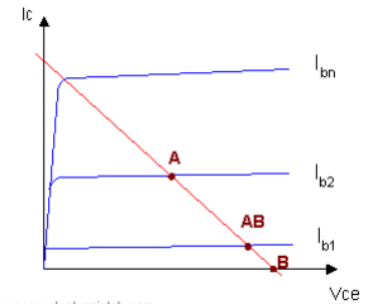


Gambar 5. 8 Kurva Penguatan Kelas A

Ciri khas dari penguat kelas A adalah seluruh sinyal keluarannya bekerja pada daerah aktif. Penguat tipe kelas A disebut sebagai penguat yang memiliki tingkat fidelitas yang tinggi. Selama sinyal masih bekerja di daerah aktif, bentuk sinyal keluarannya akan sama persis dengan sinyal input. Akan tetapi, penguat kelas A ini memiliki efisiensi yang rendah kira-kira hanya 25%-50%. Hal ini karena titik Q yang ada pada titik A sehingga walaupun tidak ada sinyal input (atau ketika sinyal input = 0 Vac) transistor tetap bekerja pada daerah aktif dengan arus bias konstan. Transistor selalu aktif (*ON*) sehingga sebagian besar dari sumber catu daya terbuang menjadi panas. Oleh karena itu, transistor penguat kelas A perlu ditambah dengan pendingin ekstra seperti *heatsink* yang lebih besar.

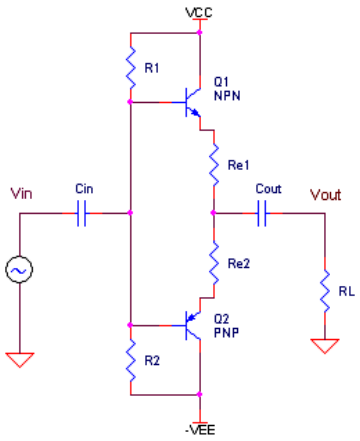
1. Operasi Kelas B

Titik B adalah satu titik pada garis beban dimana titik ini berpotongan dengan garis arus Ib=0. Letak titik yang demikian menyebabkan transistor hanya bekerja aktif pada satu bagian fasa gelombang saja. Kelas B hanya bekerja 50% dari sinyal input. Oleh karena itu, penguat kelas B selalu dibuat dengan 2 buah transistor Q1 (NPN) dan Q2 (PNP).



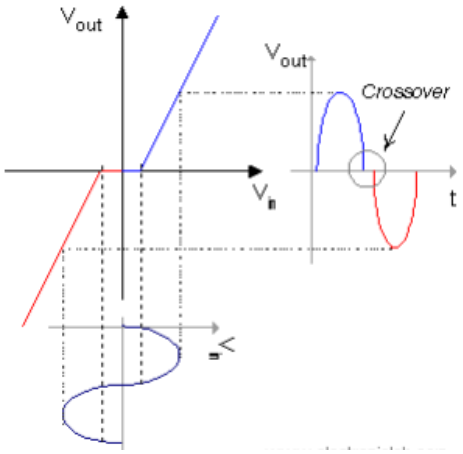
Gambar 5. 9 Titik Q penguat A, AB, dan B

Kedua transistor ini bekerja secara bergantian karena itu penguat kelas B sering dinamakan sebagai penguat *push-pull*. Rangkaian dasar *Power Amplifier* kelas B seperti pada Gambar 5. 10. Jika sinyalnya berupa gelombang sinus maka transistor Q1 aktif pada 50 % siklus pertama (fasa positif 0^o-180^o), selanjutnya giliran transistor Q2 aktif pada siklus 50 % berikutnya (fasa negatif 180^o – 360^o). Penguat kelas B lebih efisien dibandingkan dengan kelas A sebab jika tidak ada sinyal input (vin = 0 volt) maka arus bias Ib juga = 0 dan praktis membuat kedua trasistor dalam keadaan OFF.



Gambar 5. 10 Rangkaian Dasar Penguat Kelas B

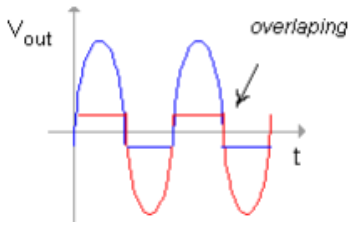
Efisiensi penguat kelas B kira-kira sebesar 75%. Akan tetapi bukan berarti masalah sudah selesai karena transistor memiliki ketidakidealan. Pada kenyataanya ada tegangan jepit V_{be} kira-kira sebesar 0.7 volt yang menyebabkan transistor masih dalam keadaan *OFF* walaupun arus Ib telah lebih besar beberapa mA dari 0. Hal ini menyebabkan masalah *cross-over* pada saat transisi dari transistor Q1 menjadi transistor Q2 yang bergantian menjadi aktif. Gambar 5.11 menunjukkan masalah *cross-over* yang menyebabkan adanya daerah mati/*dead zone* transistor Q1 dan Q2 pada saat transisi. Pada penguat akhir, salah satu cara mengatasi masalah *cross-over* adalah dengan menambah filter *cross-over* (filter pasif L dan C) pada masukan speaker.



Gambar 5. 11 Kurva Penguatan Kelas B

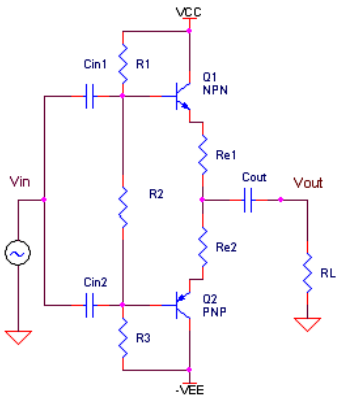
2. Operasi Kelas AB

Cara lain untuk mengatasi *cross-over* adalah dengan menggeser sedikit titik Q pada garis beban dari titik B ke titik AB (Gambar 5. 9). Tujuannya adalah agar pada saat transisi sinyal dari fasa positif ke fasa negatif dan sebaliknya, terjadi *overlap* di antara transistor Q1 dan Q2. Pada saat itu, transistor Q1 masih aktif sementara transistor Q2 mulai aktif dan demikian juga pada fasa sebaliknya. Penguat kelas AB merupakan kompromi antara efesiensi (sekitar 51% - 99%) dengan mempertahankan fidelitas sinyal keluaran.



Gambar 5. 12 Overlaping Sinyal Keluaran Penguat Kelas AB

Ada beberapa teknik yang sering dipakai untuk menggeser titik Q sedikit di atas daerah *cut-off*. Daerah *cut-off* adalah daerah di mana transistor tidak bekerja. Salah satu contohnya adalah seperti Gambar 5.13 di bawah ini. Resistor R2 di sini berfungsi untuk memberi tegangan jepit antara *base* transistor Q1 dan Q2. Anda dapat menentukan berapa nilai R2 ini untuk memberikan arus bias tertentu bagi kedua transistor. Tegangan jepit pada R2 dihitung dari pembagi tegangan R1, R2 dan R3 dengan rumus V_{R2} = (2VCC) R2/(R1+R2+R3). Lalu tentukan arus *base* dan lihat relasinya dengan arus Ic dan Ie sehingga dapat dihitung relasinya dengan tegangan jepit R2 dari rumus V_{R2} = 2x0.7 + Ie.(R_{e1} + R_{e2}). Penguat kelas AB ternyata punya masalah dengan teknik ini karena menyebabkan terjadinya penggemukan sinyal pada kedua transistornya yang aktif ketika sedang transisi. Masalah ini disebut dengan *gumming*.



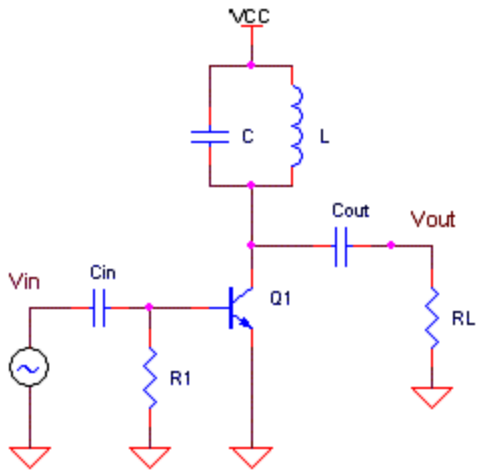
Gambar 5. 13 Rangkaian Dasar Penguat Kelas AB

Berdasarkan hal tersebut, dibuatlah teknik yang hanya mengaktifkan salah satu transistor saja pada saat transisi. Caranya adalah dengan membuat salah satu transistornya bekerja pada kelas AB dan satu lainnya bekerja pada kelas B. Teknik ini dapat dilakukan dengan memberi bias konstan pada salah satu transistornya yang bekerja pada kelas AB (biasanya selalu yang PNP). Caranya dengan memasang basis transistor tersebut menggunakan deretan dioda atau susunan satu transistor aktif. Penguat seperti ini disebut juga dengan penguat kelas AB plus B atau bisa saja diklaim sebagai kelas AB saja atau kelas B karena dasarnya adalah PA kelas B. Penyebutan ini tergantung dari bagaimana produk amplifier Anda mau diiklankan karena penguat kelas AB terlanjur memiliki konotasi lebih baik dari kelas A dan B. Terpenting adalah melalui teknik-teknik ini tujuan untuk mendapatkan efisiensi dan fidelitas yang lebih baik dapat terpenuhi.

3. Operasi Kelas C

Penguat Kelas C digunakan jika hanya dibutuhkan sebagian kecil dari setengah gelombang sinyal input saja. Setiap penguat yang beroperasi kurang dari 50% sinyal input adalah operasi kelas C. Jika penguat kelas B perlu 2 transistor untuk bekerja dengan baik maka ada penguat yang disebut kelas C dan hanya perlu 1 transistor. Ada beberapa aplikasi yang memang hanya memerlukan 1 fasa positif. Contohnya adalah

pendeteksi dan penguat frekuensi pilot, rangkaian penguat tuner RF, dan sebagainya. Transistor penguat kelas C bekerja aktif hanya pada fasa positif saja, bahkan jika perlu cukup sempit hanya pada puncak-puncaknya saja yang dikuatkan. Sisa sinyalnya bisa direplika oleh rangkaian resonansi L dan C. Tipikal dari rangkaian penguat kelas C adalah seperti pada rangkaian berikut ini.



Gambar 5. 14 Rangkaian Dasar Penguat Kelas C

Rangkaian ini juga tidak perlu dibuatkan bias karena transistor memang sengaja dibuat bekerja pada daerah saturasi. Rangkaian L C pada rangkaian tersebut akan beresonansi dan ikut berperan penting dalam mereplika kembali sinyal input menjadi sinyal output dengan frekuensi yang sama. Rangkaian ini jika diberi umpan balik dapat menjadi rangkaian osilator RF yang sering digunakan pada pemancar. Penguat kelas C memiliki efisiensi yang tinggi bahkan sampai 100%, tetapi tingkat fidelitasnya lebih rendah. Selain daripada itu, sebenarnya *fidelitas* yang tinggi bukan menjadi tujuan dari penguat jenis ini.

Penguat Frekuensi Rendah

Penguat frekuensi rendah umumnya berhubungan dengan penguat audio yaitu penguat yang hanya melewatkan frekuensi antara 20 Hz sampai dengan 20 kHz. Power Amplifier

adalah sebuah rangkaian penguat getaran atau amplitude suatu sinyal. Rangkaian ini biasanya digunakan sebagai penguat audio

Penguat (bahasa Inggris: Amplifier) adalah rangkaian komponen elektronika yang dipakai untuk menguatkan daya (atau tenaga secara umum). Dalam bidang audio, amplifier akan menguatkan signal suara berbentuk analog dari sumber suara yaitu memperkuat signal/gain arus (I) dan tegangan (V) listrik berbentuk sinyal AC dari inputnya menjadi arus listrik AC dan tegangan yang lebih besar, juga dayanya akan menjadi lebih besar di bagian outputnya. Besarnya penguatan ini sering dikenal dengan istilah gain. Nilai dari gain yang dinyatakan sebagai fungsi penguat frekuensi audio, *gain power* amplifier antara 20 kali sampai 100 kali dari signal input.

Jadi gain merupakan hasil bagi dari daya di bagian output (Pout) dengan daya di bagian inputnya (Pin) dalam bentuk bentuk frekuensi listrik AC. Ukuran dari gain (G) ini satuannya adalah decibel (dB). Dalam bentuk rumus dinyatakan sebagai berikut:

$$G(dB)=10\log(Pout/Pin)).$$

Pout adalah *Power* atau daya pada bagian output, dan Pin adalah daya pada bagian inputnya.

Sebelum dayanya dikuatkan pada Power Amplifier ada bagian pengatur suara yaitu biasanya terdiri dari Volume, Bass, Trible, balance, loudness. Dalam bagian rangkaian Power Amplifier pada proses penguatan audio ini terbagi menjadi dua kelompok bagian penting yaitu bagian penguat signal tegangan (V) disebut driver kebanyakan menggunakan susunan transistor darlington, dan bagian penguat arus atau penguat daya susunannya transistor paralel, masing-masing transisistor berdaya besar dan menggunakan sirip pendingin untuk membuang panas ke udara, sekarang ini banyak yang menggunakan transistor simetris komplementer.

A. Mengenal Power Amplifier Sistem OTL, OCL dan BTl

Power Amplifier merupakan suatu rangkaian penguat yang di dalamnya terdapat gabungan dari suatu rangkaian penguat tegangan dan penguat arus. sesuai dengan istilahnya yaitu *Power Amplifier* atau disingkat PA yang artinya penguatan daya, sesuai dengan persamaan Daya (P) yang menyatakan bahwa suatu daya nilainya

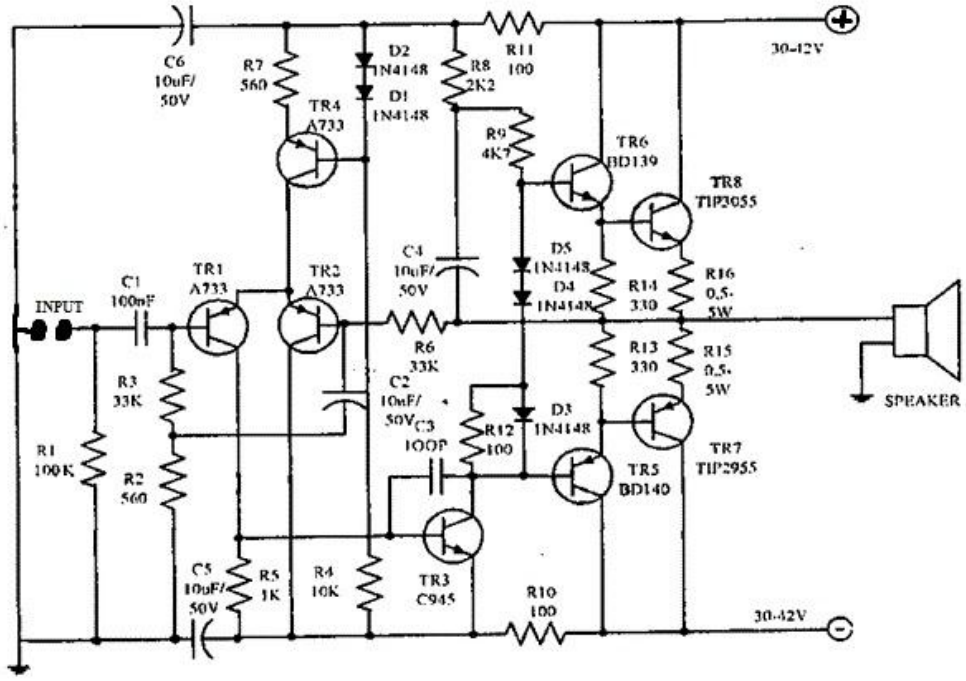
adalah hasil kali antara tegangan (V) dan arus (I). Maka untuk mendapatkan suatu daya atau Power maka dua hal pokok yang perlu diperhatikan adalah arus dan tegangan, sehingga pada *power amplifier* ini untuk menentukan besarnya daya (Watt) pada perangkat power amplifier maka yang diperhatikan adalah rangkaian penguat tegangan dan rangkaian penguat arus.

Pada umumnya pada suatu rangkaian *power amplifier*, rangkaian penguat arus selalu berada di bagian paling akhir dari rangkaian setelah melewati rangkaian penguat tegangan. Hal ini agar sinyal dari suatu gelombang yang diterima pada rangkaian power amplifier mengalami penguatan terlebih dahulu oleh rangkaian penguat tegangan yang biasanya menggunakan suatu op-amp dengan penguatan tertentu atau dapat juga menggunakan transistor dengan arus dan daya rendah agar lebih sensitif terhadap sinyal gelombang masukan, sehingga setelah dikuatkan tegangan menjadi lebih besar beberapa kali lipat namun arusnya masih sangat kecil dan belum mampu untuk menggerakkan membran loudspeaker yang biasanya memiliki impedansi (4, 8 atau 16 ohm) oleh karena itu harus dikuatkan terlebih dahulu dengan suatu rangkaian penguat arus oleh transistor yang komplemen (kombinasi PNP dan NPN) dengan arus dan daya besar. Seperti halnya juga pada transistor penguat arus 2N 3055 yang digunakan pada suatu rangkaian regulator tegangan (misal: 7805) untuk mendapatkan tegangan 5 volt dengan arus yang melebihi dari batasan kemampuan dari arus IC regulator tersebut.

Pengklasifikasian penguat daya berdasarkan kopling outputnya dapat dibedakan sebagai berikut:

1. Power Amplifier OCL (*Output Capasitor Less*)Power amplifier model OCL pada umumnya biasa dipakai untuk keperluan dengan daya yang sangat besar, karena pada power amplifier OCL ini didukung oleh catu daya atau *power supply* simetri V(+), V(-) dan Ground (0). Salah satu ciri yang paling penting pada power amplifier model ini adalah salah satu ujung beban pada keluaran atau output pada rangkaian power amplifier ini terhubung dengan CT transformator atau sumber tegangan sebagai titik simpul atau titik tengah dari suatu gelombang yang akan dihasilkan.

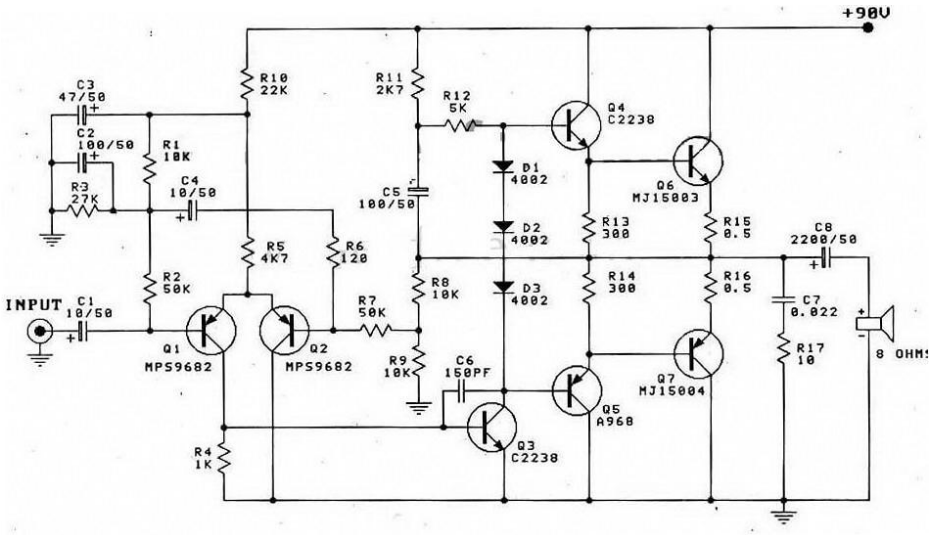
Sehingga pergerakan amplitudo gelombang akan menuju V(+) dan V(-) melewati CT transformator sebagai ground dan titik tengah dari amplitudo gelombang tersebut.



Gambar 5. 15 Power Amplifier OCL

2. Power Amplifier OTL (*Output Transformator Less*)Power amplifer model OTL merupakan salah satu model power amplifier yang digunakan untuk daya kecil sampai daya sedang tidak lebih dari 100 Watt. Mungkin dahulu masih ada yang menggunakan power amplifier model OTL ini untuk perangkat sound sistem, tetapi untuk saat ini sudah jarang sekali digunakan. Akan tetapi saat ini tetap masih banyak digunakan pada beberapa perangkat elektronik untuk penghasil suara dengan daya kecil seperti televisi, radio, laptop, bahkan handphone yang kita gunakan setiap hari juga menggunakan tipe power amplifier OTL untuk penguat audionya. Salah satu ciri dari model power amplifier tipe OTL ini adalah dari catu dayanya atau power supply yang digunakan adalah non-simetri sehingga cukup menggunakan catu daya baterai (pada kutub + dan -) atau adaptor dengan V(+) dan ground (0). Akan tetapi pada

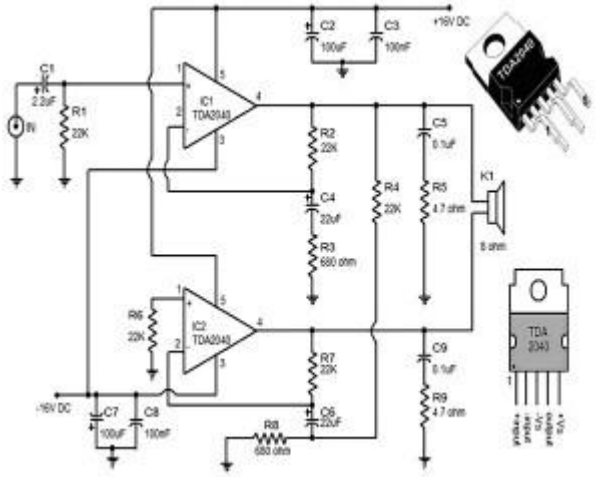
keluaran atau output pada power amplifier ini biasanya haruslah diberi coupling atau penghubung oleh sebuah kapasitor dengan ukuran yang cukup besar diatas 1000uF dan biasanya dipakai kapasitor berjenis elco polar. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan tegangan offset (DC) pada keluaran karena mengingat catu daya yang digunakan adalah catu daya non-simetri sehingga mengakibatkan amplitudo gelombang pada keluaran yang dihasilkan tidak memiliki titik simpul atau titik tengah pada tegangan 0 volt jika tidak diberi oleh kapasitor polar elco sebagai coupling. Hal ini untuk mencegah terjadinya kerusakan pada kawat email pada lilitan speaker karena tegangan DC yang keluar dari power amplifier dapat membuat kawat email menjadi cepat panas dan terbakar seperti layaknya elemen pemanas yang menggunakan tegangan DC. Maka dengan memanfaatkan sifat kapasitor sebagai penyimpan dan pembuang muatan maka tegangan offset keluaran (DC) pada power amplifier model OTL ini dapat diredam dan titik simpul dari amplitudo gelombang akan tetap berada pada 0 volt dengan bantuan kapasitor. Sehingga titik puncak V(+) dan lembah V(-) amplitudo gelombang dapat dicapai dengan memanfaatkan penyimpanan dan pembuangan dari kapasitor dengan ground (0 volt) sebagai titik tengahnya.



Gambar 5. 16 power amplifier model OTL

1. Power Amplifier BTL

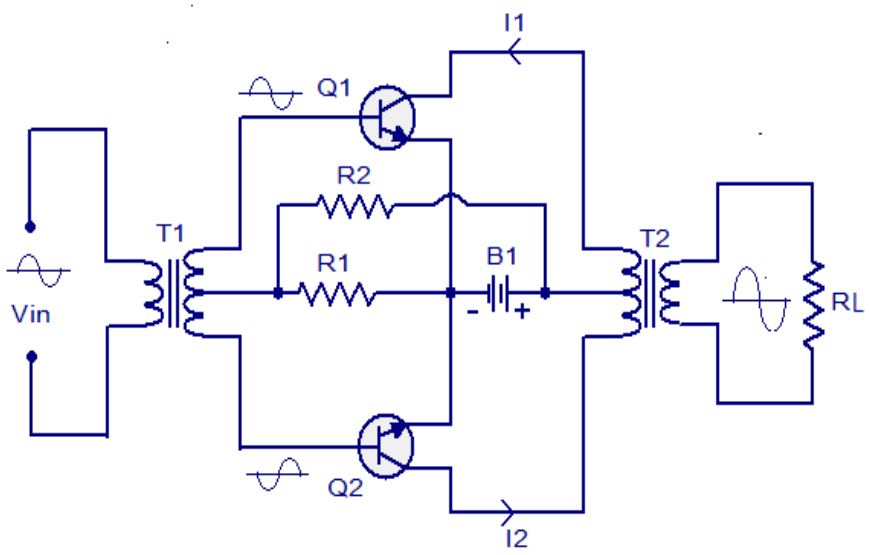
Pada power amplifier model BTL (Bridge-Tied Load) ini dapat dibuat dengan mengkonfigurasi dua buah power amplifier model OCL atau dua buah power amplifier model OTL menjadi suatu model power amplifier menyerupai rangkaian jembatan.



Gambar 5. 17 power amplifier model BTL yang dibentuk dari 2 buah OCL

Penguat *push pull* kelas A gandeng transformator

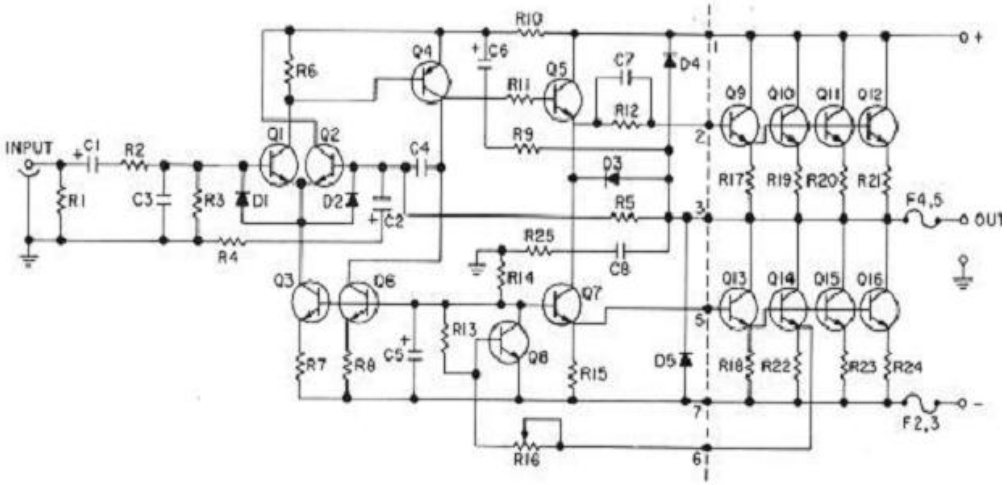
Penguat *push pull* dapat dibagun melalui konfigurasi penguat kelas A, B, AB, atau kelas C. pada gambar dibawah adalah penguat *push* dengan konfigurasi kelas A. R1 dan R2 digunakan untuk membias transistor Q1 dan Q2. Transistor Q2 merupakan komplementer dari transistor Q1.kopling yang digunakan menggunakan transformator input dan output. Sehingga selain berfungsi sebagai kopling juga berfungsi sebagai penyesuai impedansi output.



Gambar 5. 18 Penguat push pull kelas A gandeng transformator

Latihan

Gambar 5.19 merupakan rangkaian utuh dari penguat Audio. Beroperasi pada kelas apakah masing-masing transistor (Q1 s/d Q16) tersebut jelaskan apa alasannya?



Gambar 5. 19 Rangkaian Amplifier Audio

Penguat Frekuensi Radio

Penguat daya RF atau RF power amplifier merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menguatkan sinyal termodulasi sebelum ditransmisikan atau dikirimkan ke antena untuk dipancarkan. Kedudukan frekuensi adalah tetap setelah mengalami penguatan hanya saja terkadang timbul harmonik atau frekuensi bayangan yang tidak diinginkan kemunculannya. Biasanya jenis penguat RF dibangun oleh suatu komponen transistor dengan jenis penguat daya kelas C. Penguat daya kelas C dipilih karena kemampuan menguatkan frekuensi radio (diatas 20 KHz) yang tidak membutuhkan linearitas dengan efisiensi tinggi. Transisitor yang digunakannya pun khusus transistor RF, yang secara khusus diproduksi oleh pabrikan semikonduktor untuk fungsi ini. Berikut adalah contoh rangkaian RF *power amplifier*. Untuk meningkatkan power suatu pemancar dibutuhkan suatu rangkaian tambahan RF Amplifier, rangkaian ini berfungsi meningkatkan daya pancar yang akan berbanding lurus terhadap radius pancaran suatu transmitter. Tapi pada pengaplikasiannya RF Amplifier hanya salah satu faktor seberapa jauh radius pancaran, ada faktor lainya, seperti: jenis antena, ketinggian antena, efisiensi pengumpan dan antena, struktur alam, relief lokasi dan lainnya. 2SC2782 adalah transistor RF tipe NPN dengan power input sebesar +/-18W, power out sebesar +/-80 W, input voltage -/+12.5 V, lumayan cukup buat percobaan ataupun digunakan sebagai RF Amplifier dari sebuah stasiun radio lokal. Pada rangkaian diatas begitu banyak lilitan yang digunakan sebagai RFC atau RF-Choke atau peredam frekuensi radio, kemudian adanya komponen trimmer kapasitor dan kapasitor yang berfungsi sebagai penyesuaian impedansi antara input RF dan out RF. Hal ini bertujuan supaya tercapai “matching” antara peng-input sinyal dan penerima sinyal dari power RF ini. Diakhir penguatan digandengkan dengan rangkaian LPF atau low pass filter, yaitu pelolos tapis bawah. Fungsinya untuk memfilter sinyal-sinyal yang tidak diinginkan yang ikut dikuatkan oleh power amplifier atau timbul karena dipicu oleh rangkaian power amplifier itu sendiri. Transisitor yang digunakan adalah 2SC2782 yang merupakan komponen semikonduktor produksi pabrikan Thosiba. Transisitor ini mengkonsumsi tegangan kolektor sebesar 12.5 Volt, diarea 9-15 volt masih bisa beroperasi namun untuk mencapai keefektifan kerja transistor itu diambil titik rekomendasi yaitu sekitar

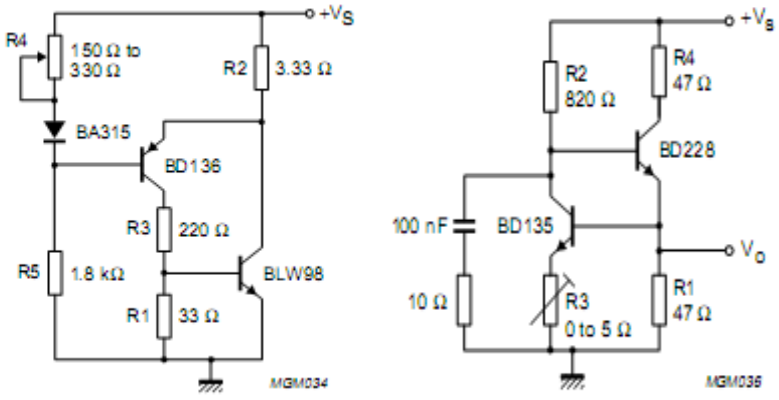
12.5Volt dengan memakan arus sebesar 20A. Daya pemicu yang diinputkan supaya terbentuk daya out sebesar 80Watt adalah sebesar 18Watt. Jadi ketika suatu sinyal RF berdaya sekitar 18Watt dan ingin diperbesar daya tersebut maka hubungkanlah dengan rangkaian power RF ini, input 18Watt dan daya keluaran sebesar 80 Watt, ini akan menambah jarak tempuh dari pemancar yang digunakan. Berikut adalah simulasi layout rangkaian. Berikut ini layout sederhana rangkaian RF Amplifier 2SC2782: Penempatan komponen: Dari layout terlihat penggunaan dioda di line DC-nya, yang bertujuan untuk proteksi kemungkinan V+ terbalik polaritasnya dan selalu menjaga line V+ supaya benar-benar positif. Ketika beroperasi transistor yang digunakan akan menimbulkan panas sehingga body dari transistor yang terbangun dari suatu logam harus dokontakan dengan sebuah heatsink dengan ukuran yang bersesuaian supaya panas dari transistor tersalurkan ke lingkungan, ini akan menjaga keawetan dari umur transistor. Mulai ke perakitan, berikut dokumentasinya; Dalam perakitan ini digunakan kapasitor tegangan tinggi diatas 1KV, dikarenakan ketahanan dalam menampung muatan cukup kuat dimana transistor RF yang digunakan berdaya cukup besar. Begitupun dengan trimmer, gunakan trimmer untuk daya besar. PCB yang digunakan adalah PCB Fiber, dimana PCB tersebut memiliki ketahanan yang dapat diandalkan. Berikut tampilan RF Ampli yang selesai diarakit; Dengan konsumsi sumber arus 20 A sehingga PSU yang digunakan harus lebih dari 20 A untuk menjaga efisiensi dan ketahanan masing-masing rangkaian.

Penguat linier pada umumnya dibutuhkan orang untuk memperkuat sinyal SSB atau DSB sebelum dipancarkan dengan power besar. Mengapa demikian ? Karena dalam sinyal yang dibangkitkan telah terkandung informasi berupa sinyal yang sinkron dengan modulasi audio sehingga informasi ini harus tetap utuh ketika dipancarkan, tidak berubah bentuknya sejak dibangkitkan pada exciter sampai dipancarkan melalui antenna. Jenis penguat yang tetap mempertahankan bentuk informasi mulai tahap awal sampai tahap akhir ini dinamakan penguat linier. Penguat linear identik dengan penguat kelas A dan AB. Penguat kelas B dapat digunakan untuk penguat daya RFyang tidak membutuhkan linearitas sebagai contoh radio portable dan

mobile, base station (kecuali band 900 MHz) dan pemancar FM. Untuk transistor bipolar tidak dibutuhkan bias VBE =0V untuk MOSFET diperlukan sedikit arus drain 2 sampai 3% dari arus daya penuh.Efisiensi kira kira 70% pada frekuensi VHF, sedangkan penguatan daya tergantung pada frekuensi operasi.

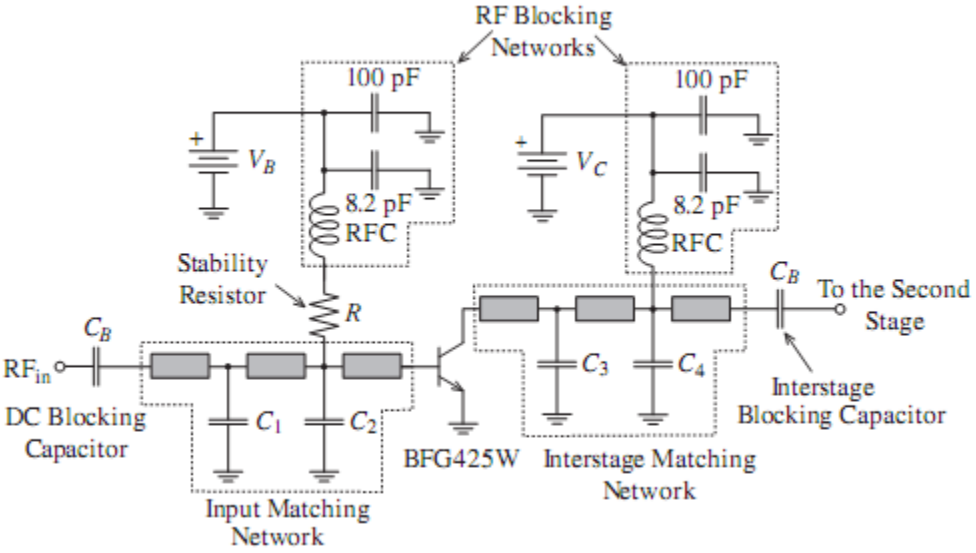
Pada operasi kelas C tidak disarankan menggunakan transistor karena usia hidupnya sangat pendek. Terkecuali dengan cara bias negative yang kecil < 100mV. MOSFET lebih toleran dan dapat disetel pada VGS =0, menyebabkan penguatan daya hanya berkurang sedikit dB. Pada banyak kasus tidak bermasalah karena penguatan lebih tinggi. Keuntungan utama adalah efisiensi drain lebih tinggi. Contoh yang baik adalah BLF278 yang pada frekuensi 108MHz pada penguat kelas B memberikan efisiensi 70% pada penguatan 22dB. Dan pada kelas C efisiensinya 80% pada penguatan 18dB.

Kali ini akan mencoba eksperimen dengan penguat linier, disamping karena mencoba membuat pemancar DSB (*Double Side Band – Supressed Carrier*) atau juga SSB (*Single Side Band*), terutama disebabkan membuat pemancar AM dengan pembangkitan melalui Low Level Modulation. Sinyal RF – carrier – dimodulasi pada power kecil sehingga tidak membutuhkan rangkaian amplifier audio dan trafo modulasi untuk rangkaian modulatornya. menggunakan rangkaian IC MC1496 sebagai AM Modulator selanjutnya masuk ke penguat linier dengan power rendah yang kemudian akan masuk penguat Final yang sifatnya juga linier.

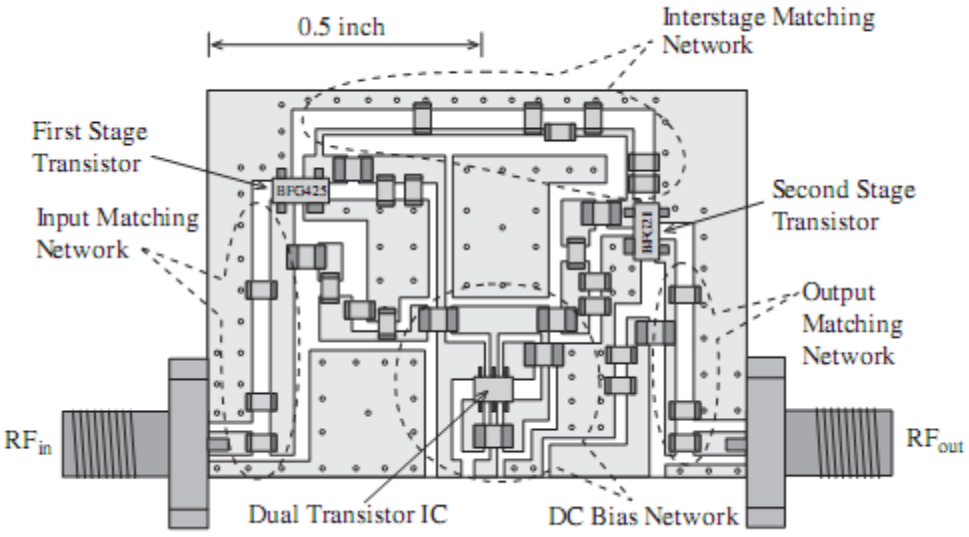


Gambar 5. 20 Rangkaian Bias transistor kelas A Rangkaian Bias transistor kelas AB Aplikasi Penguat RF

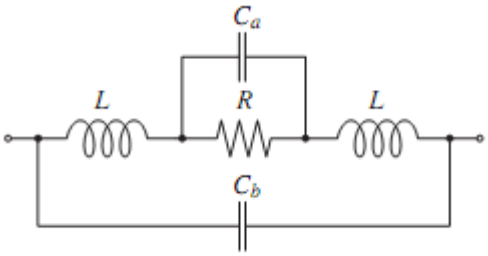
Diagram Blok Sistem Frekuensi radio



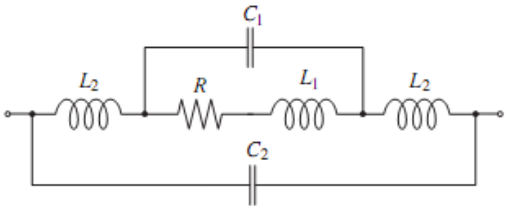
Gambar 5. 21 Penyederhanaan Diagram Rangkaian Penguat Daya RF 2 GHz untuk telepon mobile



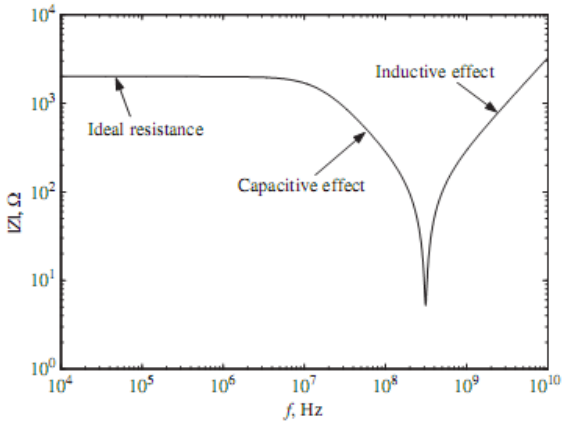
Gambar 5. 22 Lay out PCB power amplifier RF



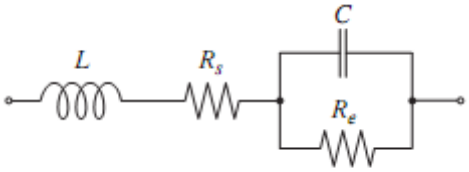
Gambar 5. 23 Representasi Ekuivalensi resistor pada frekuensi tinggi



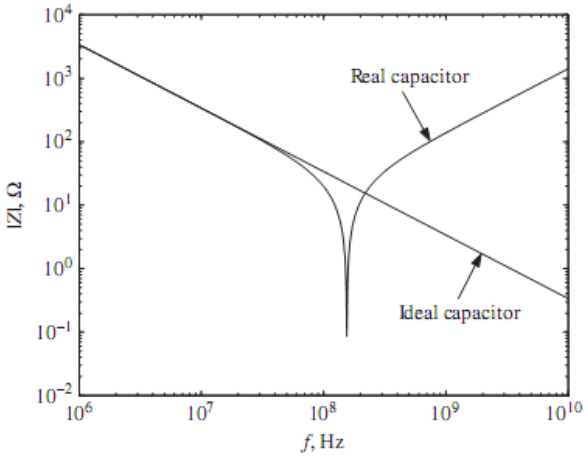
Gambar 5. 24 Representasi Ekuivalensi resistor wire wound pada frekuensi tinggi



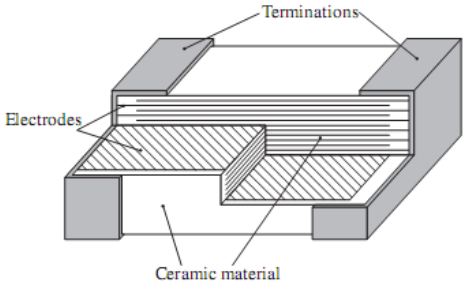
Gambar 5. 25 Harga impedansi absolute resistor metal film 2000 Ω pada frekuensi tinggi



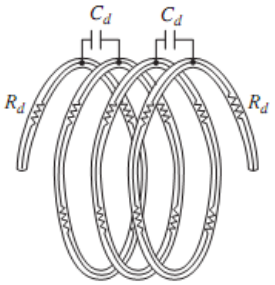
Gambar 5. 26 Rangkaian ekuivalen sebuah kapasitor pada frekuensi tinggi



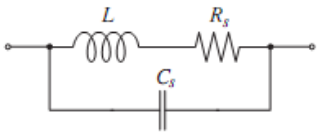
Gambar 5. 27 Harga impedansi absolute kapasitor sebagai fungsi frekuensi



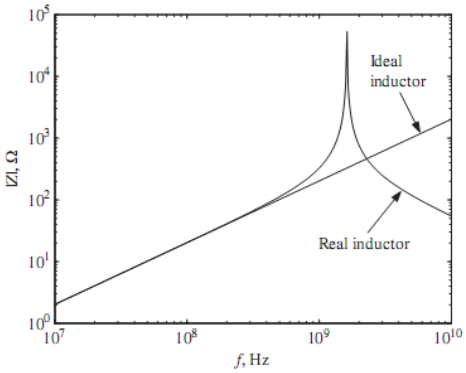
Gambar 5. 28 Konstruksi aktual multilayer kapasitor keramik



Gambar 5. 29 Resistansi dan kapasitansi terdistribusi pada induktor



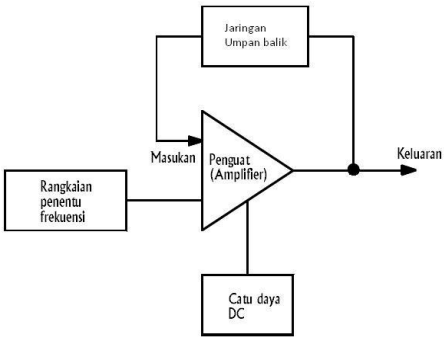
Gambar 5. 30 Ekivalensi Rangkaian induktor pada frekuensi tinggi



Gambar 5. 31 Harga impedansi absolute induktor sebagai fungsi frekuensi

Rangkaian Osilator

Osilator adalah suatu rangkaian yang menghasilkan keluaran yang amplitudonya berubah-ubah secara periodik dengan waktu. Keluarannya bisa berupa gelombang sinusoida, gelombang persegi, gelombang pulsa, gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaji. Osilator berbeda dengan penguat yang membutuhkan isyarat masukan untuk menghasilkan isyarat keluaran. Pada osilator tidak demikian karena ada isyarat masukan tanpa adanya isyarat keluaran. Osilator merupakan ini dari pemancar radio, maupun sebagai pencacah program pada mikroprosesor dan mikrokontroler.



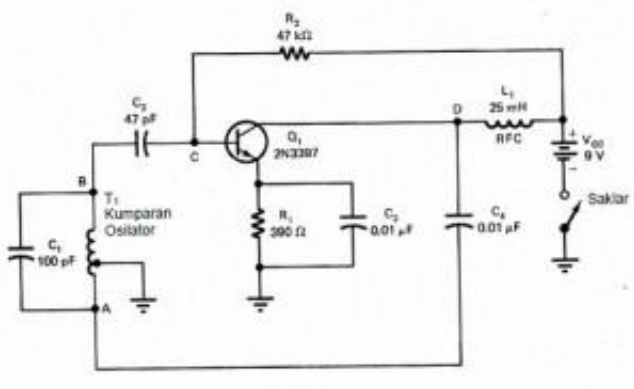
Gambar 5. 32 Diagram blok rangkaian osilator

Prinsip Kerja Osilator

Jaringan umpan balik menghasilkan masukan yang daperoleh dari keluaran sedemikian rupa memiliki fasa yang sama dengan output. Rangkaian penguat atau amplifier dapat dibangun dengan transistor maupun OP-Amp. Rangkaian penentu frekuensi (tank circuit) dapat berupa rangkaian RC, RL, RLC, LC, maupun rangkaian Kristal. Jenis- jenis osilator dapat dilihat dari rangkaian penentu frekuensi ini.

1. Osilator Hartley

Osilator Hartley merupakan oscilator yang banyak digunakan pada rangkaian penerima radio AM dan FM. Frekuensi resonansi ditentukan oleh harga T1 dan C1. Kapasitor C2 berfungsi sebagai kopling AC rangkaian tank circuit LC ke basis Q1 . Tegangan bias Q1 diberikan melalui resistor R2 dan R1. Kapasitor C4 sebagai kopling jaringan umpan balik output oscilator hartley dengan rangkaian input melalui tank circuit T1. Kumparan RF (L1) merupakan *pull up* tegangan dan untuk menahan sinyal AC agar tidak mempengaruhi rangkaian catu daya. Q1 pada rangkaian osciolator hartley dibawah merupakan transistor tipe n-p-n dengan konfigurasi common emitor. Untuk lebih detil dapat dilihat pada rangkaian oscilator hartley berikut.



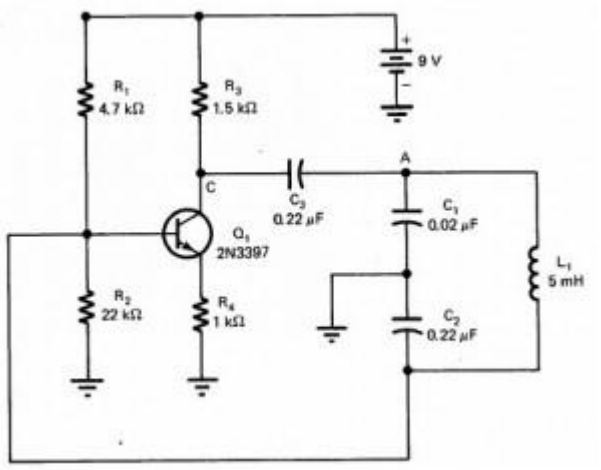
Gambar 5. 33 Osilator Hartley

Rangkaian Oscilator Hartley Pada saat rangkaian oscilator hartley diatas diberikan sumber tegangan DC untuk pertama kali, tegangan DC mengalir ke kolektor melalui L1 dan C4 termuati, pada saat yang sama basis medapat bias maju memalui R2 sehingga transistor Q1 konduk dan tegangan pada kolektor dialirkan ke *ground* melalui emitor dan R1. Pada awalnya IE, IB dan IC mengalir pada Q1. Dengan IC mengalir lewat L1, tegangan kolektor mengalami penurunan. Tegangan ke arah negatif ini diberikan pada bagian bawah T1 oleh kapasitor C4. Ini mengakibatkan arus mengalir pada kumparan bawah. Elektromagnet pada T1 akan membesar di sekitar kumparan. Ini akan memotong kumparan bagian atas T1 dan memberikan tegangan positif untuk mengisi kapasitor C1. Tegangan ini kemudian diberikan pada Q1 melalui C2. Q1 akhirnya sampai pada titik jenuh dan mengakibatkan terjadinya perubahan pada VC . Medan di bagian bawah T1 akan dengan cepat habis dan mengakibatkan terjadinya perubahan polaritas tegangan pada bagian atas. Keping C1 bagian atas sekarang menjadi negatif sedangkan bagian bawah menjadi positif. Muatan C1 yang telah terakumulasi akan mulai dikosongkan melalui T1 pada proses rangkaian tangki (*tank circuit*). Tegangan negatif pada bagian atas C1 menyebabkan Q1 berubah ke negatif menuju *cut off*. Selanjutnya ini akan mengakibatkan VC membesar dengan cepat. Tegangan ke arah positif kemudian ditransfer ke bagian bawah T1 oleh C4, sebagai jaringan umpan balik. Tegangan ini akan tertambahkan pada tegangan C1 . Perubahan pada VC berangsur-angsur berhenti, dan tidak ada tegangan yang diumpanbalikan melalui C4. C1 telah sepenuhnya dikosongkan.

Medan magnet di bagian bawah L1 kemudian menghilang. C1 kemudian termuati lagi, dengan bagian bawah berpolaritas positif dan bagian atas negatif. Q1 kemudian berkonduksi lagi. Proses ini akan berulang terus. Rangkaian tangki oscilator menghasilkan gelombang kontinyu dimana hilangnya muatan rangkaian tangki oscilator dipenuhi lagi melalui jaringan umpan balik C1. Sifat khusus osilator Hartley adalah adanya tapped coil. Sehingga sejumlah variasi rangkaian dimungkinkan pada rangkaian oscilator hartley. Kumparan mungkin dapat dipasang seri dengan kolektor. Variasi ini biasa disebut sebagai oscilator Series-fed Hartley. Rangkaian seperti pada gambar diatas termasuk oscilator Shunt-fed Hartley.

2. Oscilator Colpitts

Oscilator Colpitts pada dasarnya mirip dengan oscilator Hartley. Perbedaan yang mendasar terletak pada bagian rangkaian tangki (tank circuit). Pada oscilator Colpitts, digunakan dua kapasitor sebagai pengganti induktor yang terbagi. Rangkaian umpan balik dibuat dengan menggunakan "medan elektrostatik" melalui jaringan pembagi kapasitor. Frekuensi resonansi rangkaian oscilator colpitts ditentukan oleh dua kapasitor terhubung seri dan induktor. Rangkaian oscilator colpitts secara detil dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 5. 34 Oscilator Colpitts

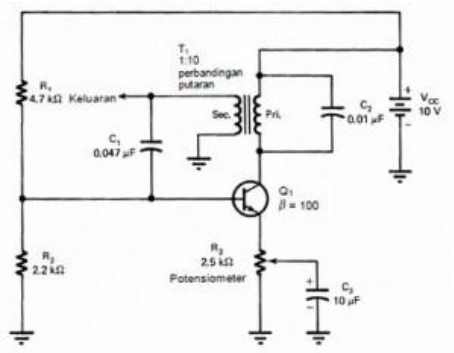
Rangkaian Oscilator Colpitts Dari gambar rangkaian oscilator colpitts diatas tegangan bias untuk basis diberikan melalui R1 dan R2 sedangkan tegangan bias

untuk emitor diberikan melalui R4. Kolektor diberi bias mundur dengan menghubungkan ke bagian positif dari VCC melalui R3. Resistor R3 juga berfungsi sebagai beban kolektor. Penguat transistor rangkaian oscilator colpitts dibuat dengan konfigurasi common emitor. Pada saat sumber tegangan DC diberikan pada rangkaian oscilator colpitts, arus mengalir dari bagian negatif VCC melalui R4, Q1 dan R3. Arus IC yang mengalir melalui R3 menyebabkan penurunan tegangan VC dengan harga positif. Tegangan yang berubah ke arah negatif ini juga diberikan ke bagian atas C1 melalui C3. Bagian bawah C2 bermuatan positif dan tertambahkan ke tegangan basis sehingga menaikkan harga IB. Transistor Q1 akan semakin berkonduksi sampai pada titik jenuh. Saat Q1 sampai pada titik jenuh maka tidak ada lagi kenaikan IC dan perubahan VC juga akan terhenti. Sehingga tidak terdapat umpan balik ke bagian atas C2. Muatan pada C1 dan C2 akan dikosongkan melalui L1 dan selanjutnya medan magnet di sekitar L1 akan menghilang. Arus pengosongan tetap berlangsung untuk sesaat. Keping C2 bagian bawah menjadi bermuatan negatif dan keping C1 bagian atas bermuatan positif. Ini akan mengurangi tegangan bias maju Q1 dan IC akan menurun. Harga VC akan mulai naik ke arah VCC, kenaikan ini akan diupankan kembali ke bagian atas keping kapasitor C1 melalui C3. C1 akan bermuatan lebih positif dan bagian bawah C2 menjadi lebih negatif. Proses ini terus berlanjut sampai Q1 pada rangkaian ocilator colpitts sampai pada titik cutoff. Pada saat Q1 rangkaian oscilator colpitts sampai pada titik cutoff, maka tidak ada arus IC. Tidak ada tegangan umpan balik ke C1. Gabungan muatan yang terkumpul pada C1 dan C2 dikosongkan melalui L1. Arus pengosongan mengalir dari bagian bawah C2 ke bagian atas C1. Muatan negatif pada C2 akan habis dengan cepat dan medan magnet di sekitar L1 akan menghilang. Arus yang mengalir masih terus berlanjut. Keping C2 bagian bawah menjadi bermuatan positif dan keping C1 bagian atas bermuatan negatif. Tegangan positif pada C2 menarik Q1 dari daerah cutoff . Selanjutnya IC akan mulai mengalir lagi dan proses dimulai lagi dari titik ini. Energi dari rangkaian umpan balik ditambahkan ke rangkaian tangki oscilator colpitts sesaat pada setiap adanya perubahan. Besarnya umpan balik pada rangkaian osilator colpitts ditentukan oleh “nilai kapasitansi” C1 dan C2. Harga C1 pada rangkaian ini

jauh lebih kecil dibandingkan dengan C2 atau XC1 > XC2. Tegangan pada C1 lebih besar dibandingkan pada C2. Dengan membuat C2 lebih kecil akan diperoleh tegangan balikan yang lebih besar. Namun dengan menaikkan balikan terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya distorsi. Biasanya sekitar 10-50% tegangan kolektor dikembalikan ke rangkaian tangki sebagai sinyal umpan balik rangkaian oscilator colpitts.

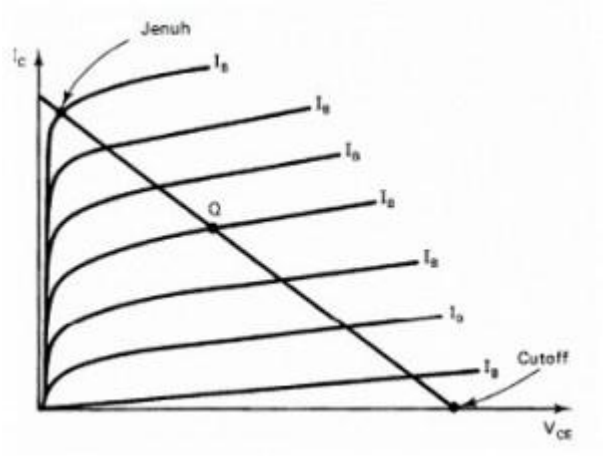
3. Oscilator Amstrong

Oscilator Armstrong merupakan hasil penerapan rangkaian tangki (tank circuit) kapasitor dan induktor LC. Rangkaian dasar dibuat dengan memberikan bias maju pada sambungan emitor-basis dan bias mundur pada kolektor. Pemberian bias tegangan ke basis, emitor dan kolektor dilakukan lewat resistor R3 . Resistor R1 dan R2 yang berfungsi sebagai pembagi tegangan. Rangkaian oscilator armstrong dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 35 Oscilator Armstrong

Rangkaian Oscilator Armstrong Saat awal transistor diberi daya, resistor R1 dan R2 membawa transistor ke titik pengoperasian Q pada bagian tengah garis beban seperti pada gambar kurva karakteristik dibawah.



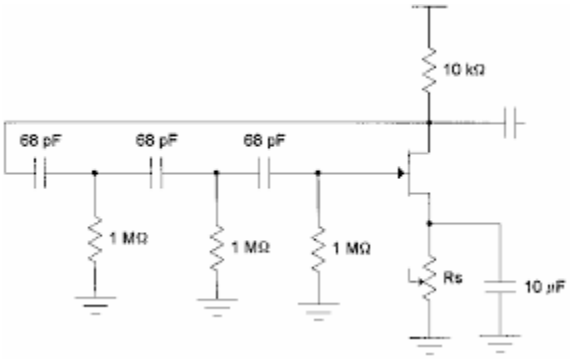
Gambar 5. 36 garis beban

Keluaran transistor (pada kolektor) secara ideal adalah 0 volt. Saat terjadi aliran arus awal pada saat dihidupkan, terjadi derau (noise) yang akan muncul pada kolektor. Namun biasanya berharga sangat kecil. Misalnya kita mempunyai isyarat -1 mV yang nampak pada kolektor. Transformator T1 akan membalik tegangan ini dan menurunkannya dengan faktor 10 (perbandingan jumlah lilitan primer-sekunder 1:10). Isyarat sebesar +0,1 mV akan diterima oleh C1 pada rangkaian basis. Kurva Karakteristik Transistor Pada Oscilator Armstrong Apabila transistor pada rangkaian oscilator armstrong diatas memiliki β = 100. dengan +0,1 mV berada pada basis, Q1 akan memberikan isyarat keluaran sebesar -10 mV pada kolektor. Perubahan polaritas dari + ke – pada keluaran akibat adanya karakteristik dasar penguat common emitor. Tegangan keluaran sekali lagi akan mengalami penurunan oleh transformator dan diberikan pada basis Q1. Isyarat kolektor sebesar -10 mV sekarang akan menyebabkan terjadinya tegangan sebesar + 1 mV pada basis. Melalui penguatan transistor, tegangan kolektor akan segera menjadi -100 mV. Proses ini akan berlangsung, menghasilkan tegangan kolektor sebesar -1 V dan akhirnya -10 V. Pada titik ini, transistor akan membawa garis beban sampai mencapai kejenuhan (perhatikan daerah ini pada garis beban). Sampai pada titik ini tegangan kolektor tidak akan berubah. Dengan tidak adanya perubahan Vc pada kumparan primer T1 oscilator , tegangan pada kumparan sekunder secepatnya akan menjadi nol. Tegangan basis akan kembali pada titik Q dengan cepat. Penurunan

tegangan basis ke arah negatif ini (dari jenuh ke titik Q) membawa Vc ke arah positif. Melalui transformator, ini akan nampak sebagai tegangan ke arah positif pada basis. Proses ini akan berlangsung melewati titik Q sampai berhenti pada saat titik cutoff dicapai. Transformator selanjutnya akan berhenti memberikan masukan tegangan ke basis. Transistor segera akan berbalik arah. R1 dan R2 menyebabkan tegangan basis naik lagi ke titik Q. Proses ini akan terus berulang: Q1 akan sampai di titik jenuh – kembali ke titik Q – ke *cut off* – kembali ke titik Q. Dengan demikian tegangan AC akan terjadi pada kumparan sekunder dari transformator. Frekuensi osilator Armstrong ditentukan oleh nilai C1 dan S (nilai induktasi diri kumparan sekunder) dengan mengikuti persamaan frekuensi resonansi untuk LC. Komponen C1 dan S membentuk rangkaian tangki dengan mengikutkan sambungan emitor-basis dari Q1 dan R1 . Keluaran dari osilator Armstrong seperti pada gambar diatas dapat diubah dengan mengatur harga R3. Penguatan akan mencapai harga tertinggi dengan memasang R3 pada harga optimum. Namun pemasangan R3 yang terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya distorsi, misalnya keluaran akan berupa gelombang kotak karena isyarat keluaran terpotong.

4. Osilator Pergeseran Fasa

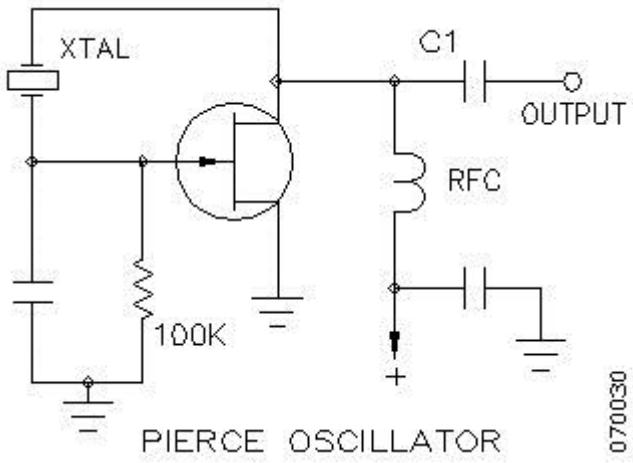
LC oscillator dan Qrystal oscillator yang telah dibahas di atas umumnya digunakan di wilayah RF (*radio frequency*). Namun untuk kebutuhan frequency rendah seperti f*requency* audio kedua model oscillator tadi kurang praktis dan mahal. Lalu dirancang RC oscillator untuk memenuhi kebutuhan akan *frequency* rendah. Cara kerja RC oscillator cukup simpel (Lihal gambar). Ketika Q1 konduksi, tegangan collector menurun. Fasa tegangan collector digeser 180 derajat oleh rangkaian penggeser fasa R1C1,R2C2,R3C3 sehingga base Q1 mendapat tegangan feedback positip, membuat Q1 saturasi. Akibat saturasi tegangan bias base Q1 menurun sampai Q1 *cut-off*. Ketika Q1 cut-off tegangan *collecto*r Q1 naik dan proses yang sama berulang. Output Q1 berupa gelombang sinusoidal.



Gambar 5. 37 Osilator pergeseran fasa

Osilator pergeseran fasa termasuk jenis osilator RC. Pada osilator pergeseran fasa terdapat sebuah pembalik fasa total 180 derajat. Pembalik fasa ini di menggeser fasa sinyal output sebesar 180 derajat dan memasukkan kembali ke input sehingga terjadi umpan balik positif. Rangkaian pembalik fasa ini biasanya dibentuk oleh tiga buah rangkaian RC.

5. Osilator Kristal

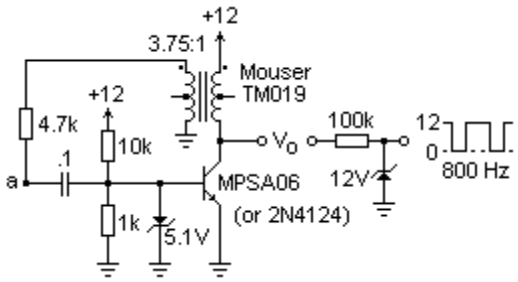


Gambar 5. 38 Osilator Kristal

Osilator Kristal adalah osilator yang rangkaian resonansinya tidak menggunakanan LC atau RC melainkan sebuah kristal kwarsa. Rangkaian dalam kristal mewakili rangkaian R, L dan C yang disusun seri. Osilator Pierce ditemukan oleh George W.

Pierce. Osilator Pierce banyak dipakai pada rangkaian digital karena bentuknya yang simpel dan frekuensinya yang stabil.

6. Blocking Oscillator



Gambar 5. 39 Osilator *Block*

Gambar di samping menunjukkan rangkaian dasar suatu blocking oscillator. Cara kerjanya sbb. : Ketika rangkaian dihidupkan base Q1 mendapat tegangan positip dari rangkaian bias maju (tidak nampak) sehingga Q1 konduksi. Arus listrik collector mengalir melalui lilitan primer P. Aliran arus ini menimbulkan induksi tegangan positip pada lilitan sekunder S yang dihubungkan dengan base Qi melalui C1. Akibatnya Q1 cepat saturasi. Dalam keadaan saturasi induksi tegangan jatuh menimbulkan tegangan negatip pada S, mendorong Q1 cut-off. C1 membuang muatan negatipnya melalui R1. Ketika muatan C1 habis Q1 kembali konduksi. Proses yang sama berulang. Lamanya C1 discharge (Q1 cut-off/ frequency) ditentukan oleh nilai RC. Output gelombang segi empat diambil dari collector

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pebelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

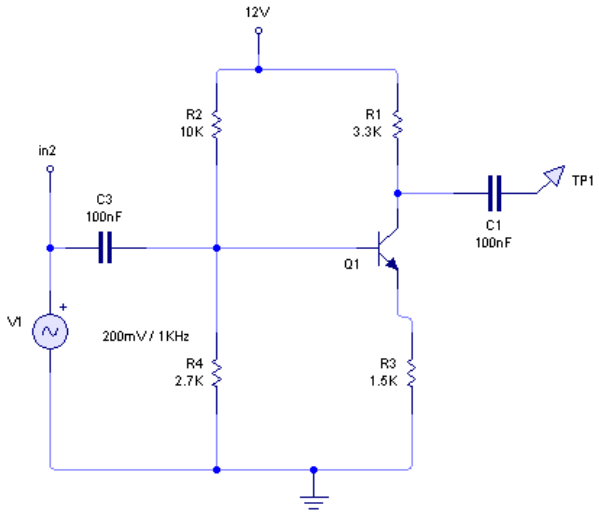
Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran transistor sebagai penguat ? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-5.1**.Jika Saudara bisa menjawab pertanyan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran dengan mengamati gambar berikut ini.

Aktivitas 1 menerapkan rangkaian penguat transistor pada penguat frekuensi rendah, radio maupun sebagai osilator

Saudara akan mendiskusikan bagaimana rangkaian penguat transistor. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.



1. Amati gambar diatas!
2. Apa yang Saudara ketahui tentang klasifikasi penguat transistor tersebut?
3. Mengapa Saudara perlu menganalisis kelas-kelas dari penguat transistor?
4. Apa yang Saudara ketahui tentang perbedaan penguat frekuensi rendah dengan penguata radio?
5. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penguat transistor sebagai osilator?
6. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian osilator?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-5.2.**

Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang cara kerja rangkaian penyearah dan penyetabil, Bacalah Bahan Bacaan 5 tentang rangkaian penyearah dan penyetabil, kemudian melaksanakan Tugas Praktek dengan menggunakan **LK-5.2.P**

E. Rangkuman

Klasifikasi operasi dari sebuah penguat transistor ditentukan oleh jumlah waktu (dalam hubungannya dengan input) terhadap aliran arus output rangkaian. Ini merupakan fungsi dari titik kerja penguat. Titik operasi penguat ditentukan oleh bias yang diberikan pada transistor. Ada 4 Kelas operasi pada transistor. Operasi Kelas A, B, C, dan AB. Tiap Kelas operasi memiliki karakteristik dan kegunaan tertentu. Tidak ada satu kelas operasi yang lebih baik dari kelas yang lain. Kelas yang bagus untuk penguat *microphone* belum tentu bagus untuk penguat pemancar.

Penguat frekuensi rendah umumnya berhubungan dengan penguat audio yaitu penguat yang hanya melewatkan frekuensi antara 20 Hz sampai dengan 20kHz.bPower Amplifier adalah sebuah rangkaian penguat getaran atau amplitude suatu sinyal. Rangkaian ini biasanya digunakan sebagai penguat audio

Penguat daya RF atau RF *power amplifier* merupakan suatu rangkaian yang berfungsi untuk menguatkan sinyal termodulasi sebelum ditransmisikan atau dikirimkan ke antena untuk dipancarkan. Kedudukan frekuensi adalah tetap setelah mengalami penguatan hanya saja terkadang timbul harmonik atau frekuensi bayangan yang tidak diinginkan kemunculannya. Biasanya jenis penguat RF dibangun oleh suatu komponen transistor dengan jenis penguat daya kelas C. Penguat linier pada umumnya dibutuhkan orang untuk memperkuat sinyal SSB atau DSB sebelum dipancarkan dengan power besar. Jenis penguat yang tetap mempertahankan bentuk informasi mulai tahap awal sampai tahap akhir ini dinamakan penguat linier. Penguat linear identik dengan penguat kelas A dan AB

Osilator dibangun dari sebuah penguat umpan balik dan tank frekuensi. Beberapa jenis osilator diantaranya adalah osilator colfit, amstrong, jembatan wien, relaksasi, pergeseran fasa, Kristal, dan blocking.

F. Test Formatif

1. Apa yang menentukan dari klasifikasi operasi penguat?
2. Mengapa kelas C lebih efisien dibanding kelas A?
3. Kelas apa yang paling High Fidelity?
4. Mengapa penguat kelas A tidak cocok digunakan pada bagian output?
5. Penguat kelas C cocok digunakan pada penguat apa?

G. Kunci Jawaban

1. Titik kerja transistor dan jumlah waktu (dalam hubungannya dengan input) terhadap aliran arus output rangkaian.
2. Rangkaian pada kelas C tidak perlu dibuatkan arus bias karena transistor memang sengaja dibuat bekerja pada daerah saturasi.
3. Penguat kelas A
4. Karena pada bagian output membutuhkan arus yang besar, sehingga pada saat tidak bekerja(tidak ada isyarat input pun transistor sudah mendapatkan arus yang besar.
5. Penguat radio yang tidak perlu penguatan linear.

LEMBAR KERJA KB-5

LK-5.1

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran rangkaian penguat transistor ? Sebutkan!

……

……

……

……

……

……

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

……

……

……

……

……

……

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

……

……

……

……

……

……

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

……

……

……

……

……

……

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

……

……

……

……

6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

……

……

……

……

……

LK-5.2

1. Apa yang Saudara ketahui tentang kelasifikasi penguat transistor?

   ……

   ……

   ……

   ……

2. Mengapa Saudara perlu menganalisis kelas-kelas dari penguat transistor?

   ……

   ……

   ……

   ……

3. Apa yang Saudara ketahui tentang perbedaan penguat frekuensi rendah dengan penguata radio?

   ……

   ……

   ……

   ……

4. Apa yang Saudara ketahui tentang rangkaian penguat transistor sebagai osilator?

   ……

   ……

   ……

   ……

5. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian osilator?

   ……

   ……

LK- 5.2 P

TUGAS PRAKTIK:

Dengan menyelesaikan LK-5.2 saudara telah dapat menerapkan rangkaian penguat transistor

Untuk keperluan eksperimen rangkaian penguat transistor saudara dapat mengikuti petunjuk berikut:

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk simulasi maupun praktikum;
2. Lakukan pemeriksaan terhadap tegangan kerja simulator;
3. Jika ragu-ragu terhadap apa yang akan saudara lakukan, jangan segan-segan bertanya ke fasilitator untuk meminta klarifikasi sehingga masalahnya menjadi lebih jelas;
4. Disarankan Saudara dapat melihat tayangan video program untuk menyimak demonstrasi penggunaan software simulasi atau pun buku manual trainer rangkaian elektronika sebelum melakukan tugas praktek ini;
5. Lakukan pekerjaan saudara sesuai POS (Prosedur Operasi Standar);
6. Saudara harus melakukan ini di bawah supervisi fasilitator.

Kesehatan dan Keselamatan Kerja :

1. Berdo'alah sebelum memulai kegiatan belajar!
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Gunakanlah peralatan praktikum dengan hati-hati!
4. Pastikan saudara sudah memakai APD.
5. Pastikan tegangan kerja telah sesuai.
6. Pastikan alat ukur bekerja dengan baik

Memahami klasifikasi penguat

Peralatan :

- Osiloskop 2 kanal

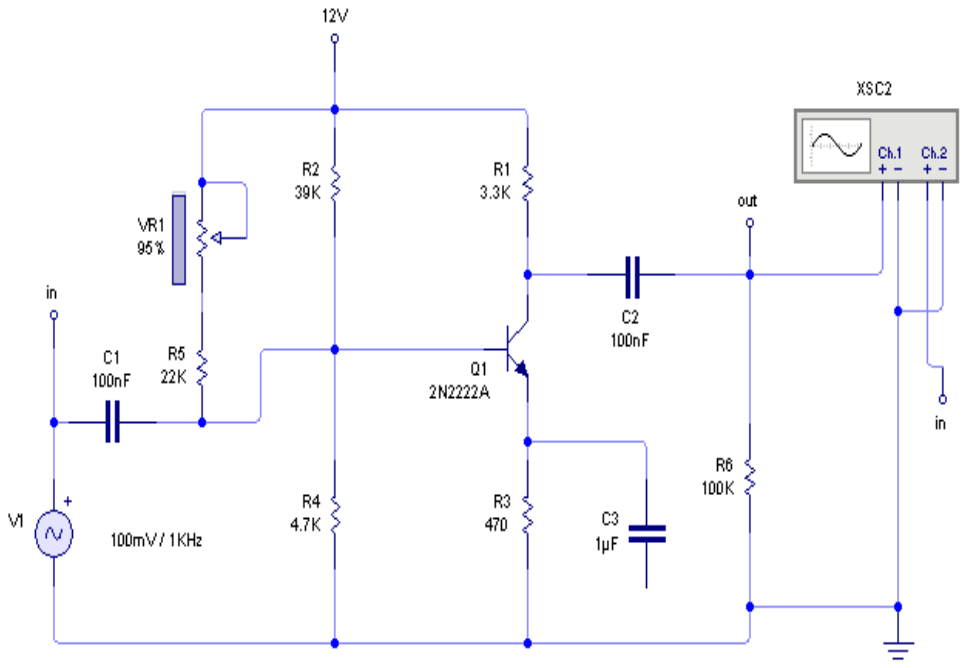
- Probe
- *Projectboard*

Bahan /Komponen :

Name	Quantity
1µF Capacitor	1
100K Potentiometer	1
100K Resistor (1/4W)	1
100nF Capacitor	2
12V Voltage Rail (Ideal)	1
22K Resistor (1/4W)	1
2N2222A NPN Transistor	1
3.3K Resistor (1/4W)	1
39K Resistor (1/4W)	1
4.7K Resistor (1/4W)	1
470 Resistor (1/4W)	1

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan alat ukur osiloskop seperti pada gambar

4. Gambarkan bentuk gelombang pada kanal 1 dan kanal 2 dari osiloskop

5. Isilah table dibawah ini frekuensi generator =1KHz

Vin(mV)	Vout	Av	Av hitung
100			
200			
300			
400			
500			
600			
700			
800			
900			
1000			
1100			
1200			
1300			

6. Ulangi pengisian tabel tersebut dengan menghubungkan kapasitor bypas C3. Cari Zin dan Zout!

Vin(mV)	Vout	Av	Av hitung
100			
200			
300			
400			
500			
600			
700			
800			
900			
1000			
1100			
1200			
1300			

7. Buatlah kesimpulan yang dapat saudara ambil!

Menerapkan penguat Frekuensi rendah

Peralatan :

- Osiloskop 2 kanal

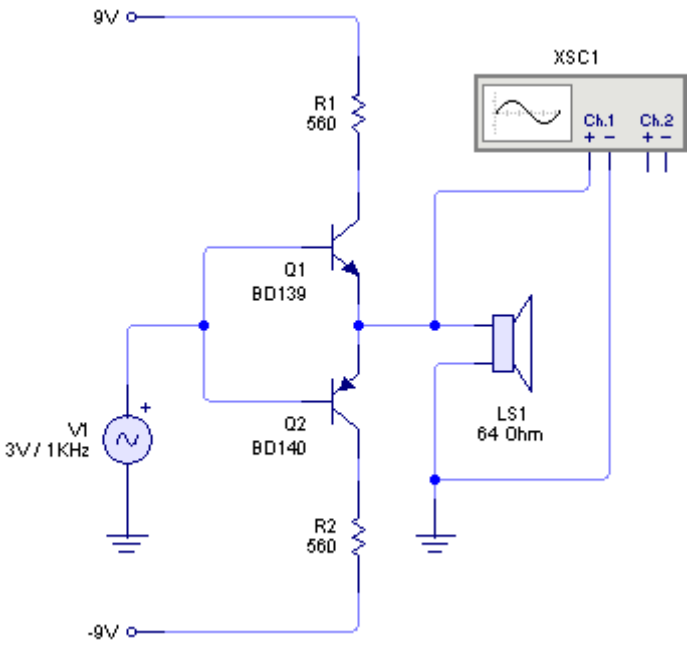
- Probe
- projectboard

Bahan /Komponen :

Name	Quantity
560 Resistor (1/4W)	2
9V Voltage Rail (Ideal)	1
-9V Voltage Rail (Ideal)	1
BD139 NPN Transistor	1
BD140 PNP Transistor	1
Loudspeaker (64 Ohm)	1

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan alat ukur osiloskop seperti pada gambar
4. Gambarkan bentuk gelombang pada kanal 1 dan kanal 2 dari osiloskop

5. Isilah table dibawah ini F generator =1KHz

Vin(mV)	Vout	Av	Av hitung
500			
1000			
2000			
3000			

6. Ulangi pengisian tabel tersebut dengan Vinput =1 Volt

F input	Vout	Av	Av hitung
100 Hz			
200 Hz			
500 Hz			
1kHz			
2kHz			
5kHz			
10kHz			
12kHz			
15kHz			
20kHz			
50kHz			

100kHz			
200kHz			

7. Gambarkan kurva respon frekuensinya

8. Apakah rangkaian tersebut sudah memenuhi penguat frekuensi rendah?

……

…..

9. Termasuk kelas apakah rangkaian transistor tersebut?

……

……

10. Buatlah kesimpulan yang dapat saudara ambil!

Menerapkan penguat Frekuensi Radio

Peralatan :

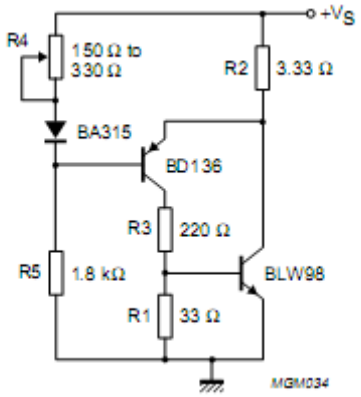
- Osiloskop 2 kanal
- Probe
- projectboard

Bahan /Komponen :

Nama	Jumlah
Transistor BD136	1
Transistor BLW98	1
Dioda BA135	1
Resistor R1 33 Ohm	1
Resistor R2 3,33 Ohm	1
Resistor R3 220 ohm	1
Resistor R4 150 s.d 330	1
Resistor R5 1,8 kOhm	1

Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan alat ukur osiloskop pada kaki kolektor BLW98
4. Berikan isyarat input pada kaki Basis BD136 melalui sebuah kopling kapasitor
5. Gambarkan bentuk gelombang pada kanal 1 dan kanal 2 dari osiloskop

6. Ulangi pengisian tabel tersebut dengan Vinput =100 mVolt

F input	Vout	Av	Av hitung
1kHz			
2kHz			
5kHz			
10kHz			
20kHz			
50kHz			
100kHz			
1MHz			
2MHz			
5MHz			
10MHz			
20MHz			
50MHz			
100MHz			
200MHz			

7. Gambarkan kurva respon frekuensinya

8. Apakah rangkaian tersebut sudah memenuhi penguat frekuensi rendah?

……

……..

9. Termasuk kelas apakah rangkaian transistor tersebut?

……

……

10. Buatlah kesimpulan yang dapat saudara ambil!

Menerapkan penguat Frekuensi Radio

Peralatan :

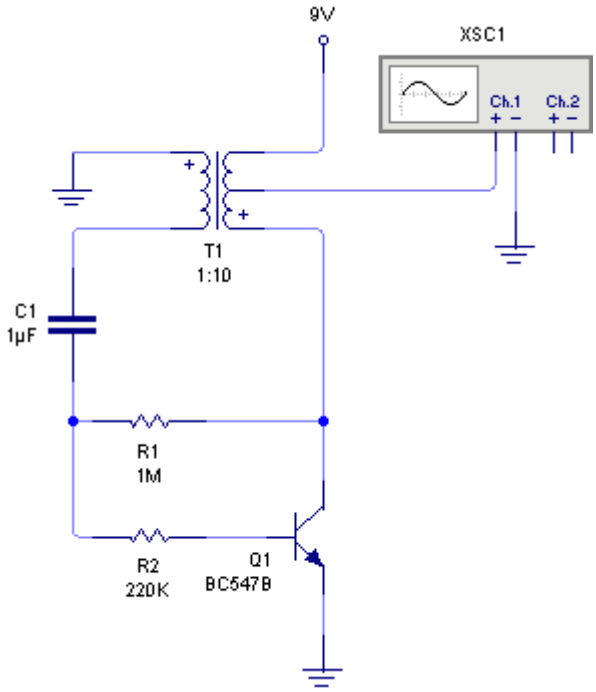
- Osiloskop 2 kanal
- Probe
- projectboard

Bahan /Komponen :

Name	Quantity
1:10 Transformer	1
1µF Capacitor	1
1M Resistor (1/4W)	1
220K Resistor (1/4W)	1
9V Voltage Rail (Ideal)	1
BC547B NPN Transistor	1

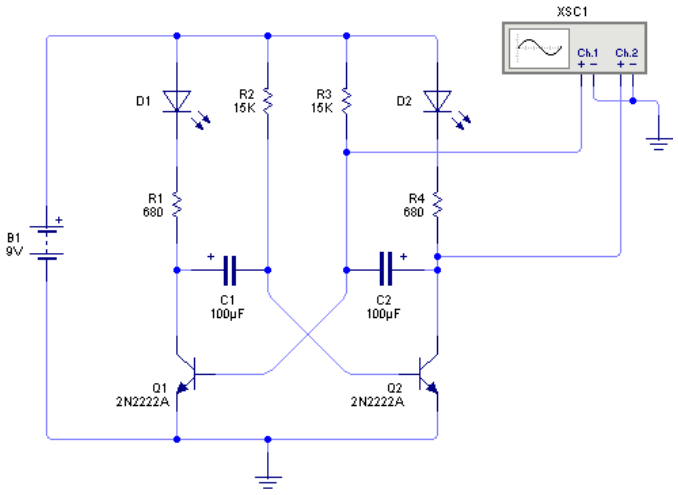
Langkah Kerja :

1. Siapkanlah alat dan bahan yang akan digunakan!
2. Rangkailah Komponen seperti pada gambar dibawah!



3. Sambungkan alat ukur osiloskop pada kaki kolektor BC547
4. Gambarkan bentuk gelombang output pada kanal 1 osiloskop

5. Berapakah frekuensi yang dihasilkan
6. Berikut ini adalah rangkaian osilator dengan dua buah transistor atau dikenal sebagai multivibrator astabil



Name	Quantity
100µF Electrolytic Capacitor	2
15K Resistor (1/4W)	2
2N2222A NPN Transistor	2
680 Resistor (1/4W)	2
9V Battery (Ideal)	1
LED (Green)	1
LED (Red)	1

7. Amatilah kondisi kedua LED tersebut
8. Gambarkan bentuk gelombang dari kedua output tersebut!

KEGIATAN PEMBELAJARAN 6 OPERATIONAL AMPLIFIER (OP-Amp)

A. Tujuan

a. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat Menyajikan prinsip kerja dan karakteristik Op-Amp
b. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat Membangun rangkaian penguat inverting
c. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat rangkaian penguat non inverting
d. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat Membangun rangkaian komparator analog
e. Melalui diskusi dan praktikum peserta diklat Membangun rangkaian penguat penjumlah
f. Melalui presentasi peserta diklat dapat menyajikan hasil rancangbangun operasional amplifier

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

a. Menyajikan prinsip kerja dan karakteristik Op-Amp
b. Membangun rangkaian penguat inverting
c. Membangun rangkaian penguat non inverting
d. Membangun rangkaian komparator analog
e. Membangun rangkaian penguat penjumlah

C. Uraian Materi

Prinsip Kerja dan Karakteristik Op-Amp

OP-AMP atau operasional amplifier yang dikemas dalam bentuk IC merupakan penguat yang mudah untuk dioperasikan. Hanya dengan menambah beberapa komponen kita dapat menggunakan OP-AMP. OP-AMP selain dapat digunakan dalam bentuk *feedback* negatif juga dapat digunakan dalam bentuk *feedback* positif.

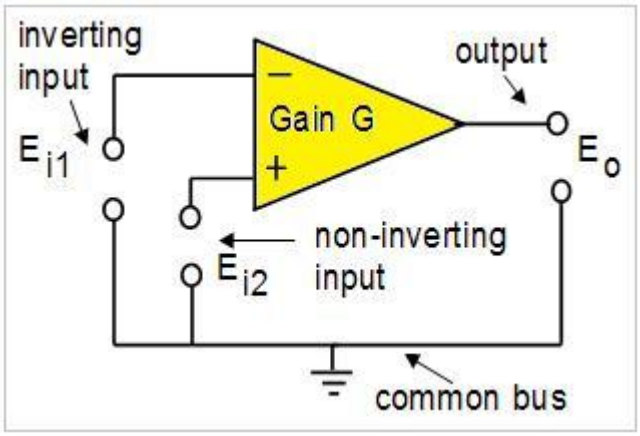
Dalam bentuk *feedback* negatif di antaranya digunakan sebagai komparator, rangkaian gelombang kotak, penguat *non inverting*, penguat *inverting*, rangkaian dioda aktif, *clemper, clipper*, penguat instrumen, penguat logaritmik, *integrator*, *diferentiator*, dan

lain-lain. Sementara itu, dalam bentuk *feedback* positif dapat digunakan sebagai rangkaian penghasil gelombang atau *oscillator* baik sinus maupun non sinus.

Karakteristik OP-AMP ideal

1) Impedansi input tinggi (tak hingga)
2) Impedansi output rendah (mendekati 0)
3) Memiliki penguatan yang sangat tinggi
4) Arus kedua inputnya 0 A
5) Tegangan antara V1 dan V2 adalah 0 Volt
6) Penguatan dari 0 sampai 10MHz.

Suatu operational amplifier/penguat operasi (OP-AMP) adalah merupakan suatu rangkaian amplifier lengkap berupa satu *chip* rangkaian terintegrasi (*integrated Circuit* / IC) dimana komponen-komponen seperti transistor, dioda, resistor, dan lain-lain diperkecil dan ditempatkan pada suatu wadah tunggal. OP-AMP dapat digunakan dengan berbagai cara dengan menambahkan sejumlah kecil komponen-komponen pasif eksternal seperti resistor dan kapasitor. OP-AMP memiliki gain yang sangat tinggi (rata-rata $G=10^5$).



Gambar 6. 1 Rangkaian dasar Op-Amp

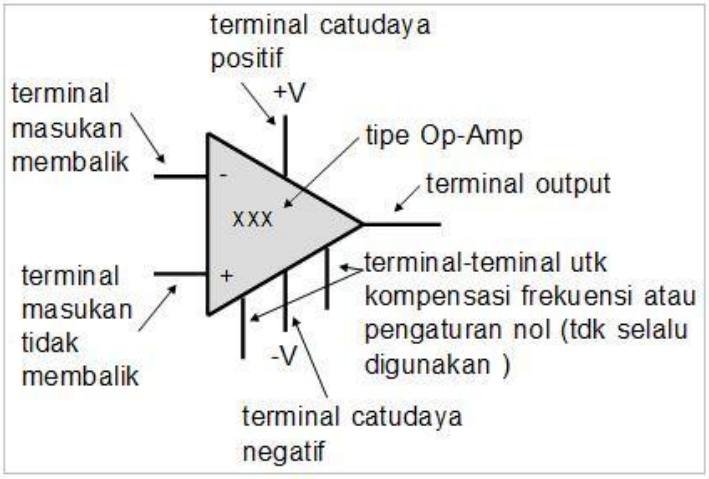
Rangkaian dasar OP-AMP

Menunjukkan simbol yang digunakan untuk mewakili suatu rangkaian OP-AMP. Dua jalur terminal input ditandai sebagai *inverting* (-) terminal dan non-*inverting* (+) terminal. *Common bus* adalah jalur negatif *ground* bersama antara input dan output.

Besarnya tegangan input E_0 dinyatakan sebagai

$$E_o = G(Ei_1 - Ei_2)$$

Berdasarkan persamaannya ternyata OP-AMP adalah suatu penguat diferensial. OP-AMP tidak digunakan sebagai suatu amplifier diferensial konvensional disebabkan sifat penguatannya yang sangat tinggi dan kestabilannya yang kurang baik. OP-AMP dapat digunakan dengan efektif apabila digunakan sebagai bagian dari suatu rangkaian yang besar. Beberapa penerapan penggunaan OP-AMP di antaranya adalah sebagai penguat penjumlah, pengikut tegangan, penguat terintegrasi, dan diferensial amplifier.



Gambar 6. 2 Keterangan Simbol untuk Terminal-Terminal Suatu OP-AMP

Arus Bias Input

Agar OP-AMP dapat bekerja, Anda harus menghubungkan catu daya V_{CC} dan V_{EE}. Akan tetapi, itu saja tidak cukup karena Anda juga harus menghubungkan pengembalian DC luar untuk input basis yang mengambang. Dengan kata lain arus basis Q1 dan Q2 harus mengalir ke tanah karena ujung lain dari catu daya dihubungkan ke tanah. Makin kecil

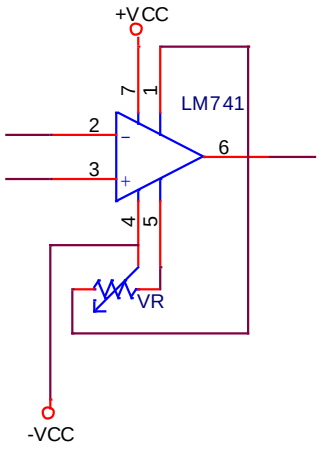
arus basis makin baik karena makin kecil kemungkinan ketidakseimbangan. Keluarga 741 memiliki arus bias input 80nA. .Arus bias input adalah rata-rata dari dari dua arus input.

Arus Offset Input

Arus *Offset input* adalah perbedaan antara dua arus input. Keluarga 741 memiliki arus *offset input* sebesar 20nA. Makin kecil arus *offset* input makin baik karena tidak menimbulkan sinyal input diferensial.

Tegangan Offset Input

Tegangan *offset input* adalah tegangan input diferensial yang diperlukan untuk menolkan tegangan input stasioner. Untuk 741 kita perlu memberikan input diferensial sebesar 5mV untuk menolkan tegangan output.



Gambar 6. 3 Pembuat Nol

OP-AMP yang memiliki penguatan yang sangat tinggi tidak dirancang untuk digunakan pada loop terbuka kecuali untuk komparator. OP-AMP digunakan pada penguatan tertutup atau *feedback* untuk aplikasinya.

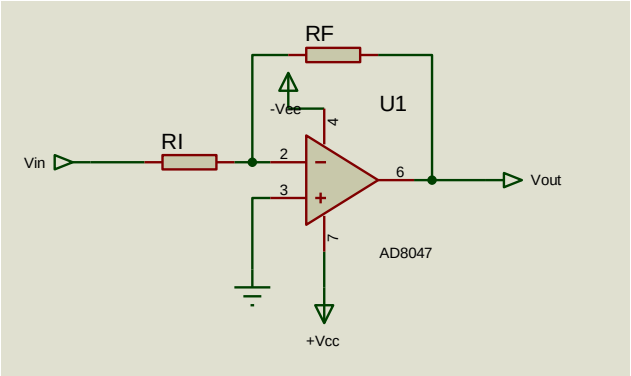
Penguat Inverting

Inverting amplifier memiliki besar penguatan yang negatif. Jika masukan sinyalnya positif maka keluaran sinyalnya negatif. Begitu juga sebaliknya, jika sinyal masukan negatif maka akan menghasilkan sinyal keluaran positif. Antara masukan dan keluaran

berbeda fase 180^{o} atau berlawanan polaritas. pada rumus penguatannya. Penguatan *inverting* amplifier bisa lebih kecil nilai besarannya dari 1.

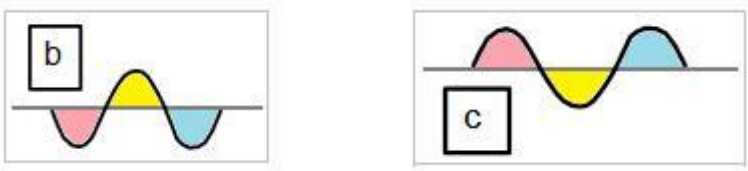
Rumusnya adalah

$$Vo = -\frac{R_F}{Ri}.Vi \text{.....(4.4)}$$

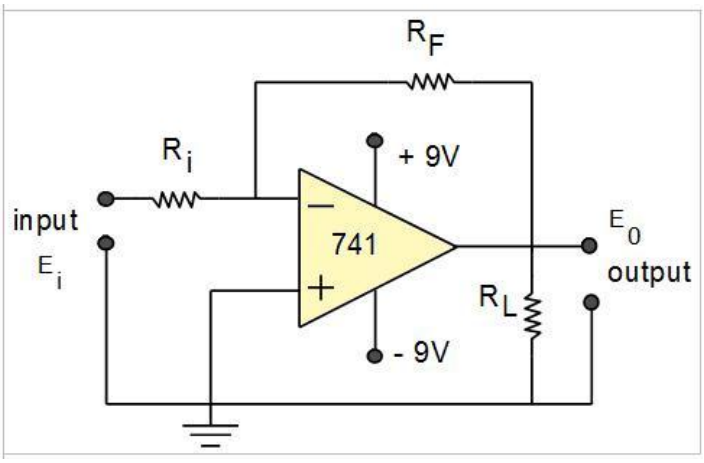


Gambar 6. 4 Rangkaian Proporsional Pembalik Phasa

OP-AMP yang dikonfigurasikan seperti rangkaian Gambar 6.4 merupakan bentuk penerapan OP-AMP sebagai penguat atau amplifier. Rangkaian ini disebut sebagai *inverting amplifier* (penguat membalik) karena sifat rangkaiannya yang akan membalikan fasa sinyal output sebesar 180° terhadap fasa sinyal masukan. Pembalikan fasa sinyal output sebesar 180° dilustrasikan pada Gambar 6.5.



Gambar 6. 5 Pembalikan Fasa Sinyal Output (b); Terhadap Sinyal Input (c)



Gambar 6. 1 Rangkaian Penguat Membalik Dengan Menggunakan OP-AMP Tipe LM 741

R_f = resistor *feed back* (resistor umpan balik)

R_i = resistor input

Faktor penguatan G dari rangkaian ini dinyatakan sebagai :

$$G = -\frac{R_F}{R_i}$$

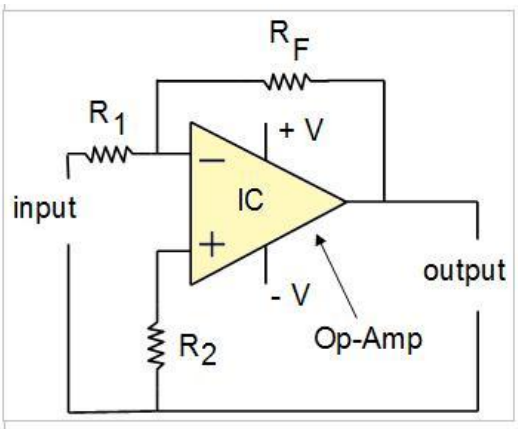
Contoh Soal

Jika R_f = 100 KΩ dan R_i = 10 KΩ maka,

$$G = -\frac{R_f}{R_i} = -\frac{100}{10} = -10$$

Jika pada terminal input diberikan tegangan masukan sebesar 0.02 V maka level tegangan ini akan diperkuat sebesar -10 X 0.02 V = -0.2 V (tegangan input diperbesar 10x dengan tanda minus menyatakan terjadinya pembalikan fasa sinyal).

Penguat umum yang digunakan adalah *Operational Amplifier* (Penguat Operasi) yang biasanya dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC). Rangkaian dasar penguat sinyal atau tegangan tersebut ditunjukkan pada Gambar 6.7.



Gambar 6. 2 Rangkaian OP-AMP

Faktor penguatan tegangan A_V dari rangkaian dapat dicari atau ditentukan dengan persamaan

$$Av = -\frac{R_F}{R_1}$$

R_f : nilai resistor umpan balik.

R_1 : nilai resistor masukan pada terminal input membalik tanda minus menunjukkan bahwa tegangan keluaran akan berlawanan fasa dengan tegangan masukan atau akan terjadi pembalikan fasa.

Penguat Non-inverting

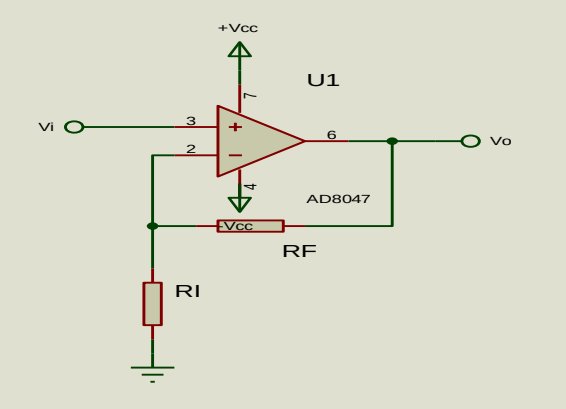
Rangkaian *non inverting* ini hampir sama dengan rangkaian *inverting,* perbedaannya adalah terletak pada tegangan inputnya dari masukan *non inverting*. Rumus untuk menghitung tegangan outputnya adalah sebagai berikut

$$Vo = \frac{Rf + Ri}{Ri} Vi$$

Sehingga persamaan menjadi

$$Vo = (\frac{Rf}{Ri} + 1)Vi$$

Hasil tegangan output non *inverting* ini akan lebih dari satu dan selalu positif. Rangkaian penguat *non inverting* adalah seperti pada Gambar 6.8.

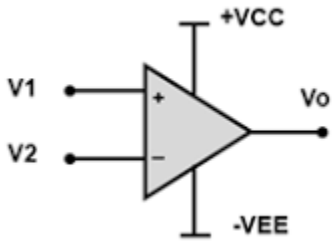


Gambar 6. 3 Rangkaian Proporsional dengan OP-AMP

Komparator Analog

Operational Amplifier atau disingkat *op-amp* merupakan salah satu komponen analog yang populer digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi *op-amp* populer yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian*inverter, non-inverter, integrator* dan *differensiator*. Pada pokok bahasan kali ini akan dijelaskan aplikasi *op-amp* yang paling dasar, yaitu sebagai pembanding tegangan (komparator).

Komparator digunakan sebagai pembanding dua buah tegangan. Pada perancangan ini, tegangan yang dibandingkan adalah tegangan dari sensor dengan tegangan referensi. Tegangan referensinya dilakukan dengan mengatur variabel resistor sebagai pembanding. Rangkaian dasar komparator dengan catu tegangan tungggal ditunjukkan pada Gambar 6.9.



Gambar 6. 4 Rangkaian Dasar Komparator

Prinsip kerja rangkaian adalah membandingkan amplitudo dua buah sinyal, jika +Vin dan −Vin masing-masing menyatakan amplitudo sinyal *input* tak membalik

dan *input* membalik, Vo dan Vsat masing-masing menyatakan tegangan *output*dan tegangan saturasi, maka prinsip dasar dari komparator adalah

+Vin ≥ −Vin maka Vo = Vsat+

+Vin < −Vin maka Vo = Vsat−

Keterangan:

+Vin = Amplitudo sinyal input tak membalik (V)

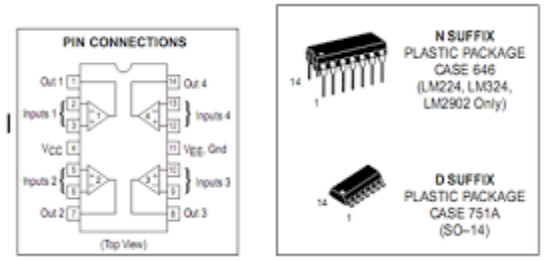
−Vin = Amplitudo sinyal input membalik (V)

Vsat+ = Tegangan saturasi + (V)

Vsat− = Tegangan saturasi - (V)

Vo = Tegangan output (V)

Bentuk fisik IC LM 324 sebagai komparator seperti Gambar 6.10.



Gambar 6. 5 Bentuk Fisik IC LM324 Sebagai komparator

Fungsi Pin IC:

Pin 1 = output 1

Pin 2 = input 1 negatif

Pin 3 = input 1 positif

Pin 4 = VCC

Pin 5 = input 2 positif

Pin 6 = input 2 negatif

Pin 7 = output 2

Pin 8 = output 3

Pin 9 = input 3 negatif

Pin 10 = input 3 positif

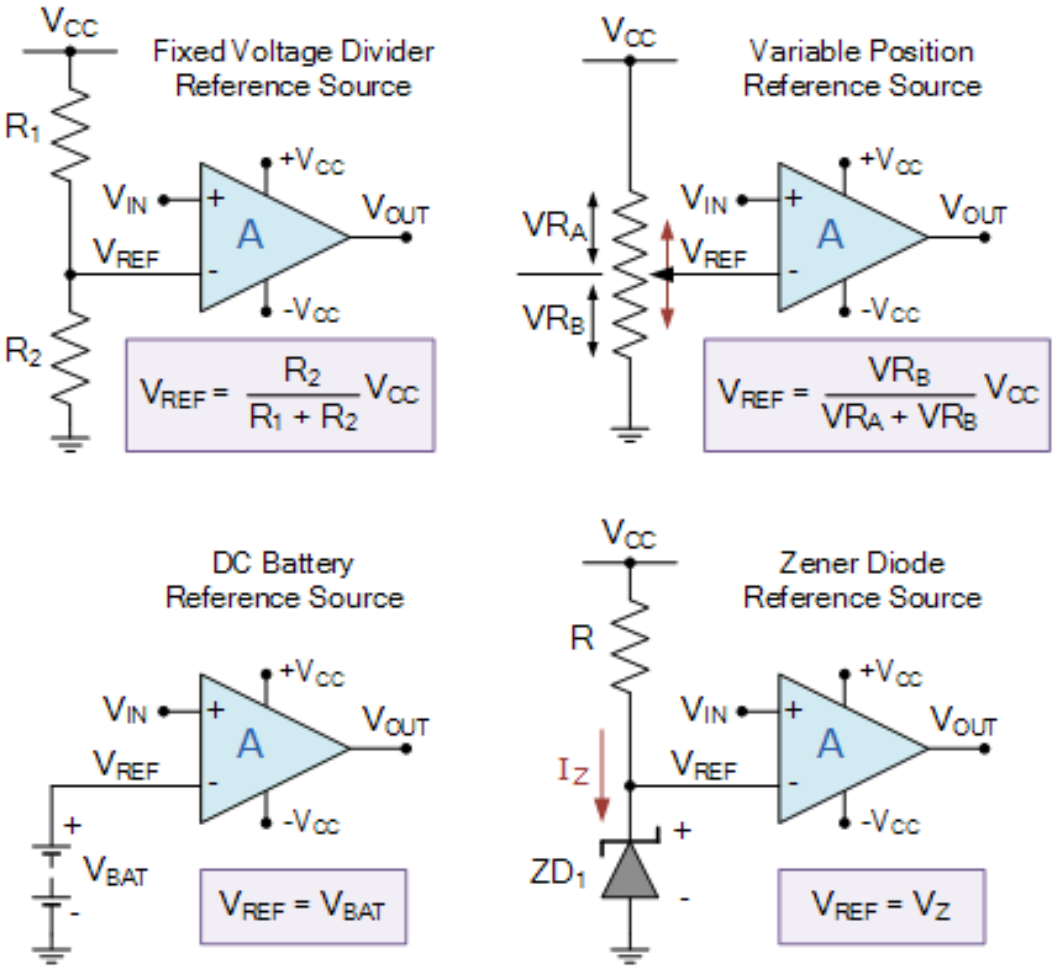
Pin 11 = GND

Pin 12 = input 4 positif

Pin 13 = input 4 negatif

Pin 14 = output 4

Tegangan Referensi pada Komparator

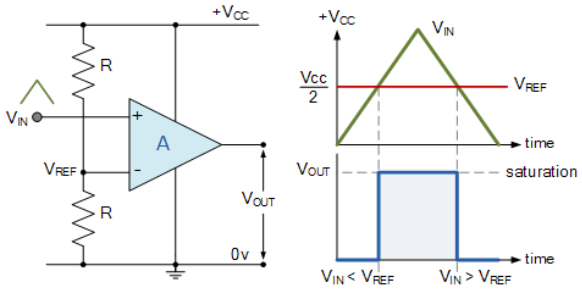


Gambar 6. 6 Pengaturan tegangan Referensi

Secara teori tegangan referensi dapat diatur dimanapun dari 0 sampai tegangan sumber, namun secara praktis memiliki keterbatasan pada jangkauan tegangan catu daya tergantung pada komponen yang digunakan.

Komparator tegangan Positif

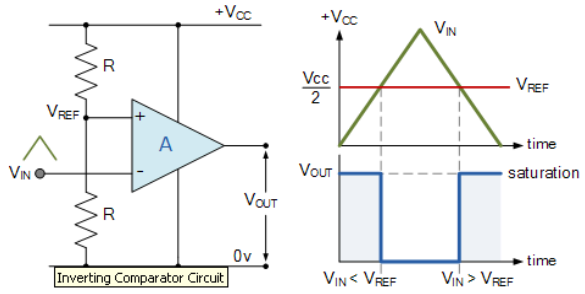
Konfigurasi dasar komparator tegangan positif, juga dikenal sebagai rangkaian komparator non-inverting mendeteksi ketika sinyal input Vin adalah diatas atau lebih positif dari tegangan referensi. V ref menghasilkan output pada Vout yang tinggi seperti pada Gambar 6.12



Gambar 6. 7 Komparator tegangan Positif

Komparator tegangan Negatif

Konfigurasi dasar komparator tegangan negatif, juga dikenal sebagai rangkaian komparator inverting mendeteksi ketika sinyal input Vin adalah dibawah atau lebih negative dari tegangan referensi. Vref menghasilkan output pada Vout yang tinggi seperti pada Gambar 6.13

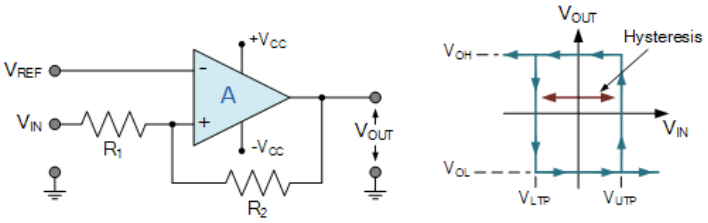


Gambar 6. 8 Komparator tegangan Negatif

Komparator dengan hysteresis

Untuk komparator inverting dibawah, Vin diberikan pada input inverting dari OP-Amp. Resistor R1 dan R2 merupakan rangkaian pembagi tegangan melalui penyediaan feedback positif dengan bagian dari tegangan output yang tampak pada input non inverting. Jumlahnya feedback ditentukan oleh perbandingan resistif dari dua resistor yang digunakanyang dinyatakan sebagai

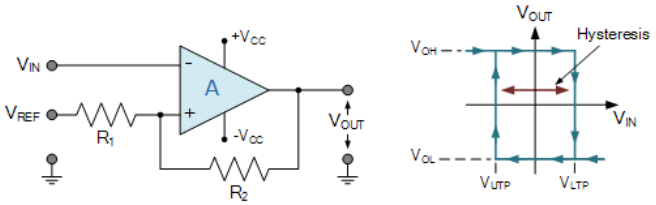
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Gambar 6. 9 Komparator dengan hysteresis

Komparator *inverting*

Catatan bahwa panah-panah pada *graphic h*isterisis menunjukkan arah switching pada perjalanan ke atas dan ke bawah.

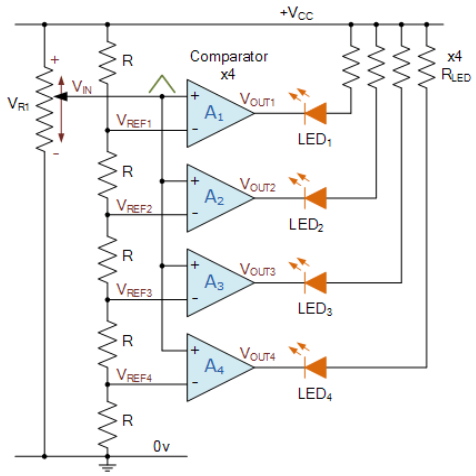


Gambar 6. 10 Komparator *inverting*

Komparator non inverting

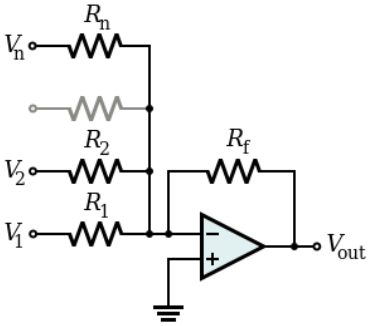
Komparator Detektor level tegangan

Seperti diatas jaringan pembagi tegangan menyediakan set tegangan referensi bagi masing-masing rangkaian komparator OP-Amp. Untuk menghasilkan 4 tegangan referensi membutuhkan 5 resistor. Persambungan pada pasangan bawah resistor akan menghasilkan tegangan referensi 1/5 dari tegangan catu daya menggunakan resistor yang sama. Pasangan kedua 2/5 Vcc, pasangan ketigan =3/5 Vcc dan seterusnya.



Gambar 6. 11 komparator Detektor level tegangan

Penguat Penjumlah



Gambar 6. 12 Penguat Penjumlah.

Penguat penjumlah menjumlahkan beberapa tegangan masukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{\text{out}} = -R_{\text{f}} \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \cdots + \frac{V_n}{R_n} \right)$$

1) Saat $R_1 = R_2 = R\ldots = R_n$, dan R_f saling bebas maka

$$V_{\text{out}} = -\frac{R_{\text{f}}}{R_1}(V_1 + V_2 + \cdots + V_n)$$

Saat $R_1 = R_2 = R\ldots = R_n = R_f$, maka:

$$V_{\text{out}} = -(V_1 + V_2 + \cdots + V_n)$$

Keluaran adalah terbalik (berbeda fasa 180^{o}).

2) Impedansi masukan dari masukan ke-n adalah Zn =Rn

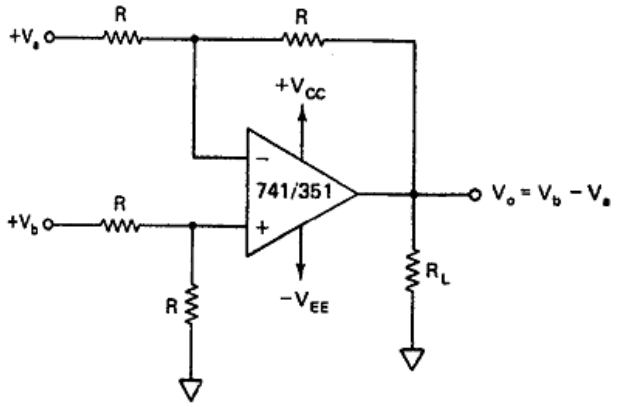
Rangkaian Pengurang/*Subtractor*

Dalam sistem kontrol umumnya rangkaian ini digunakan untuk mencari eror, yaitu selisih antara tegangan *set point* dengan sinyal dari sensor umpan balik. Rangkaian pengurang ini berasal dari rangkaian *inverting* dengan memanfaatkan masukan *non inverting* sehingga persamaannya menjadi sedikit ada perubahan. Supaya benar benar terjadi pengurangan maka nilai dibuat seragam seperti Gambar 6.18. Rumusnya Adalah

$$Vo = \left(\frac{R}{R}+1\right)\left(\frac{R}{R+R}\right)Vb - \frac{R}{R}Va$$

Sehingga

$$Vo = (Vb - Va)$$



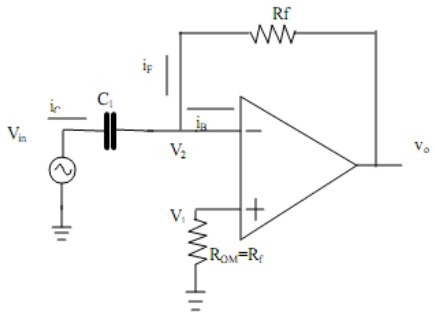
Gambar 6. 13 Rangkaian Pengurangan

Rangkaian Differensiator/Derivative

Rangkaian *differensiator* adalah rangkaian aplikasi dari rumusan matematika yang dapat dimainkan (dipengaruhi) dari kerja kapasitor. Rangkaiannya seperti pada Gambar 6.19 dengan rangkaian sederhana dari *differensiator*. Untuk mendapatkan rumus

differensiator, urutannya adalah sebagai berikut : $i_C = i_B + i_F$ dan selama nilai Ic =If dan Ib =0 selisih dari input *inverting* dan input *non inverting* (v1 dan v2) adalah nol dan penguatan tegangannya sangat besar, maka didapat persamaan pengisian kapasitor sebagai berikut

$$C_1 \frac{d}{dt}(v_{in} - v_2) = \frac{v_2 - v_o}{R_F} \quad \text{menjadi} \quad C_1 \frac{dV_{in}}{dt} = -\frac{v_o}{R_F} \quad \text{atau} \quad v_o = -R_F C_1 \frac{dv_{in}}{dt}$$



Gambar 6. 14 Differensiator OP-AMP

Pada rangkaian aplikasi rangkaian differensiator OP-AMP ini ada sedikit perubahan, yaitu penambahan tahanan dan kapasitor yang berfungsi untuk memfilter sinyal masukan. Seperti tampak pada Gambar 6.19 yang merupakan rangkaian *differensiator* yang dimaksud. Dengan demikian, ada batasan input dari frekuensi yang masuk dan batasan tersebut adalah

$$f_a = \frac{1}{2\pi R_{fC_1}}$$

Sementara itu, nilai frekuensi yang diakibatkan oleh R_F dan C_1 adalah sebagai berikut:

$$f_b = \frac{1}{2\pi R_F C_F} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Jika sinyal input melebihi frekuensi f_a maka hasil output akan sama dengan hasil input, alias fungsi rangkaian tersebut tidak differensiator lagi tapi sebagai pelewat biasa.

Rangkaian Integrator

Rangkaian OP-AMP *integrator* ini juga berasal dari rangkaian *inverting* dengan tahanan umpan baliknya diganti dengan kapasitor. Proses perhitungannya adalah sebagai berikut:

$I_1=I_b+I_f$, I_b diabaikan karena sangat kecil nilainya sehingga : $I_1= I_f$.

Arus pada kapasitor adalah

$$i_C = C\frac{dv_C}{dt}$$

yang sama dengan I_f , sehingga

$$\frac{v_{in}-v_2}{R_1} = C_F\left(\frac{d}{dt}\right)(v_2-v_o)$$

karena v1 = v2 = 0, karena penguatan A terlalu besar, sehingga

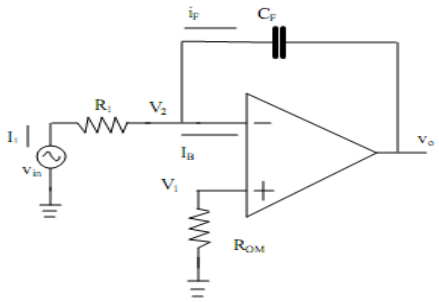
$$\frac{v_{in}}{R_1} = C_F\left(\frac{d}{dt}\right)(-v_o) \quad\longrightarrow\quad \int_0^t \frac{v_{in}}{R_1}dt = \int_0^t C_F\frac{d}{dt}(-v_o)dt = C_F(-v_o)+v_0\,|_{t=0}$$

$$v_o = -\frac{1}{R_1C_F}\int_0^t v_{in}dt + C$$

Batas frekuensi yang dilalui oleh kapasitor dalam rangkaian *integrator* adalah

$$f_a = \frac{1}{2\pi R_1 C_F}$$

Biasanya rangkaian untuk aplikasi ada penambahan tahanan yang diparalel atau diseri dengan kapasitor dengan nama RF. Seperti pada Gambar 6.20 rangkaian *integrator* yang belum ditambah tahanan yang diparalel dengan kapasitor. Nilai R_{OM} <R1.

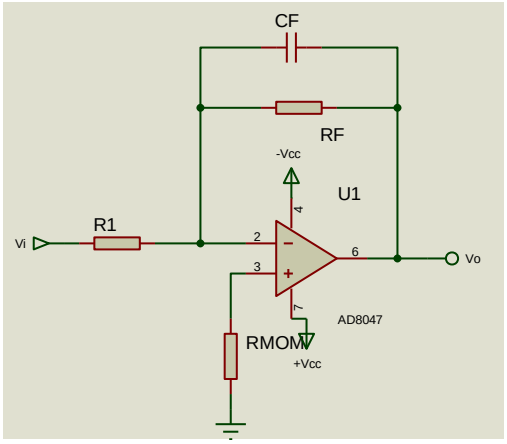


Gambar 6. 15 Integrator Amplifier

Perhitungan nilai untuk RF berkaitan dengan komponen lainnya yaitu f a< fb dimana rumus fa adalah

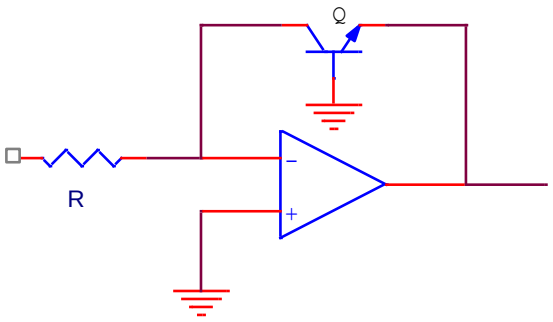
$$f_b = \frac{1}{2\pi R_1 C_F}, fa = \frac{1}{2\pi R_F C_F}$$

Sebagai contoh jika fa = fb/10.



Gambar 6. 16 Rangkaian Integrator Praktis

Rangkaian Penguat Logaritmik



Gambar 6. 17 Penguat Logaritmik

Gambar 6.22 adalah sebuah penguat logaritmik karena pentanahan semu I_{IN} didorong melalui sebuah transistor, sehingga

$$I_C = I_N = \frac{Vin}{R}$$

Pentanahan semu juga menyatakan

$$V_{out} = -V_{BE}$$

Jika kurva-kurva transkonduktansi dari transistor adalah eksponensial maka tegangan output dihubungkan secara logaritmik dengan tegangan input. Penurunan lebih lanjut menunjukkan bahwa pada temperatur kamar,

$$V_{out} = -0{,}06 \log \frac{V_{IN}}{Is.R}$$

Dengan I_s adalah arus jenuh balik dari dioda basis emitor dan logaritma menggunakan bilangan pokok 10. Tanda negatif menunjukkan inversi fasa.

Setiap kali tegangan input bertambah dengan faktor 10 (satu dekade) tegangan output bertambah dengan 60mV berarti tegangan input telah bertambah 20 dB.

Satu penggunaan dari penguat logaritmik ini adalah konversi desibel . Kegunaan lain adalah konversi jangkauan sinyal dengan jangkauan dinamik yang sangat lebar akan menjenuhkan penguat linear, tetapi penguat logaritmik tidak seperti itu. Jangkauan semula dapat dipulihkan dengan sebuah penguat anti logaritmik. Jangkauan semula dapat dipulihkan dengan sebuah penguat anti logaritmik.

Soal

Penguat log dalam Gambar 6.22 mempunyai harga Is.R sebesar 1mV. Hitung tegangan output untuk tegangan input berikut. 10mV, 100mV, 1V, 10V, dan 100V.

Penyelesaian

Untuk V_{IN} = 10mV, Persamaan memberikan

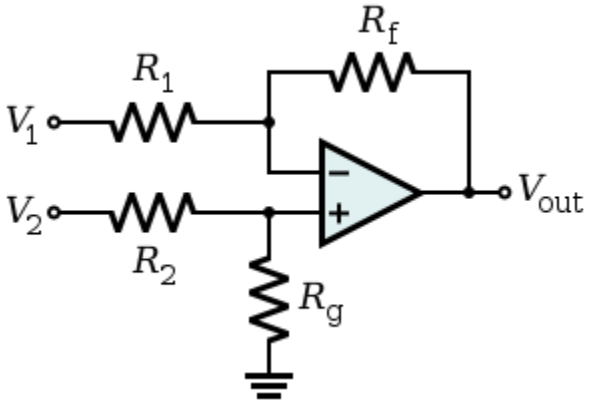
$$V_{out} = -0{,}06 \log \frac{10\text{mV}}{1\text{mV}} = -0{,}06\text{V}$$

untuk V_{IN} =100mV

$$V_{out} = -0{,}06 \log \frac{100\text{mV}}{1\text{mV}} = -0{,}12\text{V}$$

Setiap penambahan tegangan input satu decade membuat output lebih negatif 60mV. Oleh karena itu, output sisa adalah –0.18 , -0.24 dan –0.30V.

Penguat Diferensial



Gambar 6. 18 Penguat Diferensial.

Penguat diferensial digunakan untuk mencari selisih dari dua tegangan yang telah dikalikan dengan konstanta tertentu yang ditentukan oleh nilai resistansi, yaitu sebesar $\frac{R_f}{R_1}$ untuk $R_1 = R_f$ dan $R_f = R_g$. Penguat jenis ini berbeda dengan *differensiator.* Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$V_{out} = \frac{(R_f + R_1)\, R_g}{(R_g + R_2)\, R_1} V_2 - \frac{R_f}{R_1} V_1$$

Sedangkan untuk $R_1 = R_2$ dan $R_f = R_g$ maka V_{out} diferensial adalah:

$$V_{\text{out}} = \frac{R_{\text{f}}}{R_1}(V_2 - V_1)$$

Contoh soal

Hitunglah V_{out} dari penguat diferensial jika rangkaiannya seperti pada Gambar 6.23 dengan R1 = 2kΩ, R2=5kΩ, Rg= 5kΩ , Rf= 10KΩ dan V1 = 2mV, V2 =1mV

Penyelesaian

$$Vo = \left(\frac{Rg}{Rg + R3}.v_1.\frac{Rf + R1}{R1}\right) - \left(\frac{Rf}{R1}.V_2\right)$$

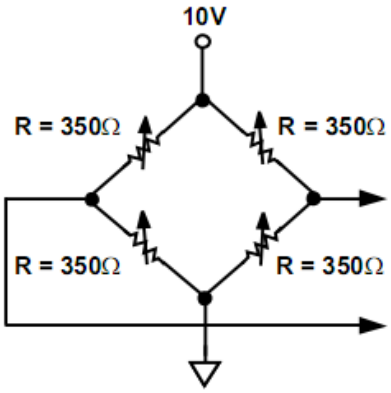
$$\text{Vo} = \left(\frac{5\text{k}}{5\text{k} + 5\text{k}}.2\text{mV}.\frac{10\text{k} + 2\text{k}}{2\text{k}}\right) - \left(\frac{10\text{k}}{2\text{k}}.1\text{mV}\right)$$

$$\text{Vo} = \left(\frac{5\text{k}}{5\text{k} + 5\text{k}}.2\text{mV}.\frac{10\text{k} + 2\text{k}}{2\text{k}}\right) - \left(\frac{10\text{k}}{2\text{k}}.1\text{mV}\right)$$

$$\text{Vo} = (6\text{V} - 5\text{V}) = 1\text{V}$$

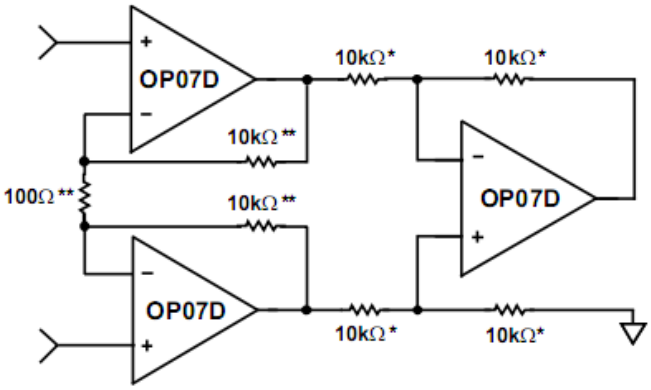
Instrumentasi Amplifier (IN-AMP)

Adakalanya sensor tersusun dari rangkaian *Bridge Transducer* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.24. Transducer tekanan, gaya, torsi, timbangan, dan lain-lain umumnya menggunakan *bridge transducer.*



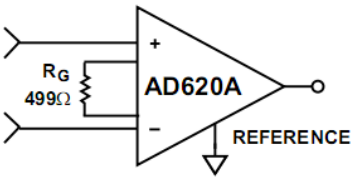
Gambar 6. 19 Tranduser Jembatan

Rangkaian penguat/amplifier yang dapat digunakan untuk mengondisikan sinyal dari dua output tersebut adalah dengan rangkaian instrumentasi amplifier yang dibentuk dari 3 OP-AMP.



Gambar 6. 20 Rangkaian OP-AMP Sebagai Penguat Instrumentasi

Untuk lebih praktisnya Anda dapat menggunakan IN-AMP (instrumentasi amplifier) yang merupakan gabungan dari OP-AMP sudah dikemas menjadi satu chip IC. Anda cukup menambahkan satu komponen resistor luar untuk mengatur penguatannya. Anda dapat menggunakan IN-Amp AD620 atau IN-AMP yang sejenis untuk penguat dengan *transducer bridge.*

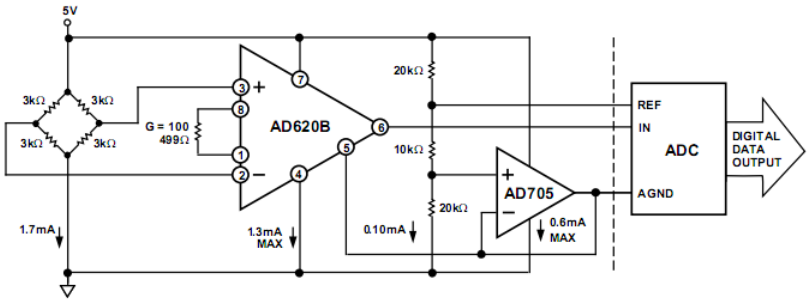


Gambar 6. 21 Rangkaian IN-AMP

Gambar 6.26 sebagai salah satu contoh penggunaan IN-AMP untuk mengukur torsi dari sebuah putaran turbin. Besarnya penguatan dengan Ro = 499Ω dapat Anda lihat dalam *data sheet* komponen yang bersangkutan.

Atau dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R_G = \frac{49.4k\Omega}{G-1}$$



Gambar 6. 22 Aplikasi Instrumentasi Amplifier pada Pengukuran Torsi Turbin

Pemakaian OP-AMP dengan Catu Daya Tunggal

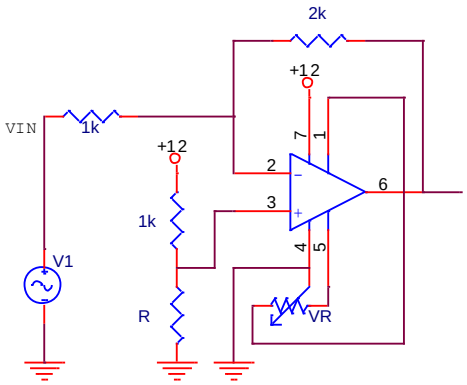
Pemakaian OP-AMP biasanya memakai catu daya simetris (+, GND, -), tetapi tidak tertutup kemungkinan menggunakan OP-AMP dengan catu daya tunggal (+, 0). Prinsip penggunaan OP-AMP dengan menggunakan catu daya tunggal tidak jauh berbeda dengan catu daya simetris. Ada sedikit yang harus diperhatikan dalam pemakaian OP-AMP dengan catu daya tunggal, yaitu adanya tegangan penumbu yang berfungsi mengatur keadaan output pada kondisi tanpa sinyal.

Pada keadaan catu daya tunggal *output* dalam keadaan nol, jika diberi input *inverting* maka output tidak bisa lebih kecil dari nol. Oleh sebab itu, perlu penentuan titik kerja

stasioner berada pada titik tengahnya seperti kelas A. Agar keluarannya bisa mengayun ke atas maupun ke bawah. Untuk mengatur level Vo pada kondisi tersebut kita membutuhkan V penumbu pada salah satu inputnya. Misalkan V1 dijadikan V penumbu yang dihubungkan ke Vcc.Agar ayunan outputnya maksimal maka kita setel Vout ½ Vcc.

Contoh Soal

Hitunglah R dari OP-AMP catu daya tunggal jika rangkaiannya seperti pada Gambar 6.28.



Gambar 6. 23 OP-AMP menggunakan catu daya tunggal.

Penyelesaian

V_{IN} = 0 maka $V_2 = V_3$

Jika V_{IN} tidak ada sinyal maka tidak ada arus yang mengalir melalui R 2K sehingga Vo = V di 2 dan V di 3

V3 = 6 Volt sehingga

$$\frac{6}{12} = \frac{R}{R + 1k}$$
$$R = 1k$$

D. Aktivitas Pembelajaran

Kegiatan Pengantar Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran (Diskusi Kelompok, 1 JP)

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran rangkaian OP-Amp? Sebutkan!
2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-6.1**.Jika Saudara bisa menjawab pertanyan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 1

Saudara akan mendiskusikan bagaimana menerapkan fungsi OP-AMP. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara ketahui tentang karakteristik OP-Amp?
2. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian OP-Amp?
3. Apa yang Saudara ketahui tentang penguat inverting dari sebuah Op-Amp?
4. Apa yang Saudara ketahui tentang penguat Non-inverting dari sebuah Op-Amp?
5. Apa yang Saudara ketahui tentang sebuah Op-Amp sebagai komparator?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-6.2.**

Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang cara kerja rangkaian OP-Amp, Bacalah Bahan Bacaan 6 tentang rangkaian OP-Amp, kemudian melaksanakan Tugas Praktek dengan menggunakan **LK-6.2.P**

E. Rangkuman

OP-AMP atau operasional amplifier yang dikemas dalam bentuk IC merupakan penguat yang mudah untuk dioperasikan. Hanya dengan menambah beberapa komponen kita dapat menggunakan OP-AMP. Karakteristik OP-AMP ideal adalah sebagai berikut : Impedansi input tinggi (tak hingga), Impedansi output rendah (mendekati 0),Memiliki penguatan yang sangat tinggi, Arus kedua inputnya 0 A, Tegangan antara V_1 dan V_2 adalah 0 Volt, Penguatan dari 0 sampai 10MHz.

Suatu penguat operasi dapat digunakan sebagai aplikasi rangkaian dengan memberikan komponen diskrit pada rangkaian *eksternal*.

OP-AMP yang memiliki penguatan yang sangat tinggi tidak digunakan tetapi menggunakan penguatan loop tertutup dengan penggunaan *feedback*.

Penggunaan OP-AMP sebagai penguat penjumlah outputnya ditentukan dengan rumus :

$$Vo = -\left(\frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} \right) R_L$$

OP-AMP dapat digunakan untuk aplikasi penguat, diferensiator, integrator, penguat logaritmik, pengurang, penjumlah, komparator, *instrument* amplifier, osilator dan lain-lain.

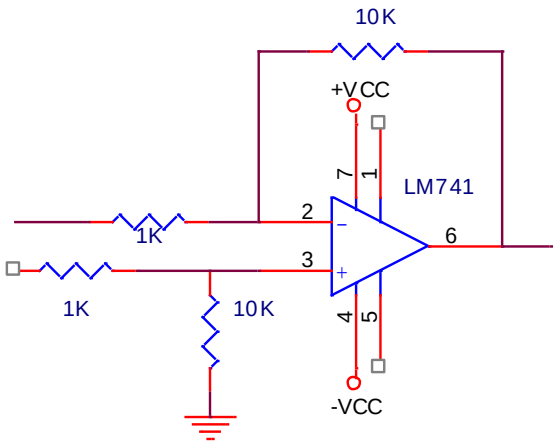
5. Pemakaian OP-AMP dengan catu daya tunggal perlu adanya tegangan penumbu yang berfungsi mengatu keadaan output pada kondisi tanpa sinyal. Tegangan penumbu diberikan pada salah satu inputnya agar outputnya ½ dari tegangan catu.

F. Test Formatif

Jawablah Pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan jelas!

1. Jelaskan karakteristik dari sebuah OP-AMP Ideal.
2. Sebutkan penggunaan dari OP-AMP yang Anda ketahui.

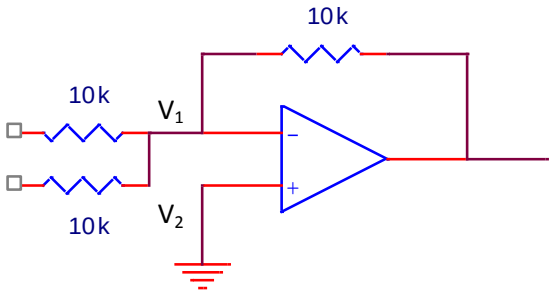
3. Sebutkan pengertian dari :
    a. Arus bias input
    b. Arus *offset* input
    c. Tegangan *offset* input
4. Bagaimana membuat rangkaian OP-AMP dengan catu daya tunggal?



Gambar 6. 24 Penguat diferensial

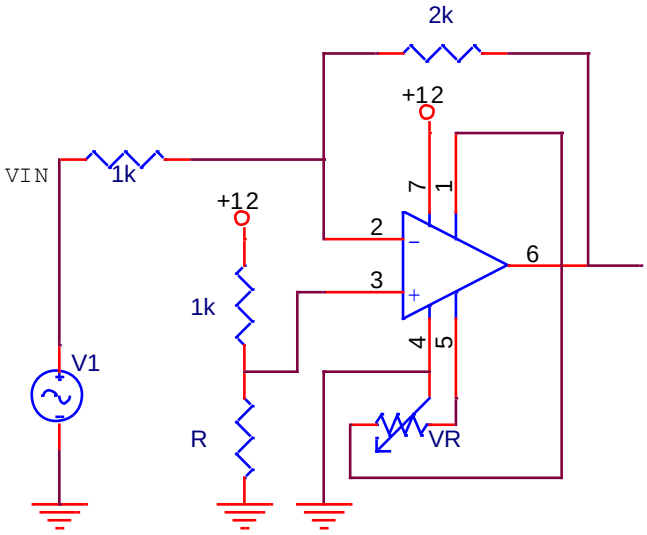
5. Hitunglah V_{out} dari penguat diferensial jika rangkaiannya seperti pada Gambar 6.29. V1 = 2mV dan V2 =1mV!.

6. Hitunglah tegangan keluaran dari penguat penjumlah jika rangkaiannya seperti pada Gambar 6.22 dengan V_1 = 2V dan V_2 = 3V



Gambar 6. 25 Penguat Penjumlah

7. Hitunglah tegangan keluaran dari penguat dengan catu daya tunggal jika R = 1k Ω, V_i = 4V pada rangkaian seperti Gambar 6.31.



Gambar 6. 26 Penguat dengan catudaya tunggal

G. Kunci Jawaban

1. Karakteristik OP-AMP ideal

   Impedansi input tinggi (tak hingga)

   Impedansi output rendah (mendekati 0)

   Memiliki penguatan yang sangat tinggi

   Arus kedua inputnya 0 A

   Tegangan antara V1 dan V2 adalah 0 Volt

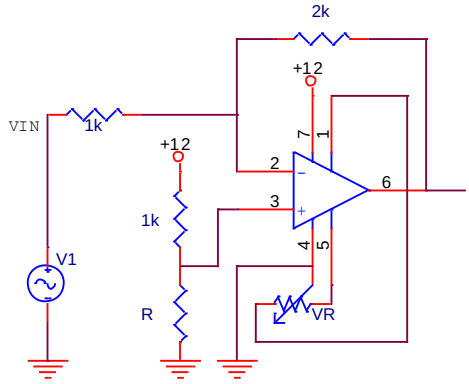
   Penguatan dari 0 sampai 100MHz.

2. OP-AMP dapat digunakan untuk aplikasi penguat, diferensiator, integrator, penguat logaritmik, pengurang, penjumlah, komparator, *instrument* amplifier, osilator

3. Sebutkan pengertian dari :

   Arus *Offset input* adalah perbedaan antara dua arus input. Makin kecil arus *offset* input makin baik karena tidak menimbulkan sinyal input diferensial.

   Tegangan *offset input* adalah tegangan input diferensial yang diperlukan untuk menolkan tegangan input stasioner.



4. Op-Amp dengan catu daya tunggal

5. $V_{out} = \frac{R_f}{R_1}(V_2 - V_1)$

$$Vout\frac{10k}{1k}(2-1) = 10mV$$

6. $V_{out} = -(V_1 + V_2 + \cdots + V_n)$

   =-(2+3)

   =-5V

7. $\mathrm{Vo} = -\frac{\mathrm{R_F}}{\mathrm{Ri}}.\mathrm{Vin}$

$$\text{Vref} = \frac{1k}{2k}.\,12V = 6V$$

$$\mathrm{Vo} = -\frac{2\mathrm{k}}{1\mathrm{k}}.(4-6) = 4+6 = 10\mathrm{V}$$

LEMBAR KERJA KB-6

LK-6.1

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran OP-AMP? Sebutkan!

……

……

……

……

……

2. Bagaimana saudara mempelajari materi pembelajaran ini?Jelaskan!

……

……

……

……

……

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

……

……

……

……

……

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

……

……

……

……

……

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

……

……

……

……

……

6. Apa bukti yang harus diunjukkerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

……

……

……

……

……

LK-6.2

1. Apa yang Saudara ketahui tentang karakteristik OP-Amp?

……

……

……

……

……

2. Mengapa Saudara perlu menganalisis rangkaian OP-Amp?

……

……

……

……

……

3. Apa yang Saudara ketahui tentang penguat inverting dari sebuah Op-Amp?

……

……

……

……

……

4. Apa yang Saudara ketahui tentang penguat Non-inverting dari sebuah Op-Amp?

……

……

……

……

……

5. Apa yang Saudara ketahui tentang sebuah Op-Amp sebagai komparator?

……

……

……

……

……

LK-6.2P

TUGAS PRAKTIK:

Dengan menyelesaikan LK-6.2 saudara telah dapat menerapkan rangkaian OP-Amp

Untuk keperluan eksperimen rangkaian OP-Amp saudara dapat mengikuti petunjuk berikut:

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk simulasi maupun praktikum;
2. Lakukan pemeriksaan terhadap tegangan kerja simulator;
3. Jika ragu-ragu terhadap apa yang akan saudara lakukan, jangan segan-segan bertanya ke fasilitator untuk meminta klarifikasi sehingga masalahnya menjadi lebih jelas;
4. Disarankan Saudara dapat melihat tayangan video program untuk menyimak demonstrasi penggunaan software simulasi atau pun buku manual trainer rangkaian elektronika sebelum melakukan tugas praktek ini;
5. Lakukan pekerjaan saudara sesuai POS (Prosedur Operasi Standar);
6. Saudara harus melakukan ini di bawah supervisi fasilitator.

Kesehatan dan Keselamatan Kerja :

1. Berdo'alah sebelum memulai kegiatan belajar!
2. Bacalah dan pahami petunjuk praktikum pada setiap lembar kegiatan belajar !
3. Gunakanlah peralatan praktikum dengan hati-hati!
4. Pastikan saudara sudah memakai APD.
5. Pastikan tegangan kerja telah sesuai.
6. Pastikan alat ukur bekerja dengan baik

Peralatan yang Dibutuhkan :

1. Catu daya polaritas ganda +/- 15 Volts
2. Osiloskop
3. *Function* generator

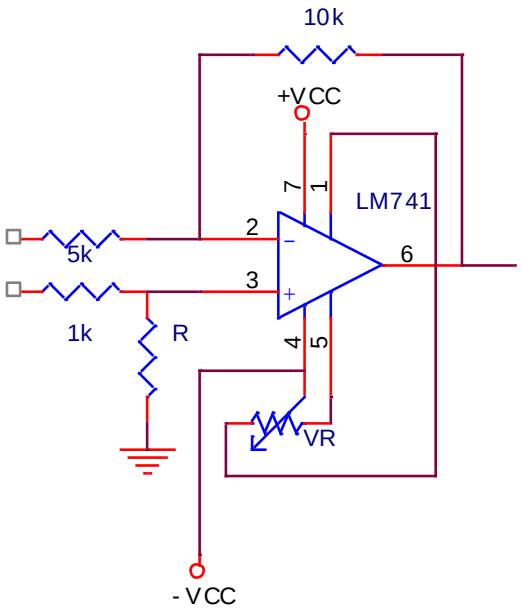
4. AVO meter

Komponen yang Diperlukan :

Name	Quantity
1µF Capacitor	2
100K Potentiometer	1
100nF Capacitor	2
10K Resistor (1/4W)	5
220K Resistor (1/4W)	2
33K Resistor (1/4W)	2
33pF Capacitor	1
4.7K Resistor (1/4W)	2
470K Resistor (1/4W)	1
50K Resistor (1/4W)	1
9V Voltage Rail (Ideal)	4
-9V Voltage Rail (Ideal)	4
Operational Amplifier (Ideal)	4

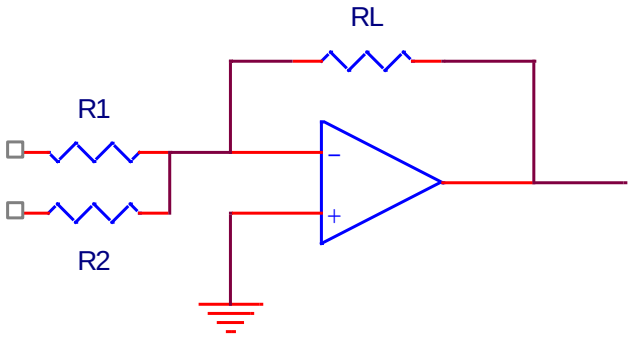
Langkah Kerja :

1. Buat rangkaian seperti berikut beri tegangan Vcc = +/- 15 Volt



2. Kedua input dihubungkan ke ground (Pin 2 dan Pin 3).

3. Ukurlah tegangan keluaran dengan voltmeter dan yakinkan keluarannya 0V jika tidak, Aturlah VR sehingga diperoleh keluaran 0 volt
4. Hubungkan rangkaian seperti yang diperlihatkan di bawah (tegangan sumber dan variable pengatur tegangan offset tidak digambarkan



5. Input R_1 dihubungkan dengan frekuensi generator 1kHz dan ukurlah input dan output dari rangkaian menggunakan kanal osiloskop yang berbeda. Aturlah amplitudo input agar keluarannya tidak cacat. Sketsalah bentuk gelombang keluarannya.

……

……

……

……

……..

6. Masukan juga tegangan yang sama ke R_2 (A) dari frekuensi generator. Gambar kembali bentuk gelombang keluarannya.

……

……

……

……

……..

7. Masukan tegangan DC 500mV ke input R1 ukurlah keluarannya berapa Volt.

……

……

……

……

……

8. Masukan tegangan DC 500mV ke input R2 ukurlah keluarannya

……

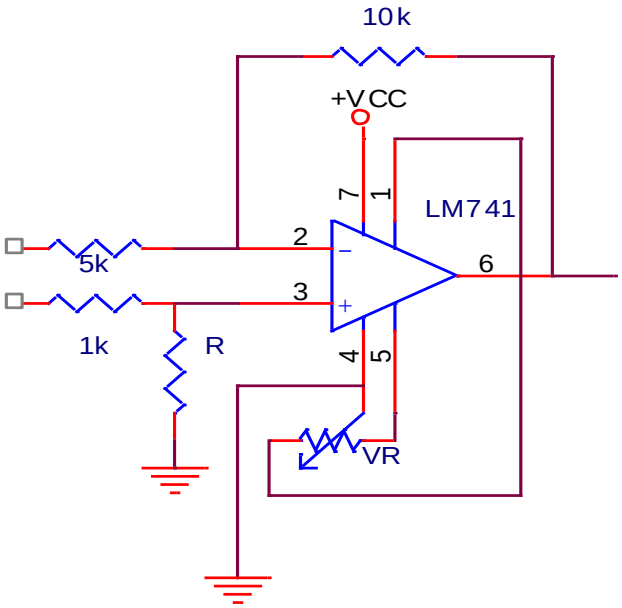
……

……

……

……

9. Masih rangkaian yang di atas. Tegangan (-Vcc) pin 4 diganti dengan 0V.



10. Ukur berapa tegangan keluarannya dengan menggunakan Voltmeter

……

……

……

……

……..

11. Tegangan yang diinginkan adalah kira –kira ½ Vcc Jika tegangannya masih 0 V hubungkan input non*inverting* ke Vcc melalui pembagi tegangan.

……

……

……

……

……

12. Ukur berapa tegangan keluaran menggunakan voltmeter

……

13. Input R_1 dihubungkan dengan frekuensi generator 1kHz dan dari keluaran penguat penjumlah diukur menggunakan osiloskop. Sketsalah bentuk gelombang masukan dan keluarannya.

……

……

……

……

……..

14. Masukan juga tegangan yang sama ke R_2 dari frekuensi generator. Gambar kembali kedua bentuk gelombang keluarannya!

……

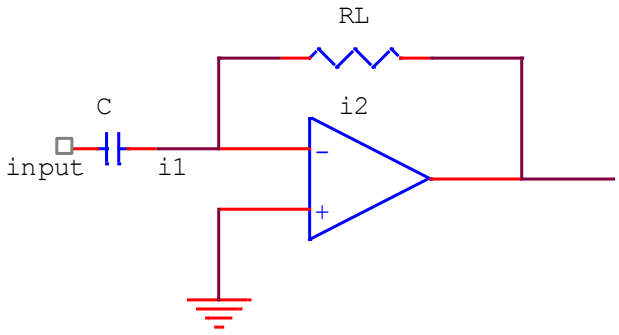
……

……

……

……

15. Rangkaian menggunakan tegangan simetris yaitu dihubungkan kembali seperti semula pada pin 4 menggunakan tegangan (-Vcc). Hubungkan rangkaian seperti pada gambar



16. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang persegi pada frekuensi 1KHz ,50mVpp amplitudonyan dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

……

……

……

……

17. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang persegi pada frekuensi 400KHz, 50mVpp dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

……

……

……

……

18. Jika terjadi osilasi inputnya diseri dengan R1 yaitu inputnya dihubungkan ke A atau C. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang persegi pada frekuensi 1KHz, dan 0,5Vpp ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

……

……

……

……

……..

19. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang persegi pada frekuensi 400KHz, 0.5Vpp dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

……

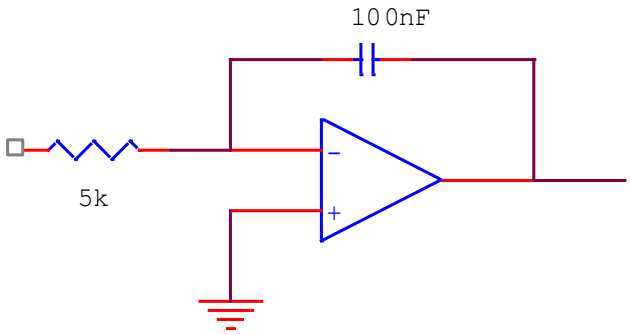
……

……

……

……..

20. Hubungkan rangkaian seperti pada gambar berikut.



21. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang sinus pada frekuensi 1KHz, 2Vpp ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

……

……

……

……..

22. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang sinus pada frekuensi 10KHz, 2 Vpp ,dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

……

……

……

……..

23. Hubungkan inputnya ke *function* generator gelombang persegi pada frekuensi 1KHz, 2Vpp dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya.

……

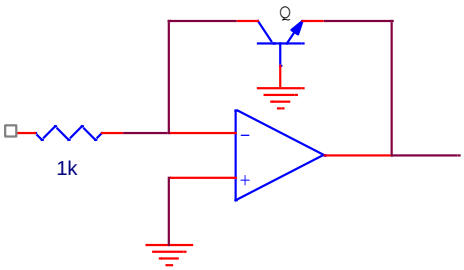
……

……

……

……..

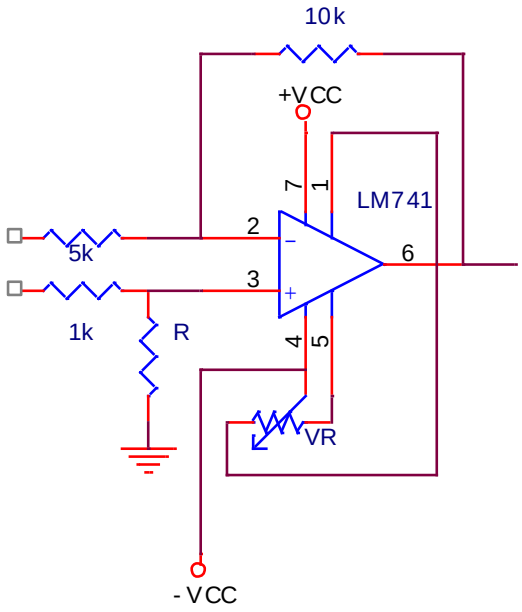
24. Hubungkan input ke *function* generator gelombang persegi pada frekuensi 10KHz, dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya!
25. Hubungkan inputnya ke tegangan DC yang bervariasi dari 10mV, 100mV, 1V, dan 10V, ukur tegangan tersebut menggunakan voltmeter. Ukurlah keluarannya dengan osiloskop atau voltmeter. Aturlah volt/div agar diperoleh gambar yang lebih baik.



26. Dari hasil pengukuran, berapakah tegangan keluaran untuk masing-masing masukan?

……

27. Rangkailah seperti gambar di bawah ini :



28. Hubungkan input positif ke *function* generator gelombang sinus pada frekuensi 1KHz, 1V dan ukurlah keluaran rangkaian dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya!

……

……

……

……

……..

29. Hubungkan input negatifnya pada frekuensi dan tegangan yang sama ke *function* generator gelombang sinus pada frekuensi 1KHz, 1V dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya!

……

……

……

……

……..

30. Hubungkan input positif ke *function* generator gelombang sinus pada frekuensi 2KHz, 1V dan ukurlah keluaran rangkaian dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya!

……

……

……

……

……..

31. Hubungkan input negatifnya pada tegangan DC 1V dan ukurlah keluarannya dengan osiloskop. Aturlah time/div agar diperoleh gambar yang lebih baik. Gambarkan bentuk gelombangnya!

……

……

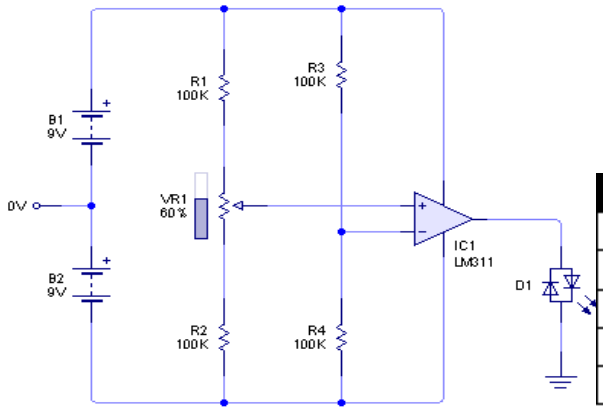
……

……

……

Rangkaian Komparator

32. Buatlah rangkaian OP-AMP yang difungsikan sebagai pembanding level tegangan seperti gambar beriikut ini



Name	Quantity
100K Potentiometer	1
100K Resistor (1/4W)	4
9V Battery (Ideal)	2
Bi-Colour LED (Red/Green)	1
LM311 Operational Amplifier	1

33. VR1 dalam keadaan minimum,
34. LED warna apa yang menyala

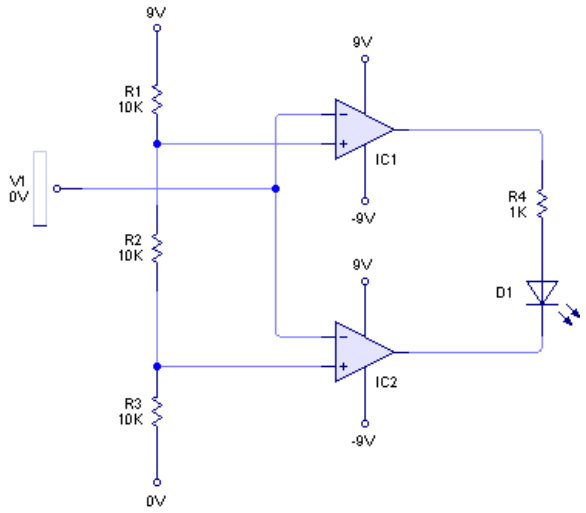
……

……

35. putar V1 searah jarum jam sampai titik kritis warna LED yang menyala berubah.
36. Ukurlah tegangan out V1

……

……



Dual Komparator digunakan untuk menyediakan indicator level tegangan menengah

37. Buatlah rangkaian dual komparator seperti pada gambar diatas
38. V1 dalam keadaan minimum, putar V1 searah jarum jam sampai titik kritis indicator LED menyala.
39. Ukurlah tegangan out V1

……

……

40. putar V1 searah jarum jam lagi sampai titik kritis indicator LED mati.
41. Ukurlah tegangan out V1

……

……

BAB III

PENUTUP

Modul ini menggunakan sistem pelatihan berdasarkan pendekatan kompetensi, yakni salah satu cara untuk menyampaikan atau mengajarkan pengetahuan ketrampilan dan sikap kerja yang dibutuhkan dalam suatu pekerjaan. Penekan utamanya adalah tentang apa yang dapat dilakukan seseorang setelah mengikuti pelatihan.

Salah satu karakteristik yang paling penting dari pelatihan berdasarkan kompetensi adalah penguasaan individu baik pengetahuan dan keterampilan.Dalam Sistem Pelatihan Berbasis Kompetensi bedasarkan pemetaan kompetensi pada SKG (Standar Kompetensi Guru), fokusnya tertuju kepada pencapaian kompetensi dan bukan pada pencapaian atau pemenuhan waktu tertentu. Dengan demikian maka dimungkinkan setiap peserta pelatihan memerlukan atau menghabiskan waktu yang berbeda-beda dalam mencapai suatu kompetensi tertentu.

Jika peserta belum mencapai kompetensi pada usaha atau kesempatan pertama, maka pelatih atau pembimbing akan mengatur rencana pelatihan dengan peserta. Rencana ini memberikan kesempatan kembali kepada peserta untuk meningkatkan level kompetensinya sesuai dengan level yang diperlukan.

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan peserta dalam mengikuti modul ini, setiap peserta dievaluasi baik terhadap aspek pengetahuan maupun keterampilan. Aspek pengetahuan dilakukan melalui latihan-latihan dan tes tertulis, sedang aspek keterampilan dilakukan melalui tugas praktek.

UJI KOMPETENSI

Penilaian Ranah Pengetahuan

1. Menurut Peraturan instalasi listrik, warna kawat fasa 1 adalah :
   a. Biru
   b. Hitam
   c. Merah
   d. Kuning

2. Menurut Peraturan instalasi listrik, warna kawat fasa 3 adalah :
   a. Biru
   b. Hitam
   c. Merah
   d. Kuning

3. Besarnya arus yang mengalir adalah 100 mA, pernyataan tersebut dapat ditulis sebagai berikut :
   a. I = 100 mA
   b. W = 100 mA
   c. P = 100 mA
   d. U = 100 mA

4. Untuk mengukur tahanan listrik dengan tang ampere maka pemasangan test lead pada terminal sebagai berikut :
   a. Volt dan com
   b. Ohm dan com
   c. Ampere dan com
   d. Earth dan com

5. Sebuah lampu TL 40 watt, 200 volt diukur dengan wattmeter menunjuk 50 watt dan menarik arus 0,3 A. Faktor daya lampu tersebut adalah :
   a. 0,95
   b. 0,85
   c. 0,76
   d. 0,66

6. Sebuah resistan ohm dilewati arus listrik 6 ampere maka beda tegangan pada ujung-ujung resistor dimaksud adalah :

a. 24 volt c. 6 volt

b. 10 volt d. 1,5 volt

7. Dua buah tahanan masing-masing R1 dan R2 dihubung seri dan diberi tegangan E volt. Jika pada R1 mengalir arus sebesar 1 ampere maka R2 mengalir arus sebesar :

   a. 2 A c. 0,5 A

   b. 1 A d. 0,25 A

8. Dua buah tahanan masing-masing 2 ohm dihubiung seri dan diberi tegangan E volt, maka tahanan totalnya adalah :

   a. 0,5 ohm c. 2 ohm

   b. 1 ohm d. 4 ohm

9. Dua buah tahanan R1 dan R2 masing-masing 4 ohm dihubung seri dengan sumber E volt. Jika pada R1 memikul tegangan 12 volt maka harga sumber tegangan E adalah

   a. 6 volt c. 18 volt

   b. 12 voltd. 24 volt

10. Waktu yang diperlukan oleh arus dan tegangan untuk membentuk satu bagian positif dan satu bagian negatif dari siklusnya disebut :

    a). Period (I) c). Beda fasa

    b). Frekuensi (F) d). Sudut naik gelombang

11. Banyaknya gelombang arus atau tegangan per setiap detiknya disebut :

    a) Period (I) c). Beda fasa

    b). Frekuensi (f) d). Fasa

12. Besar sudut yang dihitung dari titik nol gelombang arus maupun gelombang tegangan ke suatu titik dimana perhitungan waktu mulai dilakukan disebut :

    a. Sudut putar c. Sudut fasa

b. Sudut beda fasa d. Sudut naik gelombang

13. Harga puncak tegangan sinusoida ialah 537,48 volt. Pembacaan volt meter adalah :

a. 440 volt c. 70,7 volt

b. 730 volt d. 63,7 volt

14. Harga efektif tegangan v = 100 sin θ volt adalah :

a. 707 volt c. 70,7 volt

b. 730 volt d. 63,7 volt

15. Tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik adalah sebagai berikut :

V = 220 Sin wt – volt

I = 22 Sin (wt + 90^0) volt

Beda fasa tegangan dan arus tersebut adalah :

a. 60^0 mendahului c. 90^0 mendahului

b. 45^0 mendahului d. 45^0 tertinggal

16. Pembayaran energi terpakai dalam bulan Desember untuk delapan buah lampu pijar 40 W, 220 jika diketahui bahwa setiap harinya lampu-lampu tersebut beroperasi 10 jam dan harga pembayaran energi per KWH RP 75.

a. Rp 5444 c. Rp 7440

b. Rp 7045 d. Rp 7500

17. Pada rangkaian lampu pijar 100 w, 220 volt diterapkan tegangan 110 volt, wattmeter membaca p watt. Jika lampu tersebut diterapkan tegangan 220 volt maka pembacaan wattmeter adalah :

a. 0,5 P watt c. 2 P watt

b. P watt d. 4 P watt

18. Pada rangkaian lampu Tl 40 W, 220 V, wattmeter membaca 46, watt, amperemeter membac 0,37 ampere. Jika faktor daya rangkaian di perbaiki menjadi 0,91 maka besar kafasitor menurut perhitungan yang diperlukan untuk di pasang paralel dengan rangkaian lampu adalah :

a. 2,99 mikro farrad
b. 3,6 mikro farrad
c. 4,6 mikro farrad
d. 7,5 mikro farrad

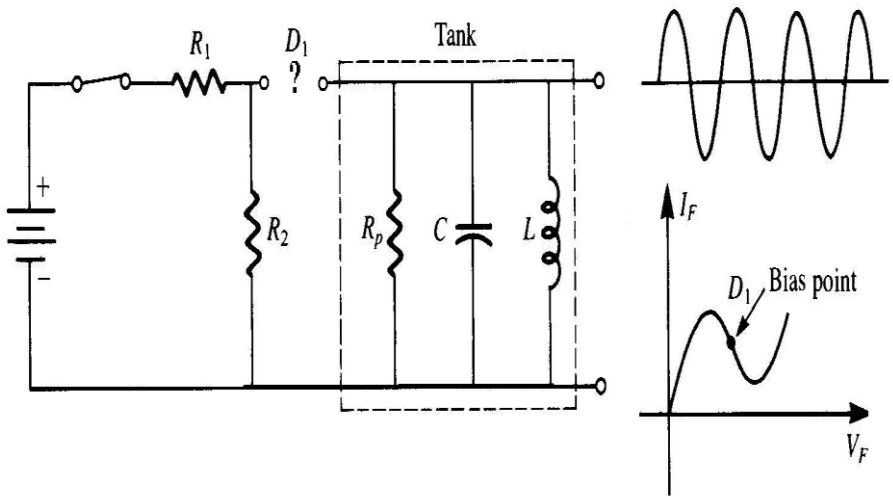
19. Sebuah motor poma air 125 watt cos phi 0,85 menarik arus arus listrik 0,8 amper pada tegangan PLN 220 volt. Jumlah kerugian energi yang disebabkan oleh adanya daya reaktif :

a.0.09 KVARH
b. 0,9 KVARH
c. 9 kvarh
d. 90 KVARH

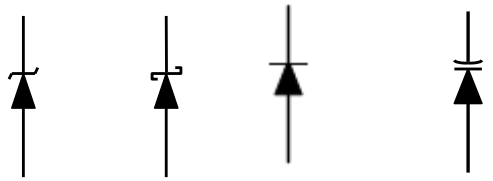
20. Sebuah motor poma air 125 watt cos phi 0,85 menarik arus listrik 0,8 amper pada teganganPLN 220 volt. Jumlah daya semu motor tersebut :

a. 125 watt
b. 176 watt
c. 220 watt
d. 440 watt

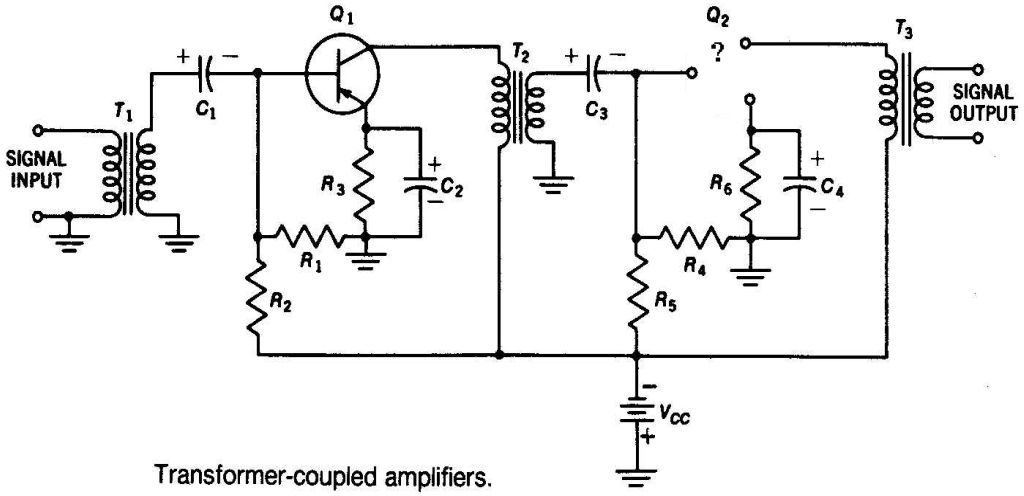
21. Jenis dioda yang sesuai untuk D1 pada rangkaian di bawah ini agar menghasilkan keluaran seperti pada gambar adalah…



A. B C D



22. *Amplifier* berikut merupakan *audio amplifier transformer coupled*. Agar sinyal keluaran yang diperoleh sempurna, maka karakteristik transistor Q2 harus tepat dengan tipe transistor adalah…

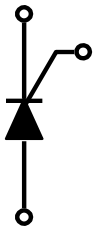
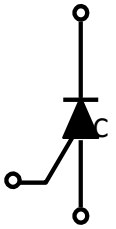
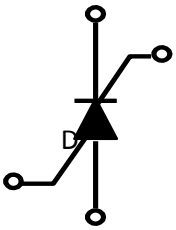
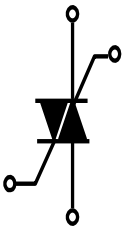


Transformer-coupled amplifiers.

23. FET merupakan salah satu komponen elektronika aktif yang dapat digunakan sebagai penguat. Untuk mendapatkan penguatan <1 dan beda fasa antara input dan output adalah 0^{o}, maka konfigurasi penguat FET yang paling tepat yaitu…

    A. *Common Source*
    B. *Common Drain*
    C. *Common Gate*
    D. *Common Collector*

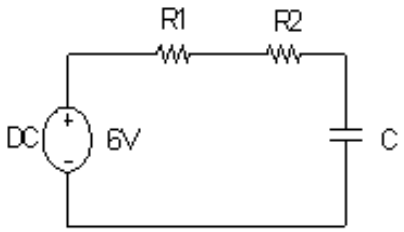
24. Silicon *Controlled Rectifier* salah satu keluarga *Thyristor* dapat digunakan sebagai pengontrol *on-off*. Struktur SCR dibangun dari dua buah transistor membentuk susunan pnpn dengan symbol…

A.  B.  C  D 

25. Sebuah akumulator dengan spesifikasi: 12 volt/5Ah, diisi (charger) dengan menggunakan *solar cell*. Agar akumulator tersebut dapat terisi penuh dalam waktu 1 jam, maka dibutuhkan solar panel dengan kapasitas sekitar…
    A. 10 Wp
    B. 30 Wp
    C. 50 Wp
    D. 70 Wp

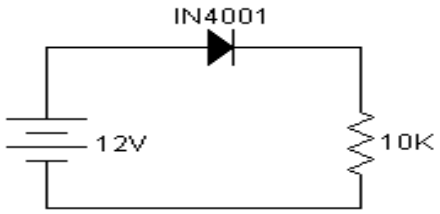
26. Untuk kebutuhan pengontrolan lampu taman atau lampu jalan agar dapat bekerja secara otomatis, maka komponen yang paling tepat untuk digunakan sebagai sensornya adalah…
    A. *Light Dependent* Resistor
    B. *PTC*
    C. *Photo Transistor*
    D. *NTC*

27. Proses yang terjadi pada kapasitor untuk rangkaian ini adalah…



A. Melalukan energi listrik
B. Menyimpan energi listrik
C. Menyimpan dan membuang arus listrik
D. Menahan arus listrik

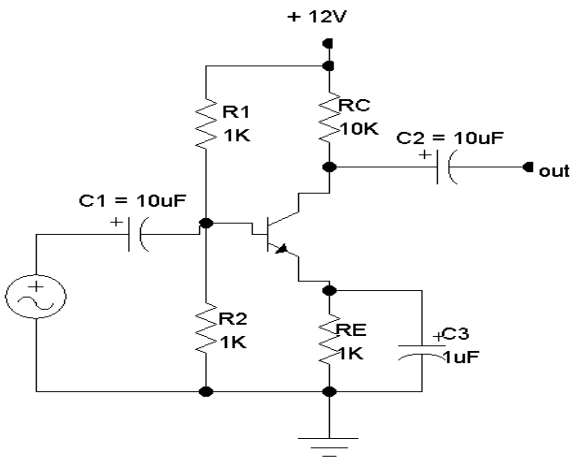
28. Dioda yang terdapat pada gambar di bawah ini akan bekerja apabila mendapat tegangan sebesar sekitar…



A. 0,7 Volt
B. 0,2 Volt
C. 0,3 Volt
D. 1,2 Volt

29. Transistor pada gambar di bawah ini berfungsi sebagai…

A. *By pass* sinyal



B. *Coupling*

C. Penguat

D. Pengganda tegangan

30. Apabila beberapa kapasitor dihubungkan secara paralel maka kapasitansi totalnya akan…

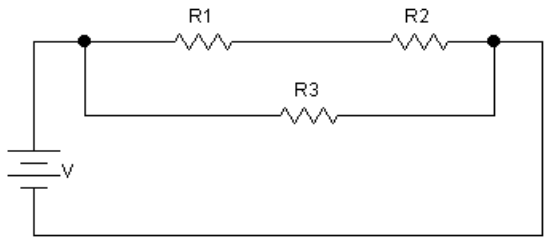
    A. Lebih kecil dari kapasitansi yang terbesar

    B. Lebih besar dari kapasitansi yang terbesar

    C. Lebih kecil dari kapasitansi yang terkecil

    D. Sama dengan kapasitansi yang terbesar

31. Rangkaian pada gambar di bawah R1=R2=R3=R. Apabila sambungan R1 dan R2 terputus, maka resistansi totalnya menjadi…



A. R

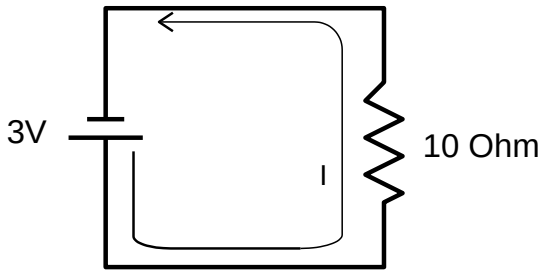
B. R/3

C. 2/3 R

D. 2R

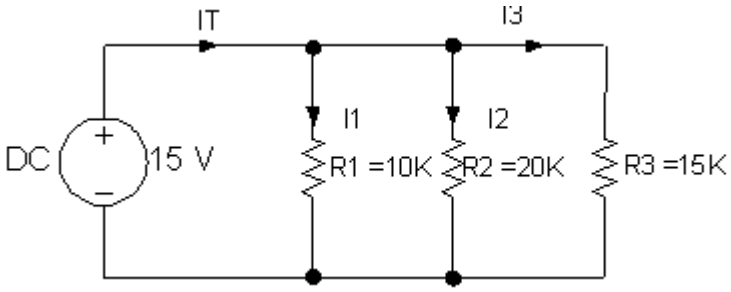
32. Jumlah arus yang mengalir pada rangkaian berikut adalah…

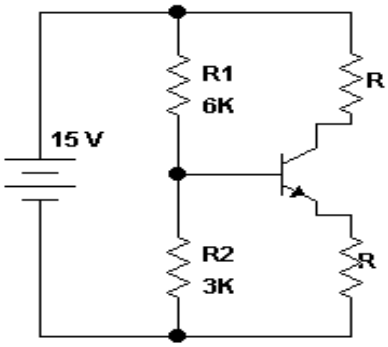
A. 0,3 A
B. 3 A
C. 0,03 A
D. 0,33 A



33. Jumlah arus yang mengalir pada tahanan R3 adalah…

A. 0,1 mA
B. 10 mA
C. 1,0 mA
D. 0,01mA





34. Nilai tahanan *Thevenin* pada basis terhadap sumber tegangan negatip dari rangkaian di bawah adalah…

A. ????

B. ????

C. ????

D. ????

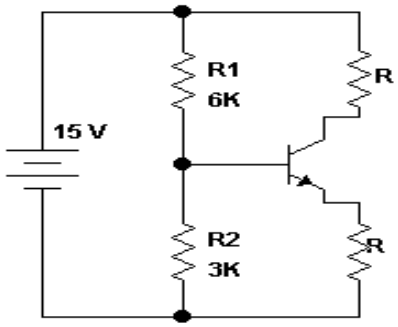
35. Besar arus pengganti Norton pada R2 adalah…

A. 2,5 mA

B. 1,6 mA

C. 5,0 mA

D. 3,2 mA



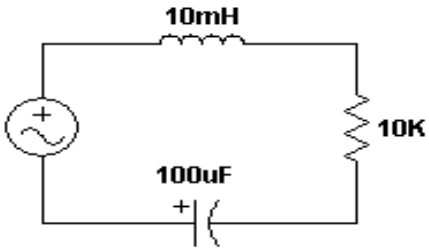
36. Frekuensi resonansi dari gambar di bawah adalah…

A. 15923566 Hz

B. 159,23566 KHz

C. 159,23566 Hz

D. 15,923566 KHz



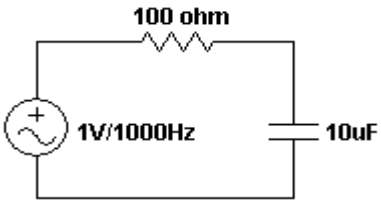
37. Sesuai dengan gambar di bawah, arus dan tegangan pada kapasitor berbeda fasa sebesar…

A. 90^0

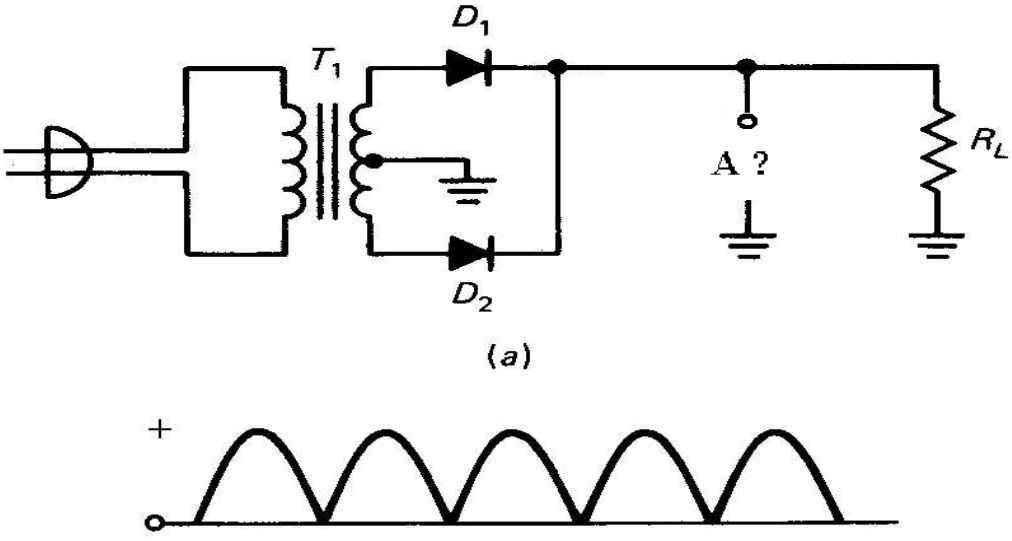
B. 45^0

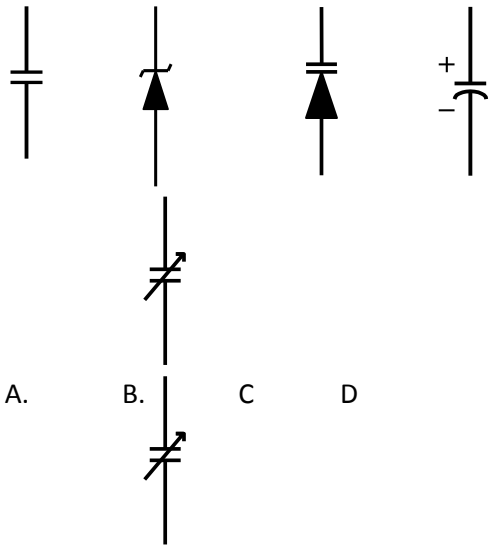
C. 180^0

D. 0^0

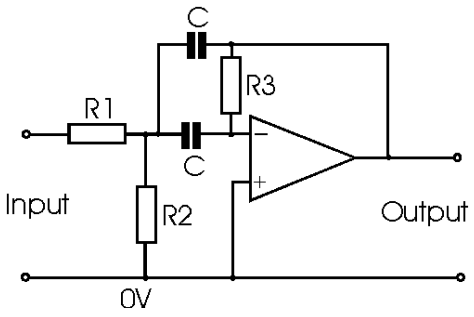


38. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang rata, maka komponen yang harus dipasang pada bagian A adalah…


D_1
T_1
A ?
R_L
D_2
(a)
+

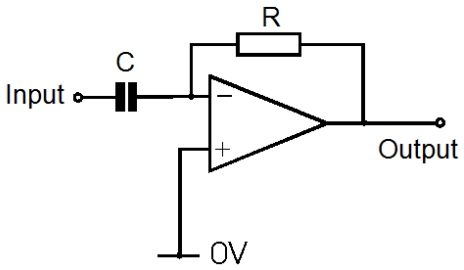

+
–
A.
B.
C
D

39. Gambar di samping adalah rangkaian op-amp yang diaplikasikan sebagai filter aktif berfungsi sebagai…



A. Low pass filter
B. High pass filter
C. Band pass filter
D. Band stop filter

40. Sebuah rangkaian fiter aktif dengan op-amp.



Rangkaian tersebut sebut sebagai…

A. Low pass filter atau Integrator
B. High pass filter atau Integrator
C. Low pass filter atau Diferensiator
D. High pass filter atau Diferensiator

41. Intergrator sering disebut juga sebagai rangkaian…

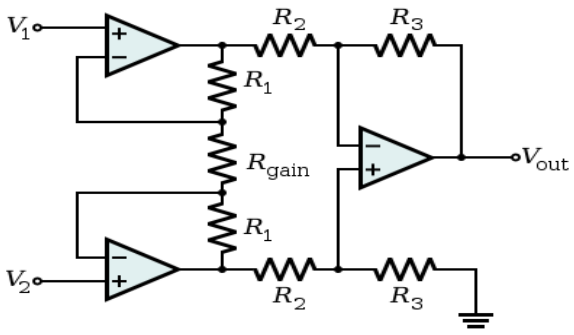
A. High pass filter

B. Low pass filter

C. Band pass filter

D. Band reject filter

42. Diketahui rangkaian seperti di bawah:



Dari gambar di atas, maka pernyataan yang benar adalah…

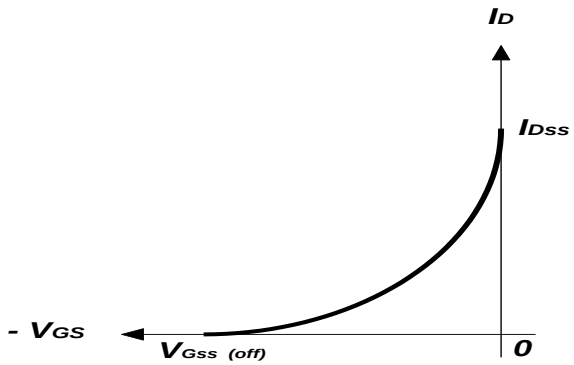
A. Sebuah instrumentasi atau instrumentational amplifier adalah jenis penguat integrator yang telah dilengkapi dengan buffer input

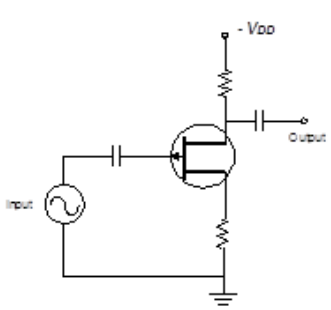
B. Sebuah instrumentasi atau instrumentational amplifier adalah jenis penguat diferensial yang telah dilengkapi dengan buffer input

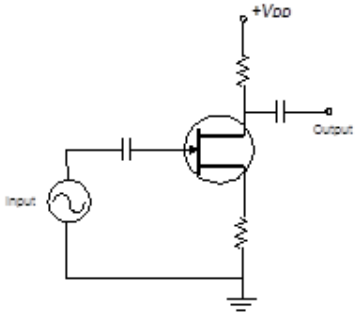
C. Sebuah instrumentasi atau instrumentational amplifier adalah jenis penguat inverting yang telah dilengkapi dengan buffer input

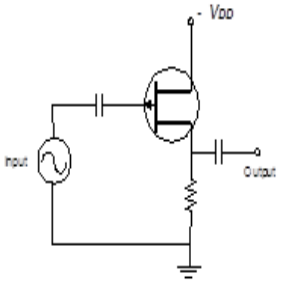
D. Sebuah instrumentasi atau instrumentational amplifier adalah jenis penguat non inverting yang telah dilengkapi dengan buffer input.

43. Karakteristik FET seperti gambar di bawah ini adalah karakter dari gambar rangkaian…









Gambar A. *Gambar B.* *Gambar C.*

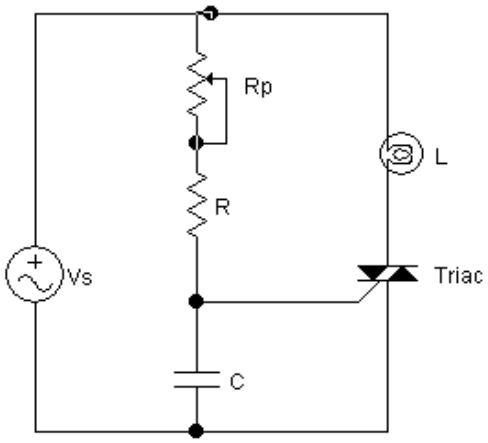
A. Gambar A
B. Gambar B
C. Gambar C
D. Gambar A dan C

44. Salah satu keluarga *Thyristor* adalah dioda *Shockley*. Karakteristik dioda *Shockley*…

    A. Kenaikan tegangan bias mengakibatkan menaikkan arus yang mengalir pada beban
    B. Kenaikan tegangan bias mengakibatkan menurunkan arus yang mengalir pada beban
    C. Kenaikan tegangan bias mengakibatkan tegangan jatuh pada dioda *shockley* naik
    D. Kenaikan tegangan bias mengakibatkan tegangan jatuh pada dioda *shockley* tetap

45. Apabila resistensi potensiometer Rp diperkecil maka…

    A. Nyala lampu semakin terang karena sudut penyulutan mengecil
    B. Nyala lampu semakin redup karena sudut penyulutan mengecil
    C. Nyala lampu semakin terang karena sudut penyulutan membesar
    D. Nyala lampu semakin redup karena sudut penyulutan membesar

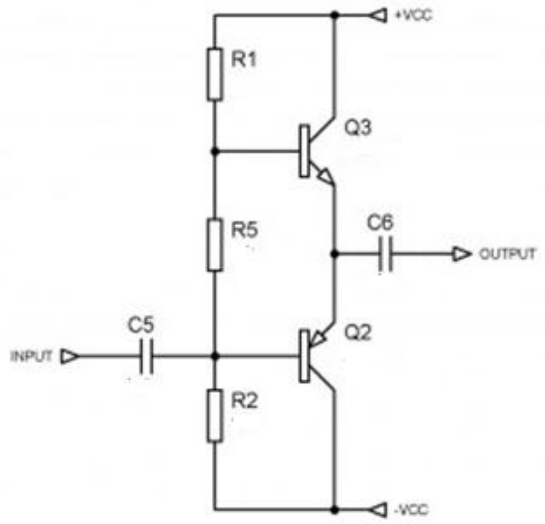


46. Pada suatu rangkaian tertutup yang terdiri dari sumber tegangan DC, beban, dan LDR, karena sifat-sifat LDR jika terkena cahaya maka rangkaian tersebut...

    A. Arusnya naik
    B. Arusnya turun
    C. Arus dan Tegangan naik

D. Arus dan Tegangan turun

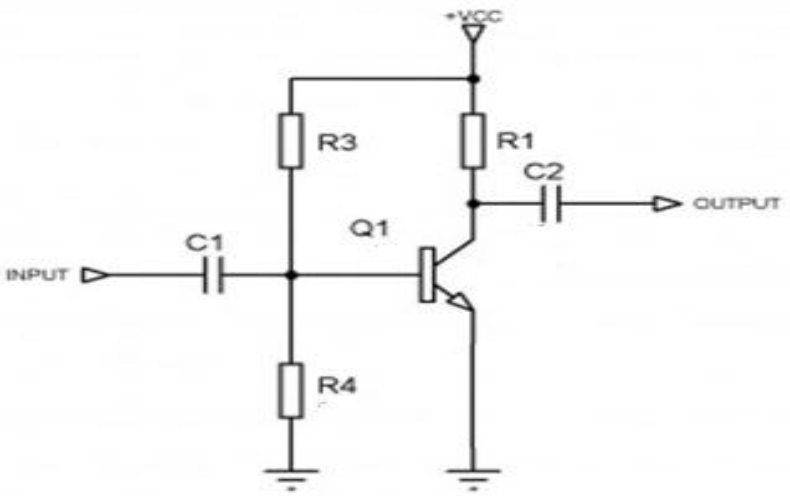
47. Sebuah penguat komplementer sebagai penguat akhir audio seperti gambar di bawah ini…



Penguat tersebut bekerja sebagai …

A. Penguat kelas A
B. Penguat kelas B
C. Penguat kelas C
D. Penguat kelas AB

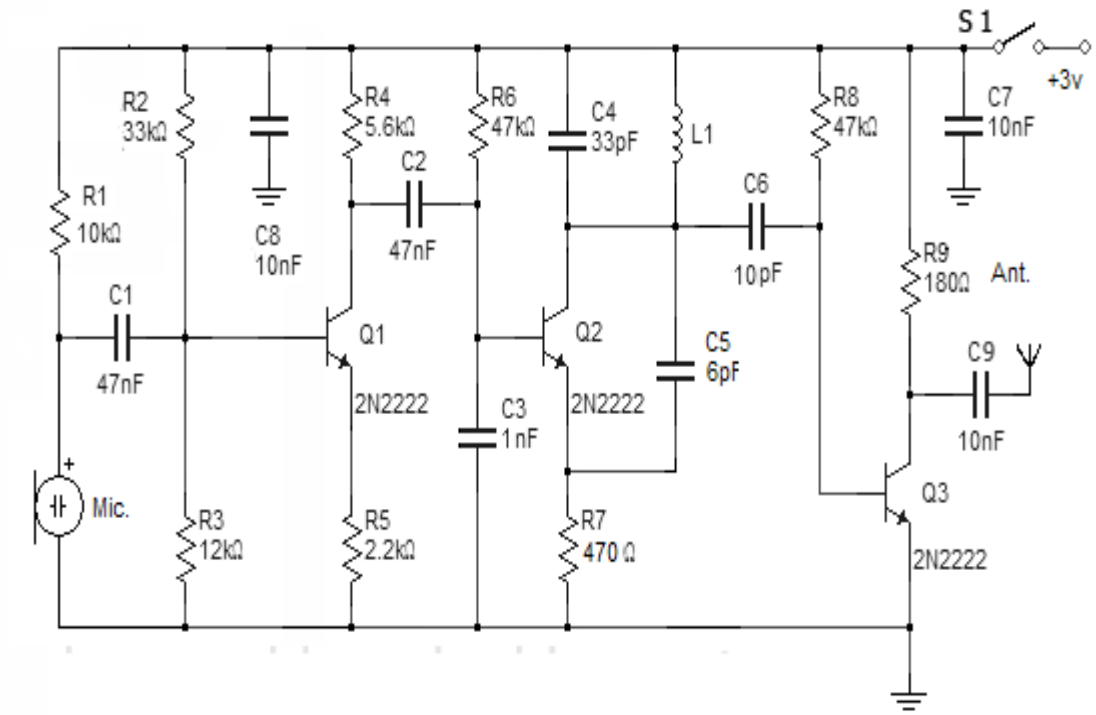
48. Sebuah penguat tunggal transistor seperti gambar di bawah.



Penguat tersebut di atas memiliki konfigurasi penguat …

A. Penguat common emitor, beda fasa input dan output 0^o
B. Penguat emitor follower, beda fasa input dan output 180^o
C. Penguat common collector, beda fasa input dan output 180^o
D. Penguat common emitor, beda fasa input dan output 180^o

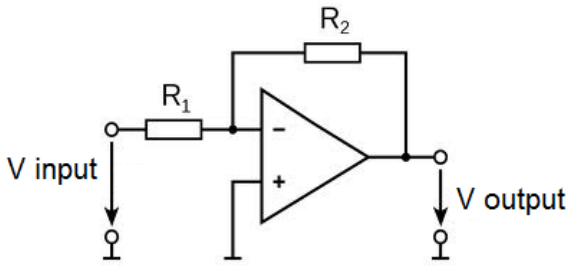
49. Sebuah rangkaian pemancar FM dengan tiga buah transistor.



Masing-masing tingkat penguat dihubungkan dengan …

A. Kopling galvanis sehingga titik kerjanya tidak bergeser
B. Kopling kapasitor sehingga titik kerjanya tidak bergeser
C. Kopling langsung sehingga titik kerjanya tidak bergeser
D. Kopling kapasitor sehingga titik kerjanya bisa bergeser

50. Sebuah penguat inverting seperti pada gambar di bawah



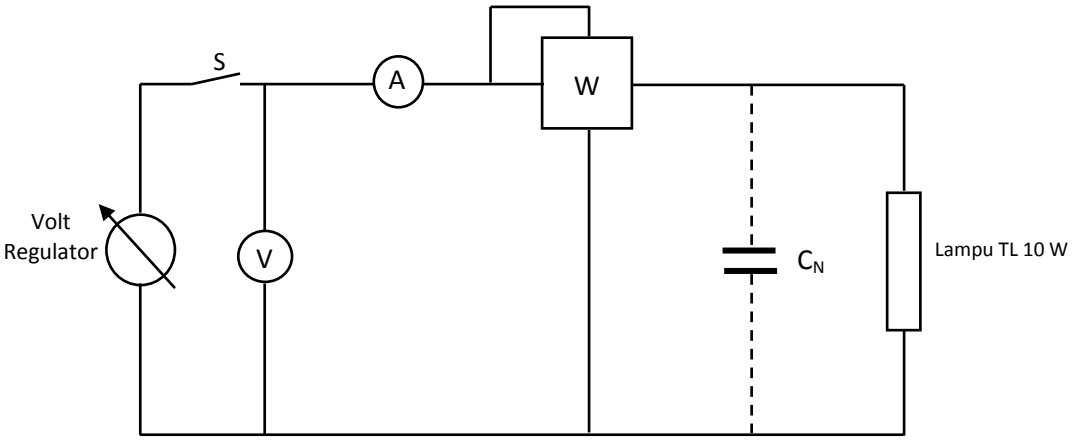
Bila diketahui besarnya resistor R1 = 1.000 Ohm, R2 = 10.000 Ohm dan tegangan sumber yang diberikan kepada IC op-amp adalah ±12 Volt dc, dan dianggap op-amp ideal. Bila input diberikan sinyal sinus 10 mVpp dengan frekuensi 1 kHz, maka sinyal output dari penguat tersebut adalah …

A. 100 Vpp/ 1 kHz, sinus
B. 100 mVpp/ 1 kHz, sinus
C. 110 mVpp/ 1 kHz, sinus
D. 100 mVpp/ 10 kHz , sinus

Penilaian Ranah Keterampilan

1. Perbaikan faktor daya

A. Gambar Rangkaian



B. Langkah

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan sesuai dengan daftar peralatan praktikum.

a. Slide Regulator 1kVA …….. 1 buah
b. Automatic Voltage Regulator SVC 500 VA…….. 1 buah
c. Watt-meter 1 phasa YEW…….. 1 buah

d. Cos phi-meter CEW…….. 1 buah
e. Multimeter Sanwa Digital CD800a …….. 1 buah
f. Tang Ampermeter Digital 640AB …….. 1 buah
g. Lampu TL 10 watt lengkap ……..... 1 set
h. Ballst Vossloh Schwabe, R = 1,36 kΩ, dan L = 1,74 H …….. 1 buah
i. Kapasitor bank 2, 4, 8 μF EMT 180 …….. 1 buah
j. Kabel penghubung (jemper) secukupnya

2. Rakit rangkaian sesuai dengan gambar percobaan rangkaian percobaan.
3. Atur tegangan sumber hingga mencapai 220 volt, setiap tahapan dipertahankan konstan.
4. Pasang kapasitor mula-mula 2 , 4, dan 8 μF secara bertahap.
5. Aktifkan rangkaian percobaan dengan cara menutup saklar (S), baca semua parameter yang ada dengan teliti dan seksama.
6. Setiap tahapan, baca voltmeter, wattmeter, dan cos phi meter, hasil pembacaan data masukkan kedalam tabel.
7. Lakukan hingga mencapai tiga tahapan seperti langkah no.5.

2. Transistor Sebagai Penguat

I. PETUNJUK

Periksalah dengan teliti dokumen soal ujian praktik.

Periksalah peralatan utama osiloskop, function generator, AVO meter dan berbagai alat ukur listrik yang telah disediakan.

II. KESELAMATAN KERJA

Gunakan alat keselamatan kerja

Pada function generator harus diperhatikan besar tegangan keluarannya.

Pada osiloskop harus diperhatikan batas ukur maksimal

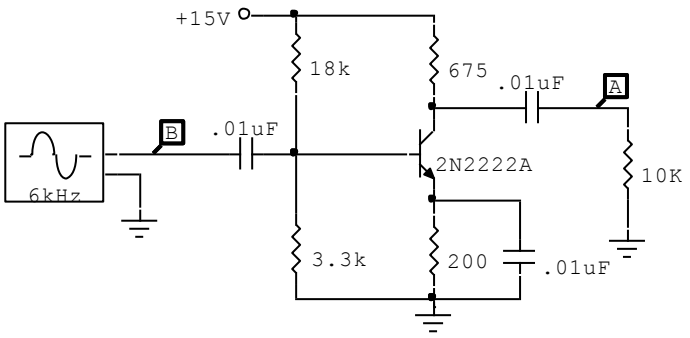
DAFTAR PERALATAN, KOMPONEN, DAN BAHAN

No.	Nama Alat/Komponen/Bahan	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
1	2	3	4	5
	AlatTes /Alattangan			
1.	AVO meter	HIOKI	1bh	
2.	Function generator	Audio generator	1bh	
3.	Osiloskop	Digital/analog minimal 20 MHz	1bh	
			1 bh	
No.	**NamaAlat/Komponen/Bahan**	**Spesifikasi**	**Jumlah**	**Keterangan**
	Komponen			
1.	CATU DAYA 12V	12/2A	1 unit	
2.	Bread Board	Standar	1 unit	
No.	**NamaAlat/Komponen/Bahan**	**Spesifikasi**	**Jumlah**	**Keterangan**

	Bahan			
1.	Transistor	2N2222	1set	
2.	R1	18K	1bh	
3.	R2	3K3	1bh	
4.	R3	680	1bh	
5.	R4	220	1bh	
6.	R5	10K	1bh	
7.	Kapasitor	0.01uF/25V	1bh	

SOAL/TUGAS

1. Hubungkan rangkaian seperti gambar 1, gunakan bread board dan catu daya 15V.
2. Lakukan pengukuran tegangan dan arus DC dimasukan pada tabel 1.
3. Hitunglah berapa nilai penguatan tegangannya.
4. Pasanglah function generator titik A pada masukkan dan osiloskop pada keluarannya titik B (gambar 1).
5. Lakukan pengukuran tegangan dan gain data hasil pengukuran dimasukan pada tabel 2.
6. Lakukan pengukuran respon frekuensi seperti pada tabel 3.
7. Pergunakan batas ukur dari alat ukur yang digunakan sebaik mungkin agar didapatkan penunjukan yang teliti. Isikan dalam tabel dan buat perhitungan.
8. Gambar rangkaian penguat transistor CB



Gambar rangkaian penguat CB

9. Tabel pengukuran :

Tabel Data Pengukuran Tegangan dan Arus DC

Vcc	B	C	E	I_C	I_E
	Volt	Volt	volt	mA	mA
5V					
10V					
12V					
15V					

Tabel Data Pengukuran Tegangan output dan tegangan input pada frekuensi uji 1KHz gelombang sinus

No	Vin	Vout	Av
1	50mV		
2	100mV		
3	150mV		

4	200mV		
5	250mV		
6	300mV		
7	350mV		
8	400mV		
9	450mV		
10	500mV		
11	…….mV	Vout CACAT	

Tabel Data pengukuran tegangan dengan Vin gelombang sinus =100mV

No	Frekuensi (Hz)	Vout	Av
1	100		
2	200		
3	500		
4	1K		
5	2K		
6	5K		
7	10K		
8	12K		
9	15K		

10	20K		

10. Gambarkan respon frekuensi dari rangkaian penguat diatas

    ……

    ……

11. Lakukan Analisis Rangkaian.

    Perhitungan Zin, Z out, Av, Band width

    ……

    ……

    Analisis data setelah dilakukan pengukuran

    ……

    ……

DAFTAR PUSTAKA

A Selan,Charles, Drs, Dipl ing, Modul Rangkaian Listrik Arus Bolak-balik, TEDC Bandung, 2004.

A Selan,Charles, Drs, Dipl ing, Modul Kemagnetan, TEDC Bandung, 2004.

bl. Theja; a text-book of electrical technology, S. Chand and Company. Ltd, Ram Nagar New Delhi 1977

Dale R. Patrick, Proffesor and Stephen W. Fardo, " Experimenting With Industrial Electrical Systems Departement" Copyright @ by Howard W. Sams & Co.,inc Indianapolis, Indiana 1981.

Francis Wiston Sears and Mark Zemansky, Saduran bebas oleh DR Soemitro, Fisika untuk Universitas, Jilid II, Listrik dan magnit, Binatjipta, Jakarta, 1962

Greg Kovacs, Department of Electrical Engineering Stanford University 'Operational Amplifiers,

Harvery Braca Lemon and Michael Ference, JR; Analytical Experimental Physics, lothian Publishing CO.PTY.Ltd, Chicago, 1942

Indonesia Australia Partnership for Development , Batam Institutional *Development Project*, 2002.*Package for Digital Electronics*,

Ilyas Erfi, Drs,MM, Modul Rangkaian Arus Bolak-balik,diklat Teknis Prinsip dan Pengukuran Listrik,PPPPTK BMTI 2012

Juhari,Spd, Modul Rangkaian DC Dan AC,PPPGT, 2006

Januar,Jafe. 2004.*Menggambar rangkaian Elektronika dan menjalankan simulasi dengan Circuit Maker Versi 5.0 for windows*, Jakarta, PT. Gramedia.

John Crowe and Barrie Hayes-Gill,*Introduction to Digital Electronics,* R G Powell Nottingham Trent University,

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electronic/ietron2/SC5.gif

Albert Paul Malvino, Elektronic Principle - McGraw-Hill 6th edition 1999.

Analog Device, AD620 Instrumentation Amplifier.

Malvino Leach, Prinsip-prinsip dan Penerapan Digital, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta,1994.

National Semiconductor, LM393 low power low offset voltage dual comparators

http://www.elektroniclab.com

http://elektronika-dasar.web.id/regulator-tegangan/

www.freescale.com/files/rf_if/.../AN211A.pdf

ismail_muchsin.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/43887/BAB5.pdf

staff.ui.ac.id/system/files/users/sastra.kusuma/material/09fetdanujt.pdf

adharul.lecture.ub.ac.id/files/2010/12/PrinsipkerjaFET1.pdf (prinsip kerja FET)

http://www.freescale.com/files/rf_if/doc/app_note/AN211A.pdf

www.mhhe.com/engcs/electrical/.../ch05.pdf ,FET

http://www.electronics-tutorials.ws/opamp/op-amp-comparator.html

http://maulana.lecture.ub.ac.id/files/2014/03/Teori-Dasar-MOSFET-Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor.pdf

GLOSARIUM

Arus searah; besaran listrik yang nilainya relatif tidak berubah-ubah setiap saat.

Faktor daya (Cos φ); Konstanta pengali daya nyata yang nilainya berkisar antara (1) dan (-1) tergantung geseran fasa antara arus dan tegangan pada beban arus bolak balik.

Distribusi listrik; Pembagian arus listrik ke berbagai rangkaian cabang instalasidi wilayah pemakai listrik

Isolator; Segala jenis bahan yang dipakai untuk meyekat listrik

Arde atau elektroda bumi; Titik rangkaian yang dibuat paling konduktif dengan bumi dimana sirkit listrik atau penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik disambung padanya.

Tahanan isolasi; Kemampuan meyekat listrik yang diukur dalam satuan ohm.

Hubung singkat; Hubungan antara dua titik atau lebih dalam suatu rangkaian melalui impedansi yang sangat kecil mendekati nol

Arus bolak balik; besaran listrik yang nilainya berubah-ubah setiap saat.

Faktor daya (Cos φ); Konstanta pengali daya nyata yang nilainya berkisar antara (1) dan (-1) tergantung geseran fasa antara arus dan tegangan pada beban arus bolak balik.

Dioda : komponen aktif yang memiliki dua kutub dan bersifat semikonduktor. Dioda juga bisa dialiri arus listrik ke satu arah dan menghambat arus dari arah sebaliknya

Dioda Zener (Zener Diode) : Komponen Elektronika yang terbuat dari Semikonduktor dan merupakan jenis Dioda yang dirancang khusus untuk dapat beroperasi di rangkaian Reverse Bias (Bias Balik).

Transistor : alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya.

Transistor efek–medan (FET) : salah satu jenis transistor menggunakan medan listrik untuk mengendalikan konduktifitas suatu kanal dari jenis pembawa muatan tunggal dalam bahan semikonduktor.

UJT : devais switching, UJT bukan sebuah penguat. Ketika tegangan emitor mencapai V_P (titik puncak), UJT terpicu, dan turun melalui wilayah resistansi negatif yang tidak stabil dan menghasilkan sebuah pulsa arus yang cepat

SCR singkatan dari Silicon Control Rectifier. Adalah Dioda yang mempunyai fungsi sebagai pengendali. SCR atau Tyristor masih termasuk keluarga semikonduktor dengan karateristik yang serupa dengan tabung thiratron. Sebagai pengendalinya adalah gate (G). SCR sering disebut Therystor. SCR sebetulnya dari bahan campuran P dan N. Isi SCR terdiri dari PNPN (Positif Negatif Positif Negatif) dan biasanya disebut PNPN Trioda

Transistor efek-medan semikonduktor logam-oksida (MOSFET) : salah satu jenis transistor efek medan.

Operasional amplifier (Op-Amp) : suatu penguat berpenguatan tinggi yang terintegrasi dalam sebuah chip IC yang memiliki dua input inverting dan non-inverting dengan sebuah terminal output, dimana rangkaian umpan balik dapat ditambahkan untuk mengendalikan karakteristik tanggapan keseluruhan pada operasional amplifier (Op-Amp). Pada dasarnya operasional amplifier (Op-Amp) merupakan suatu penguat diferensial yang memiliki 2 input dan 1 output

Osilator : suatu rangkaian yang menghasilkan keluaran yang amplitudonya berubah-ubah secara periodik dengan waktu. Keluarannya bisa berupa gelombang sinusoida, gelombang persegi, gelombang pulsa, gelombang segitiga atau gelombang gigi gergaj