

MODUL PENGEMBANGAN KEPROFESIAN BERKELANJUTAN

KONVERSI ENERGI AIR

PAKET KEAHLIAN : TEKNIK ENERGI HIDRO

Program Keahlian : Teknik Energi Terbarukan

KELOMPOK
KOMPETENSI

2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2015

KONVERSI ENERGI AIR

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 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 diindikasikan 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.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi.....	3
D. Ruang Lingkup.....	4
E. Saran Cara Penggunaan Modul.....	5
KEGIATAN PEMBELAJARAN.....	6
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 : PENDEKATAN SAINTIFIK	6
A. Tujuan	6
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	6
C. Uraian Materi.....	6
D. Aktivitas Pembelajaran	66
E. Rangkuman	75
F. Tes Formatif	78
G. Kunci Jawaban.....	79
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : KONVERSI ENERGI AIR KE LISTRIK DAN MEKANIK	81
A. Tujuan	81
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	81
C. Uraian Materi.....	81
D. Aktivitas Pembelajaran	144
E. Rangkuman	144
F. Tes Formatif	145
G. Kunci Jawaban	146
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : POTENSI DAYA AIR, DAYA TURBIN DAN DAYA GENERATOR	149
A. Tujuan	149

B. Indikator Pencapaian Kompetensi	149
C. Uraian Materi	149
D. Aktivitas Pembelajaran	182
E. Rangkuman	183
F. Tes Formatif	185
G. Kunci Jawaban.....	186
KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 : PERHITUNGAN HIDROLIKA DAN HIDRODINAMIKA	189
A. Tujuan	189
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	189
C. Uraian Materi	189
D. Aktivitas Pembelajaran	212
E. Rangkuman	213
F. Tes Formatif	214
G. Kunci Jawaban.....	216
KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 : MODEL PERALATAN KONTROL HIDROLIKA	220
A. Tujuan	220
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	220
C. Uraian Materi	220
D. Aktivitas Pembelajaran	248
E. Rangkuman	252
F. Tes Formatif	253
G. Kunci Jawaban.....	254
PENUTUP.....	257
DAFTAR PUSTAKA	259
GLOSARIUM	260
LAMPIRAN	266

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit listrik tenaga air	81
Gambar 2. 2 Pembangkitan listrik tenaga air umumnya	83
Gambar 2. 3 Pembangkitan energi listrik tenaga air dunia dalam TWh.	84
Gambar 2. 4 Poros turbin dikopel langsung dengan mesin penggilingan tepung (Tanzania) .89	
Gambar 2. 6 PLTMH Salido Kecil di Desa Salido Sari Bulan, Kecamatan IV Jurai, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat merupakan PLTMH peninggalan jaman Belanda yang hingga sekarang masih beroperasi, dan bahkan setelah direhabilitasi dayanya akan semakin optimal menjadi 330 KW	90
Gambar 2. 7 Seluruh anggota masyarakat dilibatkan dalam perencanaan, pembiayaan, pembangunan dan pengoperasian PLTMH	95
Gambar 2. 8 Habis Gelap Terbitlah Terang. Dengan listrik sumber informasi dapat diakses dimanapun di seluruh pelosok tanah air.	96
Gambar 2. 9 Sistem Elektro - Mekanikal	100
Gambar 2. 10 Turbin Impuls	104
Gambar 2. 11 Turbin Reaksi	105
Gambar 2. 12 Aplikasi untuk batasan umum tipe-tipe turbin air yang berbeda (sumber: MHPG Publication Vol. 11)	106
Gambar 2. 13 Contoh untuk penaksiran yang cepat untuk tipe dan kecepatan turbin yang sesuai, dalam fungsi head dan debit	107
Gambar 2. 14 Mengukur karakteristik-karakteristik turbin dengan menghentikan turbin dari kecepatan run-away sampai berhenti (posisi guide vane konstan)	108
Gambar 2. 15 Contoh Hill grafik untuk turbin propeller	110
Gambar 2. 16 Effisiensi turbin dengan pasokan air hanya sebagian	111
Gambar 2. 17 Batas aplikasi turbin cross flow T15 dengan diameter 300 (sumber: ENTEC)	112
Gambar 2. 18 Gambar susunan utama turbin cross flow	113
Gambar 2. 19 Ukuran-ukuran utama turbin crossflow. Contoh T14 dengan D 200 x Bo 400114	
Gambar 2. 20 Aliran fluida melewati runner crossflow	115
Gambar 2. 21 Batasan aplikasi dari turbin pelton mikro (Sumber: Buku panduan SKAT/MHPG Vol. 9)	118
Gambar 2. 22 Gambar susunan utama Turbin Pelton	120
Gambar 2. 23 Kondisi air saat menyentuh mangkok pelton	121
Gambar 2. 24 Nozzle, Jet Deflector, dan mangkok pelton	121
Gambar 2. 25 Ilustrasi Perhitungan Turbin Pelton	122
Gambar 2. 26 Turbin Pelton	124
Gambar 2. 27 Turbin propeller open flume buatan Lokal	125
Gambar 2. 28 Turbin Propeller dengan housing tubular, dapat menjangkau head yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin propeller open flume	127
Gambar 2. 29 Ilustrasi aliran fluida yang melewati runner propeller	129

Gambar 2. 30 Contoh tata letak komponen mekanik (Kondisi siap di kirim ke lokasi)	130
Gambar 2. 31 Generator dihubungkan langsung. Ilustrasi saat pelindung roda gila dan kopling dibuka.	131
Gambar 2. 32 Contoh Dewata: Generator yang dihubungkan langsung dengan fly wheel pada shaft generator. Kontrol debit elektronik dengan sensor kecepatan dan posisi	132
Gambar 2. 33 Contoh Tengpoche: Generator yang dihubungkan langsung dengan flywheel pada shaft turbin dan kontrol mekanis yang dihubungkan dengan gearbox	133
Gambar 2. 34 Generator yang dihubungkan tidak langsung menggunakan flat belt drive pada turbin dan generator.	134
Gambar 2. 35 Generator dan turbin yang dihubungkan tidak langsung menggunakan flat belt drive dan fly wheel dengan, plummer block bearing dan kopling.	135
Gambar 2. 36 Generator yang dihubungkan tidak langsung menggunakan gear box	136
Gambar 2. 37 Daerah operasi mesin Induksi	137
Gambar 2. 38 C2C connection	138
Gambar 2. 39 Analisa biaya generator sinkron dan asinkron+kapasitor	141
Gambar 3. 1 Lintasan putaran bumi terhadap matahari	151
Gambar 3. 2 Bidang geoid	164
Gambar 3. 3 Pengukuran beda tinggi air	166
Gambar 3. 4 Pressure gauge pengukur ketinggian air	168
Gambar 3. 5 Turbin Impuls	175
Gambar 3. 6 Turbin Reaksi	176
Gambar 3. 7 Aplikasi untuk batasan umum tipe-tipe turbin air yang berbeda (sumber: MHPG Publication Vol. 11)	178
Gambar 3. 8 Jenis Turbin dan fungsinya sesuai head dan debit	179
Gambar 3. 9 Daerah operasi mesin Induksi	180
Gambar 4. 1 Persamaan kontinuitas	190
Gambar 4. 2 Energi dan garis tekanan untuk sebuah pipa dari reservoir	192
Gambar 4. 3 Aliran mantap ($Q = \text{konstan}$) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain	194
Gambar 4. 4 Siklus Hidrologi	197
Gambar 4. 5 Perubahan bentuk butir disebabkan aliran fluida	199
Gambar 4. 6 Distribusi kecepatan dalam aliran pipa a) laminar and b) aliran turbulen	201

Gambar 4. 7 Aliran mantap ($Q = \text{konstan}$) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain	205
Gambar 5. 1 Penampang melintang sungai Dompok hasil pengukuran	244
Gambar 5. 2 Head dalam perhitungan sistem tenaga air	246

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Keterkaitan antara Langkah Pembelajaran dengan Kegiatan Belajar	39
Tabel 1. 2 Penentuan Model Pembelajaran	52
Tabel 1. 3 Analisis Keterkaitan Domain Antara SKL, KI, dan KD untuk Mapel ...	66
Tabel 1. 4 Lembar Kerja Perancangan Kegiatan Pembelajaran	67
Tabel 1. 5 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran	68
Tabel 1. 6 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran	69
Tabel 1. 7 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran	70
Tabel 1. 8 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran	70
Tabel 1. 9 Contoh Matrik Perancahn Pemaduan Pendekatan Saintifik dan	72
Tabel 2. 1 Kapasitas beberapa pembangkit energi listrik tenaga air	85
Tabel 5. 1 DATA CURAH HUJAN TAHUN 2009 DAN DEBIT AIR RATA-RATA	243
Tabel 5. 2 DEBIT AIR PER PENAMPANG	245

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sejak tahun 2005 pemerintah mulai memfokuskan lebih sistematis pada energi terbarukan. Aplikasi energi terbarukan di Indonesia saat ini berlangsung di bidang tenaga air, energi panas bumi, bio-energi, energi angin, energi surya, dan energi pasang surut. Dalam Cetak Biru Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 (2005) menunjukkan bahwa ada pemanfaatan yang belum jelas dari sumber energi terbarukan: kapasitas terpasang hanya sebagian kecil dari potensi sumber energi terbarukan yang berbeda. Untuk *Micro Hydro Power* (MHP) ini adalah 18%, tetapi untuk energi terbarukan lain bahkan jauh lebih rendah, Untuk aplikasi biomassa ini hanya 0,6%. UU Energi Nomor 30 Tahun 2007 merupakan dasar hukum energi kebijakan pasokan Indonesia untuk melayani kebutuhan energi nasional, prioritas kebijakan pengembangan energi, kebijakan pemanfaatan sumber daya energi nasional dan saham energi nasional. Hukum menyatakan bahwa setiap warga negara Indonesia memiliki hak untuk mengakses sumber-sumber energi modern.

Dalam Visi Energi 25/25 arah kebijakan energi nasional diuraikan. Kebijakan ini bertujuan untuk meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan menjadi 25% dari total pasokan energi pada tahun 2025. Visi menunjukkan pergeseran dari konsentrasi pada pasokan energi fosil ke energi terbarukan, setidaknya di mana harga biaya energi fosil yang lebih tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan tindakan konversi energi terbarukan untuk pemenuhan dan pemerataan energi di Indonesia. Modul konversi energi I ini akan memberi wawasan mengenai hal tersebut.

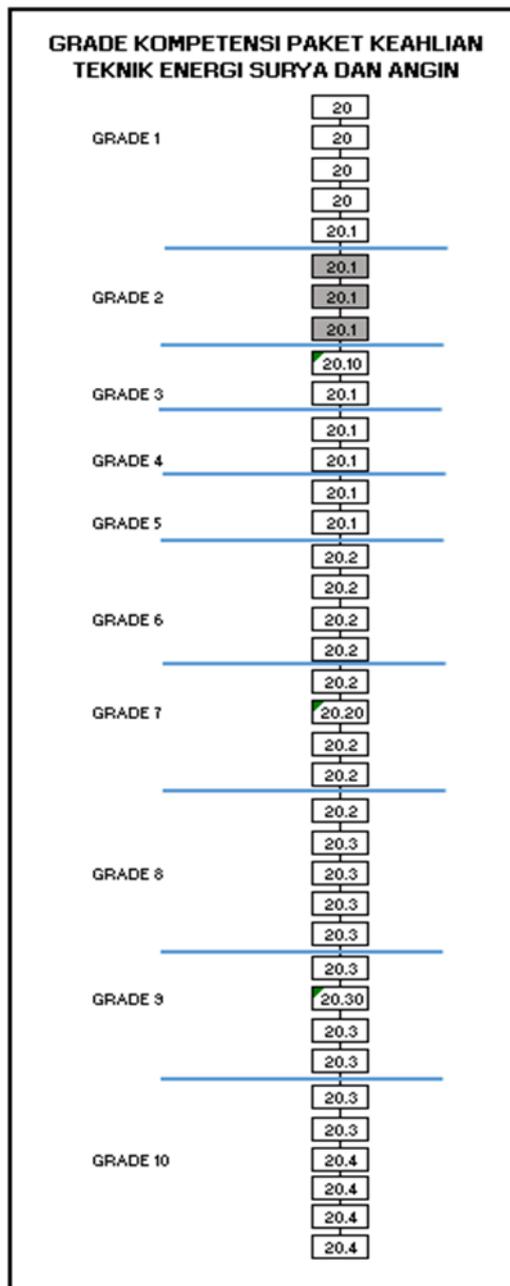
Modul ini memuat secara menyeluruh mengenai konversi energi. Dengan demikian pengetahuan yang komprehensif mengenai konversi dapat dicapai. Modul pembelajaran konservasi energi I ini dirancang agar siswa mampu memahami konversi energi yang bersumber pada sumber daya alam yang dapat diperbaharui yang ramah lingkungan.

Lingkup konversi energi pada teknologi energi terbarukan seperti: Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Biogas, dan Biomas. Modul ini memberi wawasan konversi energi air

B. Tujuan

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai teknik konversi energi melalui pemanfaatan energi terbarukan.

C. Peta Kompetensi



D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup modul ini membahas tentang :

1. Konversi energi air ke listrik dan mekanik
 - a. Sejarah perkembangan pembangkit listrik skala kecil
 - b. Prinsip pembangkitan tenaga air skala kecil
 - c. Komponen-komponen pembangkit listrik skala kecil.
 - d. Kriteria pemilihan jenis turbin air skala kecil
 - e. Kriteria pemilihan generator

2. Potensi daya air, daya turbin dan daya generator
 - a. Pendataan PLTMH di suatu wilayah
 - b. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkitkan
 - c. Penentuan dimensi dasar komponen-komponen sipil
 - d. Penentuan spesifikasi turbin air skala kecil
 - e. Penentuan spesifikasi generator

3. Perhitungan hidrolika dan hidrodinamika
 - a. Dasar-dasar hidrolika
 - b. Dasar hidrodinamika
 - c. Prinsip-prinsip aliran air
 - d. Pengaliran air dalam pipa
 - e. Pengaliran air dlm permukaan bebas
 - f. Energi dan power

4. Model peralatan kontrol hidrolika
 - a. Macam-macam energi
 - b. Konversi energi
 - c. Komponen (Alat) untuk konversi energi pada PLTMH
 - d. Debit air maksimum dan minimum
 - e. Debit air rata-rata pertahun
 - f. Besaran debit, ketinggian jatuh air (head) dan energi potensial air

E. Saran Cara Penggunaan Modul

- ✓ Baca semua isi dan petunjuk pembelajaran modul mulai halaman judul hingga akhir modul ini. Ikuti semua petunjuk pembelajaran yang harus diikuti pada setiap Kegiatan Belajar
- ✓ Belajar dan bekerjalah dengan penuh tanggung jawab dan sepenuh hati, baik secara kelompok maupun individual sesuai dengan tugas yang diberikan.
- ✓ Kerjakan semua tugas yang diberikan dan kumpulkan sebanyak mungkin informasi yang dibutuhkan untuk meningkatkan pemahaman Anda terhadap modul ini.
- ✓ Jagalah keselamatan dan keamanan kerja serta peralatan baik di kelas, laboratorium maupun di lapangan.
- ✓ Kompetensi yang dipelajari di dalam modul ini merupakan kompetensi minimal. Oleh karena itu disarankan Anda mampu belajar lebih optimal.
- ✓ Laporkan semua pengalaman belajar yang Anda peroleh baik tertulis maupun lisan sesuai dengan tugas setiap modul.

BAB II

KEGIATAN PEMBELAJARAN

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 : PENDEKATAN SAINTIFIK

A. Tujuan

Guru mampu menerapkan berbagai pendekatan, strategi, metode dan teknik pembelajaran yang mendidik secara kreatif dalam mata pelajaran yang diampu.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Pendekatan pembelajaran *teacher center* dan *student center* dianalisis dengan tepat.
2. Pendekatan pembelajaran saintifik diterapkan sesuai dengan karakteristik materi yang akan diajarkan.
3. Berbagai strategi/model pembelajaran (*Problem Based Learning, Project Based Learning, Discovery Learning* dan *Inquiry Learning*) diterapkan sesuai dengan karakteristik materi pelajaran.
4. Berbagai metoda dan teknik pembelajaran diterapkan sesuai dengan tujuan pembelajaran.

C. Uraian Materi

Bahan Bacaan 1 :

Pendekatan saintifik adalah sebuah pendekatan pembelajaran yang didasarkan atas pengalaman-pengalaman belajar yang diperoleh siswa secara sistematis dengan tahapan-tahapan tertentu berdasarkan teori ilmu pendidikan yang terbukti mampu menghasilkan siswa yang inovatif dan kreatif. Dengan demikian dapat diketahui bahwa basis dari pendekatan ilmiah ini adalah teori-teori belajar maupun teori pendidikan yang berdasarkan ilmu perilaku pendidikan. Oleh karena itu perlu dipahami lebih dahulu teori belajar dan kependidikan yang mendasari pendekatan saintifik tersebut.

1. Belajar dan Perilaku Belajar

Belajar merupakan aktifitas psikologis maupun fisik, untuk menguasai suatu kemampuan tertentu. Aktivitas belajar merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi dan berperan penting dalam pembentukan pribadi dan perilaku individu. Nana Syaodih Sukmadinata (2005) menyebutkan bahwa sebagian terbesar perkembangan individu berlangsung melalui kegiatan belajar. Di bawah ini disajikan beberapa pengertian “belajar”:

- Gage & Berliner : “belajar adalah suatu proses perubahan perilaku yang muncul karena pengalaman”.
- Witherington (1952) : “belajar merupakan perubahan dalam kepribadian yang dimanifestasikan sebagai pola-pola respons yang baru berbentuk keterampilan, sikap, kebiasaan, pengetahuan dan kecakapan”.
- Crow & Crow dan (1958) : “ belajar adalah diperolehnya kebiasaan-kebiasaan, pengetahuan dan sikap baru”.
- Hilgard (1962) : “belajar adalah proses dimana suatu perilaku muncul atau berubah karena adanya respons terhadap sesuatu situasi”
- Di Vesta dan Thompson (1970) : “ belajar adalah perubahan perilaku yang relatif menetap sebagai hasil dari pengalaman”.
- Moh. Surya (1997) : “belajar dapat diartikan sebagai suatu proses yang dilakukan oleh individu untuk memperoleh perubahan perilaku baru secara keseluruhan, sebagai hasil dari pengalaman individu itu sendiri dalam berinteraksi dengan lingkungannya”.

Berdasarkan beberapa pengertian belajar di atas, dapat dilihat bahwa pada dasarnya belajar adalah perubahan perilaku. Dalam hal ini, Moh Surya (1997) mengemukakan ciri-ciri dari perubahan perilaku, yaitu :

a. Perubahan yang disadari dan disengaja (intensional).

Perubahan perilaku yang terjadi merupakan usaha sadar dan disengaja dari individu yang bersangkutan. Begitu juga dengan hasil-hasilnya, individu yang bersangkutan menyadari bahwa dalam dirinya telah terjadi perubahan, misalnya pengetahuannya semakin bertambah atau keterampilannya semakin meningkat, dibandingkan sebelum dia mengikuti suatu proses belajar. Misalnya, seorang mahasiswa sedang belajar tentang psikologi pendidikan. Dia menyadari bahwa dia sedang berusaha mempelajari tentang Psikologi Pendidikan. Begitu juga, setelah belajar Psikologi Pendidikan dia menyadari bahwa dalam dirinya telah terjadi perubahan perilaku, dengan memperoleh sejumlah pengetahuan, sikap dan keterampilan yang berhubungan dengan Psikologi Pendidikan.

b. Perubahan yang berkesinambungan (kontinyu).

Bertambahnya pengetahuan atau keterampilan yang dimiliki pada dasarnya merupakan kelanjutan dari pengetahuan dan keterampilan yang telah diperoleh sebelumnya. Begitu juga, pengetahuan, sikap dan keterampilan yang telah diperoleh itu, akan menjadi dasar bagi pengembangan pengetahuan, sikap dan keterampilan berikutnya. Misalnya, seorang mahasiswa telah belajar Psikologi Pendidikan tentang “Hakekat Belajar”. Ketika dia mengikuti pendidikan dan pelatihan “Strategi Belajar Mengajar”, maka pengetahuan, sikap dan keterampilannya tentang “Hakekat Belajar” akan dilanjutkan dan dapat dimanfaatkan dalam mengikuti pendidikan dan pelatihan “Strategi Belajar Mengajar”.

c. Perubahan yang fungsional.

Setiap perubahan perilaku yang terjadi dapat dimanfaatkan untuk kepentingan hidup individu yang bersangkutan, baik untuk kepentingan masa sekarang maupun masa mendatang. Contoh : seorang mahasiswa belajar tentang psikologi pendidikan, maka pengetahuan dan keterampilannya dalam psikologi pendidikan dapat dimanfaatkan untuk mempelajari dan mengembangkan

perilaku dirinya sendiri maupun mempelajari dan mengembangkan perilaku para peserta didiknya kelak ketika dia menjadi guru.

d. Perubahan yang bersifat positif.

Perubahan perilaku yang terjadi bersifat normatif dan menunjukkan ke arah kemajuan. Misalnya, seorang mahasiswa sebelum belajar tentang Psikologi Pendidikan menganggap bahwa dalam dalam Prose Belajar Mengajar tidak perlu mempertimbangkan perbedaan-perbedaan individual atau perkembangan perilaku dan pribadi peserta didiknya, namun setelah mengikuti pembelajaran Psikologi Pendidikan, dia memahami dan berkeinginan untuk menerapkan prinsip – prinsip perbedaan individual maupun prinsip-prinsip perkembangan individu jika dia kelak menjadi guru.

e. Perubahan yang bersifat aktif.

Untuk memperoleh perilaku baru, individu yang bersangkutan aktif berupaya melakukan perubahan. Misalnya, mahasiswa ingin memperoleh pengetahuan baru tentang psikologi pendidikan, maka mahasiswa tersebut aktif melakukan kegiatan membaca dan mengkaji buku-buku psikologi pendidikan, berdiskusi dengan teman tentang psikologi pendidikan dan sebagainya.

f. Perubahan yang bersifat permanen.

Perubahan perilaku yang diperoleh dari proses belajar cenderung menetap dan menjadi bagian yang melekat dalam dirinya. Misalnya, mahasiswa belajar mengoperasikan komputer, maka penguasaan keterampilan mengoperasikan komputer tersebut akan menetap dan melekat dalam diri mahasiswa tersebut.

g. Perubahan yang bertujuan dan terarah.

Individu melakukan kegiatan belajar pasti ada tujuan yang ingin dicapai, baik tujuan jangka pendek, jangka menengah maupun jangka panjang. Misalnya, seorang mahasiswa belajar psikologi pendidikan, tujuan yang ingin dicapai dalam panjang pendek mungkin dia ingin memperoleh pengetahuan, sikap dan keterampilan tentang psikologi pendidikan yang diwujudkan dalam bentuk

kelulusan dengan memperoleh nilai A. Sedangkan tujuan jangka panjangnya dia ingin menjadi guru yang efektif dengan memiliki kompetensi yang memadai tentang Psikologi Pendidikan. Berbagai aktivitas dilakukan dan diarahkan untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut.

h. Perubahan perilaku secara keseluruhan.

Perubahan perilaku belajar bukan hanya sekedar memperoleh pengetahuan semata, tetapi termasuk memperoleh pula perubahan dalam sikap dan keterampilannya. Misalnya, mahasiswa belajar tentang “Teori-Teori Belajar”, disamping memperoleh informasi atau pengetahuan tentang “Teori-Teori Belajar”, dia juga memperoleh sikap tentang pentingnya seorang guru menguasai “Teori-Teori Belajar”. Begitu juga, dia memperoleh keterampilan dalam menerapkan “Teori-Teori Belajar”.

Menurut Gagne (Abin Syamsuddin Makmun, 2003), perubahan perilaku yang merupakan hasil belajar dapat berbentuk :

- a. Informasi verbal; yaitu penguasaan informasi dalam bentuk verbal, baik secara tertulis maupun tulisan, misalnya pemberian nama-nama terhadap suatu benda, definisi, dan sebagainya.
- b. Kecakapan intelektual; yaitu keterampilan individu dalam melakukan interaksi dengan lingkungannya dengan menggunakan simbol-simbol, misalnya: penggunaan simbol matematika. Termasuk dalam keterampilan intelektual adalah kecakapan dalam membedakan (discrimination), memahami konsep konkrit, konsep abstrak, aturan dan hukum. Keterampilan ini sangat dibutuhkan dalam menghadapi pemecahan masalah.
- c. Strategi kognitif; kecakapan individu untuk melakukan pengendalian dan pengelolaan keseluruhan aktivitasnya. Dalam konteks proses pembelajaran, strategi kognitif yaitu kemampuan mengendalikan ingatan dan cara – cara berfikir agar terjadi aktivitas yang efektif. Kecakapan

intelektual menitikberatkan pada hasil pembelajaran, sedangkan strategi kognitif lebih menekankan pada proses pemikiran.

- d. Sikap; yaitu hasil pembelajaran yang berupa kecakapan individu untuk memilih macam tindakan yang akan dilakukan. Dengan kata lain. Sikap adalah keadaan dalam diri individu yang akan memberikan kecenderungan bertindak dalam menghadapi suatu obyek atau peristiwa, didalamnya terdapat unsur pemikiran, perasaan yang menyertai pemikiran dan kesiapan untuk bertindak.
- e. Kecakapan motorik; ialah hasil belajar yang berupa kecakapan pergerakan yang dikontrol oleh otot dan fisik.

Sementara itu, Moh. Surya (1997) mengemukakan bahwa hasil belajar akan tampak dalam :

- a. Kebiasaan; seperti : peserta didik belajar bahasa berkali-kali menghindari kecenderungan penggunaan kata atau struktur yang keliru, sehingga akhirnya ia terbiasa dengan penggunaan bahasa secara baik dan benar.
- b. Keterampilan; seperti : menulis dan berolah raga yang meskipun sifatnya motorik, keterampilan-keterampilan itu memerlukan koordinasi gerak yang teliti dan kesadaran yang tinggi.
- c. Pengamatan; yakni proses menerima, menafsirkan, dan memberi arti rangsangan yang masuk melalui indera-indera secara obyektif sehingga peserta didik mampu mencapai pengertian yang benar.
- d. Berfikir asosiatif; yakni berfikir dengan cara mengasosiasikan sesuatu dengan lainnya dengan menggunakan daya ingat.
- e. Berfikir rasional dan kritis yakni menggunakan prinsip-prinsip dan dasar-dasar pengertian dalam menjawab pertanyaan kritis seperti “bagaimana” (*how*) dan “mengapa” (*why*).

- f. Sikap yakni kecenderungan yang relatif menetap untuk bereaksi dengan cara baik atau buruk terhadap orang atau barang tertentu sesuai dengan pengetahuan dan keyakinan.
- g. Inhibisi (menghindari hal yang mubazir).
- h. Apresiasi (menghargai karya-karya bermutu).

Perilaku afektif yakni perilaku yang bersangkutan dengan perasaan takut, marah, sedih, gembira, kecewa, senang, benci, was-was dan sebagainya.

Sedangkan menurut Bloom, perubahan perilaku yang terjadi sebagai hasil belajar meliputi perubahan dalam kawasan (domain) kognitif, afektif dan psikomotor, beserta tingkatan aspek-aspeknya.

2. Taksonomi Perilaku Individu-Bloom

Kalau perilaku individu mencakup segala pernyataan hidup, betapa banyak kata yang harus dipergunakan untuk mendeskripsikannya. Untuk keperluan studi tentang perilaku kiranya perlu ada sistematika pengelompokan berdasarkan kerangka berfikir tertentu (taksonomi). Dalam konteks pendidikan, Bloom mengungkapkan tiga kawasan (*domain*) perilaku individu beserta sub kawasan dari masing-masing kawasan, yakni : (1) kawasan kognitif; (2) kawasan afektif; dan (3) kawasan psikomotor. Taksonomi perilaku di atas menjadi rujukan penting dalam proses pendidikan, terutama kaitannya dengan usaha dan hasil pendidikan. Segenap usaha pendidikan seyogyanya diarahkan untuk terjadinya perubahan perilaku peserta didik secara menyeluruh, dengan mencakup semua kawasan perilaku. Dengan merujuk pada tulisan Gulo (2005), di bawah ini akan diuraikan ketiga kawasan tersebut beserta sub-kawasannya.

a. Kawasan Kognitif

Kawasan kognitif yaitu kawasan yang berkaitan aspek-aspek intelektual atau berfikir/nalar terdiri dari :

1) Pengetahuan (*knowledge*)

Pengetahuan merupakan aspek kognitif yang paling rendah tetapi paling mendasar. Dengan pengetahuan individu dapat mengenal dan mengingat kembali suatu objek, ide prosedur, konsep, definisi, nama, peristiwa, tahun, daftar, rumus, teori, atau kesimpulan.

Dilihat dari objek yang diketahui (isi) pengetahuan dapat digolongkan sebagai berikut :

a) Mengetahui sesuatu secara khusus :

- Mengetahui terminologi yaitu berhubungan dengan mengenal atau mengingat kembali istilah atau konsep tertentu yang dinyatakan dalam bentuk simbol, baik berbentuk verbal maupun non verbal.

- Mengetahui fakta tertentu yaitu mengenal atau mengingat kembali tanggal, peristiwa, orang tempat, sumber informasi, kejadian masa lalu, kebudayaan masyarakat tertentu, dan ciri-ciri yang tampak dari keadaan alam tertentu.
- b) Mengetahui tentang cara untuk memproses atau melakukan sesuatu :
- Mengetahui kebiasaan atau cara mengetengahkan ide atau pengalaman
 - Mengetahui urutan dan kecenderungan yaitu proses, arah dan gerakan suatu gejala atau fenomena pada waktu yang berkaitan.
 - Mengetahui penggolongan atau pengkategorisasian. Mengetahui kelas, kelompok, perangkat atau susunan yang digunakan di dalam bidang tertentu, atau memproses sesuatu.
 - Mengetahui kriteria yang digunakan untuk mengidentifikasi fakta, prinsip, pendapat atau perlakuan.
 - Mengetahui metodologi, yaitu perangkat cara yang digunakan untuk mencari, menemukan atau menyelesaikan masalah.
 - Mengetahui hal-hal yang universal dan abstrak dalam bidang tertentu, yaitu ide, bagan dan pola yang digunakan untuk mengorganisasi suatu fenomena atau pikiran.
 - Mengetahui prinsip dan generalisasi
 - Mengetahui teori dan struktur.

2) Pemahaman (*comprehension*)

Pemahaman atau dapat juga disebut dengan istilah mengerti merupakan kegiatan mental intelektual yang mengorganisasikan materi yang telah diketahui. Temuan-temuan yang didapat dari mengetahui seperti definisi, informasi, peristiwa, fakta disusun kembali dalam struktur kognitif yang

ada. Temuan-temuan ini diakomodasikan dan kemudian berasimilasi dengan struktur kognitif yang ada, sehingga membentuk struktur kognitif baru. Tingkatan dalam pemahaman ini meliputi :

- *translasi* yaitu mengubah simbol tertentu menjadi simbol lain tanpa perubahan makna. Misalkan simbol dalam bentuk kata-kata diubah menjadi gambar, bagan atau grafik;
- *interpretasi* yaitu menjelaskan makna yang terdapat dalam simbol, baik dalam bentuk simbol verbal maupun non verbal. Seseorang dapat dikatakan telah dapat menginterpretasikan tentang suatu konsep atau prinsip tertentu jika dia telah mampu membedakan, membandingkan atau mempertentangkannya dengan sesuatu yang lain. Contoh seseorang dapat dikatakan telah mengerti konsep tentang “motivasi kerja” dan dia telah dapat membedakannya dengan konsep tentang “motivasi belajar”; dan
- *Ekstrapolasi*; yaitu melihat kecenderungan, arah atau kelanjutan dari suatu temuan. Misalnya, kepada siswa dihadapkan rangkaian bilangan 2, 3, 5, 7, 11, dengan kemampuan ekstrapolasinya tentu dia akan mengatakan bilangan ke-6 adalah 13 dan ke-7 adalah 19. Untuk bisa seperti itu, terlebih dahulu dicari prinsip apa yang bekerja diantara kelima bilangan itu. Jika ditemukan bahwa kelima bilangan tersebut adalah urutan bilangan prima, maka kelanjutannya dapat dinyatakan berdasarkan prinsip tersebut.

3) Penerapan (application)

Menggunakan pengetahuan untuk memecahkan masalah atau menerapkan pengetahuan dalam kehidupan sehari-hari. Seseorang dikatakan menguasai kemampuan ini jika ia dapat memberi contoh, menggunakan, mengklasifikasikan, memanfaatkan, menyelesaikan dan mengidentifikasi hal-hal yang sama. Contoh, dulu ketika pertama kali diperkenalkan kereta api kepada petani di Amerika, mereka berusaha untuk memberi nama yang

cocok bagi alat angkutan tersebut. Satu-satunya alat transportasi yang sudah dikenal pada waktu itu adalah kuda. Bagi mereka, ingat kuda ingat transportasi. Dengan pemahaman demikian, maka mereka memberi nama pada kereta api tersebut dengan iron horse (kuda besi). Hal ini menunjukkan bagaimana mereka menerapkan konsep terhadap sebuah temuan baru.

4) Penguraian (*analysis*)

Menentukan bagian-bagian dari suatu masalah dan menunjukkan hubungan antar-bagian tersebut, melihat penyebab-penyebab dari suatu peristiwa atau memberi argumen-argumen yang menyokong suatu pernyataan.

Secara rinci Bloom mengemukakan tiga jenis kemampuan analisis, yaitu :

a) Menganalisis unsur :

- Kemampuan melihat asumsi-asumsi yang tidak dinyatakan secara eksplisit pada suatu pernyataan
- Kemampuan untuk membedakan fakta dengan hipotesa.
- Kemampuan untuk membedakan pernyataan faktual dengan pernyataan normatif.
- Kemampuan untuk mengidentifikasi motif-motif dan membedakan mekanisme perilaku antara individu dan kelompok.
- Kemampuan untuk memisahkan kesimpulan dari pernyataan-pernyataan yang mendukungnya.

b) Menganalisis hubungan

- Kemampuan untuk melihat secara komprehensif interrelasi antar ide dengan ide.
- Kemampuan untuk mengenal unsur-unsur khusus yang membenarkan suatu pernyataan.

- Kemampuan untuk mengenal fakta atau asumsi yang esensial yang mendasari suatu pendapat atau tesis atau argumen-argumen yang mendukungnya.
 - Kemampuan untuk memastikan konsistensinya hipotesis dengan informasi atau asumsi yang ada.
 - Kemampuan untuk menganalisis hubungan di antara pernyataan dan argumen guna membedakan mana pernyataan yang relevan mana yang tidak.
 - Kemampuan untuk mendeteksi hal-hal yang tidak logis di dalam suatu argumen.
 - Kemampuan untuk mengenal hubungan kausal dan unsur-unsur yang penting dan yang tidak penting di dalam perhitungan historis.
- c) Menganalisis prinsip-prinsip organisasi
- Kemampuan untuk menguraikan antara bahan dan alat
 - Kemampuan untuk mengenal bentuk dan pola karya seni dalam rangka memahami maknanya.
 - Kemampuan untuk mengetahui maksud dari pengarang suatu karya tulis, sudut pandang atau ciri berfikirnya dan perasaan yang dapat diperoleh dalam karyanya.
 - Kemampuan untuk melihat teknik yang digunakan dalam menyusun suatu materi yang bersifat persuasif seperti advertensi dan propaganda.

5) Memadukan (*synthesis*)

Menggabungkan, meramu, atau merangkai berbagai informasi menjadi satu kesimpulan atau menjadi suatu hal yang baru. Kemampuan berfikir induktif dan konvergen merupakan ciri kemampuan ini. Contoh: memilih nada dan

irama dan kemudian menggabungkannya sehingga menjadi gubahan musik yang baru, memberi nama yang sesuai bagi suatu temuan baru, menciptakan logo organisasi.

6) Penilaian (evaluation)

Mempertimbangkan, menilai dan mengambil keputusan benar-salah, baik-buruk, atau bermanfaat – tak bermanfaat berdasarkan kriteria-kriteria tertentu baik kualitatif maupun kuantitatif. Terdapat dua kriteria pembenaran yang digunakan, yaitu :

- Pembeneran berdasarkan kriteria internal; yang dilakukan dengan memperhatikan konsistensi atau kecermatan susunan secara logis unsur-unsur yang ada di dalam objek yang diamati.
- Pembeneran berdasarkan kriteria eksternal; yang dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria yang bersumber di luar objek yang diamati., misalnya kesesuaiannya dengan aspirasi umum atau kecocokannya dengan kebutuhan pemakai.

b. Kawasan Afektif

Kawasan afektif yaitu kawasan yang berkaitan aspek-aspek emosional, seperti perasaan, minat, sikap, kepatuhan terhadap moral dan sebagainya, terdiri dari :

1) Penerimaan (*receiving/attending*)

Kawasan penerimaan diperinci ke dalam tiga tahap, yaitu :

- Kesiapan untuk menerima (*awareness*), yaitu adanya kesiapan untuk berinteraksi dengan stimulus (fenomena atau objek yang akan dipelajari), yang ditandai dengan kehadiran dan usaha untuk memberi perhatian pada stimulus yang bersangkutan.
- Kemauan untuk menerima (*willingness to receive*), yaitu usaha untuk mengalokasikan perhatian pada stimulus yang bersangkutan.

- Mengkhususkan perhatian (*controlled or selected attention*). Mungkin perhatian itu hanya tertuju pada warna, suara atau kata-kata tertentu saja.

2) Sambutan (*responding*)

Mengadakan aksi terhadap stimulus, yang meliputi proses sebagai berikut :

- Kesiapan menanggapi (*acquiescence of responding*). Contoh : mengajukan pertanyaan, menempelkan gambar dari tokoh yang disenangi pada tembok kamar yang bersangkutan, atau mentaati peraturan lalu lintas.
- Kemauan menanggapi (*willingness to respond*), yaitu usaha untuk melihat hal-hal khusus di dalam bagian yang diperhatikan. Misalnya pada desain atau warna saja.
- Kepuasan menanggapi (*satisfaction in response*), yaitu adanya aksi atau kegiatan yang berhubungan dengan usaha untuk memuaskan keinginan mengetahui. Contoh kegiatan yang tampak dari kepuasan menanggapi ini adalah bertanya, membuat coretan atau gambar, memotret dari objek yang menjadi pusat perhatiannya, dan sebagainya.

3) Penilaian (*valuing*)

Pada tahap ini sudah mulai timbul proses internalisasi untuk memiliki dan menghayati nilai dari stimulus yang dihadapi. Penilaian terbagi atas empat tahap sebagai berikut :

- Menerima nilai (*acceptance of value*), yaitu kelanjutan dari usaha memuaskan diri untuk menanggapi secara lebih intensif.
- Menyeleksi nilai yang lebih disenangi (*preference for a value*) yang dinyatakan dalam usaha untuk mencari contoh yang dapat memuaskan perilaku menikmati, misalnya lukisan yang memiliki yang memuaskan.

- Komitmen yaitu kesetujuan terhadap suatu nilai dengan alasan-alasan tertentu yang muncul dari rangkaian pengalaman.
- Komitmen ini dinyatakan dengan rasa senang, kagum, terpesona. Kagum atas keberanian seseorang, menunjukkan komitmen terhadap nilai keberanian yang dihargainya.

4) Pengorganisasian (*organization*)

Pada tahap ini yang bersangkutan tidak hanya menginternalisasi satu nilai tertentu seperti pada tahap komitmen, tetapi mulai melihat beberapa nilai yang relevan untuk disusun menjadi satu sistem nilai. Proses ini terjadi dalam dua tahapan, yakni :

- Konseptualisasi nilai, yaitu keinginan untuk menilai hasil karya orang lain, atau menemukan asumsi-asumsi yang mendasari suatu moral atau kebiasaan.
- Pengorganisasian sistem nilai, yaitu menyusun perangkat nilai dalam suatu sistem berdasarkan tingkat preferensinya. Dalam sistem nilai ini yang bersangkutan menempatkan nilai yang paling disukai pada tingkat yang amat penting, menyusul kemudian nilai yang dirasakan agak penting, dan seterusnya menurut urutan kepentingan. atau kesenangan dari diri yang bersangkutan.

5) Karakterisasi (*characterization*)

Karakterisasi yaitu kemampuan untuk menghayati atau mempribadikan sistem nilai Kalau pada tahap pengorganisasian di atas sistem nilai sudah dapat disusun, maka susunan itu belum konsisten di dalam diri yang bersangkutan. Artinya mudah berubah-ubah sesuai situasi yang dihadapi. Pada tahap karakterisasi, sistem itu selalu konsisten. Proses ini terdiri atas dua tahap, yaitu :

- Generalisasi, yaitu kemampuan untuk melihat suatu masalah dari suatu sudut pandang tertentu.

- Karakterisasi, yaitu mengembangkan pandangan hidup tertentu yang memberi corak tersendiri pada kepribadian diri yang bersangkutan.

c. Kawasan Psikomotor

Kawasan psikomotor yaitu kawasan yang berkaitan dengan aspek-aspek keterampilan yang melibatkan fungsi sistem syaraf dan otot (*neuronmuscular system*) dan fungsi psikis. Kawasan ini terdiri dari : (a) kesiapan (*set*); (b) peniruan (*imitation*); (c) membiasakan (*habitual*); (d) menyesuaikan (*adaptation*) dan (e) menciptakan (*origination*).

- Kesiapan yaitu berhubungan dengan kesediaan untuk melatih diri tentang keterampilan tertentu yang dinyatakan dengan usaha untuk melaporkan kehadirannya, mempersiapkan alat, menyesuaikan diri dengan situasi, menjawab pertanyaan.
- Meniru adalah kemampuan untuk melakukan sesuai dengan contoh yang diamatinya walaupun belum mengerti hakikat atau makna dari keterampilan itu. Seperti anak yang baru belajar bahasa meniru kata-kata orang tanpa mengerti artinya.
- Membiasakan yaitu seseorang dapat melakukan suatu keterampilan tanpa harus melihat contoh, sekalipun ia belum dapat mengubah polanya.
- Adaptasi yaitu seseorang sudah mampu melakukan modifikasi untuk disesuaikan dengan kebutuhan atau situasi tempat keterampilan itu dilaksanakan.
- Menciptakan (*origination*) di mana seseorang sudah mampu menciptakan sendiri suatu karya.

Sementara itu, Abin Syamsuddin Makmun (2003) memerinci sub kawasan ini dengan tahapan yang berbeda, yaitu :

- Gerakan refleks (*reflex movements*). Basis semua perilaku bergerak atau respons terhadap stimulus tanpa sadar, misalnya : melompat, menunduk, berjalan, dan sebagainya.
- Gerakan dasar biasa (*Basic fundamental movements*) yaitu gerakan yang muncul tanpa latihan tapi dapat diperhalus melalui praktik, yang terpola dan dapat ditebak.
- Gerakan Persepsi (*Perceptual abilities*) yaitu gerakan sudah lebih meningkat karena dibantu kemampuan perseptual.
- Gerakan fisik (*Physical Abilities*) yaitu gerakan yang menunjukkan daya tahan (*endurance*), kekuatan (*strength*), kelenturan (*flexibility*) dan kegesitan.
- Gerakan terampil (*skilled movements*) yaitu dapat mengontrol berbagai tingkatan gerak secara terampil, tangkas, dan cekatan dalam melakukan gerakan yang sulit dan rumit (kompleks).
- Gerakan indah dan kreatif (*Non-discursive communication*) yaitu mengkomunikasikan perasan melalui gerakan, baik dalam bentuk gerak estetik: gerakan-gerakan terampil yang efisien dan indah maupun gerak kreatif: gerakan-gerakan pada tingkat tertinggi untuk mengkomunikasikan peran.

3. Teori Konstruktivisme

Pendekatan saintifik penekanannya pada aktifitas siswa untuk membentuk konstruk berpikir, konstruk sikap maupun konstruk perbuatan. Untuk itu perlu dipahami tentang teori konstruktivisme.

Teori konstruktivisme didasari oleh ide-ide Piaget, Bruner, Vygotsky dan lain-lain. Piaget berpendapat bahwa pada dasarnya setiap individu sejak kecil sudah memiliki kemampuan untuk mengkonstruksi pengetahuannya sendiri. Pengetahuan yang

dikonstruksi oleh anak sebagai subjek, maka akan menjadi pengetahuan yang bermakna; sedangkan pengetahuan yang hanya diperoleh melalui proses pemberitahuan tidak akan menjadi pengetahuan yang bermakna, pengetahuan tersebut hanya untuk diingat sementara setelah itu dilupakan. Dalam kelas konstruktivis seorang guru tidak mengajarkan kepada anak bagaimana menyelesaikan persoalan, namun mempresentasikan masalah dan mendorong siswa untuk menemukan cara mereka sendiri dalam menyelesaikan permasalahan. Hal ini berarti siswa mengkonstruksi pengetahuannya melalui interaksi dengan objek, fenomena, pengalaman dan lingkungan mereka.

Hal yang sama juga diungkapkan Wood dan Coob, para ahli konstruktivisme mengatakan bahwa ketika siswa mencoba menyelesaikan tugas-tugas di kelas, maka pengetahuan matematika dikonstruksi secara aktif, dan mereka setuju bahwa belajar matematika melibatkan manipulasi aktif dari pemaknaan bukan hanya bilangan dan rumus-rumus saja. Mereka menolak paham bahwa matematika dipelajari dalam satu koleksi yang berpola linear. Setiap tahap dari pembelajaran melibatkan suatu proses penelitian terhadap makna dan penyampaian keterampilan hafalan dengan cara yang tidak ada jaminan bahwa siswa akan menggunakan keterampilan inteligennya dalam *setting* matematika.

Beberapa prinsip pembelajaran dengan konstruktivisme diantaranya dikemukakan oleh Steffe dan Kieren yaitu observasi dan mendengar aktifitas dan pembicaraan matematika siswa adalah sumber yang kuat dan petunjuk untuk mengajar. Lebih jauh dikatakan bahwa dalam konstruktivisme aktivitas matematika mungkin diwujudkan melalui tantangan masalah, kerja dalam kelompok kecil dan diskusi kelas. Disebutkan pula bahwa dalam konstruktivisme proses pembelajaran senantiasa "*problem centered approach*", dimana guru dan siswa terikat dalam pembicaraan yang memiliki makna matematika.

Dari prinsip di atas terlihat bahwa ide pokok dari teori konstruktivisme adalah siswa aktif membangun pengetahuannya sendiri. Dalam hal ini guru berfungsi sebagai fasilitator. Belajar menurut paham konstruktivisme adalah mengkonstruksi pengetahuan yang dilakukan baik secara individu maupun secara sosial. Sedangkan

mengajar bukanlah memindahkan pengetahuan guru kepada siswa, melainkan suatu kegiatan yang memungkinkan siswa membangun sendiri pengetahuan, dengan menginkuiri suatu permasalahan dan kemudian memecahkan permasalahan.

Pembelajaran dengan pendekatan inkuiri merupakan salah satu pendekatan konstruktivisme dapat diterapkan antara lain dalam pembelajaran kooperatif, dimana siswa diberi kesempatan untuk berinteraksi secara sosial dan berkomunikasi dengan sesamanya untuk mencapai tujuan pembelajaran dan guru bertindak sebagai fasilitator dan motivator.

4. Pendekatan Pembelajaran Teacher Centered Dan Student Centered

Pendekatan saintifik mengacu pada pembelajaran berpusat pada siswa. Namun bukan berarti *teacher centered* itu hal yang kurang baik, tapi hanya porsi yang dikurangi sehingga yang aktif adalah siswa.

Perbedaan mendasar antara *student centered learning* dengan *teacher centered* terlihat jelas pada orientasinya. Orientasi strategi *student centered learning* lebih menekankan pada terjadinya kegiatan belajar oleh siswa, atau berorientasi pada pembelajaran (*learning oriented*), sedangkan strategi *teacher centered* lebih berorientasi pada konten (*content oriented*). Dengan kata lain, pada *student centered learning*, mengajar tidak lagi difahami sebagai proses untuk mentransfer informasi, akan tetapi sebagai wahana untuk memfasilitasi terjadinya pembelajaran. Paradigma pembelajaran (SCL), guru hanya sebagai fasilitator dan motivator dengan menyediakan beberapa strategi belajar yang memungkinkan siswa (bersama guru) memilih, menemukan dan menyusun pengetahuan serta cara mengembangkan ketrampilannya (*method of inquiry and discovery*). Pada SCL, ilmu pengetahuan tidak lagi dianggap statik tetapi dinamis dimana peserta didik secara aktif mengembangkan ketrampilan dan pengetahuannya artinya siswa secara aktif menerima pengetahuan tidak lagi pasif. Dengan demikian sangat mungkin nantinya siswa didik menjadi lebih pintar dari gurunya (tidak seperti film silat jaman dahulu dimana murid selalu kalah dari gurunya) apabila sang guru tidak aktif mengembangkan pengetahuannya. SCL tidak melupakan peran guru, dalam SCL guru

masih memiliki peran seperti berikut : 1. Bertindak sebagai fasilitator dan motivator dalam proses pembelajaran. 2. Mengkaji kompetensi mata pelajaran yang perlu dikuasai siswa di akhir pembelajaran 3. Merancang strategi dan lingkungan pembelajaran dengan menyediakan berbagai pengalaman belajar yang diperlukan siswa dalam rangka mencapai kompetensi yang dibebankan pada mata pelajaran yang diampu. 4. Membantu siswa mengakses informasi, menata dan memprosesnya untuk dimanfaatkan dalam memecahkan permasalahan nyata. 5. Mengidentifikasi dan menentukan pola penilaian hasil belajar siswa yang relevan dengan kompetensinya. Sementara itu, peran yang harus dilakukan siswa dalam pembelajaran SCL adalah: 1) Mengkaji kompetensi mata pelajaran yang dipaparkan guru 2) Mengkaji strategi pembelajaran yang ditawarkan guru 3) Membuat rencana pembelajaran untuk mata pelajaran yang diikutinya 4) Belajar secara aktif (dengan cara mendengar, membaca, menulis, diskusi, dan terlibat dalam pemecahan masalah serta lebih penting lagi terlibat dalam kegiatan berfikir. 5) tingkat tinggi seperti analisis, sintesis dan evaluasi), baik secara individu maupun berkelompok. 6) Mengoptimalkan kemampuan dirinya. Sedangkan Pada TCL, peran siswa untuk aktif dalam pembelajaran menjadi terbatas. Perbaikan dari metode ini biasa ya berupa diskusi tanya jawab tetapi dengan tetap mengedepankan peran guru dalam pendidikan dan pelatihan. Dalam bahasa lain, ilmu pengetahuan dianggap sudah jadi dan guru disini dikatakan melakukan *transfer of knowledge*.

5. Teacher Centered Learning (TCL)

Menurut Smith dalam Sanjaya yang dikutip ulang oleh Parwati bahwa *Teacher Centered Teaching (TCL)* adalah suatu pendekatan belajar yang berdasar pada pandangan bahwa mengajar adalah menanamkan pengetahuan dan keterampilan. Selanjutnya Parwati menegaskan Cara pandang ini memiliki beberapa ciri sebagai berikut:

- a. Memakai pendekatan berpusat pada guru, yakni gurulah yang harus menjadi pusat dalam pembelajaran.

- b. Siswa ditempatkan sebagai objek belajar. Siswa dianggap sebagai organisme yang pasif, sebagai penerima informasi yang diberikan guru.
- c. Kegiatan pembelajaran terjadi pada tempat dan waktu tertentu. Siswa hanya belajar manakala ada kelas yang telah didesain sedemikian rupa sebagai tempat belajar.

Tujuan utama pembelajaran adalah penguasaan materi pelajaran. Keberhasilan suatu proses pengajaran diukur dari sejauh mana siswa dapat menguasai materi pelajaran yang disampaikan guru. Di Indonesia sistem pembelajaran pada hampir semua sekolah masih bersifat satu arah, karena yang ingin dicapai adalah bagaimana guru bisa mengajar dengan baik sehingga yang terjadi adalah hanya transfer pengetahuan. Modifikasi model pembelajaran *TCL* telah banyak dilakukan, antara lain mengkombinasikan *lecturing* (ceramah) dengan Tanya jawab dan pemberian tugas namun hasil yang dihasilkan masih dianggap belum optimal.

Dampak dari sistem pembelajaran *TCL* adalah guru kurang mengembangkan bahan pembelajaran dan cenderung seadanya (monoton). Guru mulai tampak tergerak untuk mengembangkan bahan pembelajaran dengan banyak membaca jurnal atau *download* artikel hasil-hasil penelitian terbaru dari internet, jika siswanya mempunyai kreativitas tinggi, banyak bertanya, atau sering mengajak diskusi.

6. Student Centered Learning (SCL)

Menurut Harsono, *Student Centered Learning* merupakan pendekatan dalam pembelajaran yang memfasilitasi pembelajar untuk terlibat dalam proses *Experiential Learning* (pengalaman belajar). Model pembelajaran *SCL* pada saat ini diusulkan menjadi model pembelajaran yang sebaiknya digunakan karena memiliki beberapa keunggulan:

- a. Peserta didik dapat merasakan bahwa pembelajaran menjadi miliknya sendiri, karena diberi kesempatan yang luas untuk berpartisipasi.

- b. Peserta didik memiliki motivasi yang kuat untuk mengikuti kegiatan pembelajaran.
- c. Tumbuhnya suasana demokratis dalam pembelajaran, sehingga terjadi dialog dan diskusi untuk saling belajar membelajarkan di antara siswa.
- d. Menambah wawasan pikiran dan pengetahuan bagi guru karena sesuatu yang dialami dan disampaikan belum diketahui sebelumnya oleh guru.

Keunggulan-keunggulan yang dimiliki model pembelajaran *SCL* tersebut akan mampu mendukung upaya ke arah pembelajaran yang efektif dan efisien. Pada sistem pembelajaran *SCL* siswa dituntut aktif mengerjakan tugas dan mendiskusikannya dengan guru sebagai fasilitator. Dengan aktifnya siswa, maka kreatifitas siswa akan terpupuk. Kondisi tersebut akan mendorong guru untuk selalu mengembangkan dan menyesuaikan materi pembelajarannya dengan perkembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK). Dengan demikian guru bukan lagi sebagai sumber belajar utama, melainkan sebagai “mitra belajar”.

7. Penerapan *SCL* pada Pembelajaran

Penerapan *SCL* dapat diartikan sebagai kegiatan yang terprogram dalam desain *FEE* (*Facilitating, Empowering, Enabling*), untuk siswa belajar secara aktif yang menekankan pada sumber belajar. Dengan demikian, pembelajaran merupakan proses pengembangan kreativitas berpikir yang dapat meningkatkan kemampuan berpikir siswa, serta dapat meningkatkan dan mengkonstruksi pengetahuan baru sebagai upaya meningkatkan penguasaan dan pengembangan yang baik terhadap materi. *SCL* adalah pembelajaran yang berpusat pada aktivitas belajar siswa, bukan hanya pada aktivitas guru mengajar. Hal ini sesuai dengan model pembelajaran yang terprogram dalam desain *FEE*. Situasi pembelajaran dalam *SCL* diantaranya memiliki ciri-ciri:

- a. Siswa belajar baik secara individu maupun berkelompok untuk membangun pengetahuan.
- b. Guru lebih berperan sebagai *FEE* dan *guides on the sides* daripada sebagai *mentor in the centered*.
- c. Siswa tidak sekedar kompeten dalam bidang ilmu, akan tetapi kompeten dalam belajar.
- d. Belajar menjadi kegiatan komunitas yang difasilitasi oleh guru, yang mampu mengelola pembelajarannya menjadi berorientasi pada siswa.
- e. Belajar lebih dimaknai sebagai belajar sepanjang hayat (*life long learning*), suatu keterampilan yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari.
- f. Belajar termasuk memanfaatkan teknologi yang tersedia.

Selanjutnya Hadi mengatakan bahwa Sebuah sekolah yang menerapkan metode pembelajaran dengan model *SCL* mempunyai beberapa karakteristik yang dapat dijumpai, antara lain: (a) Adanya berbagai aktivitas dan tempat belajar, (b) Display hasil karya siswa, (c) Tersedia banyak materi dan fasilitas belajar, (d) Tersedia banyak tempat yang nyaman untuk berdiskusi, (e) Terjadi kelompok-kelompok dan interaksi multiangkatan atau kelas, (f) Ada keterlibatan masyarakat, (g) Jam buka perpustakaan fleksibel.

Menurut Ramdhani yang dikutip oleh Kurdi, dalam proses pembelajaran model *SCL* guru memiliki peran yang penting dalam pelaksanaan model ini yang meliputi bertindak sebagai fasilitator dalam proses pembelajaran, mengkaji kompetensi mata pelajaran yang perlu dikuasai oleh siswa di akhir pembelajaran, dan lain lain.

8. Perlunya Memiliki High Order Thinking Skill

Berpikir adalah aktifitas mencurahkan daya pikir untuk maksud tertentu. Berpikir adalah identitas yang memisahkan status kemanusiaan manusia dengan lainnya. Karenanya sejauhmana manusia pantas disebut manusia dapat dibedakan dengan sejauhmana pula ia menggunakan pikirannya. *Al-Insan huwa al-Hayawanun Nathiq*. Dalam dunia pendidikan berpikir merupakan bagian dari ranah kognitif, dimana dalam hirarki Bloom terdiri dari tingkatan-tingkatan. Bloom mengkategorikan ranah kognitif ke dalam enam tingkatan: (1) pengetahuan (*knowledge*); (2) pemahaman (*comprehension*); (3) penerapan (*application*); (4) menganalisis (*analysis*); (5) mensintesis (*synthesis*); dan (6) menilai (*evaluation*). Keenam tingkatan ini merupakan rangkaian tingkatan berpikir manusia. Berdasarkan tingkatan tersebut, maka dapat diketahui bahwa berpikir untuk mengetahui merupakan tingkatan berpikir yang paling bawah (*lower*) sedangkan tingkatan berpikir paling tertinggi (*higher*) adalah menilai.

Merujuk definisi dalam Wikipedia Indonesia, berpikir tingkat tinggi adalah: *a concept of Education reform based on learning taxonomies such as Bloom's Taxonomy. The idea is that some types of learning require more cognitive processing than others, but also have more generalized benefits. In Bloom's taxonomy, for example, skills involving analysis, evaluation and synthesis (creation of new knowledge) are thought to be of a higher order, requiring different learning and teaching methods, than the learning of facts and concepts. Higher order thinking involves the learning of complex judgmental skills such as critical thinking and problem solving. Higher order thinking is more difficult to learn or teach but also more valuable because such skills are more likely to be usable in novel situations (i.e., situations other than those in which the skill was learned).*

Dari definisi tersebut maka dapat diketahui bahwa berpikir tingkat tinggi membutuhkan berbagai langkah-langkah pembelajaran dan pengajaran yang berbeda dengan hanya sekedar mempelajari fakta dan konsep semata. Dalam berpikir tingkat tinggi meliputi aktivitas pembelajaran terhadap keterampilan dalam memutuskan hal-hal yang bersifat kompleks semisal berpikir kritis dan berpikir

dalam memecahkan masalah. Meski memang berpikir tingkat tinggi sulit untuk dipelajari dan diajarkan, namun kegunaannya sudah tidak diragukan lagi.

Alice Thomas dan Glenda menyatakan bahwa berpikir tingkat tinggi adalah berpikir pada tingkat lebih tinggi daripada sekedar menghafalkan fakta atau mengatakan sesuatu kepada seseorang persis seperti sesuatu itu diceritakan kepada kita. Pada saat seseorang menghafalkan dan menyampaikan kembali informasi tersebut tanpa harus memikirkannya, disebut memori hafalan (*rote memory*). Orang tersebut tak berbeda dengan robot, bahkan ia melakukan apapun yang diprogram dilakukannya, sehingga ia juga tidak dapat berpikir untuk dirinya sendiri. Berpikir tingkat tinggi secara singkat dapat dikatakan sebagai pencapaian berpikir kepada pemikiran tingkat tinggi dari sekedar pengulangan fakta-fakta. Berpikir tingkat tinggi mengharuskan kita melakukan sesuatu atas fakta-fakta. Kita harus memahaminya, menghubungkan satu sama lainnya, mengkategorikan, memanipulasi, menempatkannya bersama-sama dengan cara-cara baru, dan menerapkannya dalam mencari solusi baru terhadap persoalan-persoalan baru.

Bagi sebagian orang berpikir tingkat tinggi dapat dilakukan dengan mudahnya, tetapi bagi orang lain belum tentu dapat dilakukan. Meski demikian bukan berarti berpikir tingkat tinggi tidak dapat dipelajari. Alison menyatakan bahwa seperti halnya keterampilan pada umumnya, berpikir tingkat tinggi dapat dipelajari oleh setiap orang. Lebih lanjut ia menyatakan bahwa berpikir tingkat tinggi dalam praktiknya bahwa keterampilan berpikir tingkat tinggi baik pada anak-anak maupun orang dewasa dapat berkembang. Langkah paling awal yang dapat dilakukan adalah dengan mengenal dan mempelajari apa “berpikir tingkat tinggi itu?”

Berkenaan dengan berpikir tingkat tinggi, ada beberapa fakta singkat yang perlu ketahui sebagai berikut.

1. Tidak ada seorang di dunia ini yang mampu berpikir sempurna sama seperti halnya tak ada seorangpun yang memiliki kekuatan berpikir yang buruk sepanjang waktunya.
2. Keterampilan seseorang dalam menggunakan daya pikir sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor dan kondisi. Dengan demikian orang yang dipandang pandai dan

pintar mungkin saja dapat berpikir lebih buruk daripada orang yang paling bodoh tetapi berada pada tempat yang cocok.

Fakta ini juga menunjukkan bahwa di dunia ini tidak ada orang yang benar-benar paling pintar dan tidak ada orang yang bodoh sama sekali. Menghafal sesuatu tidak sama dengan memikirkan sesuatu. Menghapalkan merupakan aktifitas dalam merekam sesuatu apa adanya, tak kurang dan tak lebih. Sedangkan memikirkan sesuatu berarti mempergunakan daya pikirnya dalam rangka mengetahui, memahami, membandingkan, menerapkan dan menilai sesuatu tersebut. Dalam menghafal aktivitas pikir bersifat lebih sederhana dibandingkan dengan memikirkan. Mengingat pacar tentu berbeda dengan memikirkan pacar! Kita dapat mengingat sesuatu dengan tanpa memahaminya. Salah satu kelebihan manusia adalah kemampuan manusia dalam merekam apapun yang didengar, dilihat dan dirasakannya apalagi pada saat proses perekaman tersebut terdapat kesan yang memperkuat, meski kadang apa yang kita dengar, kita lihat dan kita rasakan itu tidak pernah kita mengerti. Misalnya ketika anak TK diwajibkan menghafalkan satu persatu butir-butir Pancasila, mereka mampu menghafalnya dengan fasih meski kadang tidak tahu artinya. Seperti mimpi, kita merasakan apa yang terjadi dalam mimpi seolah-olah nyata meski kadang kita sendiri tiak pernah dapat memahaminya. Berpikir dilakukan dalam dua bentuk: kata dan gambar. Kata maupun gambar adalah simbol-simbol yang mendorong otak manusia untuk mengingat dan menyelami maknanya dalam kegiatan berpikir. Kata merupakan simbol dari apa yang kita dengar dan kita baca, sedangkan gambar merepresentasikan dari apa yang kita lihat dan kita bayangkan. Ada tiga jenis utama intelijen dan kemampuan berpikir: analitis, kreatif dan praktis. Berpikir analisis disebut juga berpikir kritis. Ciri khusus berpikir analisis adalah melibatkan proses berpikir logis dan penalaran termasuk keterampilan seperti perbandingan, klasifikasi, pengurutan, penyebab/efek, pola, anyaman, analogi, penalaran deduktif dan induktif, peramalan, perencanaan, hyphothesizing, dan critiquing. Berpikir kreatif adalah proses berpikir yang melibatkan menciptakan sesuatu yang baru atau asli. Ini melibatkan keterampilan

fleksibilitas, orisinalitas, kefasihan, elaborasi, brainstorming, modifikasi, citra, pemikiran asosiatif, atribut daftar, berpikir metaforis, membuat hubungan. Tujuan dari berpikir kreatif adalah merangsang rasa ingin tahu dan menampakkan perbedaan. Inti dari berpikir praktis, sebagaimana dikemukakan Edward De Bono adalah bagaimana pikiran itu bekerja, bukan bagaimana seorang filosof berpikir bahwa sesuatu itu dapat bekerja. Ketiga kecerdasan dan cara berpikir (analitic, kreatif dan praktis) berguna dalam kehidupan sehari-hari. Dalam kenyataannya kita terpaku terhadap salah satu cara berpikir saja. Dalam kondisi dan keadaan tertentu, kita lebih banyak menggunakan cara berpikir analitis ketimbang lainnya. Dalam kondisi lainnya berpikir kreatif lebih dituntut oleh kita, sedangkan dalam kondisi tertentu pula kita lebih memilih untuk berpikir secara praktis. Kita dapat meningkatkan kemampuan berpikir dengan cara memahami proses-proses yang melibatkan kegiatan berpikir. Dengan membiasakan diri dalam kegiatan-kegiatan yang membutuhkan aktivitas berpikir, otak kita akan terdidik dan terbiasa untuk berpikir. Dengan kebiasaan ini, maka akan menghasilkan peningkatan kemampuan kita dalam berpikir. Orang yang lebih cenderung menggunakan otot ketimbang otak, tentu peningkatan kemampuan berpikirnya akan lambat disbanding mereka yang kehidupan sehari-harinya selalu membutuhkan proses berpikir. Berpikir metakognisi merupakan bagian dari berpikir tingkat tinggi. Metakognisi didefinisikan "*cognition about cognition*" atau "*knowing about knowing*". Dalam kata lain, meta cognition dapat diartikan "*learning about learning*" (belajar tentang belajar). Metakognisi dapat terdiri dari banyak bentuk, tetapi juga mencakup pengetahuan tentang kapan dan bagaimana menggunakan strategi-strategi khusus untuk belajar atau untuk pemecahan masalah. Selain metakognisi terdapat istilah lain yang hamper sama, yaitu metamemory yang didefinisikan sebagai "*knowing about memory*" dan "*memoric strategy*", ia merupakan bentuk penting dari metakognisi.

Bahan Bacaan 2 :

1. Pengertian Pendekatan Saintifik

Proses pembelajaran merupakan suatu proses yang mengandung serangkaian kegiatan mulai dari perencanaan, pelaksanaan hingga penilaian. Pembelajaran adalah proses interaksi antar peserta didik dan antara peserta didik dengan pendidik dan sumber belajar pada suatu lingkungan belajar yang berlangsung secara edukatif, agar peserta didik dapat membangun sikap, pengetahuan dan keterampilannya untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Pembelajaran dengan pendekatan saintifik adalah pembelajaran yang terdiri atas kegiatan mengamati (untuk mengidentifikasi hal-hal yang ingin diketahui), merumuskan pertanyaan (dan



merumuskan hipotesis), mencoba/mengumpulkan data (informasi) dengan berbagai teknik, mengasosiasi/ menganalisis/mengolah data (informasi) dan menarik kesimpulan serta mengkomunikasikan hasil yang terdiri dari kesimpulan untuk memperoleh pengetahuan, keterampilan dan sikap. Langkah-langkah tersebut dapat dilanjutkan dengan kegiatan mencipta.

Kurikulum 2013 mengembangkan sikap spiritual, sikap sosial, pengetahuan, dan keterampilan peserta didik. (Permendikbud Nomor 54/2013) Bagaimana Kurikulum

2013 memfasilitasi peserta didik memperoleh nilai-nilai, pengetahuan, dan keterampilan secara berimbang?, bagaimana proses pembelajaran dilaksanakan?

Proses pembelajaran mengacu pada prinsip-prinsip sebagai berikut:

- Dari peserta didik diberi tahu menuju peserta didik mencari tahu;
- Dari guru sebagai satu-satunya sumber belajar menjadi belajar berbasis aneka sumber belajar;
- Dari pendekatan tekstual menuju proses sebagai penguatan penggunaan pendekatan ilmiah;
- Dari pembelajaran berbasis konten menuju pembelajaran berbasis kompetensi;
- Dari pembelajaran yang menekankan jawaban tunggal menuju pembelajaran dengan jawaban yang kebenarannya multi dimensi;
- Dari pembelajaran verbalisme menuju keterampilan aplikatif;
- Peningkatan dan keseimbangan antara keterampilan fisikal (*hardskills*) dan keterampilan mental (*softskills*);
- Pembelajaran yang mengutamakan pembudayaan dan pemberdayaan peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat;
- Pembelajaran yang menerapkan nilai-nilai dengan memberi keteladanan (ing ngarso sung tulodo), membangun kemauan (ing madyo mangun karso), dan mengembangkan kreativitas peserta didik dalam proses pembelajaran (tut wuri handayani);
- Pembelajaran yang berlangsung di rumah, di sekolah, dan di masyarakat;
- Pembelajaran yang menerapkan prinsip bahwa siapa saja adalah guru, siapa saja adalah siswa, dan di mana saja adalah kelas.
- Pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran; dan
- Pengakuan atas perbedaan individual dan latar belakang budaya peserta didik.
- peserta didik difasilitasi untuk mencari tahu;
- peserta didik belajar dari berbagai sumber belajar;
- proses pembelajaran menggunakan pendekatan ilmiah;
- pembelajaran berbasis kompetensi;

- pembelajaran terpadu;
- pembelajaran yang menekankan pada jawaban divergen yang memiliki kebenaran multi dimensi;
- pembelajaran berbasis keterampilan aplikatif;
- peningkatan keseimbangan, kesinambungan, dan keterkaitan antara *hard-skills* dan *soft-skills*;
- pembelajaran yang mengutamakan pembudayaan dan pemberdayaan peserta didik sebagai pembelajar sepanjang hayat;
- pembelajaran yang menerapkan nilai-nilai dengan memberi keteladanan (Ing Ngarso Sung Tulodo), membangun kemauan (Ing Madyo Mangun Karso), dan mengembangkan kreativitas peserta didik dalam proses pembelajaran (Tut Wuri Handayani);
- pembelajaran yang berlangsung di rumah, di sekolah, dan di masyarakat;
- pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pembelajaran;
- pengakuan atas perbedaan individual dan latar belakang budaya peserta didik; dan
- suasana belajar menyenangkan dan menantang.

Berikut contoh kegiatan belajar dan deskripsi langkah-langkah pendekatan saintifik pada pembelajaran kurikulum 2013 adalah:

- 1) Mengamati: membaca, mendengar, menyimak, melihat (tanpa atau dengan alat) untuk mengidentifikasi hal-hal yang ingin diketahui - Mengamati dengan indra (membaca, mendengar, menyimak, melihat, menonton, dan sebagainya) dengan atau tanpa alat.
- 2) Menanya: mengajukan pertanyaan tentang hal-hal yang tidak dipahami dari apa yang diamati atau pertanyaan untuk mendapatkan informasi tambahan tentang apa yang diamati - Membuat dan mengajukan pertanyaan, tanya jawab, berdiskusi tentang informasi yang belum dipahami, informasi tambahan yang ingin diketahui, atau sebagai klarifikasi.

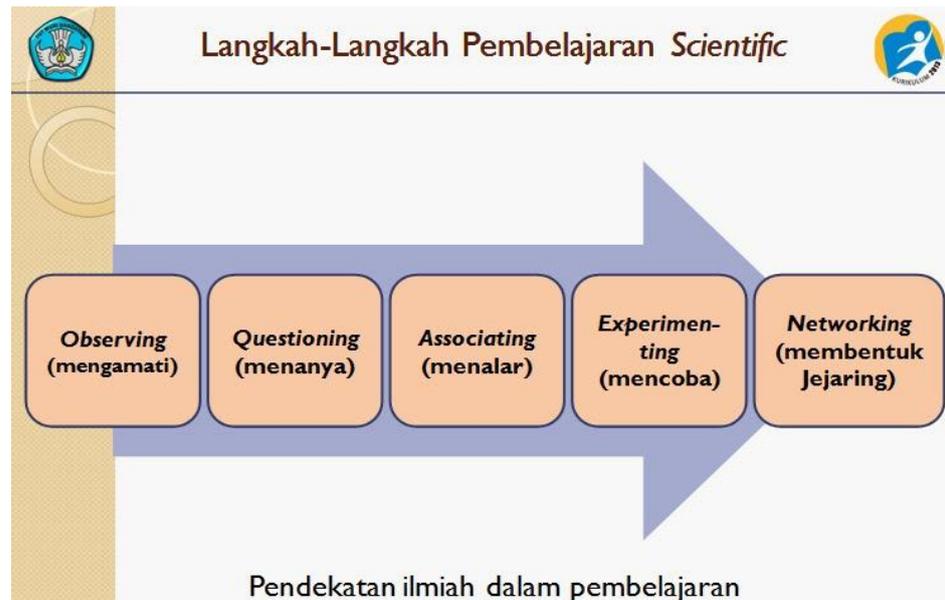
- 3) Mencoba/mengumpulkan data (informasi): melakukan eksperimen, membaca sumber lain dan buku teks, mengamati objek/kejadian/aktivitas, wawancara dengan narasumber - Mengeksplorasi, mencoba, berdiskusi, mendemonstrasikan, meniru bentuk/gerak, melakukan eksperimen, membaca sumber lain selain buku teks, mengumpulkan data dari nara sumber melalui angket, wawancara, dan memodifikasi/ menambahi/mengembangkan.
- 4) Mengasosiasikan/mengolah informasi: siswa mengolah informasi yang sudah dikumpulkan baik terbatas dari hasil kegiatan mengumpulkan/eksperimen maupun hasil dari kegiatan mengamati dan kegiatan mengumpulkan informasi - mengolah informasi yang sudah dikumpulkan, menganalisis data dalam bentuk membuat kategori, mengasosiasi atau menghubungkan fenomena/informasi yang terkait dalam rangka menemukan suatu pola, dan menyimpulkan.
- 5) Mengkomunikasikan: siswa menyampaikan hasil pengamatan, kesimpulan berdasarkan hasil analisis secara lisan, tertulis, atau media lainnya - menyajikan laporan dalam bentuk bagan, diagram, atau grafik; menyusun laporan tertulis; dan menyajikan laporan meliputi proses, hasil, dan kesimpulan secara lisan.
- 6) (Dapat dilanjutkan dengan) Mencipta: siswa menginovasi, mencipta, mendisain model, rancangan, produk (karya) berdasarkan pengetahuan yang dipelajari.

2. Langkah-langkah Pendekatan Pembelajaran Sainifik

Implementasi kurikulum 2013 menuntut penerapan pembelajaran berbasis kreatifitas. Pendekatan pembelajaran berbasis kreatifitas dapat dicapai melalui pendekatan pembelajaran saintifik (5M) secara konsisten. Proses pembelajaran yang mengacu pada pembelajaran berpendekatan saintifik, meliputi lima langkah sebagai berikut:

- a. **Mengamati**, yaitu kegiatan siswa untuk mengidentifikasi melalui indera penglihat (membaca, menyimak), pembau, pendengar, pengecap dan peraba pada waktu mengamati suatu objek dengan ataupun tanpa alat bantu. Alternatif kegiatan mengamati antara lain observasi lingkungan, mengamati gambar,

video, tabel dan grafik data, menganalisis peta, membaca berbagai informasi yang tersedia di media masa dan internet maupun sumber lain. Bentuk hasil belajar dari kegiatan mengamati adalah **siswa dapat mengidentifikasi masalah**.



- b. **Menanya**, yaitu kegiatan siswa untuk mengungkapkan apa yang ingin diketahuinya baik yang berkenaan dengan suatu **objek**, peristiwa, suatu proses tertentu. Dalam kegiatan menanya, siswa membuat pertanyaan secara individu atau kelompok tentang apa yang belum diketahuinya. Siswa dapat mengajukan pertanyaan kepada guru, nara sumber, siswa lainnya dan atau kepada diri sendiri dengan bimbingan guru hingga siswa dapat mandiri dan menjadi kebiasaan. Pertanyaan dapat diajukan secara lisan dan tulisan serta harus dapat membangkitkan motivasi siswa untuk tetap aktif dan gembira. Bentuknya dapat berupa kalimat pertanyaan dan kalimat hipotesis. Hasil belajar dari kegiatan menanya adalah **siswa dapat merumuskan masalah dan merumuskan hipotesis**.

- c. **Mengumpulkan data**, yaitu kegiatan siswa untuk mencari informasi sebagai bahan untuk dianalisis dan disimpulkan. Kegiatan mengumpulkan data dapat dilakukan dengan cara membaca buku, mengumpulkan data sekunder, observasi lapangan, uji coba (eksperimen), wawancara, menyebarkan kuesioner, dan lain-lain. Hasil belajar dari kegiatan mengumpulkan data adalah **siswa dapat menguji hipotesis**.
- d. **Mengasosiasi**, yaitu kegiatan siswa mengolah data dalam bentuk serangkaian aktivitas fisik dan pikiran dengan bantuan peralatan tertentu. Bentuk kegiatan mengolah data antara lain melakukan **klasifikasi**, pengurutan (*sorting*), menghitung, membagi, dan menyusun data dalam bentuk yang lebih informatif, serta menentukan sumber data sehingga lebih bermakna. Kegiatan siswa dalam mengolah data misalnya membuat tabel, grafik, bagan, peta konsep, menghitung, dan pemodelan. Selanjutnya siswa menganalisis data untuk membandingkan ataupun menentukan hubungan antara data yang telah diolahnya dengan teori yang ada sehingga dapat ditarik simpulan dan atau ditemukannya prinsip dan konsep penting yang bermakna dalam menambah skema kognitif, meluaskan pengalaman, dan wawasan pengetahuannya. Hasil belajar dari kegiatan menalar/mengasosiasi adalah **siswa dapat menyimpulkan hasil kajian dari hipotesis**.
- e. **Mengomunikasikan** yaitu kegiatan siswa mendeskripsikan dan menyampaikan hasil temuannya dari kegiatan mengamati, menanya, mengumpulkan dan mengolah data, serta mengasosiasi yang ditujukan kepada orang lain baik secara lisan maupun tulisan dalam bentuk diagram, bagan, gambar, dan sejenisnya dengan bantuan perangkat teknologi sederhana dan atau teknologi informasi dan komunikasi. Hasil belajar dari kegiatan mengkomunikasikan adalah **siswa dapat memformulasikan dan mempertanggungjawabkan pembuktian hipotesis**.

Tabel 1 memperlihatkan kaitan antara langkah pembelajaran saintifik dengan berbagai deskripsi kegiatan belajar serta kompetensi dalam bentuk hasil belajar.

Tabel 1. 1 Keterkaitan antara Langkah Pembelajaran dengan Kegiatan Belajar Dan Hasilnya

Langkah Pembelajaran	Deskripsi Kegiatan	Bentuk Hasil Belajar
Mengamati <i>(observing)</i>	Mengamati dengan indra (membaca, mendengar, menyimak, melihat, menonton, dan sebagainya) dengan atau tanpa alat	Perhatian pada waktu mengamati suatu objek/membaca suatu tulisan/mendengar suatu penjelasan, catatan yang dibuat tentang yang diamati, kesabaran, waktu (<i>on task</i>) yang digunakan untuk mengamati. Kompetensi utama: mengidentifikasi masalah
Menanya <i>(questioning)</i>	Membuat dan mengajukan pertanyaan, tanya jawab, berdiskusi tentang informasi yang belum dipahami, informasi tambahan yang ingin diketahui, atau sebagai klarifikasi.	Jenis, kualitas, dan jumlah pertanyaan yang diajukan peserta didik (pertanyaan faktual, konseptual, prosedural, dan hipotetik) Kompetensi utama: merumuskan masalah, menentukan hipotesis
Mengumpulkan informasi/ mencoba <i>(experimenting)</i>	Mengeksplorasi, mencoba, berdiskusi, mendemonstrasikan, meniru bentuk/gerak, melakukan eksperimen, membaca sumber lain selain	Jumlah dan kualitas sumber yang dikaji/digunakan, kelengkapan informasi, validitas informasi yang dikumpulkan, dan instrumen/alat yang digunakan untuk mengumpulkan

Langkah Pembelajaran	Deskripsi Kegiatan	Bentuk Hasil Belajar
	buku teks, mengumpul-kan data dari nara sumber melalui angket, wawancara, dan memodifikasi/ menambahi/me- ngembangkan	data. Kompetensi utama: menguji hipotesis
Menalar/Mengasosiasi <i>(associating)</i>	Mengolah informasi yang sudah dikumpulkan, menganalisis data dalam bentuk membuat kategori, mengasosiasi atau menghubungkan fenomena/informasi yang terkait dalam rangka menemukan suatu pola, dan menyimpulkan.	Mengembangkan interpretasi, argumentasi dan kesimpulan mengenai keterkaitan informasi dari dua fakta/konsep, atau lebih dari dua fakta/konsep/teori. Mensintesis dan argumentasi serta kesimpulan keterkaitan antar berbagai jenis fakta-fakta/konsep/teori/pendapat. Mengembangkan interpretasi, struktur baru, argumentasi, dan kesimpulan yang menunjukkan hubungan fakta/konsep/teori dari dua sumber atau lebih yang tidak bertentangan. Mengembangkan interpretasi, struktur baru, argumentasi dan kesimpulan dari konsep/teori/pendapat yang berbeda dari berbagai jenis sumber. Kompetensi utama: menganalisis,

Langkah Pembelajaran	Deskripsi Kegiatan	Bentuk Hasil Belajar
		membuktikan hipotesis.
Mengomunikasikan (<i>communicating</i>)	menyajikan laporan dalam bentuk bagan, diagram, atau grafik; menyusun laporan tertulis; dan menyajikan laporan meliputi proses, hasil, dan kesimpulan secara lisan	Menyajikan hasil kajian (dari mengamati sampai menalar) dalam bentuk tulisan, grafis, media elektronik, multi media dan lain-lain Kompetensi utama: memformulasikan dan mempertanggung jawabkan pembuktian hipotesis.

3. Peran Guru Dengan Pendekatan Saintifik

Dalam implementasi kurikulum 2013, guru tidak hanya sekedar membiarkan peserta didik memperoleh/mengkonstruksi pengetahuan sendiri, namun guru memberi setiap bantuan yang diperlukan oleh peserta didik, seperti : bertindak sebagai fasilitator, mengatur/mengarahkan kegiatan-kegiatan belajar, memberi umpan balik, memberikan penjelasan, memberi konfirmasi, dan lain-lain.

Peran guru dalam pembelajaran dengan pendekatan saintifik pada implementasi kurikulum 2013 adalah sebagai berikut :

1. Tahap mengamati:

Membantu peserta didik menemukan/mendaftar/menginventarisasi apa saja yang ingin/perlu diketahui sehingga dapat melakukan/menciptakan sesuatu.

2. Tahap Menanya:

Membantu peserta didik merumuskan pertanyaan berdasarkan daftar hal-hal yang perlu/ingin diketahui agar dapat melakukan/menciptakan sesuatu.

3. Tahap Mencoba/mengumpulkan data (informasi):

Membantu peserta didik merencanakan dan memperoleh data/informasi untuk menjawab pertanyaan yang telah dirumuskan.

4. Tahap Mengasosiasikan/menganalisis/mengolah data (informasi):

Membantu peserta didik mengolah/menganalisis data/informasi dan menarik kesimpulan.

5. Tahap Mengkomunikasikan:

Manager, pemberi umpan balik, pemberi penguatan, pemberi penjelasan/informasi lebih luas.

6. Tahap Mencipta:

Memberi contoh/gagasan, menyediakan pilihan, memberi dorongan, memberi penghargaan, sebagai anggota yang terlibat langsung.

4. Bentuk Keterlibatan Peserta Didik Dalam Observasi

Pengamatan atau observasi adalah aktivitas yang dilakukan makhluk cerdas, terhadap suatu proses atau objek dengan maksud merasakan dan kemudian memahami pengetahuan dari sebuah fenomena berdasarkan pengetahuan dan gagasan yang sudah diketahui sebelumnya, untuk mendapatkan informasi-informasi yang dibutuhkan untuk melanjutkan suatu penelitian. Di dalam penelitian, observasi dapat dilakukan dengan tes, kuesioner, rekaman gambar dan rekaman suara.

Metode mengamati / observasi mengutamakan kebermaknaan proses pembelajaran (*meaningfull learning*). Metode ini memiliki keunggulan tertentu, seperti menyajikan media obyek secara nyata, peserta didik senang dan tertantang, dan mudah pelaksanaannya. Dalam pelaksanaannya, proses mengamati memerlukan waktu persiapan yang lama dan matang, biaya dan tenaga relatif banyak, dan jika tidak terkendali akan mengaburkan makna serta tujuan pembelajaran.

Namun metode mengamati sangat bermanfaat bagi pemenuhan rasa ingin tahu peserta didik karena peserta didik yang terlibat dalam proses mengamati akan dapat menemukan fakta bahwa ada hubungan antara obyek yang dianalisis dengan materi pembelajaran yang digunakan oleh guru.

Langkah-Langkah Mengamati / Observasi adalah :

- a. Menentukan objek apa yang akan diobservasi
- b. Membuat pedoman observasi sesuai dengan lingkup objek yang akan diobservasi

- c. Menentukan secara jelas data-data apa yang perlu diobservasi, baik primer maupun sekunder
- d. Menentukan di mana tempat objek yang akan diobservasi
- e. Menentukan secara jelas bagaimana observasi akan dilakukan untuk mengumpulkan data agar berjalan mudah dan lancar
- f. Menentukan cara dan melakukan pencatatan atas hasil observasi , seperti menggunakan buku catatan, kamera, tape recorder, video perekam, dan alat-alat tulis lainnya.

Jenis Observasi, di antaranya:

- a. Observasi biasa (*common observation*).
- b. Observasi terkendali (*controlled observation*).
- c. Observasi partisipatif (*participant observation*).
- d. Menentukan di mana tempat objek yang akan diobservasi
- e. Menentukan secara jelas bagaimana observasi akan dilakukan untuk mengumpulkan data agar berjalan mudah dan lancar
- f. Menentukan cara dan melakukan pencatatan atas hasil observasi , seperti menggunakan buku catatan, kamera, tape recorder, video perekam, dan alat-alat tulis lainnya.

Kegiatan observasi dalam proses pembelajaran meniscayakan keterlibatan peserta didik secara langsung. Dalam kaitan ini, guru harus memahami bentuk keterlibatan peserta didik dalam observasi :

- a. Observasi biasa (*common observation*)
 Pada observasi biasa untuk kepentingan pembelajaran, peserta didik merupakan subjek yang sepenuhnya melakukan observasi (*complete observer*). Di sini peserta didik sama sekali tidak melibatkan diri dengan pelaku, objek, atau situasi yang diamati.
- b. Observasi terkendali (*controlled observation*)

Seperti halnya observasi biasa, pada observasi terkendali untuk kepentingan pembelajaran, peserta didik sama sekali tidak melibatkan diri dengan pelaku, objek, atau situasi yang diamati. Mereka juga tidak memiliki hubungan apa pun dengan pelaku, objek, atau situasi yang diamati. Namun demikian, berbeda dengan observasi biasa, pada observasi terkendali pelaku atau objek yang diamati ditempatkan pada ruang atau situasi yang dikhususkan. Karena itu, pada pembelajaran dengan observasi terkendali termuat nilai-nilai percobaan atau eksperimen atas diri pelaku atau objek yang diobservasi.

c. Observasi partisipatif (*participant observation*)

Pada observasi partisipatif, peserta didik melibatkan diri secara langsung dengan pelaku atau objek yang diamati. Sejatinya, observasi semacam ini paling lazim dilakukan dalam penelitian antropologi khususnya etnografi. Observasi semacam ini mengharuskan peserta didik melibatkan diri pada pelaku, komunitas, atau objek yang diamati. Di bidang pengajaran bahasa, misalnya, dengan menggunakan pendekatan ini berarti peserta didik hadir dan “bermukim” langsung di tempat subjek atau komunitas tertentu dan pada waktu tertentu pula untuk mempelajari bahasa atau dialek setempat, termasuk melibatkan diri secara langsung dalam situasi kehidupan mereka.

Selama proses pembelajaran, peserta didik dapat melakukan observasi dengan dua cara pelibatan diri. Kedua cara pelibatan dimaksud yaitu observasi berstruktur dan observasi tidak berstruktur, seperti dijelaskan berikut ini :

- a. Observasi berstruktur. Pada observasi berstruktur dalam rangka proses pembelajaran, fenomena subjek, objek, atau situasi apa yang ingin diobservasi oleh peserta didik telah direncanakan oleh secara sistematis di bawah bimbingan guru.
- b. Observasi tidak berstruktur. Pada observasi yang tidak berstruktur dalam rangka proses pembelajaran, tidak ditentukan secara baku atau riid mengenai apa yang harus diobservasi oleh peserta didik. Dalam kerangka ini, peserta didik membuat

catatan, rekaman, atau mengingat dalam memori secara spontan atas subjek, objektif, atau situasi yang diobservasi.

Prinsip-rinsip yang harus diperhatikan oleh guru dan peserta didik selama observasi pembelajaran adalah :

- a. Cermat, objektif, dan jujur serta terfokus pada objek yang diobservasi untuk kepentingan pembelajaran.
- b. Banyak atau sedikit serta homogenitas atau heterogenitas subjek, objek, atau situasi yang diobservasi. Makin banyak dan heterogen subjek, objek, atau situasi yang diobservasi, makin sulit kegiatan observasi itu dilakukan. Sebelum observasi dilaksanakan, guru dan peserta didik sebaiknya menentukan dan menyepakati cara dan prosedur pengamatan.
- c. Guru dan peserta didik perlu memahami apa yang hendak dicatat, direkam, dan sejenisnya, serta bagaimana membuat catatan atas perolehan observasi.

5. Kriteria Pertanyaan Yang Baik

Menanya merupakan aktivitas / kegiatan bertanya yang berbentuk kalimat tanya merupakan kalimat yang mengandung makna sebuah pertanyaan. Arti Kalimat tanya adalah kalimat yang berisi pertanyaan / pernyataan kepada pihak lain yang bertujuan untuk memperoleh jawaban dari pihak yang ditanya. Guru yang efektif mampu menginspirasi peserta didik untuk meningkatkan dan mengembangkan ranah sikap, keterampilan, dan pengetahuannya. Pada saat guru bertanya, pada saat itu pula dia membimbing atau memandu peserta didiknya belajar dengan baik. Ketika guru menjawab pertanyaan peserta didiknya, ketika itu pula dia mendorong asuhannya itu untuk menjadi penyimak dan pembelajar yang baik.

Istilah “pertanyaan” tidak selalu dalam bentuk “kalimat tanya”, melainkan juga dapat dalam bentuk pernyataan, asalkan keduanya menginginkan tanggapan verbal. Bentuk pertanyaan, misalnya: Apakah ciri-ciri norma hukum? Bentuk pernyataan, misalnya: Sebutkan ciri-ciri norma hukum!

Fungsi dari Bertanya, diantaranya :

- a. Membangkitkan rasa ingin tahu, minat, dan perhatian peserta didik tentang suatu tema atau topik pembelajaran.
- b. Mendorong dan menginspirasi peserta didik untuk aktif belajar, serta mengembangkan pertanyaan dari dan untuk dirinya sendiri.
- c. Mendiagnosis kesulitan belajar peserta didik sekaligus menyampaikan anjakan untuk mencari solusinya.
- d. Menstrukturkan tugas-tugas dan memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk menunjukkan sikap, keterampilan, dan pemahamannya atas substansi pembelajaran yang diberikan.
- e. Membangkitkan keterampilan peserta didik dalam berbicara, mengajukan pertanyaan, dan memberi jawaban secara logis, sistematis, dan menggunakan bahasa yang baik dan benar.
- f. Mendorong partisipasi peserta didik dalam berdiskusi, berargumen, mengembangkan kemampuan berpikir, dan menarik simpulan.
- g. Membangun sikap keterbukaan untuk saling memberi dan menerima pendapat atau gagasan, memperkaya kosa kata, serta mengembangkan toleransi sosial dalam hidup berkelompok.
- h. Membiasakan peserta didik berpikir spontan dan cepat, serta sigap dalam merespon persoalan yang tiba-tiba muncul.
- i. Melatih kesantunan dalam berbicara dan membangkitkan kemampuan berempati satu sama lain.

Kriteria Pertanyaan yang Baik, diantaranya :

- a. Singkat dan jelas.

Contoh:

- 1) Seberapa jauh pemahaman Anda mengenai faktor-faktor yang menyebabkan generasi muda terjerat kasus narkoba dan obat-obatan terlarang?

2) Faktor-faktor apakah yang menyebabkan generasi muda terjerat kasus narkoba dan obat-obatan terlarang? Pertanyaan kedua ini lebih singkat dan lebih jelas dibandingkan dengan pertanyaan pertama.

b. Menginspirasi jawaban.

Contoh:

- 1) Membangun semangat kerukunan umat beragama itu sangat penting pada bangsa yang multiagama. Jika suatu bangsa gagal membangun semangat kerukunan beragama, akan muncul aneka persoalan sosial kemasyarakatan.
- 2) Coba jelaskan dampak sosial apa saja yang muncul, jika suatu bangsa gagal membangun kerukunan umat beragama?

Dua kalimat yang mengawali pertanyaan di muka merupakan contoh yang diberikan guru untuk menginspirasi jawaban peserta didik menjawab pertanyaan

c. Memiliki fokus.

Contoh: Faktor-faktor apakah yang menyebabkan terjadinya kemiskinan?

Untuk pertanyaan seperti ini sebaiknya masing-masing peserta didik diminta memunculkan satu jawaban.

Peserta didik pertama hingga kelima misalnya menjawab: kebodohan, kemalasan, tidak memiliki modal usaha, kelangkaan sumber daya alam, dan keterisolasian geografis. Jika masih tersedia alternatif jawaban lain, peserta didik yang keenam dan seterusnya, bisa dimintai jawaban. Pertanyaan yang luas seperti di atas dapat dipersempit, misalnya: Mengapa kemalasan menjadi penyebab kemiskinan? Pertanyaan seperti ini dimintakan jawabannya kepada peserta didik secara perorangan.

d. Bersifat probing atau *divergen*. Contoh:

- 1) Untuk meningkatkan kualitas hasil belajar, apakah peserta didik harus rajin belajar?
- 2) Mengapa peserta didik yang sangat malas belajar cenderung menjadi putus sekolah?

Pertanyaan pertama cukup dijawab oleh peserta didik dengan Ya atau Tidak. Sebaliknya, pertanyaan kedua menuntut jawaban yang bervariasi urutan jawaban dan penjelasannya, yang kemungkinan memiliki bobot kebenaran yang sama.

e. Bersifat validatif atau penguatan.

Pertanyaan dapat diajukan dengan cara meminta kepada peserta didik yang berbeda untuk menjawab pertanyaan yang sama. Jawaban atas pertanyaan itu dimaksudkan untuk memvalidasi atau melakukan penguatan atas jawaban peserta didik sebelumnya. Ketika beberapa orang peserta didik telah memberikan jawaban yang sama, sebaiknya guru menghentikan pertanyaan itu atau meminta mereka memunculkan jawaban yang lain yang berbeda, namun sifatnya menguatkan.

Contoh:

Guru : “Mengapa kemalasan menjadi penyebab kemiskinan?”

Peserta didik I : “Karena orang yang malas lebih banyak diam ketimbang bekerja.”

Guru : “Siapa yang dapat melengkapi jawaban tersebut?”

Peserta didik II : “Karena lebih banyak diam ketimbang bekerja, orang yang malas tidak produktif”.

Guru : “Siapa yang dapat melengkapi jawaban tersebut?”

Peserta didik III: “Orang malas tidak bertindak aktif, sehingga kehilangan waktu terlalu banyak untuk bekerja, karena itu dia tidak produktif.”

Dan seterusnya.

f. Memberi kesempatan peserta didik untuk berpikir ulang.

Untuk menjawab pertanyaan dari guru, peserta didik memerlukan waktu yang cukup untuk memikirkan jawabannya dan memverbalikannya dengan kata-kata. Karena itu, setelah mengajukan pertanyaan, guru hendaknya menunggu beberapa saat sebelum meminta atau menunjuk peserta didik untuk menjawab pertanyaan itu.

Jika dengan pertanyaan tertentu tidak ada peserta didik yang bisa menjawab dengan baik, sangat dianjurkan guru mengubah pertanyaannya. Misalnya:

- Apa faktor picu utama Belanda menjajah Indonesia?;
- Apa motif utama Belanda menjajah Indonesia?

Jika dengan pertanyaan pertama guru belum memperoleh jawaban yang memuaskan, ada baiknya dia mengubah pertanyaan seperti pertanyaan kedua.

g. Merangsang peningkatan tuntutan kemampuan kognitif.

Pertanyaan guru yang baik membuka peluang peserta didik untuk mengembangkan kemampuan berpikir yang makin meningkat, sesuai dengan tuntutan tingkat kognitifnya. Guru mengemas atau mengubah pertanyaan yang menuntut jawaban dengan tingkat kognitif rendah ke makin tinggi, seperti dari sekadar mengingat fakta ke pertanyaan yang menggugah kemampuan kognitif yang lebih tinggi, seperti pemahaman, penerapan, analisis, sintesis, dan evaluasi. Kata-kata kunci pertanyaan ini, seperti: apa, mengapa, bagaimana, dan seterusnya.

Tingkatan (*level*) Pertanyaan

Tingkatan-tingkatan pertanyaan, yaitu :

1) Kognitif yang lebih rendah - Pengetahuan (*knowledge*) :

- Apa...?
- Siapa...?
- Kapan...?

- Di mana...?
 - Sebutkan...
 - Jodohkan atau pasangkan...
 - Persamaan kata...
 - Golongkan...
 - Berilah nama...
 - Dan lain-lain.
- 2) Kognitif yang lebih tinggi - Analisis (*analysis*) :
- Analisislah...
 - Kemukakan bukti-bukti...
 - Mengapa...?
 - Identifikasikan...
 - Tunjukkanlah sebabnya...
 - Berilah alasan-alasan...
- 3) Sintesis (*synthesis*) :
- Ramalkanlah...
 - Bentuk...
 - Ciptakanlah...
 - Susunlah...
 - Rancanglah...
 - Tulislah...
 - Bagaimana kita dapat memecahkan...
 - Apa yang terjadi seandainya...
 - Bagaimana kita dapat memperbaiki...
 - Kembangkan...
- 4) Evaluasi (*evaluation*) :
- Berilah pendapat...
 - Alternatif mana yang lebih baik...
 - Setujukah anda...
 - Kritikilah...

- Berilah alasan...
 - Nilailah...
 - Bandingkan...
 - Bedakanlah...
- 5) Mengevaluasi :
- Temukan inkonsistensi atau kesalahan...
 - Tentukan apakah suatu proses/produk memiliki konsistensi...
 - Temukan efektivitas suatu prosedur...
- 6) Mencipta :
- Buatlah hipotesis berdasarkan kriteria ...
 - Rencanakan (proposal) penelitian tentang...
 - Ciptakan/buat suatu produk...

6. Contoh Perancangan Pembelajaran Saintifik

Agar memudahkan langkah pemaduan/pensinkronan pendekatan dengan model pembelajaran yang dipilih atas dasar hasil analisis, dapat menggunakan matrik perancah sebagai pertolongan sebelum dituliskan menjadi kegiatan inti pada RPP. Pemaduan atau pensinkronan antara langkah-langkah pendekatan saintifik dan sintaksis (langkah kerja) model pembelajaran tersebut, dilakukan sebagai berikut:

- a. Pilih pasangan KD-KD dari mata pelajaran yang diampu sesuai dengan silabus dan buku teks siswa terkait.
- b. Rumuskan IPK dari KD3 dan dari KD4 sesuai dengan dimensi proses atau level pengetahuan dan dimensi kategori pengetahuan yang terkandung di masing-masing KD. Setiap KD minimal memiliki 2 (dua) indikator.
- c. Petakan pemilihan model pembelajaran sesuai KD dengan mempertimbangkan rambu-rambu pemilihan model pembelajaran.
- d. Pilih model pembelajaran sesuai KD dengan mempertimbangkan rambu-rambu pemilihan model pembelajaran.

- e. Tentukan kegiatan peserta didik dan kegiatan guru sesuai dengan langkah-langkah (sintaksis) model pembelajaran yang dipilih, kemudian sinkronkan dengan langkah pendekatan saintifik (5M) sampai mencapai IPK.

Tabel 1. 2 Penentuan Model Pembelajaran

Mata Pelajaran : Teknik Pemesinan Bubut ; Kelas XI

No.	Kompetensi	Analisis dan Rekomendasi *)	Kriteria dan Model Pembelajaran
1.	KD 3.1 Mengidentifikasi mesin bubut	KD 3.1 “Mengidentifikasi” merupakan gradasi C1 belum terkait dengan KI-3 yaitu C2 (memahami) sampai C4 (menganalisis), sedangkan tingkat pengetahuan “mesin bubut” merupakan pengetahuan faktual, belum utuh terkait KI-3 yaitu sampai metakognitif Rekomendasi: Kemampuan KD-3.1 dan 3.2 diperbaiki pada perumusan IPK dan Tujuan pembelajaran. Demikian juga gradasi pengetahuan ditingkatkan minimal sampai prosedural di RPP. KD 4.1 dan KD 4.2 “Menggunakan” mesin.../alat ... merupakan keterampilan konkrit gradasi	Berdasarkan analisis dan rekomendasi maka: a. KD-3.1 ditingkatkan taksonominya sampai memahami (C2), dan materi pengetahuan pada tingkat konseptual dan atau prosedural b. KD 4.1 ditingkatkan gradasi keterampilan konkritnya pada taksonomi presisi, sehingga setara dengan mengolah
	KD 4.1 Menggunakan mesin bubut untuk berbagai	keterampilan konkrit gradasi manipulasi (P2 Dave), belum terkait dengan tuntutan KI-4 yaitu mengolah, menalar, dan menyaji (P3-P5 abstrak Dyers), padanannya sampai artikulasi	

jenis pekerjaan	(P4 konkrit Dave)	<p>Rekomendasi: Belum ada KD-4 abstrak sampai gradasi menyaji (P5) dan belum ada KD-4 konkrit sampai tingkat artikulasi (P4). Jadi di tingkatkan pada IPK dan Tujuan pembelajaran untuk RPP</p> <p>Pasangan KD-3.1 (C1), KD-4.1 (P2 konkrit); jadi KD-3.1 belum memenuhi linearitas tingkatan KD-4.1.</p> <p>Rekomendasi perlu ditingkatkan pada IPK dan Tujuan Pembelajaran pada RPP</p>	<p>dan atau menalar</p> <p>c. Pernyataan KD-3.1 dan KD 4.1 mengarah pada pencarian atau membuktikan teori</p> <p>Jadi untuk pembelajaran dipilih Model Pembelajaran Inquiri Terbimbing</p>
Dst			

Bahan Bacaan 3 :

1. Pendekatan, Strategi dan Metode Pembelajaran

Dalam proses pembelajaran dikenal beberapa istilah yang memiliki kemiripan makna, sehingga seringkali orang merasa bingung untuk membedakannya. Istilah-istilah tersebut adalah: (1) pendekatan pembelajaran, (2) strategi pembelajaran, (3) metode pembelajaran; (4) teknik pembelajaran; (5) taktik pembelajaran; dan (6) model pembelajaran. Berikut ini akan dipaparkan istilah-istilah tersebut, dengan harapan dapat memberikan kejelasan tentang penggunaan istilah tersebut. Pendekatan pembelajaran dapat diartikan sebagai titik tolak atau sudut pandang kita terhadap proses pembelajaran, yang merujuk pada pandangan tentang terjadinya suatu proses yang sifatnya masih sangat umum, di dalamnya mawadahi, menginsiprasi, menguatkan, dan melatari metode pembelajaran dengan cakupan teoretis tertentu. Definisi lain mengatakan bahwa “pendekatan pembelajaran”

dapat diartikan sebagai titik tolak atau sudut pandang kita terhadap proses pembelajaran. Pendekatan yang berpusat pada guru menurunkan strategi pembelajaran langsung (*direct instruction*, pembelajaran deduktif atau pembelajaran ekspositori). Sedangkan, pendekatan pembelajaran yang berpusat pada siswa menurunkan strategi pembelajaran *discovery* dan inkuiri serta strategi pembelajaran induktif (Sanjaya, 2008:127). Dilihat dari pendekatannya, pembelajaran terdapat dua jenis pendekatan, yaitu: (1) pendekatan pembelajaran yang berorientasi atau berpusat pada siswa (*student centered approach*) dan (2) pendekatan pembelajaran yang berorientasi atau berpusat pada guru (*teacher centered approach*).

Dari pendekatan pembelajaran yang telah ditetapkan selanjutnya diturunkan ke dalam strategi pembelajaran. Newman dan Logan (Abin Syamsuddin Makmun, 2003) mengemukakan empat unsur strategi dari setiap usaha, yaitu :

- a. Mengidentifikasi dan menetapkan spesifikasi dan kualifikasi hasil (*out put*) dan sasaran (*target*) yang harus dicapai, dengan mempertimbangkan aspirasi dan selera masyarakat yang memerlukannya.
- b. Mempertimbangkan dan memilih jalan pendekatan utama (*basic way*) yang paling efektif untuk mencapai sasaran.
- c. Mempertimbangkan dan menetapkan langkah-langkah (*steps*) yang akan ditempuh sejak titik awal sampai dengan sasaran.
- d. Mempertimbangkan dan menetapkan tolok ukur (*criteria*) dan patokan ukuran (*standard*) untuk mengukur dan menilai taraf keberhasilan (*achievement*) usaha.

Jika kita terapkan dalam konteks pembelajaran, keempat unsur tersebut adalah:

- a. Menetapkan spesifikasi dan kualifikasi tujuan pembelajaran yakni perubahan profil perilaku dan pribadi peserta didik.

- b. Mempertimbangkan dan memilih sistem pendekatan pembelajaran yang dipandang paling efektif.
- c. Mempertimbangkan dan menetapkan langkah-langkah atau prosedur, metode dan teknik pembelajaran.
- d. Menetapkan norma-norma dan batas minimum ukuran keberhasilan atau kriteria dan ukuran baku keberhasilan.

Sementara itu, Kemp (Wina Sanjaya, 2008) mengemukakan bahwa strategi pembelajaran adalah suatu kegiatan pembelajaran yang harus dikerjakan guru dan siswa agar tujuan pembelajaran dapat dicapai secara efektif dan efisien. Selanjutnya, dengan mengutip pemikiran J. R David, Wina Sanjaya (2008) menyebutkan bahwa dalam strategi pembelajaran terkandung makna perencanaan. Artinya, bahwa strategi pada dasarnya masih bersifat konseptual tentang keputusan-keputusan yang akan diambil dalam suatu pelaksanaan pembelajaran.

Strategi pembelajaran* dapat diartikan sebagai perencanaan yang berisi tentang rangkaian kegiatan yang didisain untuk mencapai tujuan pendidikan tertentu (J.R. David dalam Sanjaya, 2008:126). Selanjutnya dijelaskan strategi pembelajaran adalah suatu kegiatan pembelajaran yang harus dikerjakan guru dan siswa agar tujuan pembelajaran dapat dicapai secara efektif dan efisien (Kemp dalam Sanjaya, 2008:126).

Istilah strategi sering digunakan dalam banyak konteks dengan makna yang selalu sama. Dalam konteks pengajaran strategi bisa diartikan sebagai suatu pola umum tindakan guru-peserta didik dalam manifestasi aktivitas pengajaran (Ahmad Rohani, 2004 : 32). Sementara itu, Joyce dan Weil lebih senang memakai istilah model-model mengajar daripada menggunakan strategi pengajaran (Joyce dan Weil dalam Rohani, 2004:33. Nana Sudjana menjelaskan bahwa strategi mengajar (pengajaran) adalah "taktik" yang digunakan guru dalam melaksanakan proses belajar mengajar (pengajaran) agar dapat mempengaruhi para siswa (peserta didik) mencapai tujuan pengajaran secara lebih efektif dan efisien (Nana Sudjana dalam Rohani, 2004:34).

Jadi menurut Nana Sudjana, strategimengajar/pengajaran ada pada pelaksanaan, sebagai tindakan nyata atau perbuatan guru itu sendiri pada saat mengajar berdasarkan pada rambu-rambu dalam satuan pelajaran. Berdasarkan pendapat di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa strategi pembelajaran harus mengandung penjelasan tentang metode/prosedur dan teknik yang digunakan selama proses pembelajaran berlangsung. Dengan kata lain, strategi pembelajaran mempunyai arti yang lebih luas daripada metode dan teknik. Artinya, metode/prosedur dan teknik pembelajaran merupakan bagian dari strategi pembelajaran. Dari metode, teknik pembelajaran diturunkan secara aplikatif, nyata, dan praktis di kelas saat pembelajaran berlangsung. Dilihat dari strateginya, pembelajaran dapat dikelompokkan ke dalam dua bagian pula, yaitu: (1) **exposition-discovery learning** dan (2) **group-individual learning** (Rowntree dalam Wina Senjaya, 2008). Ditinjau dari cara penyajian dan cara pengolahannya, strategi pembelajaran dapat dibedakan antara strategi pembelajaran induktif dan strategi pembelajaran deduktif. Strategi pembelajaran sifatnya masih konseptual dan untuk mengimplementasikannya digunakan berbagai metode pembelajaran tertentu. Dengan kata lain, strategi merupakan *“a plan of operation achieving something”* sedangkan metode adalah *“a way in achieving something”* (Wina Senjaya (2008). Dalam hubungannya dengan metode pembelajaran, maka bisa dikatakan bahwa metode pembelajaran merupakan jabaran dari pendekatan pembelajaran. Satu pendekatan dapat dijabarkan ke dalam berbagai metode. Metode adalah prosedur pembelajaran yang difokuskan ke pencapaian tujuan. Jadi, metode pembelajarandapat diartikan sebagai cara yang digunakan untuk mengimplementasikan rencana yang sudah disusun dalam bentuk kegiatan nyata dan praktis untuk mencapai tujuan pembelajaran. Terdapat beberapa metode pembelajaran yang dapat digunakan untuk mengimplementasikan strategi pembelajaran, diantaranya: (1) ceramah; (2) demonstrasi; (3) diskusi; (4) simulasi; (5) laboratorium; (6) pengalaman lapangan; (7) brainstorming; (8) debat, (9) simposium, dan sebagainya. Selanjutnya metode pembelajaran dijabarkan ke dalam teknik dan gaya pembelajaran.

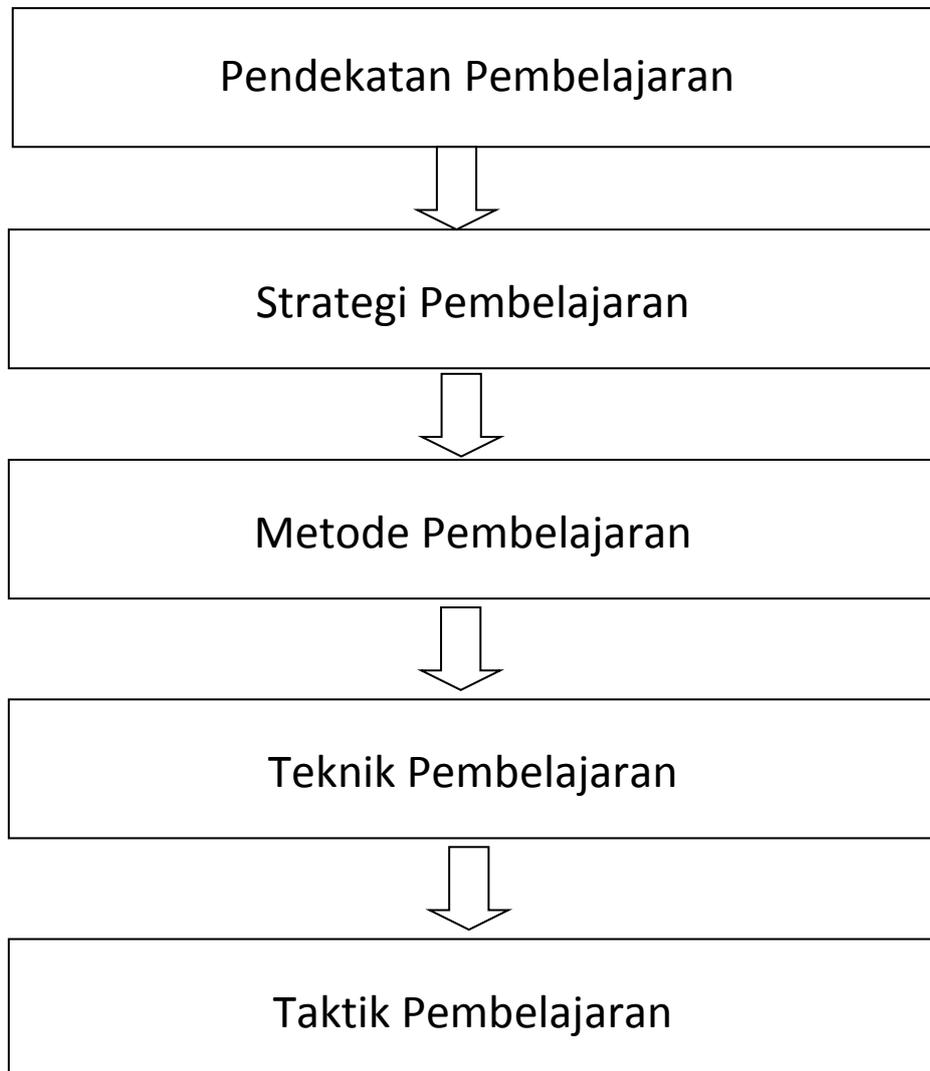
Dengan demikian, teknik pembelajaran dapat diartikan sebagai cara yang dilakukan seseorang dalam mengimplementasikan suatu metode secara spesifik. Misalkan, penggunaan metode ceramah pada kelas dengan jumlah siswa yang relatif banyak membutuhkan teknik tersendiri, yang tentunya secara teknis akan berbeda dengan penggunaan metode ceramah pada kelas yang jumlah siswanya terbatas. Demikian pula, dengan penggunaan metode diskusi, perlu digunakan teknik yang berbeda pada kelas yang siswanya tergolong aktif dengan kelas yang siswanya tergolong pasif. Dalam hal ini, guru pun dapat berganti-ganti teknik meskipun dalam koridor metode yang sama. Dalam kaitannya dengan metode pembelajaran, maka teknik pembelajaran adalah cara yang dilakukan seseorang dalam rangka mengimplementasikan suatu metode. Misalnya, cara yang bagaimana yang harus dilakukan agar metode ceramah yang dilakukan berjalan efektif dan efisien? Dengan demikian sebelum seorang melakukan proses ceramah sebaiknya memperhatikan kondisi dan situasi.

Sementara taktik pembelajaran merupakan gaya seseorang dalam melaksanakan metode atau teknik pembelajaran tertentu yang sifatnya individual. Misalkan, terdapat dua orang sama-sama menggunakan metode ceramah, tetapi mungkin akan sangat berbeda dalam taktik yang digunakannya. Dalam penyajiannya, yang satu cenderung banyak diselengi dengan humor karena memang dia memiliki sense of humor yang tinggi, sementara yang satunya lagi kurang memiliki sense of humor, tetapi lebih banyak menggunakan alat bantu elektronik karena dia memang sangat menguasai bidang itu. Dalam gaya pembelajaran akan tampak keunikan atau kekhasan dari masing-masing guru, sesuai dengan kemampuan, pengalaman dan tipe kepribadian dari guru yang bersangkutan. Dalam taktik ini, pembelajaran akan menjadi sebuah ilmu sekaligus juga seni (kiat).

Apabila antara pendekatan, strategi, metode, teknik dan bahkan taktik pembelajaran sudah terangkai menjadi satu kesatuan yang utuh maka terbentuklah apa yang disebut dengan model pembelajaran. Jadi, model pembelajaran pada dasarnya merupakan bentuk pembelajaran yang tergambar dari awal sampai akhir yang disajikan secara khas oleh guru. Dalam model pembelajaran terdapat strategi

pencapaian kompetensi siswa dengan pendekatan, metode, dan teknik pembelajaran. Nah, berikut ini ulasan singkat tentang perbedaan istilah tersebut.

Dengan kata lain, model pembelajaran merupakan bungkus atau bingkai dari penerapan suatu pendekatan, metode, dan teknik pembelajaran. Berkenaan dengan model pembelajaran, Bruce Joyce dan Marsha Weil (Dedi Supriawan dan A. Benyamin Surasega, 1990) mengetengahkan 4 (empat) kelompok model pembelajaran, yaitu: (1) model interaksi sosial; (2) model pengolahan informasi; (3) model personal-humanistik; dan (4) model modifikasi tingkah laku. Kendati demikian, seringkali penggunaan istilah model pembelajaran tersebut diidentikkan dengan strategi pembelajaran. Untuk lebih jelasnya, posisi hierarkis dari masing-masing istilah tersebut, kiranya dapat divisualisasikan sebagai berikut:



Di luar istilah-istilah tersebut, dalam proses pembelajaran dikenal juga istilah **desain pembelajaran**. Jika strategi pembelajaran lebih berkenaan dengan pola umum dan prosedur umum aktivitas pembelajaran, sedangkan desain pembelajaran lebih menunjuk kepada cara-cara merencanakan suatu sistem lingkungan belajar tertentu setelah ditetapkan strategi pembelajaran tertentu. Jika dianalogikan dengan pembuatan rumah, strategi membicarakan tentang berbagai kemungkinan tipe atau jenis rumah yang hendak dibangun (rumah joglo, rumah gadang, rumah modern, dan sebagainya), masing-masing akan menampilkan kesan dan pesan yang berbeda

dan unik. Sedangkan desain adalah menetapkan cetak biru (blue print) rumah yang akan dibangun beserta bahan-bahan yang diperlukan dan urutan-urutan langkah konstruksinya, maupun kriteria penyelesaiannya, mulai dari tahap awal sampai dengan tahap akhir, setelah ditetapkan tipe rumah yang akan dibangun.

Berdasarkan uraian di atas, bahwa untuk dapat melaksanakan tugasnya secara profesional, seorang guru dituntut dapat memahami dan memiliki keterampilan yang memadai dalam mengembangkan berbagai model pembelajaran yang efektif, kreatif dan menyenangkan, sebagaimana diisyaratkan dalam Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan.

Mencermati upaya reformasi pembelajaran yang sedang dikembangkan di Indonesia, para guru atau calon guru saat ini banyak ditawari dengan aneka pilihan model pembelajaran, yang kadang-kadang untuk kepentingan penelitian (penelitian akademik maupun penelitian tindakan) sangat sulit menemukan sumber-sumber literarturnya. Namun, jika para guru (calon guru) telah dapat memahami konsep atau teori dasar pembelajaran yang merujuk pada proses (beserta konsep dan teori) pembelajaran sebagaimana dikemukakan di atas, maka pada dasarnya guru pun dapat secara kreatif mencobakan dan mengembangkan model pembelajaran tersendiri yang khas, sesuai dengan kondisi nyata di tempat kerja masing-masing, sehingga pada gilirannya akan muncul model-model pembelajaran versi guru yang bersangkutan, yang tentunya semakin memperkaya khazanah model pembelajaran yang telah ada.

Strategi/Model Pembelajaran

Pada Kurikulum 2013 dikembangkan model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Model Pembelajaran tersebut adalah: model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*); model pembelajaran menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*Problem Based Learning/Project Based Learning*). Langkah-langkah pembelajaran berpendekatan saintifik harus dapat dipadukan secara sinkron dengan langkah-langkah kerja

(*syntax*) model pembelajaran. Model pembelajaran merupakan kerangka konseptual yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pembelajaran yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan belajar yang menyangkut sintaksis, sistem sosial, prinsip reaksi dan sistem pendukung (Joice&Wells).

Tujuan penggunaan model pembelajaran sebagai strategi bagaimana belajar yang membantu peserta didik mengembangkan dirinya baik berupa informasi, gagasan, keterampilan nilai dan cara-cara berpikir dalam meningkatkan kapasitas berpikir secara jernih, bijaksana dan membangun keterampilan sosial serta komitmen (Joice& Wells).

Pada Kurikulum 2013 dikembangkan 3 (tiga) model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Ketiga model tersebut adalah: model Pembelajaran Berbasis Masalah (*Problem Based Learning*), model Pembelajaran Berbasis Projek (*Project Based Learning*), dan model Pembelajaran Melalui Penyingkapan/Penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*). Tidak semua model pembelajaran tepat digunakan untuk semua KD/materi pembelajaran. Model pembelajaran tertentu hanya tepat digunakan untuk materi pembelajaran tertentu pula. Demikian sebaliknya mungkin materi pembelajaran tertentu akan dapat berhasil maksimal jika menggunakan model pembelajaran tertentu. Untuk itu guru harus menganalisis rumusan pernyataan setiap KD, apakah cenderung pada pembelajaran penyingkapan (*Discovery/Inquiry Learning*) atau pada pembelajaran hasil karya (*Problem Based Learning dan Project Based Learning*).

Rambu-rambu penentuan model penyingkapan/penemuan:

- a. Pernyataan KD-3 dan KD-4 mengarah ke pencarian atau penemuan;
- b. Pernyataan KD-3 lebih menitikberatkan pada pemahaman pengetahuan faktual, konseptual, dan procedural; dan
- c. Pernyataan KD-4 pada taksonomi mengolah dan menalar.

Rambu-rambu penemuan model hasil karya (*Problem Based Learning dan Project Based Learning*):

- a. Pernyataan KD-3 dan KD-4 mengarah pada hasil karya berbentuk jasa atau produk;
- b. Pernyataan KD-3 pada bentuk pengetahuan metakognitif;
- c. Pernyataan KD-4 pada taksonomi menyaji dan mencipta, dan
- d. Pernyataan KD-3 dan KD-4 yang memerlukan persyaratan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural.

Masing-masing model pembelajaran tersebut memiliki urutan langkah kerja (*syntax*) tersendiri, yang dapat diuraikan sebagai berikut.

2. Model Pembelajaran Penyingkapan (Penemuan dan pencarian/ penelitian)

Model *Discovery Learning* adalah memahami konsep, arti, dan hubungan, melalui proses intuitif untuk akhirnya sampai kepada suatu kesimpulan (Budiningsih, 2005:43). *Discovery* terjadi bila individu terlibat, terutama dalam penggunaan proses mentalnya untuk menemukan beberapa konsep dan prinsip.

Discovery dilakukan melalui observasi, klasifikasi, pengukuran, prediksi, penentuan dan *inferi*. Proses tersebut disebut *cognitive process* sedangkan *discovery* itu sendiri adalah *the mental process of assimilating concepts and principles in the mind* (Robert B. Sund dalam Malik, 2001:219).

- 1) Sintaksis model *Discovery Learning*
 - a) Pemberian rangsangan (*Stimulation*);
 - b) Pernyataan/Identifikasi masalah (*Problem Statement*);
 - c) Pengumpulan data (*Data Collection*);
 - d) Pembuktian (*Verification*), dan
 - e) Menarik simpulan/generalisasi (*Generalization*).

2) Sintaksis model *Inquiry Learning* Terbimbing

Model pembelajaran yang dirancang membawa peserta didik dalam proses penelitian melalui penyelidikan dan penjelasan dalam *setting* waktu yang singkat (Joice&Wells, 2003). Merupakan kegiatan pembelajaran yang melibatkan secara maksimal seluruh kemampuan siswa untuk mencari dan menyelidiki sesuatu secara sistematis kritis dan logis sehingga mereka dapat merumuskan sendiri temuannya.

Sintaksis/tahap model inkuiri meliputi:

- a) Orientasi masalah;
- b) Pengumpulan data dan verifikasi;
- c) Pengumpulan data melalui eksperimen;
- d) Pengorganisasian dan formulasi eksplanasi, dan
- e) Analisis proses inkuiri.

3. Model Pembelajaran Hasil Karya Problem Based Learning (PBL)

Merupakan pembelajaran yang menggunakan berbagai kemampuan berpikir dari peserta didik secara individu maupun kelompok serta lingkungan nyata untuk mengatasi permasalahan sehingga bermakna, relevan, dan kontekstual (Tan OnnSeng, 2000). Tujuan PBL adalah untuk meningkatkan kemampuan dalam menerapkan konsep-konsep pada permasalahan baru/nyata, pengintegrasian konsep *High Order Thinking Skills* (HOTS), keinginan dalam belajar, mengarahkan belajar diri sendiri dan keterampilan(Norman and Schmidt).

- 1) Sintaksis model *Problem Based Learning* dari Bransford and Stein (dalam Jamie Kirkley, 2003:3) terdiri atas:
 - a) Mengidentifikasi masalah;

- b) Menetapkan masalah melalui berpikir tentang masalah dan menseleksi informasi-informasi yang relevan;
 - c) Mengembangkan solusi melalui pengidentifikasian alternatif-alternatif, tukar-pikiran dan mengecek perbedaan pandang;
 - d) Melakukan tindakan strategis, dan
 - e) Melihat ulang dan mengevaluasi pengaruh-pengaruh dari solusi yang dilakukan.
- 2) Sintaksis model *Problem Solving Learning* Jenis *Trouble Shooting* (David H. Jonassen, 2011:93) terdiri atas:
- a) Merumuskan uraian masalah;
 - b) Mengembangkan kemungkinan penyebab;
 - c) Mengetes penyebab atau proses diagnosis, dan
 - d) Mengevaluasi.

4. Model pembelajaran Project Based Learning (PjBL).

Pembelajaran otentik menggunakan proyek nyata dalam kehidupan yang didasarkan pada motivasi yang tinggi, pertanyaan yang menantang, tugas-tugas atau permasalahan untuk membentuk penguasaan kompetensi yang dilakukan secara kerjasama dalam upaya memecahkan masalah (Barel, 2000 and Baron 2011). Tujuan PjBL adalah meningkatkan motivasi belajar, *team work*, keterampilan kolaborasi dalam pencapaian kemampuan akademik level tinggi/taksonomi tingkat kreativitas yang dibutuhkan pada abad 21 (Cole & Wasburn Moses, 2010).

Sintaksis/tahapan model pembelajaran *Project Based Learning*, meliputi:

- 1) Penentuan pertanyaan mendasar (*Start with the Essential Question*);
- 2) Mendesain perencanaan proyek;

- 3) Menyusun jadwal (*Create a Schedule*);
- 4) Memonitor peserta didik dan kemajuan projek (*Monitor the Students and the Progress of the Project*);
- 5) Menguji hasil (*Assess the Outcome*), dan
- 6) Mengevaluasi pengalaman (*Evaluate the Experience*).

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas Pengantar

Fokus pertama bagi guru dalam menyiapkan pembelajaran adalah melakukan analisis pada ketiga standar kompetensi yaitu SKL, KI, KD. Dari analisis itu akan diperoleh penjabaran tentang taksonomi dan gradasi hasil belajar yang berhubungan dengan materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran dan penilaian yang diperlukan.

Buatlah analisis keterkaitan SKL, KI, dan KD untuk kelas X, XI dan XII berdasarkan table di bawah ini !

Tabel 1. 3 Analisis Keterkaitan Domain Antara SKL, KI, dan KD untuk Mapel ...

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan Analisis *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
1. Sikap		1.		
		2.		

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
3. Pengetahuan		3.		

Standar Kompetensi Lulusan (SKL)		Kompetensi Inti (KI) Kelas	Kompetensi Dasar (KD)	Keterangan *)
Dimensi	Kualifikasi Kemampuan			
4. Keterampilan		4.		

**) Diisi dengan taksonomi dan gradasi hasil belajar, jika KD tidak terkait dengan KI maka dikembangkan melalui tujuan pembelajaran dan atau indikator pencapaian kompetensi.*

Aktivitas 1 : Perancangan Kegiatan Pembelajaran Sainifik

Kompetensi : Mampu merancang kegiatan pembelajaran saintifik

Tujuan Kegiatan : Melalui diskusi kelompok peserta mampu merancang kegiatan pembelajaran dengan pendekatan saintifik

Isilah Lembar Kerja perancangan kegiatan pembelajaran saintifik di bawah ini :

Tabel 1. 4 Lembar Kerja Perancangan Kegiatan Pembelajaran

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
Mengamati	
Menanya	
Mengumpulkan informasi	
Mengasosiasikan	
Mengkomunikasikan	

Aktivitas 2 : Lembar Kerja Pembelajaran Saintifik Pada Mata Pelajaran PK

Tentukanlah Model Pembelajaran berdasarkan analisis menggunakan format matrik seperti tabel di bawah pada mata pelajaran yang Saudara ampu.

Penentuan Model Pembelajaran.....

Mata Pelajaran(Kelas ...)

No.	Kompetensi	Analisis dan Rekomendasi	Kriteria dan Model Pembelajaran
1.	KD 3...		
	KD 4...		
2.			

Aktivitas 3 : Perancangan Model Pembelajaran

Kompetensi : Mampu merancang penerapan model pembelajaran *dan* cara penilaiannya.

Tujuan Kegiatan : Pada kegiatan ini diharapkan peserta mampu merancang kegiatan pembelajaran dengan model *Discovery Learning/ Inquiry Learning/ Problem Based Learning/Project Based Learning*.

Isilah Lembar Kerja perancangan model pembelajaran di bawah ini :

**Tabel 1. 5 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran
(Model Discovery Learning)**

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. <i>Stimulation</i> (simulasi/Pemberian)	
2. <i>Problem statemen</i> (pertanyaan/identifikasi)	
3. <i>Data collection</i> (pengumpulandata)	
4. Data processing (pengolahan Data)	
5. <i>Verification</i> (pembuktian)	
6. <i>Generalization</i> (menarik kesimpulan/generalisasi)	

**Tabel 1. 6 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran
(Model Inquiry Learning)**

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. Orientasi masalah	
2. Pengumpulan data dan verifikasi)	
3. Pengumpulan data melalui eksperimen	
4. Pengorganisasian dan formulasi eksplanasi	
5. Analisis proses inkuiri)	

**Tabel 1. 7 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran
(Model Problem Based Learning)**

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
Fase 1 Orientasi peserta didik kepada	
Fase 2 Mengorganisasikan peserta	
Fase 3 Membimbing penyelidikan individu	
Fase 4 Mengembangkan dan	
Fase 5 Menganalisa dan mengevaluasi proses	

**Tabel 1. 8 Lembar Kerja Perancangan Model Pembelajaran
(Model Project Based Learning)**

Kompetensi Dasar	
Topik/	
Sub Topik/Tema	
Tujuan Pembelajaran	
Alokasi Waktu	

Tahapan Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran
1. Penentuan pertanyaan mendasar (<i>Start with the</i>	
2. Mendesain perencanaan proyek	
3. Menyusun jadwal (<i>Create a Schedule</i>)	
4. Memonitor peserta didik dan kemajuan proyek (<i>Monitor the Students and the Progress of the Project</i>)	
5. Menguji hasil (<i>Assess the Outcome</i>)	
6. Mengevaluasi pengalaman (<i>Evaluate the Experience</i>).	

Aktivitas 4

Amatilah contoh Matrik Perancah Pemaduan Sintaksis Model Pembelajaran *Inquiri Terbimbing* dengan Pendekatan Sainifik pada Mata Pelajaran: Teknik Pemesinan Bubut (kelas XI).

Kompetensi Dasar :

- 3.1. Mengidentifikasi mesin bubut
- 4.1. Menggunakan mesin bubut untuk berbagai jenis pekerjaan

Tujuan Pembelajaran :

Dengan diberikan fasilitas belajar di kelas dan bengkel mesin bubut, peserta didik dapat:

1. Menjelaskan macam-macam mesin bubut berdasarkan prinsip kerja.
2. Menjelaskan macam-macam mesin bubut berdasarkan ukurannya.

3. Menjelaskan bagian utama mesin bubut sesuai dengan fungsinya.
4. Menentukan dimensi mesin bubut berdasarkan parameter standar mesin bubut.
5. Menyebutkan perlengkapan mesin bubut sesuai dengan fungsinya.
6. Memilih perlengkapan mesin bubut sesuai dengan fungsinya.
7. Menentukan alat bantu kerja membubut sesuai dengan jenis pekerjaannya.
8. Mengoperasikan mesin bubut sesuai prosedur yang benar.
9. Menyajikan laporan proses membubut berdasarkan pengalaman pekerjaan yang telah dilakukan.

Tabel 1. 9 Contoh Matrik Perancahn Pemaduan Pendekatan Saintifik dan Model Pembelajaran Inquiry Terbimbing

Materi Pembelajaran	Sintaks Model Pembelajaran	Tahap Saintifik 5 M	Kegiatan Belajar
1. Definisi mesin bubut; 2. Macam-macam mesin bubut dan fungsinya; 3. Bagian-bagian utama mesin bubut; 4. Dimensi mesin bubut; 5. Jenis dan fungsi perlengkapan mesin bubut.	ORIENTASI MASALAH	MENGAMATI, MENANYA	<ul style="list-style-type: none"> - Guru menayangkan gambar, foto atau video mesin bubut dan menjelaskan secara singkat tentang nama dan manfaat mesin bubut yang ditayangkan. - Guru menanyakan kepada siswa apa fungsi, bagian-bagian utama dan cara kerja mesin bubut. - Peserta didik memperhatikan penjelasan dan menjawab pertanyaan guru. - Guru mengkonfirmasi jawaban siswa. - Guru memberi kesempatan kepada peserta didik untuk bertanya seputar mesin bubut. - Guru menugaskan peserta didik membentuk kelompok dan berdiskusi serta melakukan pengamatan di bengkel untuk mengkaji lebih lanjut tentang bagian-bagian mesin bubut, macam-macam fungsi dan pekerjaan yang dapat dilakukan di mesin bubut, perlengkapan, alat

			bantu kerja serta dimensi mesin bubut.
<p>1. Definisi mesin bubut;</p> <p>2. Macam-macam mesin bubut dan fungsinya;</p> <p>3. Bagian-bagian utama mesin bubut;</p> <p>4. Dimensi mesin bubut;</p> <p>5. Jenis dan fungsi perlengkapan mesin bubut.</p>	<p>PENGUM- PULAN DATA DAN VERIFIKASI</p>	<p>MENANYA, MENGUM- PULKAN INFORMASI, MENALAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Peserta didik secara berkelompok berdiskusi membahas permasalahan yang diberikan guru. - Peserta didik mengkaji bahan ajar, buku referensi, katalog dan buku manual mesin bubut untuk mencari jawaban atas tugas yang diberikan guru. - Antar peserta didik saling bertanya-jawab tentang materi tugas dari guru. - Peserta didik melakukan verifikasi langsung ke bengkel tentang bagian-bagian mesin bubut, macam-macam fungsi dan pekerjaan yang dapat dilakukan di mesin bubut, perlengkapan, alat bantu kerja serta dimensi mesin bubut.
<p>6. Pemilihan perlengkapan mesin bubut;</p> <p>7. Alat bantu kerja membubut;</p> <p>8. Penggunaan/ pengoperasian mesin bubut</p>	<p>PENGUM- PULAN DATA MELALUI EKSPERIMEN</p>	<p>MENGUM- PUKAN INFOR- MASI, MENALAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Guru dan peserta didik ke bengkel. - Guru mendemonstrasikan cara mengoperasikan mesin bubut dalam membubut lurus dan tepi. - Guru memilih perlengkapan mesin bubut sesuai dengan fungsinya. - Guru memilih alat bantu kerja membubut sesuai dengan jenis pekerjaannya - Guru meminta siswa untuk mencoba mengoperasikan mesin bubut dengan menggunakan perlengkapan dan alat bantu kerja yang sesuai di bawah pengawasan guru. - Peserta didik mencoba mengoperasikan mesin bubut dengan menggunakan perlengkapan dan alat bantu kerja yang sesuai. - Guru memberi kesempatan peserta didik untuk bertanya hal-hal yang belum jelas tentang pengoperasian mesin bubut dan penggunaan

			<p>perlengkapan serta alat bantu kerja dalam pemesian bubut.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peserta didik bertanya dan mencoba lagi untuk mengoperasikan mesin bubut di bawah pengawasan guru. - Guru memberikan lembar kerja (<i>jobsheet</i>) untuk dikerjakan oleh peserta didik di mesin bubut. - Peserta didik memilih perlengkapan mesin bubut dan alat bantu kerja di mesin bubut. - Peserta didik mengerjakan tugas sesuai lembar kerja dengan menggunakan mesin bubut. - Guru melakukan tutorial ke masing-masing peserta didik yang sedang bekerja.
Pelaporan proses membubut	PENGORGANISASIAN DAN FORMULASI EKSPANASI	MENALAR, MENGKOMUNIKASIKAN	<ul style="list-style-type: none"> - Guru menugaskan peserta didik untuk menyusun laporan dan melakukan revisi apabila terdapat kesalahan dalam melaksanakan tugas (menjawab pertanyaan) sebelumnya. - Peserta didik menyusun laporan dan melakukan revisi tugas sebelumnya bila masih ada kesalahan. - Peserta didik mempresentasikan/memaparkan secara lisan jenis-jenis perlengkapan mesin bubut, alat bantu kerja mesin bubut, prosedur menggunakan mesin bubut dan hasil pekerjaan bubut.
Pelaporan proses membubut	MENGANALISIS PROSES INKUIRI	MENGKOMUNIKASIKAN, MENALAR	<ul style="list-style-type: none"> - Peserta didik lain memberikan pertanyaan dan tanggapan terhadap materi presentasi. - Guru meminta peserta didik untuk menyempurnakan laporan tentang perlengkapan mesin bubut, alat bantu kerja mesin bubut dan penggunaan mesin bubut berdasarkan masukan dari peserta didik lain.

E. Rangkuman

Perbedaan mendasar antara *student centered learning* dengan *teacher centered* terlihat jelas pada orientasinya. Orientasi strategi *student centered learning* lebih menekankan pada terjadinya kegiatan belajar oleh siswa, atau berorientasi pada pembelajaran (*learning oriented*), sedangkan strategi *teacher centered* lebih berorientasi pada konten (*content oriented*). Dengan kata lain, pada *student centered learning*, mengajar tidak lagi difahami sebagai proses untuk mentransfer informasi, akan tetapi sebagai wahana untuk memfasilitasi terjadinya pembelajaran. Paradigma pembelajaran (SCL), guru hanya sebagai fasilitator dan motivator dengan menyediakan beberapa strategi belajar yang memungkinkan siswa (bersama guru) memilih, menemukan dan menyusun pengetahuan serta cara mengembangkan ketrampilannya (*method of inquiry and discovery*). Pada SCL, ilmu pengetahuan tidak lagi dianggap statik tetapi dinamis dimana peserta didik secara aktif mengembangkan ketrampilan dan pengetahuannya artinya siswa secara aktif menerima pengetahuan tidak lagi pasif.

Pembelajaran adalah proses interaksi antarpeserta didik, antara peserta didik dan pendidik, dan antara peserta dan sumber belajar lainnya pada suatu lingkungan belajar yang berlangsung secara edukatif, agar peserta didik dapat membangun sikap, pengetahuan dan keterampilannya untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Proses pembelajaran merupakan suatu proses yang mengandung serangkaian kegiatan mulai dari perencanaan, pelaksanaan hingga penilaian. Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 adalah memadukan aktivitas pembelajaran pendekatan saintifik dengan sintak model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*discovery learning/inquiry learning*) dan menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*problem based learning/project based learning*).

Proses pembelajaran dapat dipadankan dengan suatu proses ilmiah, karena itu Kurikulum 2013 mengamatkan esensi pendekatan saintifik dalam pembelajaran. Pendekatan saintifik diyakini sebagai titian emas perkembangan dan pengembangan sikap, keterampilan, dan pengetahuan peserta didik. Dalam pendekatan atau proses kerja yang memenuhi kriteria ilmiah, para ilmuwan lebih mengedepankan penalaran

induktif (*inductive reasoning*) dibandingkan dengan penalaran deduktif (*deductive reasoning*).

Penalaran deduktif melihat fenomena umum untuk kemudian menarik simpulan yang spesifik. Sebaliknya, penalaran induktif memandang fenomena atau situasi spesifik untuk kemudian menarik simpulan secara keseluruhan. Sejatinya, penalaran induktif menempatkan bukti-bukti spesifik ke dalam relasi idea yang lebih luas. Metode ilmiah umumnya menempatkan fenomena unik dengan kajian spesifik dan detail untuk kemudian merumuskan simpulan umum. Metode ilmiah merujuk pada teknik-teknik investigasi atas suatu atau beberapa fenomena atau gejala, memperoleh pengetahuan baru, atau mengoreksi dan memadukan pengetahuan sebelumnya. Untuk dapat disebut ilmiah, metode pencarian (*method of inquiry*) harus berbasis pada bukti-bukti dari objek yang dapat diobservasi, empiris, dan terukur dengan prinsip-prinsip penalaran yang spesifik. Karena itu, metode ilmiah umumnya memuat serangkaian aktivitas pengumpulan data melalui observasi atau eksperimen, mengolah informasi atau data, menganalisis, kemudian memformulasi, dan menguji hipotesis.

Pada Kurikulum 2013 dikembangkan model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Model Pembelajaran tersebut adalah: model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*); model pembelajaran menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*Problem Based Learning/Project Based Learning*). Langkah-langkah pembelajaran berpendekatan saintifik harus dapat dipadukan secara sinkron dengan langkah-langkah kerja (*syntax*) model pembelajaran. Model pembelajaran merupakan kerangka konseptual yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan pembelajaran yang disusun secara sistematis untuk mencapai tujuan belajar yang menyangkut sintaksis, sistem sosial, prinsip reaksi dan sistem pendukung (Joice&Wells).

Tujuan penggunaan model pembelajaran sebagai strategi bagaimana belajar yang membantu peserta didik mengembangkan dirinya baik berupa informasi, gagasan, keterampilan nilai dan cara-cara berpikir dalam meningkatkan kapasitas berpikir secara jernih, bijaksana dan membangun keterampilan sosial serta komitmen (Joice & Wells).

Langkah-langkah dalam pendekatan ilmiah seperti dijelaskan di atas tentu saja harus dijiwai oleh perilaku (jujur, disiplin, tanggung jawab, peduli, santun, ramah lingkungan, gotong royong, kerjasama, cinta damai, responsif dan proaktif) dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan bangsa dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

Disamping itu pemahaman, penerapan dan analisis dari pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif terkait bidang kajian Dasar dan Pengukuran Listrik dapat digunakan untuk memecahkan masalah.

F. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini !

1. Mengacu pada pengalaman anda dalam melaksanakan kegiatan pembelajaran di sekolah identifikasilah hal-hal yang berkaitan dengan pertanyaan berikut ini :

Identifikasilah beberapa kelemahan/kekurangan/masalah yang anda rasakan pada waktu pelaksanaan pembelajaran di kelas. Kelemahan/kekurangan/ masalah tersebut dirasakan telah mengurangi kualitas pembelajaran yang dilakukan.

(Analisislah berdasarkan Pendekatan Saintifik dan Model pembelajaran *Discovery Learning/Inquiry Learning/Problem Based Learning/Project Based Learning*.)

2. Buatlah matriks pemaduan pendekatan saintifik dengan model pembelajaran yang Saudara pilih berdasarkan analisis SKL, KI dan KD untuk mata pelajaran yang Saudara ampu.

G. Kunci Jawaban

1. Pendekatan saintifik diyakini sebagai titian emas perkembangan dan pengembangan sikap, keterampilan, dan pengetahuan peserta didik. Metode ilmiah merujuk pada teknik-teknik investigasi atas suatu atau beberapa fenomena atau gejala, memperoleh pengetahuan baru, atau mengoreksi dan memadukan pengetahuan sebelumnya. Untuk dapat disebut ilmiah, metode pencarian (*method of inquiry*) harus berbasis pada bukti-bukti dari objek yang dapat diobservasi, empiris, dan terukur dengan prinsip-prinsip penalaran yang spesifik. Karena itu, metode ilmiah umumnya memuat serangkaian aktivitas pengumpulan data melalui observasi atau eksperimen, mengolah informasi atau data, menganalisis, kemudian memformulasi, dan menguji hipotesis. Pada Kurikulum 2013 dikembangkan model pembelajaran utama yang diharapkan dapat membentuk perilaku saintifik, perilaku sosial serta mengembangkan rasa keingintahuan. Model Pembelajaran tersebut adalah: model pembelajaran berbasis penyingkapan/penemuan (*Discovery/Inquiry Learning*); model pembelajaran menghasilkan karya yang berbasis pemecahan masalah (*Problem Based Learning/Project Based Learning*).
2. Matriks pemaduan pendekatan saintifik dengan model pembelajaran, menggunakan format seperti di bawah ini.

Tabel Matrik Perancah Pemaduan Sintaksis Model Pembelajaran dengan
Pendekatan Saintifik pada Mata Pelajaran:

Kompetensi Dasar:

3.1.

4.1.

Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan fasilitas belajar di kelas dan bengkel, peserta didik dapat:

1.
2.
3.

Contoh Perancangan Pemaduan Pendekatan Saintifik

Model Pembelajaran

Materi Pembelajaran	Sintaks Model Pembelajaran	Tahap Saintifik 5 M	Kegiatan Belajar

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : KONVERSI ENERGI AIR KE LISTRIK DAN MEKANIK

A. Tujuan

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai teknik konversi energi air menjadi energi listrik atau energi mekanik.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi peserta diklat dapat menyelidiki konversi energi air dan angin menjadi energi mekanik dan listrik.

C. Uraian Materi

2.1. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA)



Gambar 2. 1 Pembangkit listrik tenaga air

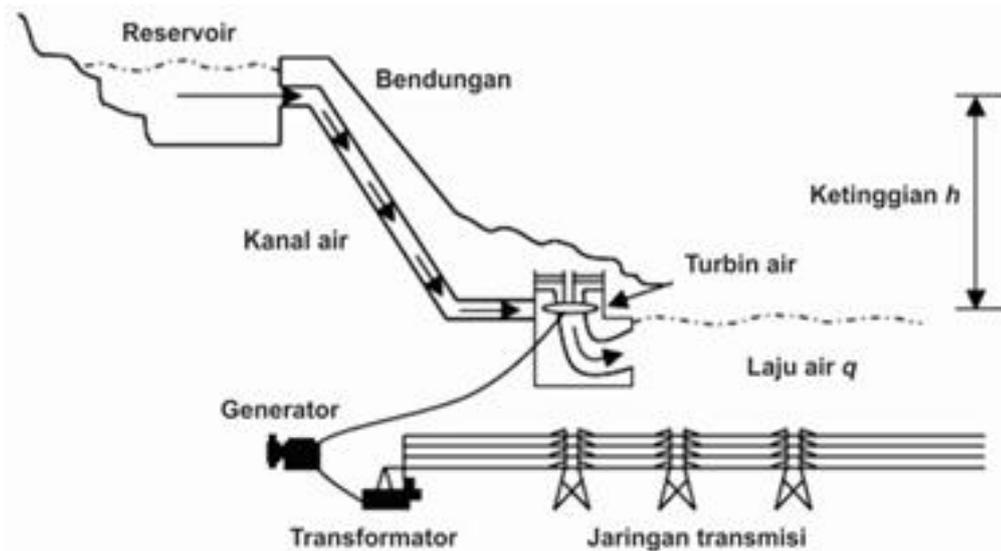
Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan. Selain kapasitas daya keluarannya yang paling besar diantara energi terbarukan lainnya, pembangkit listrik tenaga air ini juga telah ada sejak dahulu kala. Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai pembangkit listrik tenaga air serta keberadaan potensi energi air yang masih belum digunakan.

Tenaga air telah berkontribusi banyak bagi pembangunan kesejahteraan manusia sejak beberapa puluh abad yang lalu. Beberapa catatan sejarah mengatakan bahwa penggunaan kincir air untuk pertanian, pompa dan fungsi lainnya telah ada sejak 300 SM di Yunani, meskipun peralatan-peralatan tersebut kemungkinan telah digunakan jauh sebelum masa itu. Pada masa-masa antara jaman tersebut hingga revolusi industri, aliran air dan angin merupakan sumber energi mekanik yang dapat digunakan selain energi yang dibangkitkan dari tenaga hewan. Perkembangan penggunaan energi dari air yang mengalir kemudian berkembang secara berkelanjutan sebagaimana dicontohkan pada desain tenaga air yang menakjubkan pada tahun 1600-an untuk istana Versailles dibagian luar Paris, Prancis. Sistem tersebut memiliki kapasitas yang sepadan dengan 56 kW energi listrik.

Sistem tenaga air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian biasanya menjadi energi listrik. Air mengalir melalui kanal (*penstock*) melewati kincir air atau turbin dimana air akan menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator. Energi yang dibangkitkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai ataupun digunakan untuk memperbaiki kualitas listrik pada jaringan.

Jumlah daya listrik yang dapat dibangkitkan pada suatu pusat pembangkit listrik tenaga air tergantung pada ketinggian (h) dimana air jatuh dan laju aliran airnya. Ketinggian (h) menentukan besarnya energi potensial (EP) pada pusat pembangkit ($EP = m \times g \times h$). Laju aliran air adalah volume dari air (m^3) yang melalui penampang kanal air per detiknya (qm^3/s). Daya teoritis kasar (P kW) yang tersedia dapat ditulis sebagai: $P = Q$ (debit) $\times H$ (head) $\times g$ (konstanta gravitasi)

Daya yang tersedia ini kemudian akan diubah menggunakan turbin air menjadi daya mekanik. Karena turbin dan peralatan elektro-mekanis lainnya memiliki efisiensi yang lebih rendah dari 100% (biasanya 90% hingga 95%), daya listrik yang dibangkitkan akan lebih kecil dari energi kasar yang tersedia. Gambar 2.2 menunjukkan pusat pembangkit listrik tenaga air pada umumnya.



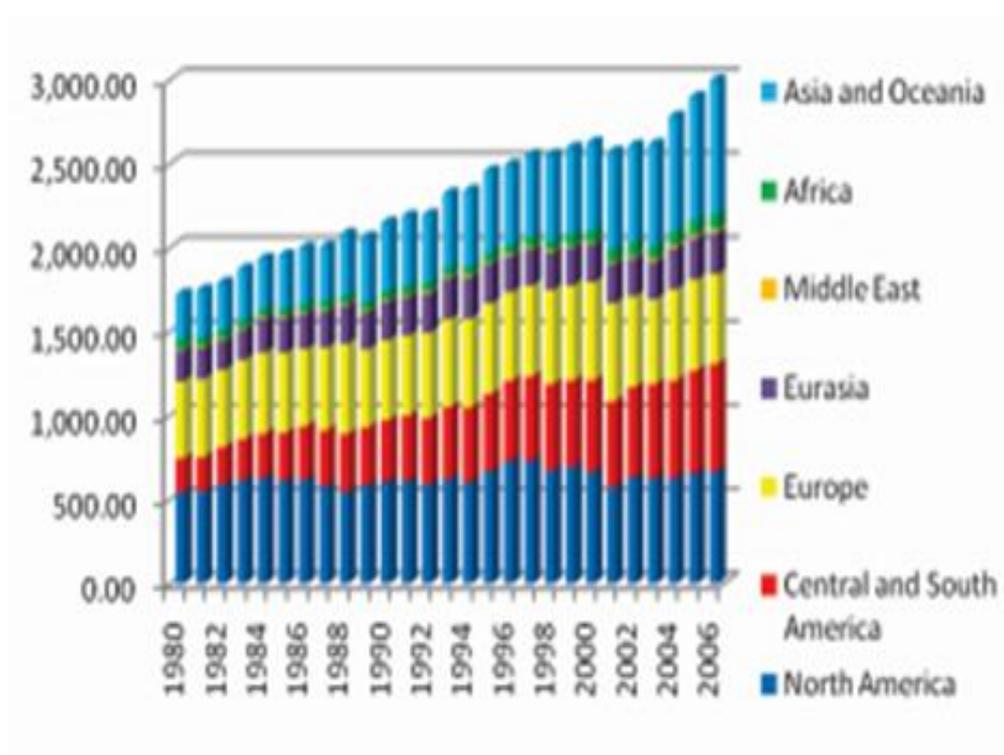
Gambar 2. 2 Pembangkitan listrik tenaga air umumnya

Laju q dimana air jatuh dari ketinggian efektif h tergantung dari besarnya luas penampang kanal. Jika luas penampang kanal terlalu kecil, daya keluaran akan lebih kecil dari daya optimal karena laju air q dapat lebih besar. Di lain pihak, ukuran kanal tidak dapat dibuat besar secara sembarangan karena laju air q yang melalui kanal tergantung dari laju pengisian air pada reservoir air di belakang bendungan.

Volume air pada reservoir dan ketinggian h yang bersangkutan, tergantung dari laju air yang masuk ke dalam reservoir. Selama musim kering, ketinggian air pada reservoir dapat berkurang karena jumlah air dalam reservoir lebih sedikit. Selama musim hujan, ketinggiannya dapat naik kembali karena air yang masuk dari berbagai aliran air yang mengisi bendungan. Fasilitas pembangkit listrik tenaga air harus di desain untuk menyeimbangkan aliran air yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik dan jumlah air yang mengisi reservoir melalui sumber alami seperti curahan hujan, salju, dan aliran air lainnya.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan aplikasi energi terbarukan yang terbesar dan paling matang secara teknologi, dimana terdapat 678.000 MW kapasitas daya listrik yang terpasang di seluruh dunia, yang menghasilkan lebih dari 22% listrik dunia (2564 TWh/tahun pada 1998). Dalam hal ini, 27.900 MW merupakan pembangkit skala kecil yang menghasilkan listrik 115 TWh/tahun. Di Eropa barat, pembangkit listrik tenaga air

berkontribusi sebesar 520 TWh listrik pada tahun 1998, atau sekitar 19% dari energi listrik di Eropa (sehingga menghindari emisi dari sejumlah 70 juta ton CO₂ per tahunnya). Pada sejumlah negara di Afrika dan Amerika Selatan, pembangkit listrik tenaga air merupakan sumber listrik yang menghasilkan lebih 90% kebutuhan energi listriknya. Gambar 2.3 memperlihatkan pembangkitan energi listrik dari air dunia yang meningkat secara dinamis tiap tahunnya. Di samping pembangkit listrik tenaga air yang berkapasitas besar yang telah ada, masih terdapat ruang untuk pengembangan lebih jauh dimana diperkirakan hanya sekitar 10% dari total potensi air di dunia yang telah digunakan.



Gambar 2. 3 Pembangkitan energi listrik tenaga air dunia dalam TWh.

Hampir semua proyek pembangkit listrik tenaga air memiliki skala yang besar, yang biasanya didefinisikan kapasitasnya lebih besar dari 30 MW. Tabel 2.1 menampilkan perbandingan antara beberapa ukuran pembangkit listrik tenaga air.

Ukuran	Kapasitas Pembangkitan Energi Listrik (MW)
Mikro	< 0.1
Kecil	0.1 - 30
Besar	> 30
<i>Sumber: DoE Hydropower, 2002</i>	

Tabel 2. 1 Kapasitas beberapa pembangkit energi listrik tenaga air

Air yang tersimpan dapat digunakan ketika dibutuhkan, baik secara terus-menerus (jika ukuran reservoirnya cukup besar) atau hanya saat beban listrik sangat dibutuhkan (beban puncak). Keuntungan dari pengaturan penyimpanan air ini tergabung dengan kapabilitas alami dari pembangkit listrik tenaga air yang memiliki respon yang cepat dalam ukuran menit terhadap perubahan beban. Oleh karena itu, pembangkit jenis ini sangat berharga karena memiliki pembangkitan listrik yang fleksibel untuk mengikuti perubahan beban yang terduga maupun yang tak terduga.

Pembangkit listrik tenaga air berskala besar telah berkembang dengan baik dan digunakan secara luas. Di perkirakan bahwa 20% hingga 25% dari potensi air skala besar di dunia telah dikembangkan. Pembangkit listrik tenaga air skala besar merupakan sumber energi terbarukan yang paling diinginkan berdasarkan ketersediaan dan fleksibilitas dari sumber energinya. Pada tahun 2008 telah dibangun proyek Three Gorges Dam yaitu PLTA dengan skala 22.5 GW dengan membendung sungai Yangtse di Cina dan merupakan PLTA terbesar di dunia saat ini. Pembangunan PLTA berskala besar membutuhkan biaya awal yang besar sementara biaya operasinya sangat kecil. Hal ini berbeda dengan pembangkit listrik berbahan bakar fosil seperti batu bara dan diesel.

Di Indonesia terdapat banyak sekali potensi air yang masih belum dimanfaatkan. Seperti sungai-sungai besar maupun kecil yang terdapat di berbagai daerah. Hal ini merupakan peluang yang bagus untuk pengembangan energi listrik di daerah khususnya daerah yang belum terjangkau energi listrik. Pengembangan dapat dilakukan dalam bentuk mikrohidro ataupun pikohidro yang biayanya relatif kecil. Proyek ini dapat dilakukan secara mandiri,

seperti yang telah dilakukan oleh tim PALAPA – HME ITB di kampung Cilutung dan Awilega, desa Jayamukti kabupaten Garut, Jawa Barat.

2.2. Perkembangan pembangkit listrik skala kecil

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (head). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut:

- Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
- Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
- Tidak menimbulkan pencemaran.
- Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
- Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Dalam perjalanan sejarahnya, PLTMH memperoleh popularitas sebagai sistem pembangkitan listrik tenaga air yang tepat guna (*appropriate technology*) dan ramah lingkungan. Banyak kelompok yang menentang pembangunan PLTA, dan mereka lebih menganjurkan menggunakan PLTMH. Dukungan mereka terhadap PLTMH dengan alasan PLTMH tidak menggunakan dam tinggi sehingga resiko bencana lebih kecil, tidak membutuhkan genangan yang luas sehingga tidak menimbulkan dampak lingkungan yang merugikan, dapat dioperasikan dan dipelihara lebih mudah sehingga masyarakat lokal dapat membangun, mengelola, dan memanfaatkan sumber daya air untuk kesejahteraan penduduk setempat. PLTMH adalah media dan alat untuk mengembangkan kemampuan masyarakat dalam memperbaiki kualitas dan harkat hidupnya.

Dengan demikian PLTMH bukan sekedar ukuran kapasitas sebuah pembangkit daya, tetapi lebih pada sebuah gerakan sosial, sebagai bagian dari pemahaman teknologi tepat guna (*appropriate technology*) dalam kerangka pengembangan masyarakat (*community development*). Oleh karena itu pembangunan PLTMH yang tidak memberdayakan penduduk lokal, apalagi tidak melibatkan partisipasi aktif masyarakat bukanlah pembangunan PLTMH (*Hydro Power for Empowering People*)

Pada awal tahun 70-an, PLTMH mulai dikenalkan di berbagai negara di Asia, seperti Srilangka, Bangladesh, dan juga Indonesia. Setelah terpasang beberapa instalasi PLTMH, ternyata secara statistik kapasitas pembangkitan dengan skema PLTMH berkisar antara 1

kW hingga 100 kW, dan dari data ini maka PLTMH diklasifikasikan sebagai PLTA dengan kapasitas daya listrik tidak lebih dari 100 kW. Tetapi kebanyakan penggiat PLTMH sepakat bahwa kapasitas pembangkit bukan batasan penggunaan PLTMH, jika prinsip-prinsip dasar PLTMH dapat dipenuhi maka istilah PLTMH masih dapat digunakan walaupun kapasitas pembangkit lebih dari 100 kW.

Pada kenyatannya memang persyaratan teknis PLTMH bergantung pada kapasitas daya pembangkit. PLTMH dengan daya lebih dari 100 kW membutuhkan perencanaan yang lebih mendalam, menuntut pembuatan turbin yang lebih presisi, menggunakan kontroler yang lebih baik sehingga kehandalan instalasi PLTMH dapat beroperasi kontinyu, dengan kualitas listrik lebih baik.

PLTMH untuk sistem Listrik Pedesaan

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro telah digunakan secara luas sebagai salah satu sumber energi alternatif, khususnya di daerah terpencil dimana sumber energi lain tidak tersedia. Tenaga air dalam skala kecil dapat dipasang dalam sungai atau aliran air yang kecil dengan hanya sedikit atau bahkan tidak ada efek negatif terhadap lingkungan, seperti perpindahan ikan misalnya. Kebanyakan pemanfaatan tenaga air dalam skala kecil tidak memerlukan dam atau sistem penampung air musiman, tetapi menggunakan sistem penghentian aliran sungai "run off the river".

Mikrohidro dapat digunakan langsung sebagai tenaga poros untuk kebanyakan aplikasi industri kecil. PLTMH biasanya diaplikasikan untuk penyediaan energi dengan mengkonversikan daya poros menjadi energi listrik dengan menggunakan generator biasa atau motor listrik.

Di beberapa wilayah miskin di dunia, banyak penduduk di daerah terpencil masih banyak yang tidak memiliki akses terhadap energi listrik. Mikrohidro memberikan peluang pada komunitas seperti itu untuk membangkitkan energi listrik untuk keperluan mereka sendiri.



Gambar 2. 4 Poros turbin dikopel langsung dengan mesin penggilingan tepung (Tanzania)

Banyak organisasi internasional dan pemerintah mendukung bentuk pengembangan seperti ini dengan cara pembiayaan proyek, kebijakan perundangan yang mendukung, dan transfer teknologi. Pemerintah Indonesia sendiri terus menggalakan penggunaan energi terbarukan khususnya mikrohidro melalui departemen dan instansi terkait seperti PLN,

zz pemerintah (Government to Government/ G to G) maupun melalui lembaga independen (Non Government Organisation/ NGO). Banyak informasi berharga dalam pembahasan ini telah dirangkum dalam laporan DFID tahun 2002 (tersedia dalam manual ini sebagai “public domain source”). Tabel berikut ini dapat memberikan gambaran mengenai keterkaitan energi terhadap upaya pengentasan kemiskinan.



Gambar 2. 5 PLTMH Salido Kecil di Desa Salido Sari Bulan, Kecamatan IV Jurai, Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat merupakan PLTMH peninggalan jaman Belanda yang hingga sekarang masih beroperasi, dan bahkan setelah direhabilitasi dayanya akan semakin optimal menjadi 330 KW

Energi Untuk Pengentasan Kemiskinan

a. Mitos Dan Fakta

Ada sejumlah mitos tentang energi yang harus diluruskan sebagai upaya mendorong masyarakat untuk berfikir lebih serius tentang hal-hal yang berkaitan dengan penyediaan energi, akses energi dan penggunaan energi.

MITOS	FAKTA
orang miskin tidak mempertimbangkan penyediaan energi sebagai sebuah prioritas	Orang miskin mungkin tidak menggunakan istilah energi, tetapi mereka dapat menghabiskan waktu dan usaha yang lebih banyak untuk memperoleh energi dibandingkan orang yang mampu. Mereka menghabiskan porsi yang besar dari pendapatan keluarga untuk kebutuhan dasar hidup seperti memasak, penghangat ruangan, dll.
Ketersediaan listrik, baik dari jaringan PLN atau sumber energi terbarukan akan memecahkan semua kebutuhan energi bagi orang miskin	Para ahli kadang sering salah mengatakan “listrik” ketika yang dimaksud adalah “Energi” dan sebaliknya. Semua orang membutuhkan akses terhadap sejumlah sumber energi untuk memenuhi kebutuhan energi seperti, memasak, pemanas, transportasi dan komunikasi.
Orang miskin tidak dapat membayar pelayanan energi	Banyak orang miskin sering membayar lebih mahal per unit energi dibandingkan orang mampu, sebagian karena teknologi konversi yang tidak efisien dan sebagian karena korupsi.
Teknologi baru terbarukan-	Teknologi jarang menjadi batasan,

seperti photovoltaic dan solarcell akan meningkatkan akses orang miskin terhadap pelayanan energi.	tetapi sistem kelembagaan, masalah politik dan sosial sering menghambat keberlanjutan mata pencaharian. Keterbatasan pengetahuan dan keterampilan merupakan hal yang lebih penting untuk diatasi.
Hanya orang-orang didaerah terpencil menderita karena kekurangan energi	Penduduk miskin didaerah perkotaan juga menderita karena kekurangan energi dan jumlahnya terus meningkat karena diperkirakan bahwa 61% populasi dunia akan tinggal didaerah perkotaan pada tahun 20254

- Poverty encompasses low incomes, deprivation (hunger, sickness, lack of shelter and clothing), low achievements in education, vulnerability, exposure to risk, voicelessness and powerlessness. World Development Report 2000/2001, Attacking Poverty, The International Bank of Reconstruction and Development, The World Bank 2001
- UNHCR (1999), 'An Urbanising World, Global Report on Human Settlements' Introduction of Renewable Energy Lesson Modules at Technical Schools in Indonesia

b. Energi dan Tujuan Pembangunan di Millenium Ketiga

Pelayanan energi dapat memainkan peranan langsung dan tidak langsung dalam membantu pencapaian tujuan pembangunan di milenium ketiga, dimana Energi dapat:

- **membantu mengatasi kemiskinan** – Akses terhadap pelayanan energi memfasilitasi perkembangan ekonomi masyarakat kecil, misalnya: aktifitas usaha dapat dilakukan baik siang maupun malam; berkembangnya industri kecil di pedesaan, sehingga membuka lapangan pekerjaan. Perkembangan ekonomi pedesaan ini dapat menjembatani perbedaan antara orang miskin dan kaya.

- **mengurangi kelaparan dan meningkatkan akses terhadap air minum yang bersih** -- Ketersediaan energi dapat meningkatkan sistem penyediaan air bersih melalui pompa, baik untuk mencuci maupun memasak, dimana 95% makanan pokok perlu dimasak sebelum dapat dimakan.
- **mengurangi angka kelahiran, kehamilan dan penyakit** -- Energi adalah komponen kunci dalam fungsi sistem kesehatan, sebagai contoh mesin dan cahaya untuk operasi, sistem pendinginan obat-obatan dan vaksin, peralatan sterilisasi, sistem transportasi kesehatan, dll.
- **mendukung pencapaian pendidikan dasar, persamaan gender dan pemberdayaan perempuan** - Ketersediaan energi meningkatkan efisiensi aktifitas perempuan dan anak-anak dalam rumahtangga (misal: mengumpulkan kayu bakar, mencuci, memasak,dll). Penerangan memungkinkan pelajaran dibawa ke rumah, meningkatkan keamanan, dan memungkinkan penggunaan fasilitas informasi dan komunikasi dalam kegiatan belajar mengajar di sekolah.
- **menjaga lingkungan secara berkelanjutan** - Peningkatan efisiensi energi dan penggunaan energi alternatif yang lebih bersih dapat membantu pemanfaatan sumber alam secara berkelanjutan. Selain itu juga pengurangan emisi dan polusi akan melindungi lingkungan lokal maupun global. Pemerintah Indonesia berniat untuk meningkatkan rasio elektrifikasi pedesaan menjadi 45%, yang berarti menyediakan listrik bagi hampir 50.000 desa, yang sumber utamanya kebanyakan dari pembangkit listrik tenaga air skala kecil dan mikro (*Hydropower and Dams World Atlas, 2005*)

c. Mikrohidro: suatu sumber energi yang tepat

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) memiliki banyak keuntungan dibanding sumber energi konvensional. Keuntungan tersebut antara lain:

- Menggunakan sumber energi terbarukan, dimana air di daerah tangkapan tidak dihabiskan, melainkan terus digantikan sesuai dengan siklus hidrologi.
- Air merupakan sumber energi non polusi.

- Dapat menggantikan sistem pembangkit listrik berbahan bakar minyak (BBM), dimana bahan bakunya diimpor.
- Teknologi yang telah terbukti keandalannya dengan baik,
- Dampak negatif PLTMH terhadap lingkungan (ekologi sungai) sangat rendah.

Meskipun demikian ada juga sejumlah kekurangan yang harus dipertimbangkan ketika membandingkan PLTMH dengan sumber energi lain. Pembangkit listrik air skala kecil identik dengan;

- Biaya investasi yang relatif besar untuk pembangunan PLTMH, meskipun biaya operasinya rendah.
- Memerlukan penguasaan pengetahuan khusus yang kadang tidak tersedia dimasyarakat setempat. Perlu diperhatikan bahwa PLTMH bukan merupakan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang dikecilkan, tetapi sebuah pembangkit yang memerlukan perencanaan dan pembangunan yang unik dan berbeda dengan PLTA.
- Meskipun PLTMH memerlukan perhatian yang sederhana, tetapi harus dilakukan secara terus menerus, terutama dalam operasional dan perawatannya. Kadang-kadang masyarakat desa tidak dipersiapkan untuk melakukannya, sehingga mereka kurang terorganisir, kurang sadar dan kurang rasa memiliki. Akibatnya PLTMH kurang mampu bertahan lama. Hal ini merupakan aspek yang harus diperhatikan dengan teliti dalam merencanakan sebuah PLTMH.

Dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya seperti angin, biomass, dan tenaga surya, PLTMH memiliki beberapa keunggulan lain diantaranya;

- Efisiensi PLTM lebih tinggi (70 – 90 %), sehingga lebih baik daripada teknologi energi lainnya.
- Faktor kapasitas PLTMH lebih tinggi, biasanya lebih dari 50% (tergantung aplikasi sistem), dibandingkan dengan PV yang hanya 10% dan 30% untuk angin. Oleh karena itu PLTMH lebih handal dalam sistem jaringan terpisah. (off grid).
- PLTMH lebih mudah diprediksi, biasanya berubah sesuai dengan pola curah hujan tahunan.

- Perubahan sistem kerja PLTMH lebih lambat, air sebagai sumber energi berubah secara berangsur-angsur dari hari ke hari, tidak dari menit ke menit seperti halnya angin.
- Keterkaitan PLTMH dengan beban lebih baik, dimana output tetap konstan baik malam ataupun siang hari. Permintaan beban yang meningkat dapat dilayani ketika debit air lebih besar dan daya yang dihasilkan mencapai maksimum.
- PLTMH lebih tahan lama dan handal, sehingga dapat dipakai hingga 50 tahun bahkan lebih, dan cukup mudah untuk ditangani oleh penduduk desa.

2.3. Prinsip pembangkitan tenaga air skala kecil

PLTMH bekerja ketika air dalam jumlah dan ketinggian tertentu dijatuhkan dan menggerakkan kincir yang ada di dalam turbin PLTMH. Putaran turbin yang bertenaga tersebut digunakan untuk menggerakkan alternator atau generator hingga menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dialirkan melalui kabel listrik ke rumah-rumah penduduk atau pabrik.

Jadi PLTMH mengubah tenaga gerak yang berasal dari air menjadi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik tentunya harus menggunakan peralatan yang tepat dan tidak seadanya karena listrik berbahaya.



Gambar 2. 6 Seluruh anggota masyarakat dilibatkan dalam perencanaan, pembiayaan, pembangunan dan pengoperasian PLTMH



Gambar 2. 7 Habis Gelap Terbitlah Terang. Dengan listrik sumber informasi dapat diakses dimanapun di seluruh pelosok tanah air.

1. Bagian-bagian PLTMH

Sebuah PLTMH mempunyai empat sistem utama, yaitu:

- a. Sistem Hidrolik, terdiri dari: bendung dan intake, bak pengendap, saluran pembawa, bak penenang, saluran pelimpah, pipa pesat, turbin.
- b. Sistem Pembangkitan (Generator dan Switch Gear)
- c. Beban/ sistem konsumen (peralatan listrik)
- d. Sistem kontrol (yang menyesuaikan output sistem dengan beban konsumen)

2.4. Komponen-komponen pembangkit listrik skala kecil.

Komponen pokok yang dibutuhkan dalam sebuah instalasi PLTMH terdiri dari

- a. Komponen sipil

- b. Peralatan elektro mekanikal
- c. Transmisi dan distribusi listrik

KOMPONEN SIPIL

Bendung Pengalihan (*Diversion Weir*), terletak melintang aliran sungai yang berfungsi meninggikan permukaan air sungai agar aliran air yang masuk melalui intake ke dalam sistem penyaluran PLTMH lebih lancar dan sesuai dengan kebutuhannya. Pembuatan bendung ini tidak sampai menghentikan aliran air pada sungai yang dibendung untuk menjamin hak pengguna air lainnya.

- 1) **Intake (*Saluran Pemasukan*)**, terdiri dari lubang intake (intake orifice) dan pintu intake (intake gate). Lubang intake merupakan pintu masuk menuju saluran pembawa. Lubang intake berada di samping bendung atau di bibir sungai ke arah hulu sungai. Pintu intake mengatur aliran air masuk dari sungai ke sistem pembawa air. Pintu intake juga memungkinkan untuk menutup sama sekali aliran masuk selama periode perawatan dan selama banjir. Pada pintu intake biasanya terdapat perangkat sampah. Bagian dasar saluran antara lubang intake dan pintu intake dibuat lebih miring agar dapat mengendapkan pasir dan kerikil yang ikut masuk ke dalam intake.
- 2) **Bak Pengendap (*Desilting Chamber/ Sand Trap*)**, merupakan saluran yang terletak sesudah pintu intake. Bagian dasar bak pengendap secara membujur dibuat lebih miring agar kecepatan aliran air menurun. Penurunan ini akan mengendapkan kerikil, pasir dan sedimen sehingga tidak ikut masuk ke saluran pembawa, dan yang terpenting tidak masuk ke dalam turbin. Partikel-partikel yang masuk ke dalam turbin akan mengakibatkan abrasi pada runner. Pada bagian akhir bak pengendap terdapat pintu penguras untuk membersihkan sand trap dari endapan pasir, kerikil dan sedimen. Pada PLTMH kecil bak pengendap juga berfungsi sebagai bak penenang.
- 3) **Saluran pembawa (*head race channel*)**, adalah saluran yang membawa air mulai dari saluran pemasukan (intake) hingga ke bak penenang. Bagian dasar saluran dibuat miring (landai) agar tidak ada air yang terjebak di dalam saluran. Kemiringan

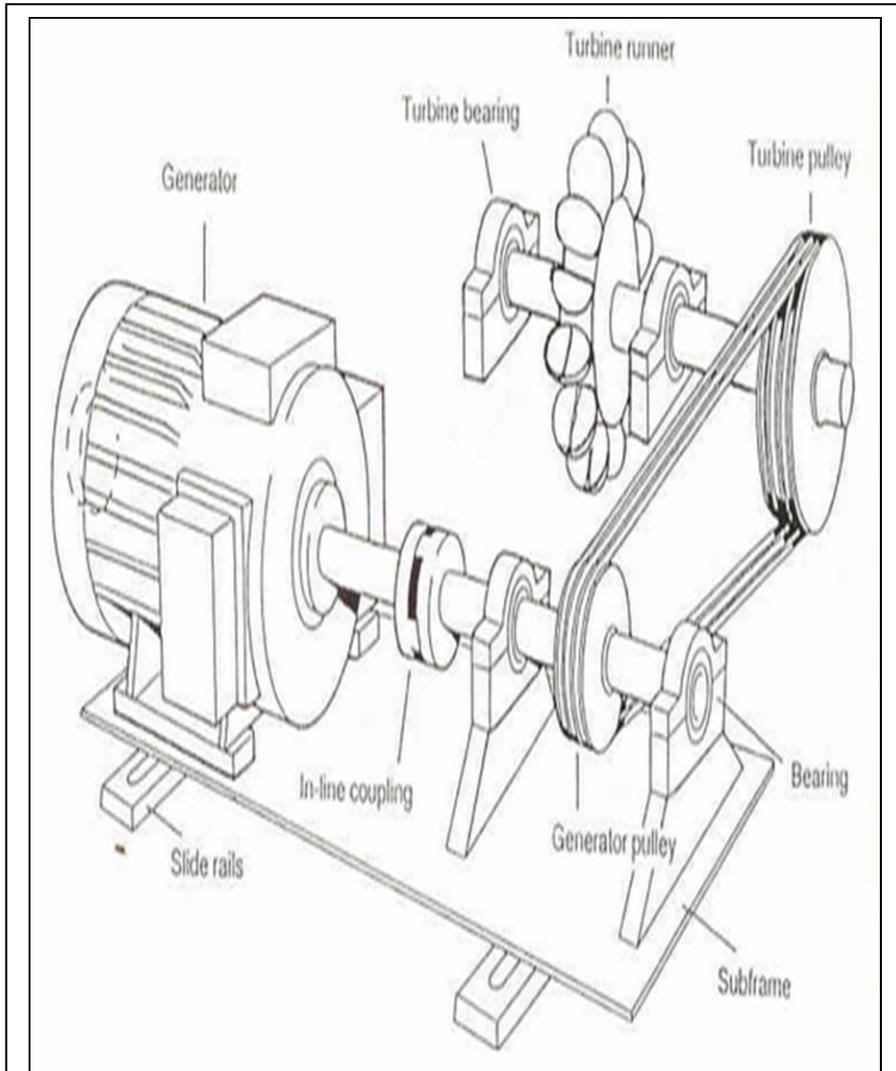
dibuat sedemikian rupa agar hilangnya ketinggian (*head lose*) dapat dibuat seminimal mungkin. Jika saluran pembawa harus melintasi jurang atau sungai, maka dibuat saluran penyebrangan atau jembatan pipa. Meskipun saluran pembawa dibuat setelah bak penenang, namun panjang saluran pembawa diukur sejak intake hingga bak penenang.

- 4) **Pelimpah dan saluran pelimpah (*spillway dan spillway channels*)**, berfungsi untuk mencegah aliran air berlebih yang tidak terkontrol dengan cara mengembalikan kelebihan air dalam saluran ke sungai melalui saluran pelimpah. Kelebihan air terjadi ketika debit air di dalam saluran melebihi batas atau saringan di dalam bak penenang tersumbat sampah. *Spill way* kemungkinan terletak pada bak pengendap, saluran pembawa, dan bak penenang. Dengan adanya sistem pelimpah air dapat mencegah erosi dan tanah longsor pada sistem saluran air yang diakibatkan air meluber kemana-mana.
- 5) **Bak penenang (*forebay*)** membentuk transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat. Dalam beberapa kasus baknya diperbesar yang bertujuan sebagai bak penampung pada beban puncak dan bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (*air suction*) oleh penstock. Bak penenang ini pun merupakan bak pengendap dan penyaring terakhir sebelum air masuk ke dalam pipa pesat (*penstock*).
- 6) **Saringan**, menyaring sampah dalam air agar tidak masuk ke dalam pipa pesat. Saringan terletak pada bagian depan intake, setelah bak pengendap, dan ujung depan pipa pesat di dalam bak penenang. Saringan harus diperiksa dan dibersihkan secara teratur.
- 7) **Pipa pesat (*penstock*)** adalah pipa yang menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit yang membawa air jatuh ke turbin. Umumnya pipa pesat terbuat dari pipa baja yang di rol dan dilas untuk menyambungkannya. Namun demikian ada juga pipa pesat terbuat beton atau plastik (PE, PVC, HDPE). Pipa pesat juga berfungsi mempertahankan tekanan air jatuh sehingga energi di dalam gerakan air tidak terbuang. Oleh karena itu air di dalam pipa pesat tidak boleh bocor, karena akan mengurangi tekanan air. Tinggi (*head*) pipa pesat di hitung secara tegak lurus (90°). *Pipa* pesat didukung oleh sliding blocks dan angkor serta expansion joint

(sambungan) untuk mengatasi pemuaian pipa secara memanjang akibat pengaruh temperatur.

- 8) **Rumah pembangkit (power house)** adalah bangunan tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH dipasang secara aman baik dari pengaruh cuaca buruk maupun akses masuk orang-orang yang tidak berkepentingan. Peralatan mekanik seperti turbin dan alternator berada di dalam rumah pembangkit, demikian pula peralatan elektrik, seperti controler.
- 9) **Saluran pembuang (Tailrace Channel)**, terpasang dibagian dasar rumah pembangkit yang berfungsi mengalihkan air kembali ke sungai setelah melalui turbin.

PERALATAN ELEKTRO-MEKANIKAL



Gambar 2. 8 Sistem Elektro - Mekanikal

Peralatan elektro-mekanikal adalah semua peralatan yang dipergunakan untuk merubah energi air menjadi listrik. Peralatan utamanya terdiri dari:

- i. Turbin, merupakan peralatan mekanik yang mengubah tenaga air menjadi mekanik (tenaga putar/ gerak). Ada beberapa jenis turbin yang digunakan di dalam PLTMH sesuai dengan debit dan tinggi jatuh air, yaitu turbin pelton, turbin cross flow, turbin propeler turbin open plum dan pump as turbin (PAT)
- ii. Alternator atau generator merupakan peralatan mekanik yang berfungsi mengubah tenaga gerak putar menjadi listrik. Alternator digerakan oleh turbin dengan bantuan sabuk pemutar. Untuk menjaga kestabilan putaran alternator, di antara turbin dan alternator sering dipasang roda gila (*fly wheel*).
- iii. Panel atau Peralatan Pengontrol Listrik, biasanya merupakan peralatan elektrik yang berbentuk kotak dan dipasang di dinding. Panel berisi peralatan elektronik untuk mengatur listrik yang dihasilkan alternator/ generator.
- iv. Jaringan kabel listrik, merupakan jaringan kabel listrik yang menyalurkan listrik dari rumah pembangkit ke pelanggan (PLN, rumah-rumah, atau pabrik).

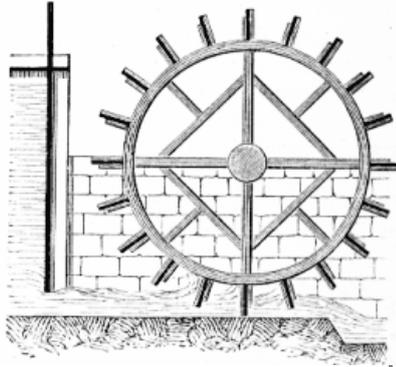
2.5. Kriteria pemilihan jenis turbin air skala kecil

Pengenalan Turbin Air

Turbin air merupakan salah satu komponen utama dari sebuah PLTMH, berfungsi untuk mengubah energi hidrolis (baik energi potensial maupun energi kinetis) menjadi gerakan mekanis, yaitu gerakan berputar. Gerakan putar yang dihasilkan turbin nantinya digunakan untuk menggerakkan generator, dari putaran generator akan dihasilkan suatu tegangan listrik.

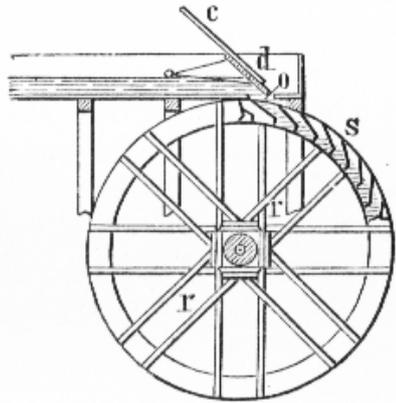
Contoh paling mudah yang dapat kita lihat adalah **kincir air**. Kincir air banyak digunakan sejak ribuan tahun yang lalu. Seluruh penjuru dunia masih menggunakan kincir air untuk penggilingan atau menggerakkan generator kecil. Dalam konstruksi mesin yang klasik, kincir air ditandai oleh poros mendatar (horisontal).

Pada dasarnya kita dapat membedakan kincir air menjadi 3 tipe:



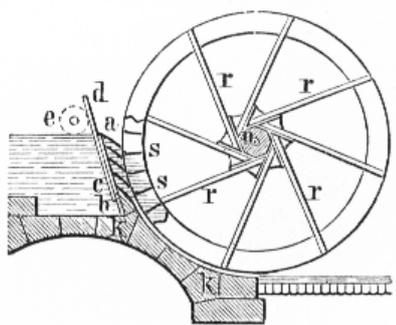
Kincir air tipe *undershot*

Tipe ini adalah yang tertua. Vitruv membuat tipe kincir air ini pada abad pertama sebelum masehi. Kincir air ini dapat digunakan di sungai dengan aliran yang cepat. Efisiensinya sekitar 25%. Pada abad ke-19, tipe kincir ini menjadi lebih berkembang. Terutama yang didisain oleh Poncelet yang mencapai efisiensi sebesar 70%.



Kincir air tipe *overshot*

Kincir air tipe overshot sudah digunakan sejak abad ke-14. Jika kincir ini dibuat dengan baik dan ketinggian reservoir air bagian atas memperbolehkan diameter kincir yang besar, efisiensinya mencapai 75% atau bahkan kadang-kadang mencapai 80%.



Kincir ini adalah tipe kincir yang paling terbaru, yang dikembangkan pada abad ke-16. Kincir ini adalah gabungan antara dua buah konstruksi dasar. Versi terdahulunya dapat mencapai efisiensi sebesar 45%, tipe-tipe modern dapat mencapai efisiensi sebesar 75%.

Perkembangan turbin air tidak hanya berhenti di kincir air tersebut diatas, berbagai penemuan dan penelitian dilakukan untuk mendapatkan turbin air yang lebih efisien, lebih mudah dibuat, dan dapat membangkitkan daya yang besar walaupun dengan

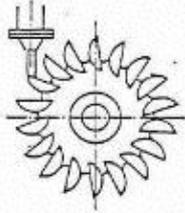
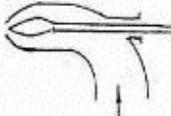
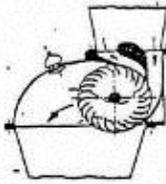
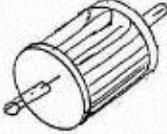
ukuran turbin yang relatif lebih kecil (kincir air yang efisien dengan diameter 8 m dapat digantikan dengan turbin cross flow dengan diameter 0.5 m).

Saat ini terdapat beberapa jenis turbin air modern yang sangat umum dipakai, dengan keunggulan dan kelemahan masing-masing, yang dapat mencakup daya sekitar mulai puluhan Watt hingga puluhan MegaWatt.

Turbin modern dapat dibagi dalam dua klasifikasi utama, yaitu:

Turbin Impuls

Memanaat energi kinetik fluida, terutama dipengaruhi tekanan air (beda tinggi). Air yang jatuh bekerja hanya pada beberapa bagian *runner*. Seluruh energi hidrolis diubah menjadi energi kinetik. Tidak terjadi perubahan tekanan pada air sebelum dan sesudah melewati *runner*. *Runner* adalah bagian utama turbin yang mengubah energi hidrolis menjadi energi kinetis (putaran).

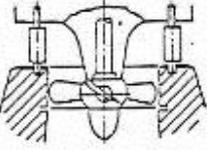
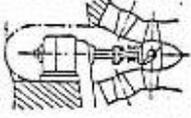
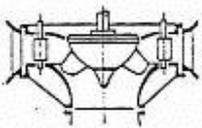
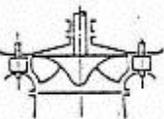
<i>impuls turbine</i>			
The acts only on a part of the runner. All hydraulic energy is converted into kinetic energy before entering the runner. The fluid does not change pressure on its way through the runner			
NAME		RUNNER	GUIDE VANE
PELTON TURBINE		numerous double buckets The water jet enters the runner tangentially 	1 to 6 adjustable spear valves 
TURGO IMPULSE		numerous double bended buckets The water jet enters the plane of the runner at an angle of 20° 	1 to adjustable spear valves
CROSS FLOW		cylindrical runner with 	one adjustable profiled 

Gambar 2. 9 Turbin Impuls

Turbin Reaksi

Memanfaatkan energi gravitasi pada fluida, terutama dipengaruhi oleh debit air. Seluruh bagian runner ditenggelamkan / dipenuhi oleh air. Terdapat perbedaan tekanan air,

dimana tekanan sebelum melewati runner lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan air setelah melewati runner.

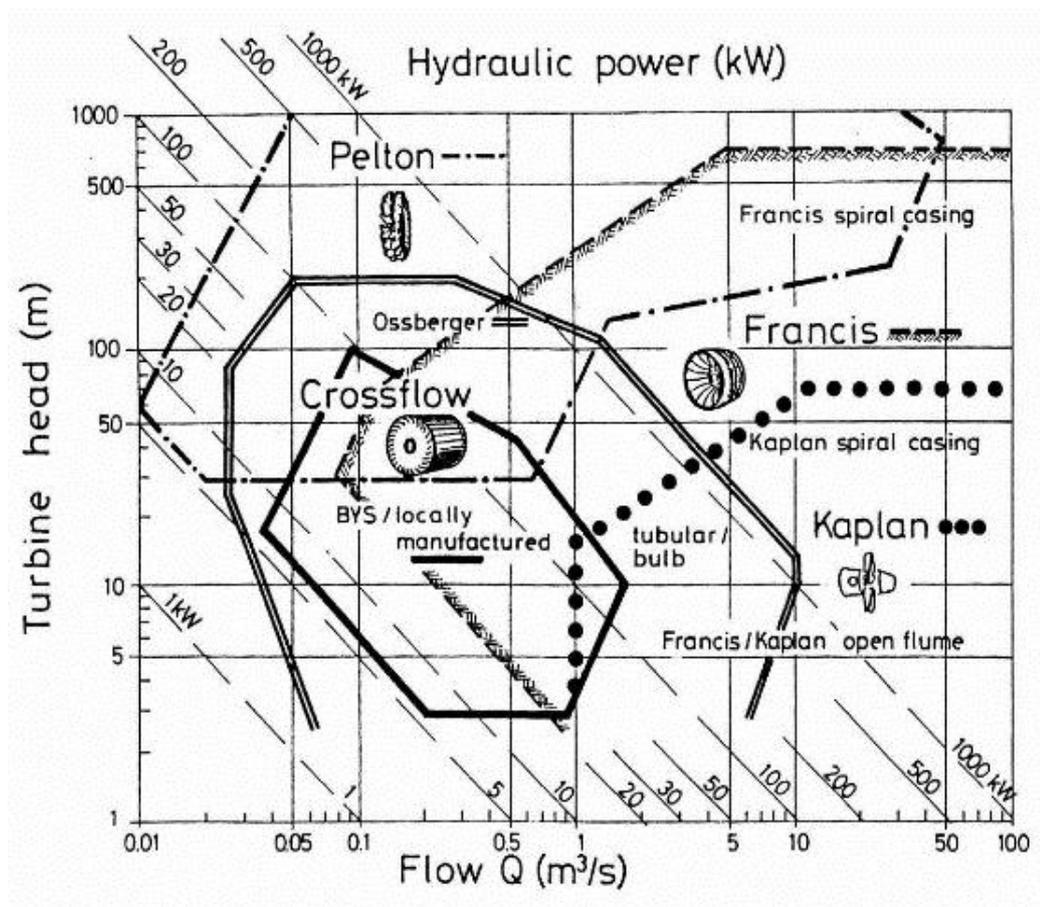
<i>Reaction turbine</i>			
The turbine runner is totally submerged in the water. There is a higher pressure at the runner inlet than at the outlet			
NAME		RUNNER	DISTRIBUTOR
AXIAL FLOW KAPLAN TURBINE		propeller with profiled, adjustable blades 	adjustable or fixed, radial guide vanes 
TUBE TURBINE (S-TURBINE)		like KAPLAN	adjustable or fixed semi axial guide vanes
SEMI AXIAL FLOW DERIAZ TURBINE		semi axial runner with adjustable blades	adjustable, radial guide vane
RADIAL FLOW FRANCIS TURBINE		radial runner 	adjustable, radial guide vane

Gambar 2. 10 Turbin Reaksi

Batasan dan Penggunaan Turbin

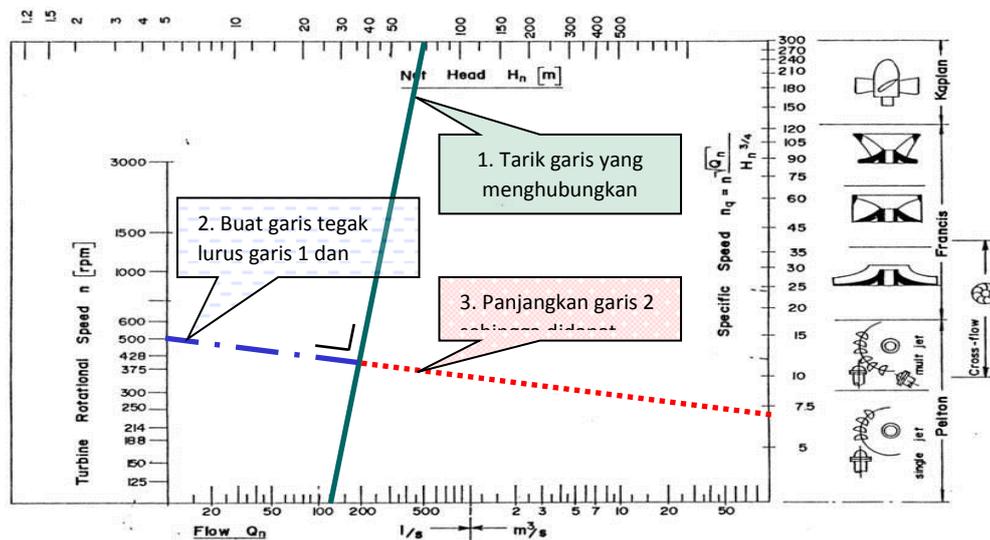
Setiap turbin memiliki aplikasi dengan batas spesifikasinya masing-masing. Adalah mungkin, bahwa tipe turbin yang berbeda tersebut layak untuk suatu pembangkit. Penawaran dari pabrikan yang berbeda harus dibandingkan dahulu. Dalam banyak kasus, pertimbangan ekonomi cukup menentukan dalam pemilihan turbin. Penentuannya tidak selalu jelas dan mudah dan memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik spesifik turbin.

Terdapat sumber-sumber diagram dan rekomendasi aplikasi yang berbeda untuk memilih tipe turbin yang sesuai. Pabrikan turbin besar dan kecil menyajikan program pabrikasi turbin mereka pada diagram pemilihan.



Gambar 2. 11 Aplikasi untuk batasan umum tipe-tipe turbin air yang berbeda (sumber: MHPG Publication Vol. 11)

Seperti dilihat pada Gambar 2.12, turbin air jenis pelton hanya cocok dipergunakan untuk kondisi head yang tinggi (turbin impuls). Sedangkan turbin air jenis propeller / kaplan lebih cocok dipergunakan untuk head yang rendah dengan debit yang lebih besar (turbin reaksi). Turbin crossflow berada di area pertengahan, dengan head yang tidak terlalu tinggi dan flow yang juga tidak terlalu besar. Sedangkan turbin Francis dapat mencakup luasan yang sangat besar, dengan catatan tiap turbin didisain untuk satu keperluan yang spesifik.



Gambar 2. 12 Contoh untuk penaksiran yang cepat untuk tipe dan kecepatan turbin yang sesuai, dalam fungsi head dan debit

2.1 Karakteristik Turbin Air

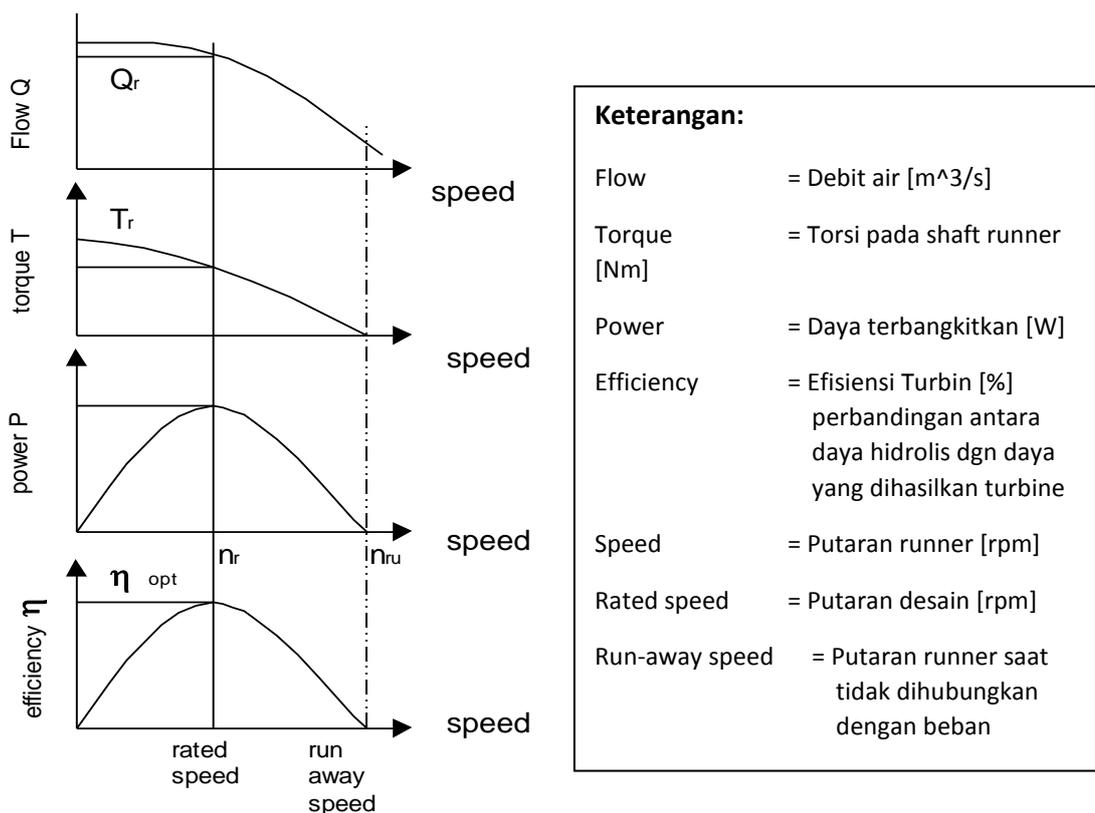
2.3.1 Pengertian Umum

Turbin air adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi kinetik dari arus air. Turbin air dikembangkan pada awal abad ke-19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri sebelum adanya jaringan listrik. Sekarang mereka digunakan untuk pembangkit tenaga listrik.

Spesifikasi disain berikut ini harus diketahui untuk mendapatkan ukuran turbin yang akurat untuk instalasi:

- efisiensi turbin pada debit puncak dan debit sebagian
- kecepatan turbin
- kinerja turbin pada kondisi beban sebagian, overload dan runaway
- ukuran dimensi runner dan turbin

Spesifikasi-spesifikasi ini dikembangkan dari pengukuran di laboratorium dengan cara model turbin disambungkan ke brake dan throttled stepwise mulai dari kecepatan run-away sampai berhenti. Headnya tetap konstan. Semua parameter (debit, tenaga putaran dan daya) diukur untuk setiap titik dan dihitung efisiensinya. Prosedur yang sama diulangi untuk bukaan guide vane yang berbeda untuk mendapatkan karakteristik turbin yang lengkap.



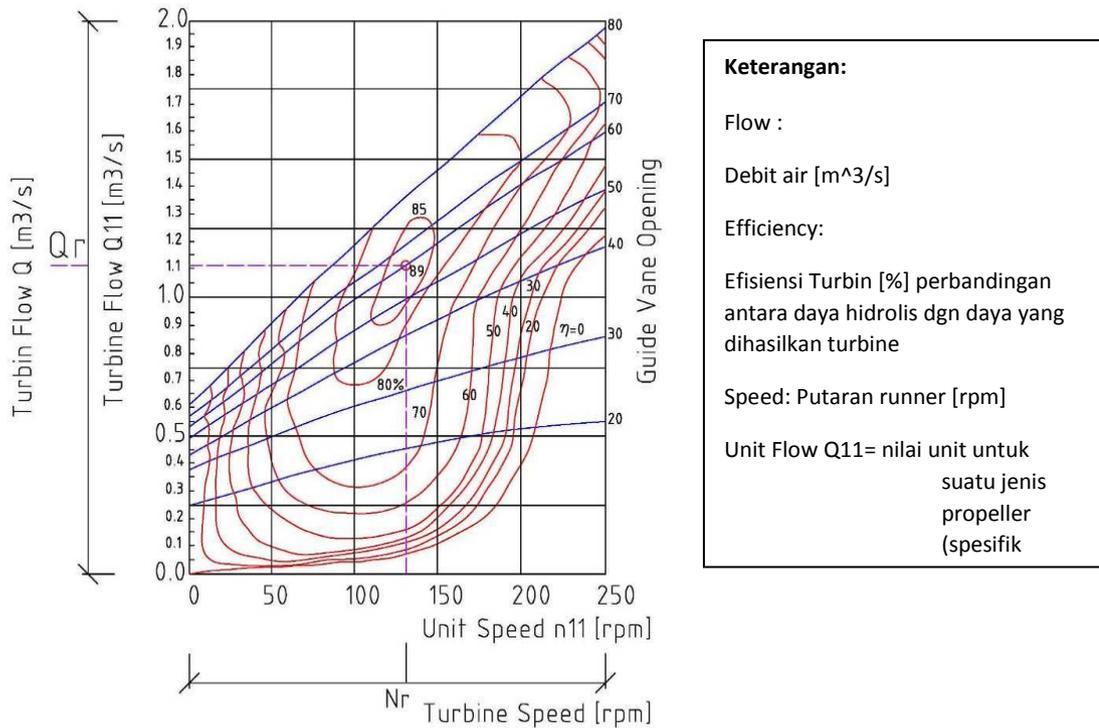
Gambar 2. 13 Mengukur karakteristik-karakteristik turbin dengan menghentikan turbin dari kecepatan run-away sampai berhenti (posisi guide vane konstan)

Dalam istilah praktis, kecepatan variabel seperti pada grafik di atas hanya akan terjadi pada pembangkit yang berdiri sendiri (tidak tersambung dengan jaringan) tanpa governor, atau turbin pada saat kondisi start-up, shut-down dan run-away (pemutusan hubungan mendadak dari beban). Bagaimanapun, untuk pemilihan turbin yang akurat dan prediksi kinerjanya, penting untuk mengetahui debit dan efisiensi selain daripada kecepatan nominal karena kondisi pembangkit aktual akan sangat sulit bersesuaian sepenuhnya dengan data disain mesin (= nilai dasar).

2.3.2 Grafik Hill

Grafik Hill adalah grafik yang menunjukkan karakteristik kecepatan debit dan kurva untuk efisiensi yang sama dari unit mesin sehingga dengan grafik ini memungkinkan untuk menggabungkan efisiensi dan debit versus kurva kecepatan dalam satu grafik.

Hill chart berlaku untuk semua turbin yang sama secara geometris. Ini berarti bahwa turbin yang diukur adalah didisain sama persis tetapi dengan skala yang berbeda. Skalanya merupakan rasio antara diameter runner. Karakteristik turbin yang menyeluruh ditampilkan dalam hill chart, yaitu menggambarkan kinerja turbin secara lengkap.

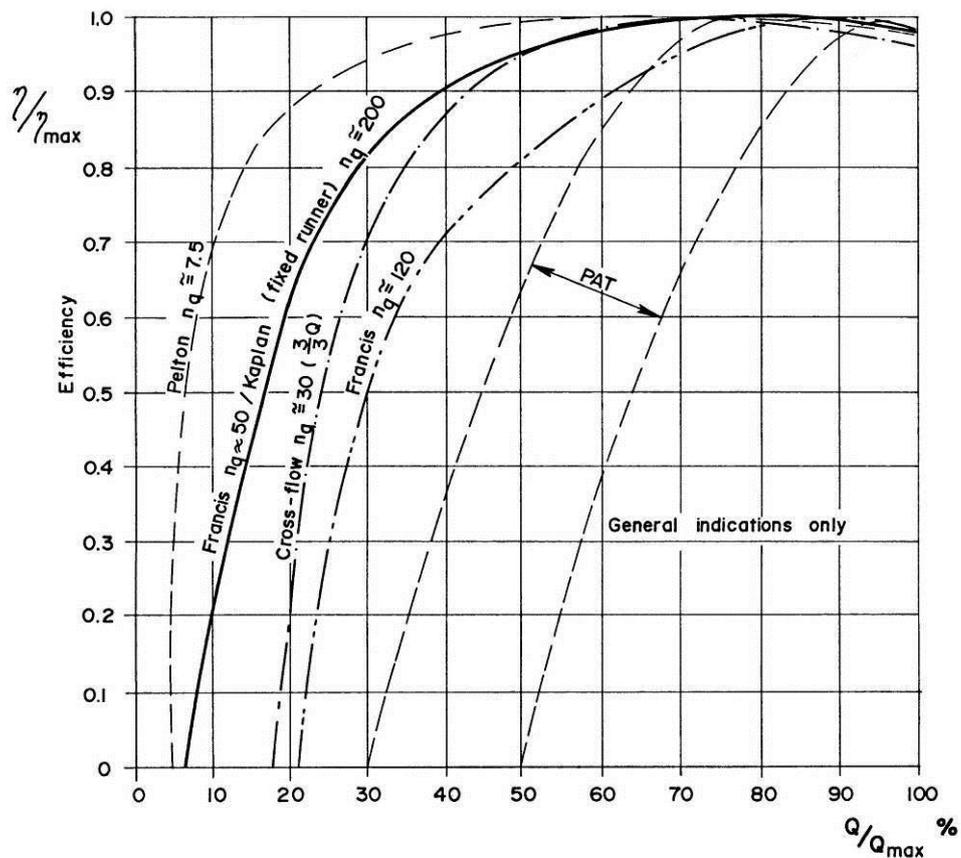


Gambar 2. 14 Contoh Hill grafik untuk turbin propeller

Turbin sering tidak beroperasi dengan debit dasar sebagai contoh selama musim kemarau dikarenakan tidak terdapatnya cukup air atau konsumen tidak memerlukan daya puncak selama waktu tertentu.

2.3.3 Efisiensi Turbin Saat Pasokan Air Berkurang

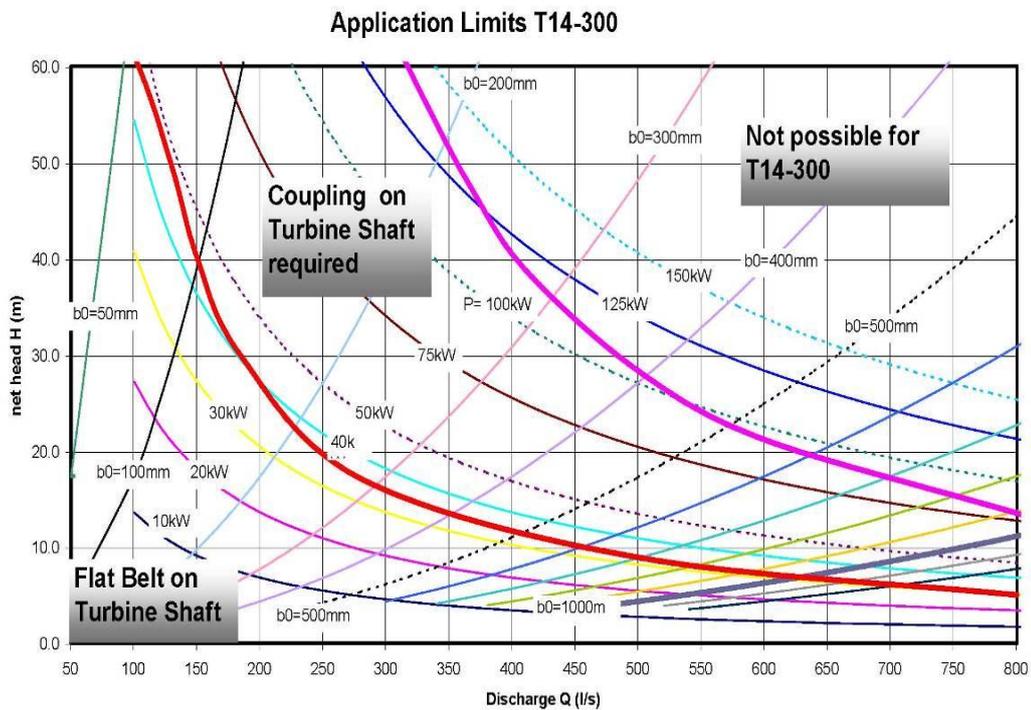
Dalam sebuah perencanaan pembangunan PLTMH tentu saja diharapkan sumber air selalu cukup tersedia, namun ada kalanya sumber air sebagai sumber tenaga berkurang (misalnya pada musim kemarau). Berikut tabel yang memperlihatkan pengaruh besarnya pasokan air dan hubungannya dengan efisiensi turbin.



Gambar 2. 15 Efisiensi turbin dengan pasokan air hanya sebagian

2.2 Turbin Cross Flow

Turbin ini mudah untuk difabrikasi dan ditawarkan oleh banyak pabrikan (misalnya Ossberger dan Volk di Jerman). SKAT dan BYS (Nepal) mengembangkan disain berbiaya rendah dan mempublikasikannya (MHPG Publication Volume 3 dan 4) sekitar tahun 1980. Beberapa turbin telah dibuat di Nepal dan di Indonesia. Pada tahun 1990 disain turbin yang disempurnakan dan lebih efisien yaitu Model T14/T15 dikembangkan dan sekarang digunakan.



Gambar 2. 16 Batas aplikasi turbin cross flow T15 dengan diameter 300 (sumber: ENTEC)

Karakteristik turbin crossflow:

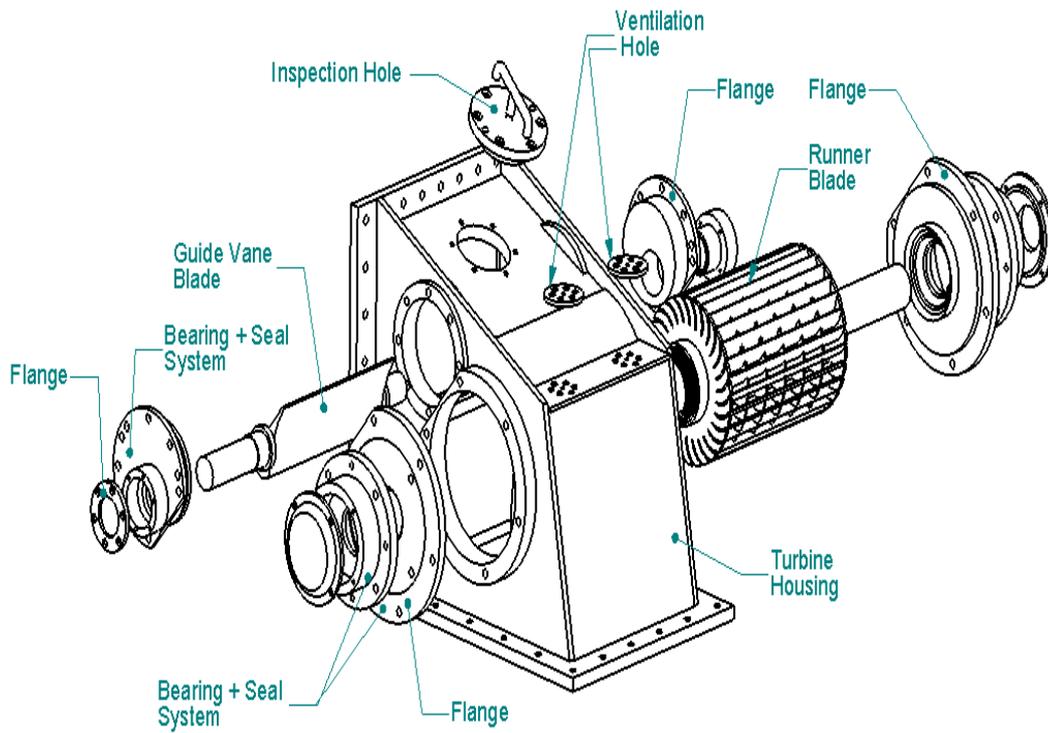
- Variabel penting: Diameter runner (D) dan lebar guide vane (B_0).
- Dapat diproduksi dengan menggunakan bantuan mesin-mesin konvensional (mesin bubut, frais, las, kerja bangku)
- Sudah banyak pabrikan lokal yang berpengalaman untuk memproduksi turbin tersebut, sehingga harganya relatif cukup murah.
- Efisiensi yang dicapai secara teori hanya bisa mencapai 87 %

Dengan mengubah lebar B_0 , turbin crossflow dapat dipakai untuk kondisi debit yang berbeda. Apalagi bila dikombinasikan dengan mengubah ukuran diameter runner.

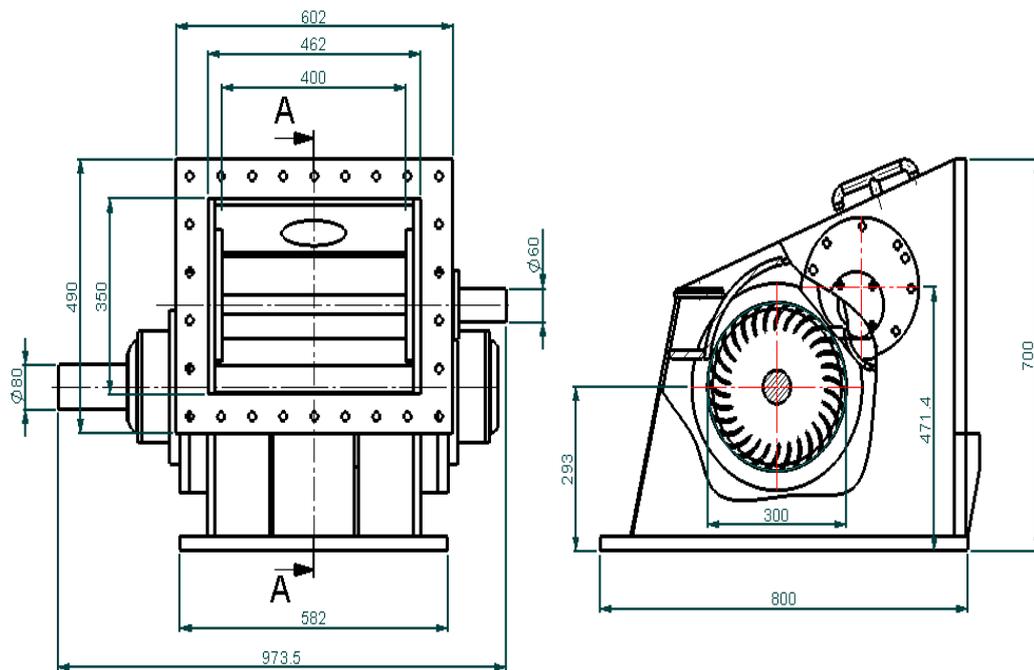
Komponen Utama Turbin Crossflow:

1. Housing, sebagaiudukan runner dan guide vane, pengarah aliran.

2. Runner, berupa bilah-bilah pelat (dgn kontur tertentu) memanjang yang dilas pada side disk dan poros runner
3. Guide Vane, berfungsi sebagai valve, bentuknya seperti airfoil pada sayap pesawat udara.



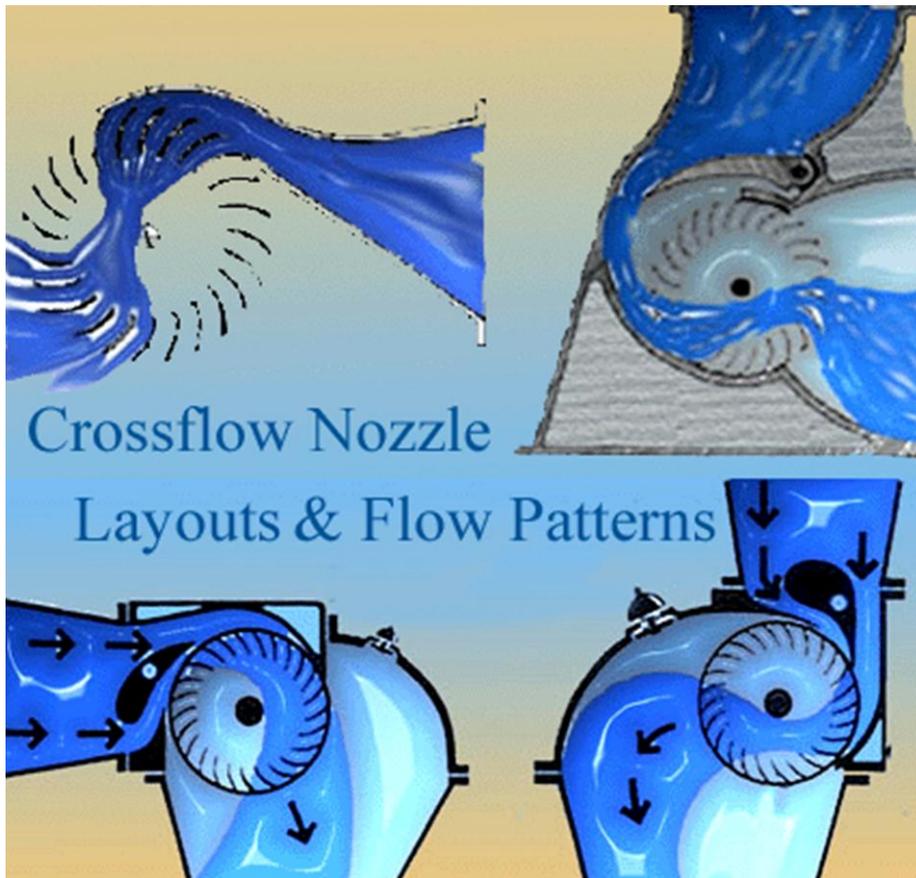
Gambar 2. 17 Gambar susunan utama turbin cross flow



Gambar 2. 18 Ukuran-ukuran utama turbin crossflow. Contoh T14 dengan D 200 x Bo 400

Ukuran-ukuran utama sebuah turbin crossflow adalah:

1. Ukuran diameter runner atau disingkat D
2. Ukuran lebar guide vane, biasa disebut sebagai Bo
3. Diameter shaft runner
4. Ukuran-ukuran total turbin



Gambar 2. 19 Aliran fluida melewati runner crossflow

Contoh Perhitungan Turbin Crossflow T14

Langkah 1 : Kita harus mengetahui dulu nilai unit mesin turbin yang akan kita hitung. Unit mesin didapat dari hasil pengukuran model turbin yang kemudian dikonversikan melalui rumus-rumus dengan anggapan bahwa turbin tersebut dibuat dengan besaran diameter 1m dan lebar Bo 1m. Dalam contoh ini diketahui bahwa:

Data dasar utama dari turbin T14 adalah:

$$N_{11} = 38 \text{ rpm/min}$$

$$Q_{11} = 0.8 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Eta}_{11} = 76 - 80\%$$

Langkah 2 : Kumpulkan data hasil survey di lapangan. Data yang dibutuhkan::

$$H = 60 \text{ m}$$

$$Q = 600 \text{ l/s atau } 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Langkah 3 : Tentukan diameter runner yang akan dibuat. Perkiraan awal adalah:

$$D = 300 \text{ mm atau } 0.3 \text{ m}$$

Langkah 4 : Hitung Lebar Bo

$$B_t = \frac{Q_t}{D_{t^*} \cdot \sqrt{H_{t^*}} \cdot q_{11}} = \frac{0.6}{0.3 \cdot \sqrt{60} \cdot 0.8} = 0.323 \text{ m}$$

Langkah 5 : Hitung kecepatan putar runner

$$n_t = \frac{\sqrt{H_{t^*}}}{D_{t^*}} \cdot n_{11} = \frac{\sqrt{60}}{0.3} \cdot 38 = 981 \text{ rpm}$$

Langkah 6 : Hitung kecepatan bebas beban / runaway speed

$$= 1.8 \cdot n_t = 1.8 \cdot 981 = 1766 \text{ rpm}$$

Langkah 7 : Hitung daya yang terbangkitkan (efisiensi diambil 76.5%)

$$P_t = \rho \cdot g \cdot H_t \cdot Q_t \cdot \eta_t = 1 \cdot 9.81 \cdot 60 \cdot 0.6 \cdot 76.5\% = 270 \text{ kW}$$

Langkah 8 : Periksa lagi hasil perhitungan, ubah beberapa variabel jika diperlukan. Dalam hal ini lebar B_0 yang asalnya 323mm diubah menjadi 320mm dengan alasan angka 323 lebih sulit diingat oleh operator. Maka dilakukan perhitungan ulang.

Debit jika Lebar Guide Vane diubah menjadi 320mm, maka :

$$320 = \frac{Q_t}{D_{t^*} \cdot \sqrt{H_{t^*}} \cdot q_{11}} = \frac{Q_t}{0.3 \cdot \sqrt{60} \cdot 0.8}$$

$$Q_t = 594.9 \text{ l/s}$$

Daya :

$$P_t = \rho \cdot g \cdot H_t \cdot Q_t \cdot \eta_t = 1 \cdot 9.81 \cdot 60 \cdot 0.595 \cdot 76.5\% = 267.8 \text{ kW}$$

Keterangan:

Flow, Q = Debit air [m^3/s]

Torque, H = Torsi pada shaft runner [Nm]

Power, P = Daya terbangkitkan [W]

Speed, n = Putaran runner [rpm]

Diameter, D = Diameter runner [m]

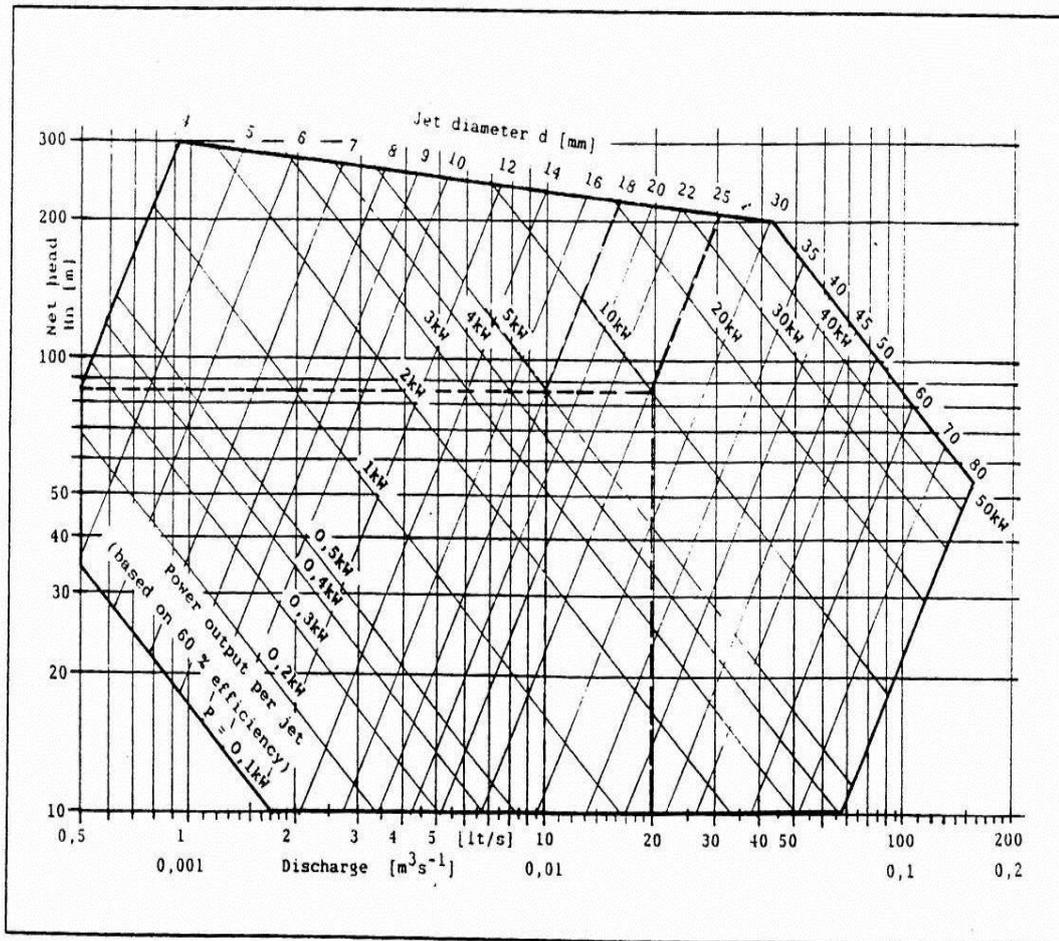
n_{11} , h_{11} , q_{11} , p_{11} adalah unit mesin untuk turbin dengan tipe tertentu (T14)

N_r , h_r , q_r , p_r adalah nilai real di lapangan.

2.3 Turbin Pelton

Permasalahan dalam produksi turbin Pelton adalah bentuk runner yang kompleks. Rumah turbin dan nozzle-nya mudah untuk dipabrikasi.

Buku Panduan SKAT/MHPG Vol. 9 menjelaskan disain turbin Pelton kecil yang menggunakan bucket standard hasil pabrikan. Gbr. 20 menunjukkan batasan aplikasi untuk turbin Pelton mikro tersebut hingga 50 kW.



Gambar 2. 20 Batasan aplikasi dari turbin pelton mikro (Sumber: Buku panduan SKAT/MHPG Vol. 9)

Karakteristik Turbin Pelton:

- Variable penting: Diameter PCD runner dan jumlah nozzle / jet
- Konstruksi housing yang sangat sederhana
- Dengan ukuran turbin yang relatif kecil, daya yang dibangkitkan bisa cukup besar
- Secara teori efisiensi bisa mencapai 97 %
- Kesulitan terutama pada desain dan produksi bucket, biasanya memakai teknik pengecoran.

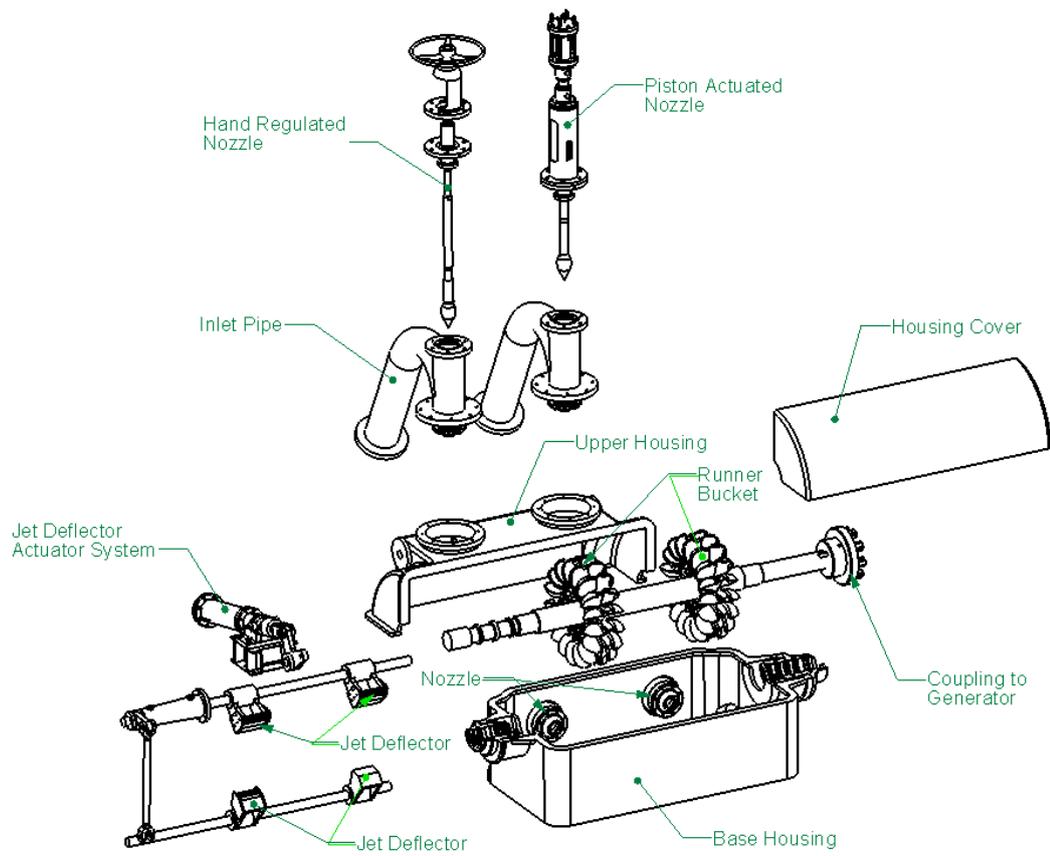
Bentuk *bucket pelton* (mangkok pelton) sangat tergantung pada kecepatan spesifik (dipengaruhi oleh Head, Debit, dan putaran runner yang dikehendaki). Sebuah turbin

pelton dengan jumlah nozzle 2 buah memiliki diameter runner yang lebih kecil bila turbin tersebut hanya memiliki 1 buah nozzle, walaupun keduanya menghasilkan daya yang relatif sama besar.

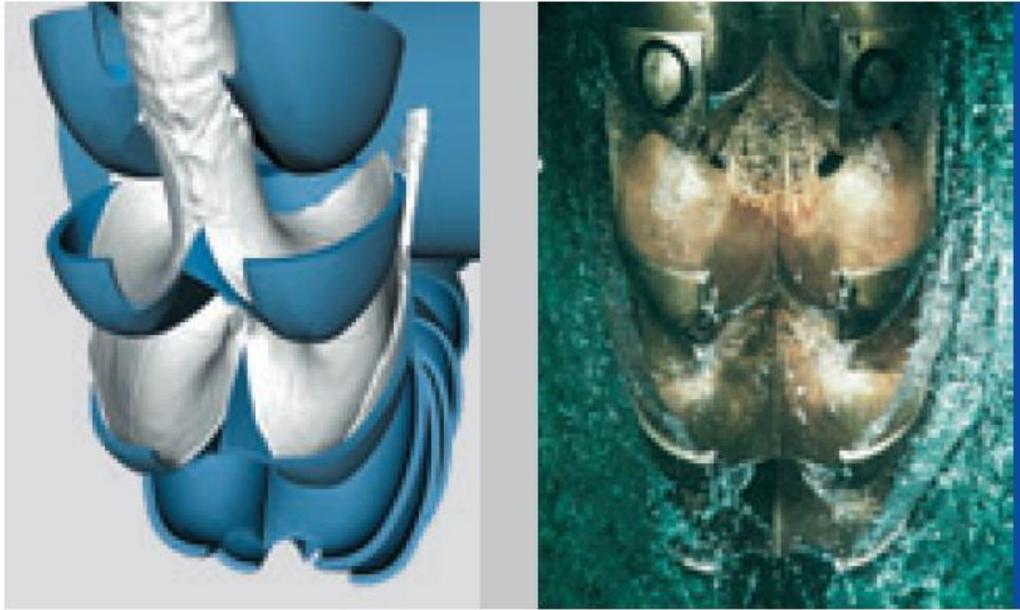
Komponen Utama Turbin Pelton:

1. Housing, terdiri dari housing bawah dan cover atas.
2. Runner, terdiri atas bucket-bucket pelton yang diikat pada shaft. Satu shaft dapat terdiri dari satu atau lebih runner, dari masing-masing runner terdapat 14 atau lebih bucket atau mangkok pelton.
3. Nozzle (bisa berupa nozzle biasa ataupun dilengkapi dengan Jet). Secara teori, walau pada prakteknya cukup sulit untuk dilakukan, nozzle pada turbin pelton bisa mencapai 6 buah untuk setiap runner.

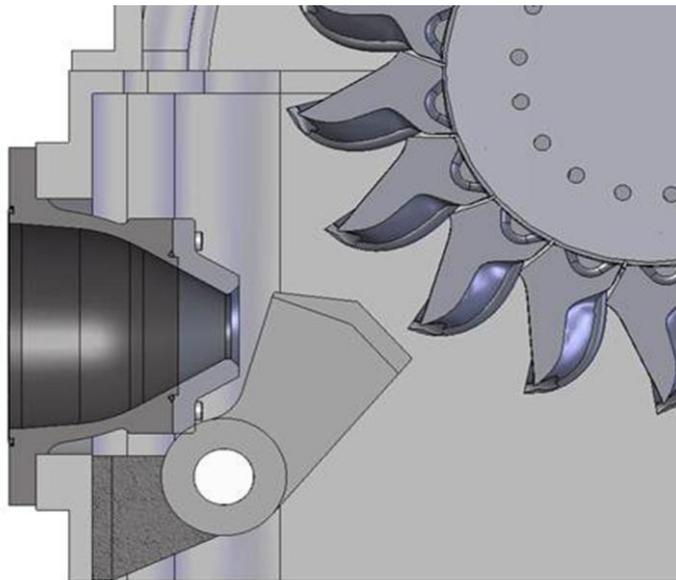
Jet Deflector, berfungsi untuk mengalihkan sebagian atau seluruh aliran dari *nozzle* yang menuju *runner*. Biasa dipakai untuk mengatur putaran *runner* atau saat *emergency runaway speed*.



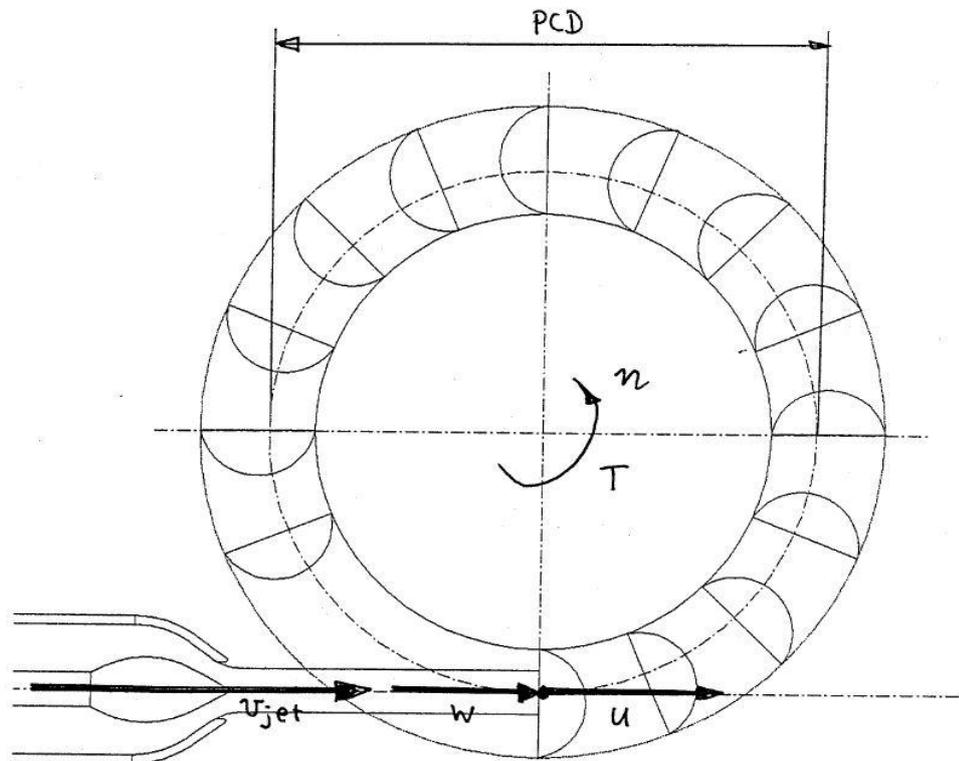
Gambar 2. 21 Gambar susunan utama Turbin Pelton



Gambar 2. 22 Kondisi air saat menyentuh mangkok pelton



Gambar 2. 23 Nozzle, Jet Deflector, dan mangkok pelton



Gambar 2. 24 Ilustrasi Perhitungan Turbin Pelton

Langkah-langkah perhitungan Turbin Pelton

Langkah 1 : Tentukan Data Potensi air (H dan Q). Contoh Diketahui Lokasi untuk Simbai memiliki potensi air $H_r = 70\text{m}$ dan $Q_r = 130 \text{ l/s}$

Langkah 2 : Tentukan kecepatan runner yang memungkinkan dari Tabel. Contoh diambil pelton rpm 500, maka didapat pelton dengan single jet

Langkah 3 : Tentukan kecepatan alir jet di nozzle. $c_v = \text{Velocity coefficient } 0.95 \sim 0.99$

$$v_{jet} = c_v \sqrt{2 * g * H_r} = 0.95 * \sqrt{2 * 9.81 * 70} = 35.2 \text{ m/s}$$

Langkah 4 : Tentukan ukuran diameter jet.

$$d_{jet} = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v_{jet}}} = \sqrt{\frac{4 * 0.13}{\pi * 35.2}} = 0.068 \text{ m} = 68 \text{ mm}$$

Langkah 5 : Tentukan ukuran mangkok pelton

$$b = 3 * d_{jet} = 3 * 68 = 204 \text{ mm} \dots \text{Lebar mangkok}$$

$$h = \frac{1}{0.9} * b = \frac{1}{0.9} * 204 = 226 \text{ mm} \dots \text{Tinggi mangkok}$$

Langkah 6 : Tentukan PCD runner. ku adalah koefisien kecepatan mangkok pelton. nilai $ku = 0.46$

$$PCD = \frac{60 * ku * \sqrt{2 * g * Hr}}{\pi * n} = \frac{60 * 0.46 * \sqrt{2 * 9.81 * 70}}{\pi * 500} = 651 \text{ mm}$$

Nilai PCD biasanya bisa juga didapat dari

$$PCD' = \frac{d_{jet}}{0.11} = \frac{68}{0.11} = 618 \text{ mm}$$

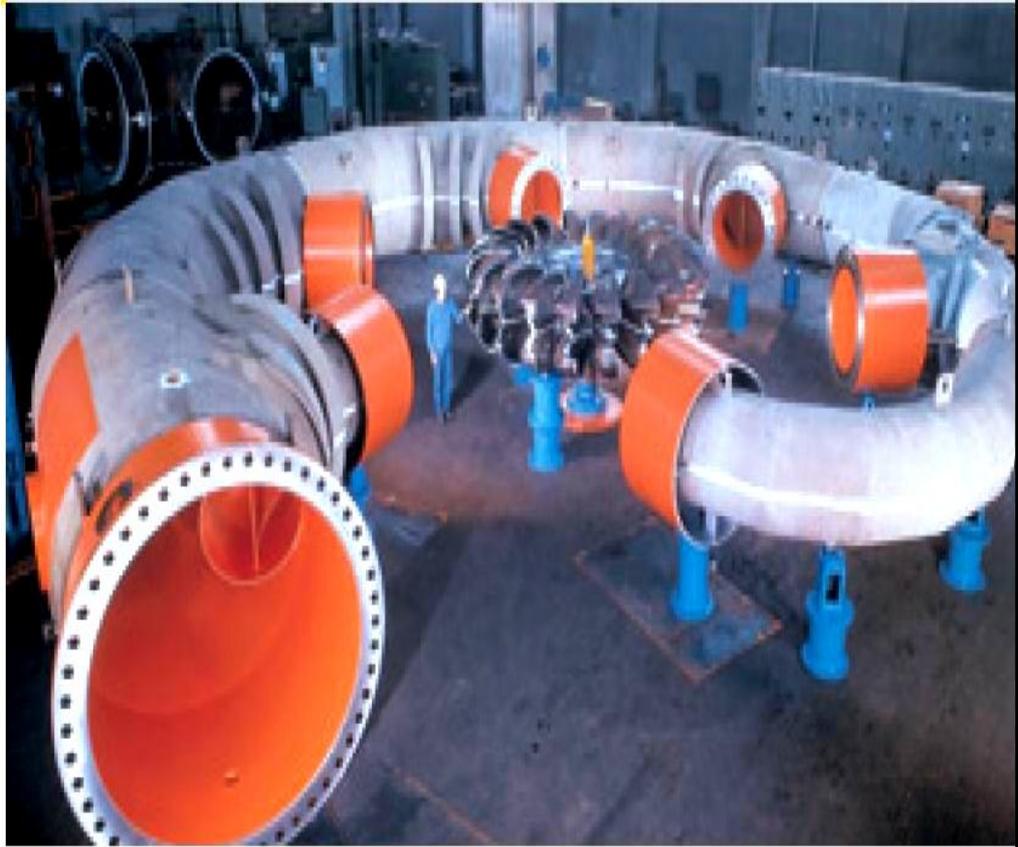
Dalam hal ini diambil nilai PCD 650 mm

Langkah 7 : Perhitungan Daya yang terbangkitkan, bila diambil efisiensi sebesar 92%

$$P = \rho * g * Hr * Q * \eta = 1000 * 9.81 * 70 * 0.13 * 0.92 = 82.1 \text{ kW}$$

Langkah 8 : Check apakah dimensi-dimensi di atas cukup memadai, coba hitung dengan alternatif penggunaan 2 jet / lebih.

Contoh aplikasi turbin pelton



The Pembina Institute

Gambar 2. 25 Turbin Pelton

2.4 Turbin Propeler

Pengembangan turbin terbaru untuk head rendah di Indonesia telah dimungkinkan untuk memproduksi turbin propeller *open flume* untuk tinggi air (head) rendah (di bawah 7 meter)

Contoh aplikasi turbin *open flume* :



Gambar 2. 26 Turbin propeller open flume buatan Lokal

(Sumber : Cihjuang Inti Teknik)

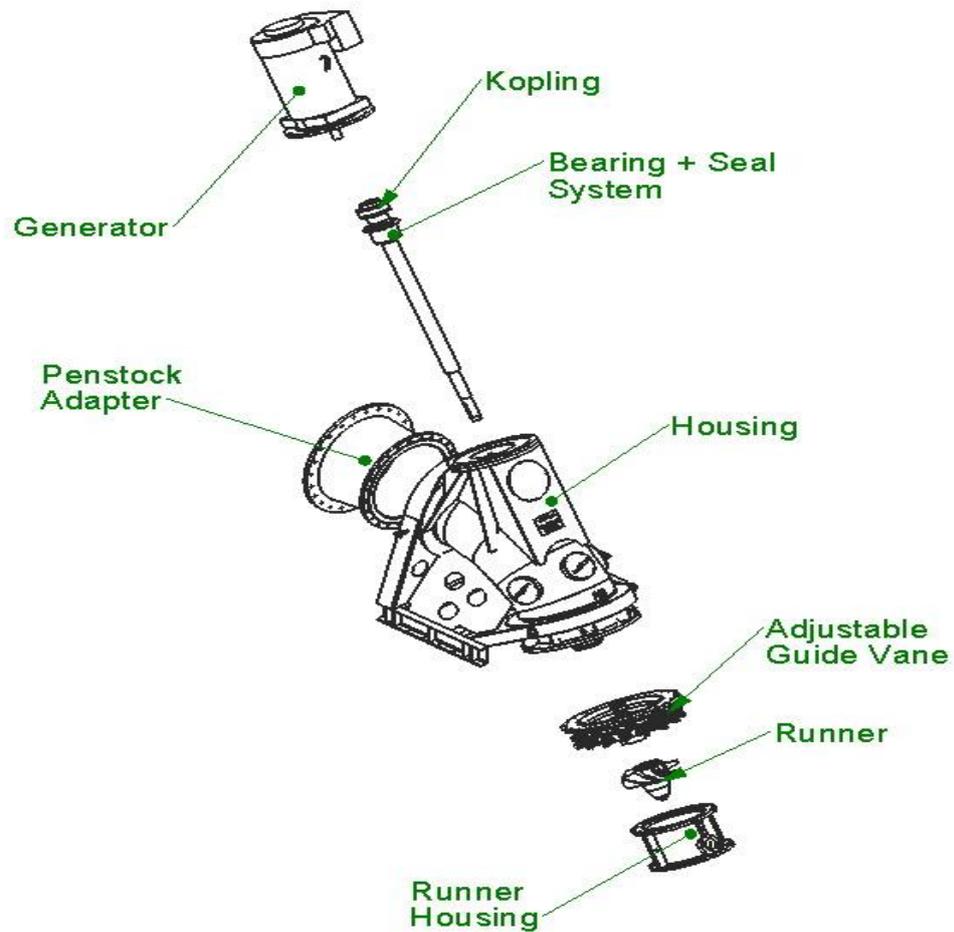
Head (m)	D= 125 mm	D= 200 mm	D= 300 mm	D= 430 mm
2 m	26 l/s 290 W	67 l/s 700 W	150 l/s 1680 W	300 l/s 3400 W
3 m	36 l/s 600 W	92 l/s 1500 W	207 l/s 3450 W	425 l/s 7150 W
4 m	45 l/s 1000 W	117 l/s 2600 W	260 l/s 5850 W	535 l/s 12000 W
5 m		140 l/s 3850 W	310 l/s 8700 W	640 l/s 17500 W
6 m		160 l/s 5400 W	360 l/s 1200 W	740 l/s 24500 W

Karakteristik turbin propeller:

- Variable penting: diameter propeller
- Sangat cocok digunakan untuk head yang sangat rendah (hingga 2 m)
- Proses pembuatan relatif murah dan mudah, terutama bila dibantu dengan proses pengecoran, untuk komponen-komponen dengan bentuk khusus seperti blade runner, guide vane dan housing.
- Efisiensi bisa mencapai 89%

Komponen Utama Turbin Propeller:

1. Housing
2. Runner, berupa beberapa blade propeller
3. Guide Vane, bisa berupa fixed guide vane ataupun adjustable.



Gambar 2. 27 Turbin Propeller dengan housing tubular, dapat menjangkau head yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin propeller open flume

Langkah – langkah perhitungan Turbin Propeller

Langkah 1 : Kita harus mengetahui dulu nilai unit mesin turbin yang akan kita hitung. Unit mesin didapat dari hasil pengukuran model turbin yang kemudian dikonversikan melalui rumus-rumus dengan anggapan bahwa turbin tersebut dibuat dengan head 1m dan diameter turbin 1m. Dalam contoh ini diketahui bahwa:

Data dasar utama dari sebuah turbin Propeller dengan karakteristik:

$$N_{11} = 131 \text{ rpm/min}$$

$$Q_{11} = 1.12 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$\text{Eta}_{11} = 89\%$$

Langkah 2 : Kumpulkan data-data hasil survey di lapangan. Data yang dibutuhkan adalah:

$$H = 13.2 \text{ m}$$

$$n = 1000 \text{ rpm} . \text{Dihubungkan langsung dengan generator}$$

Langkah 3 : Hitung diameter propeller

$$Dt = \frac{\sqrt{H} * n_{11}}{n} = \frac{\sqrt{13.2} * 131}{1000} = 0.476m$$

Langkah 4 : Hitung debit yang dibutuhkan untuk mencapai efisiensi 89%

$$Qt = q_{11} * D^2 * \sqrt{H} = 1.12 * 0.476^2 * \sqrt{13.2} = 0.922 \frac{m^3}{s}$$

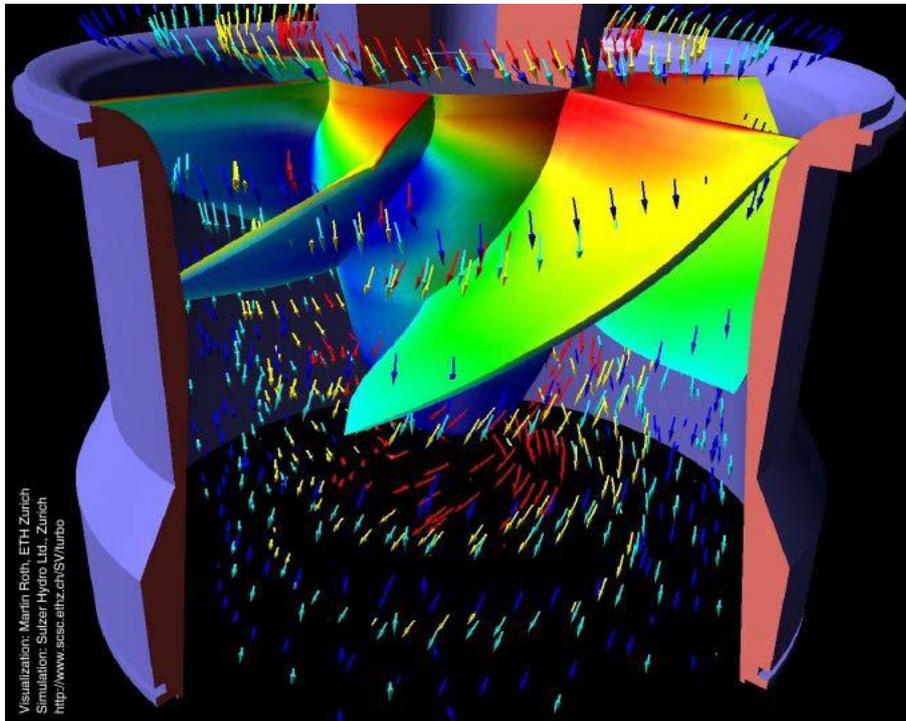
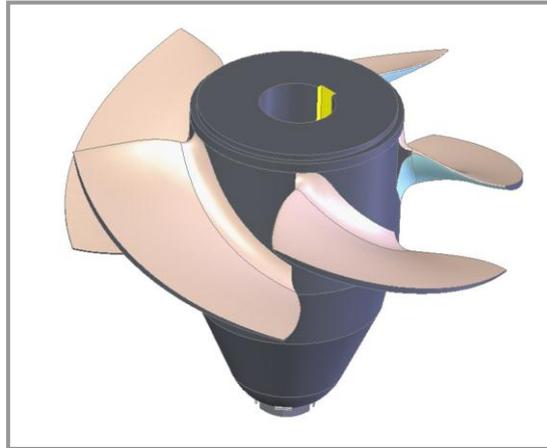
Langkah 5 : Hitung daya pada shaft runner

$$Pt = \rho * g * H * Q * \eta = 9.81 * 13.2 * 0.922 * 0.89 = 106.3kW$$

Berbeda dengan turbin crossflow, untuk mendapatkan efisiensi puncak, turbin propeller yang beroperasi pada head tertentu membutuhkan debit yang tertentu pula. Bila debit tidak mencukupi maka efisiensi akan berkurang (dapat diatasi oleh jenis turbin dengan bilah runner yang dapat diatur sudutnya, namanya turbin jenis kaplan).

Pada turbin crossflow debit yang berbeda dengan head yang sama dapat diakomodasi dengan mengubah lebar B_o .

Ilustrasi turbin *propeller* :



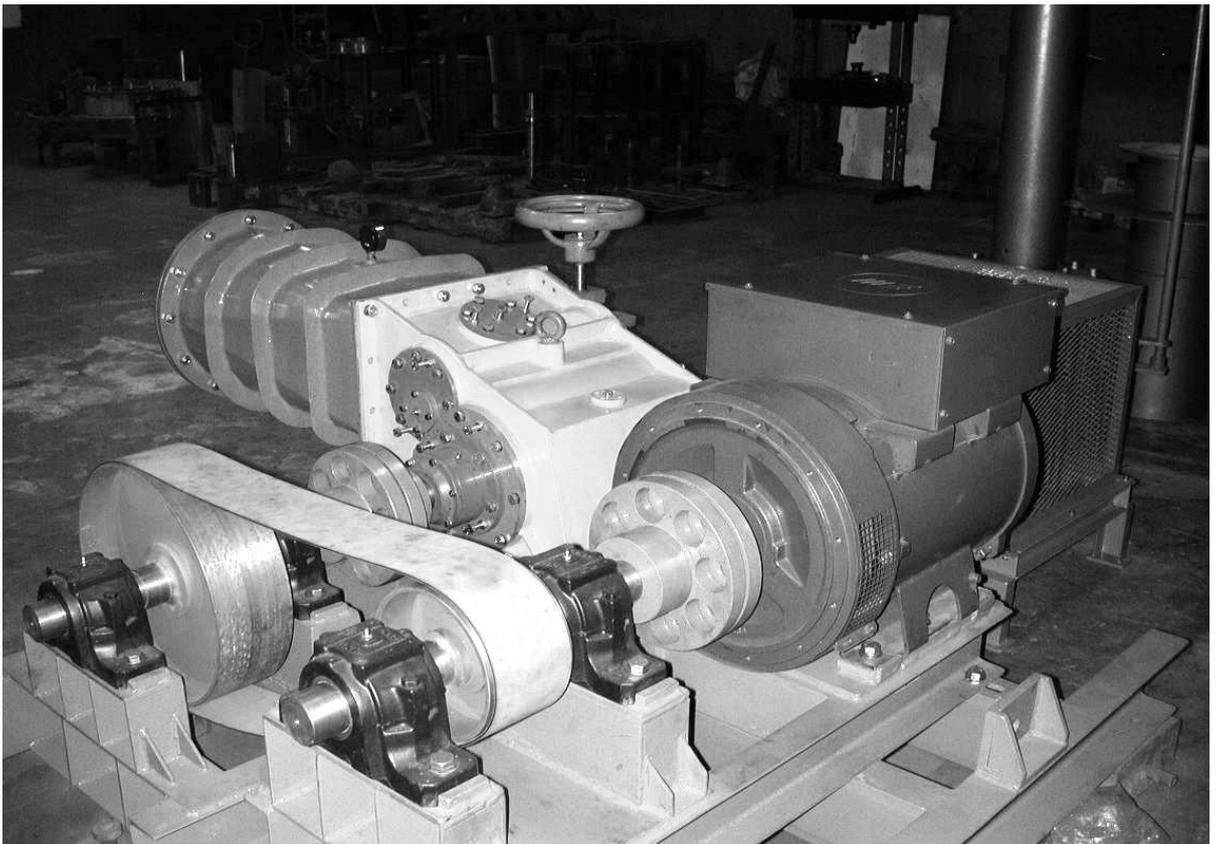
Gambar 2. 28 Ilustrasi aliran fluida yang melewati runner propeller

Tata letak turbin secara umum di dalam rumah pembangkit tergantung pada peralatan yang berhubungan dan tinggi permukaan yang dibutuhkan dari poros turbin di atas (atau di bawah) tinggi permukaan saluran pembuang.

- Turbin impuls memerlukan ventilasi di runner dan harus dipasang di atas permukaan air tail. (Selama banjir tinggi permukaan air tail tidak boleh menjangkau poros turbin)

untuk menghindari banjir didalam rumah pembangkit akibat kebocoran di shaft turbin).

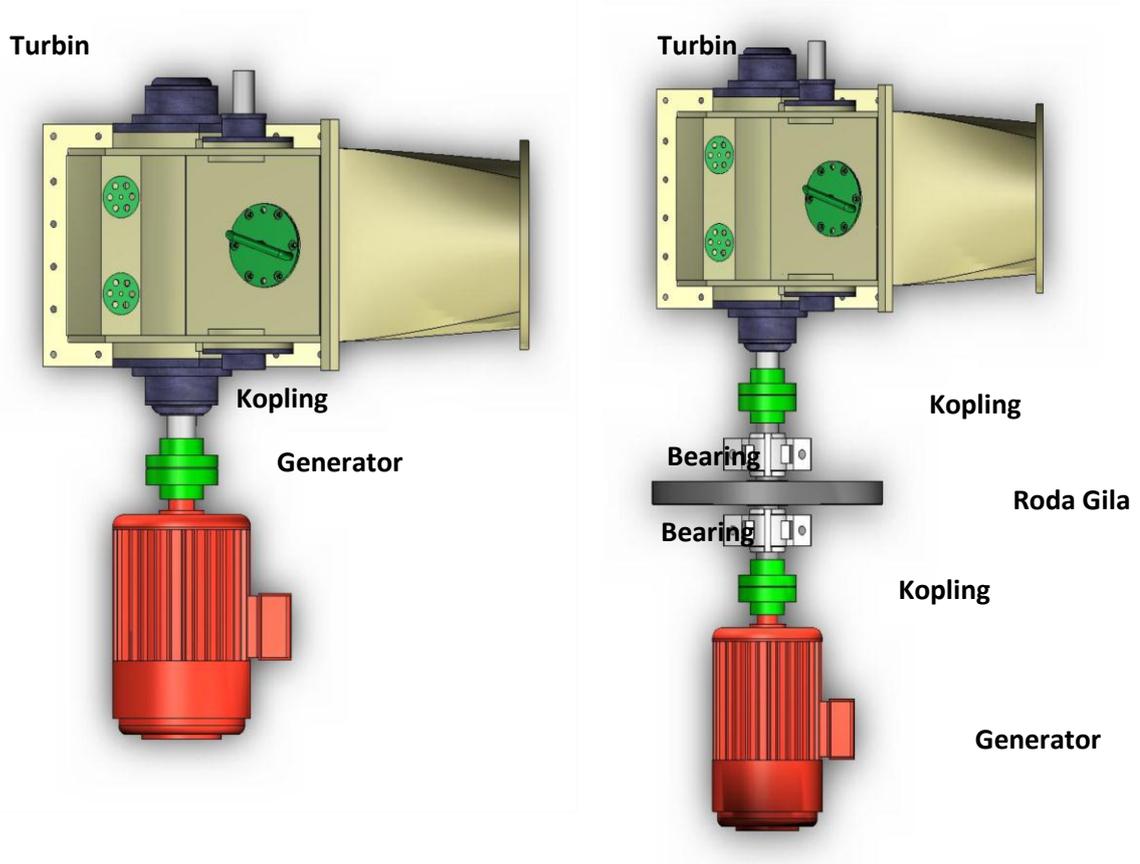
- Turbin reaksi memerlukan tinggi permukaan tertentu di atas atau di bawah permukaan air tail yang tergantung pada disain dan tinggi permukaan instalasi untuk mencegah kavitasi runner.



Gambar 2. 29 Contoh tata letak komponen mekanik (Kondisi siap di kirim ke lokasi)

- **Turbin Yang Dihubungkan Secara Langsung**

Generator, kopling, *fly wheel* besar bertumpu pada plummer *block bearings*, kopling ke turbin (kadang-kadang *belt drive* untuk pengontrol kecepatan/debit)



Gambar 2. 30 Generator dihubungkan langsung. Ilustrasi saat pelindung roda gila dan kopling dibuka.



Gambar 2. 31 Contoh Dewata: Generator yang dihubungkan langsung dengan fly wheel pada shaft generator. Kontrol debit elektronik dengan sensor kecepatan dan posisi



Gambar 2. 32 Contoh Tengpoche: Generator yang dihubungkan langsung dengan flywheel pada shaft turbin dan kontrol mekanis yang dihubungkan dengan gearbox

- **Turbin Yang Dihubungkan Secara Tidak Langsung**

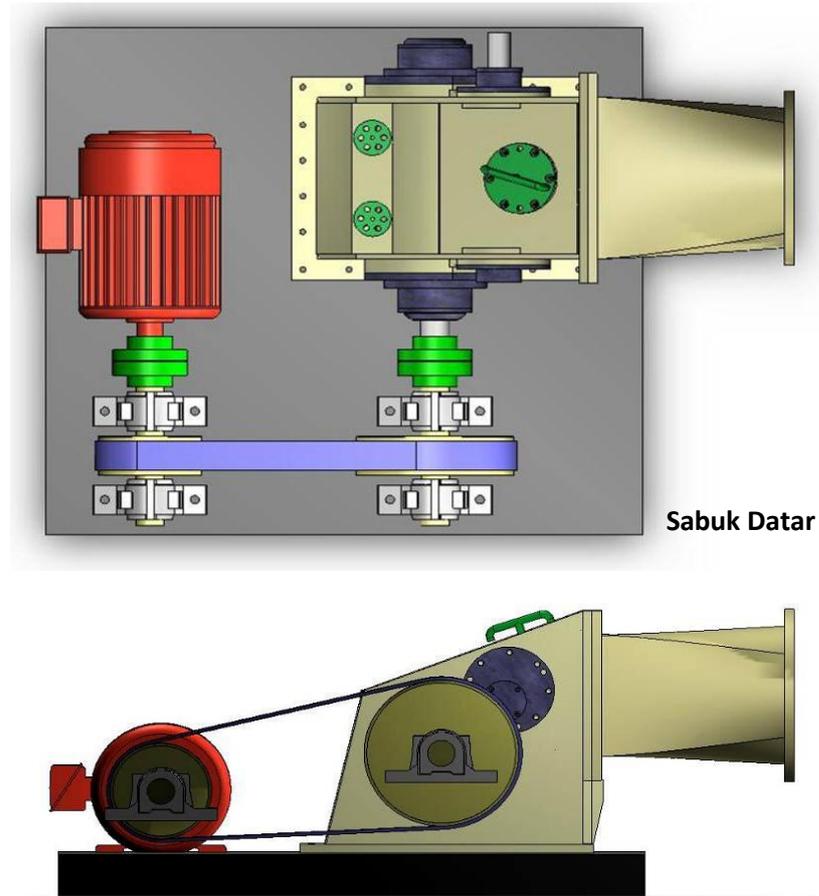
Pada disain turbin jika tidak memungkinkan untuk mendapatkan generator untuk dihubungkan langsung maka diperlukan gear box atau belt drive. Parameter utamanya untuk pengukuran adalah rasio transmisi.

$$I = n_{\text{turbin}} / n_{\text{generator}}$$

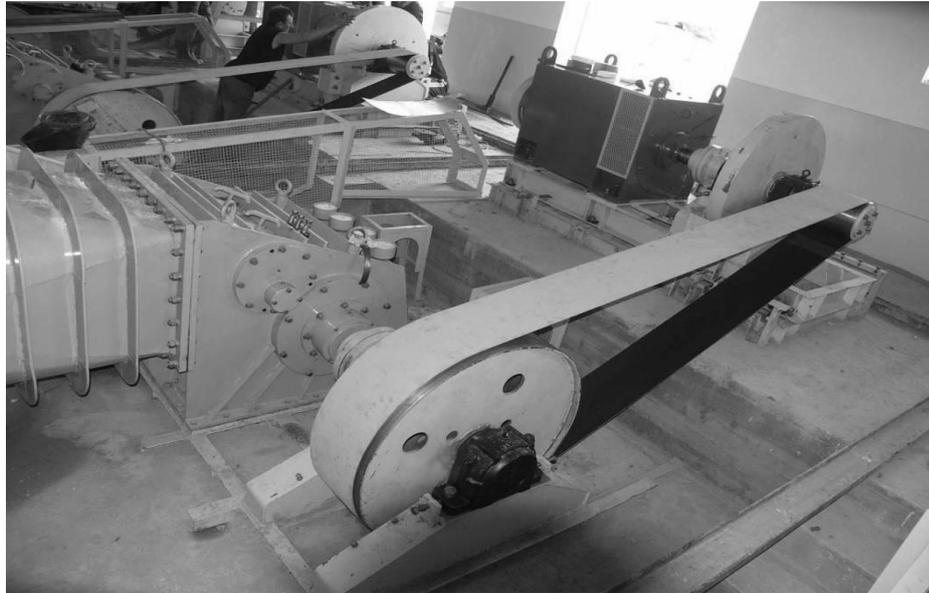
Pada daya yang akan ditransmisikan, dimensi dan gaya dari belt dan layout gearbox diberikan oleh pabrikan atau supplier transmisi. Proyek-proyek elektrifikasi di desa hingga 50 kW hampir selalu dapat menggunakan belt. V-belt lebih mudah untuk proses alignment tetapi memiliki efisiensi yang lebih rendah dan lifetime yang lebih pendek daripada flat belts. Jika daya di atas 20-30 kW maka dianjurkan untuk menggunakan flat belts karena kinerjanya yang lebih baik dan juga karena beberapa V-belts harus

digunakan dan diganti dalam satu perangkat. Gearbox hanya dianjurkan jika rasio transmisi atau daya (lebih dari 100 - 200 kW) tidak memungkinkan untuk belt drive. Gearboxes untuk daya tinggi dan transmisi dengan rasio tinggi memerlukan pendinginan ekstra dengan air blower atau dengan heat exchanger.

Contoh turbin yang dihubungkan secara tidak langsung :



Gambar 2. 33 Generator yang dihubungkan tidak langsung menggunakan flat belt drive pada turbin dan generator.



Gambar 2. 34 Generator dan turbin yang dihubungkan tidak langsung menggunakan flat belt drive dan fly wheel dengan, plummer block bearing dan kopling.



Gambar 2. 35 Generator yang dihubungkan tidak langsung menggunakan gear box

2.6. Kriteria pemilihan generator

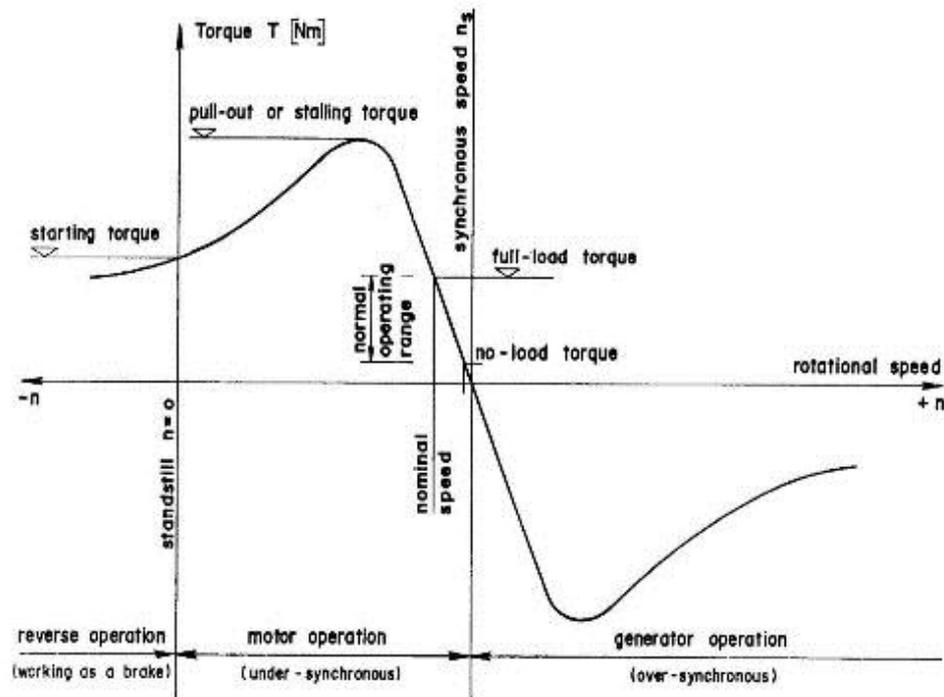
Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi mikro hidro dengan sistem AC ada dua tipe generator yang biasa digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fase maupun 3 fase.

Generator Sinkron

Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, desainnya telah mengalami penyempurnaan yang meningkatkan bertujuan untuk meningkatkan performansi, efisiensi dan perawatannya.

Generator Asinkron (induksi)

Generator asinkron (induksi) merupakan mesin induksi (motor) yang digunakan sebagai generator dengan bantuan eksitasi dari luar, baik dengan menggunakan kapasitor (isolated system) maupun terhubung dengan jala-jala PLN. Dari karakteristik kopel kecepatan, mesin induksi dapat dijadikan sebagai generator jika berada pada daerah rem sinkron lebih dan daerah rem arus lawan ($n_r > n_s$) dimana slip bernilai negative.



Gambar 2. 36 Daerah operasi mesin Induksi

Prinsip kerja

Perbedaan kecepatan putaran rotor dengan kecepatan medan putar stator ini disebut **slip**.

$$slip = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Dimana n_s = kecepatan sinkron (kecepatan medan putar stator)

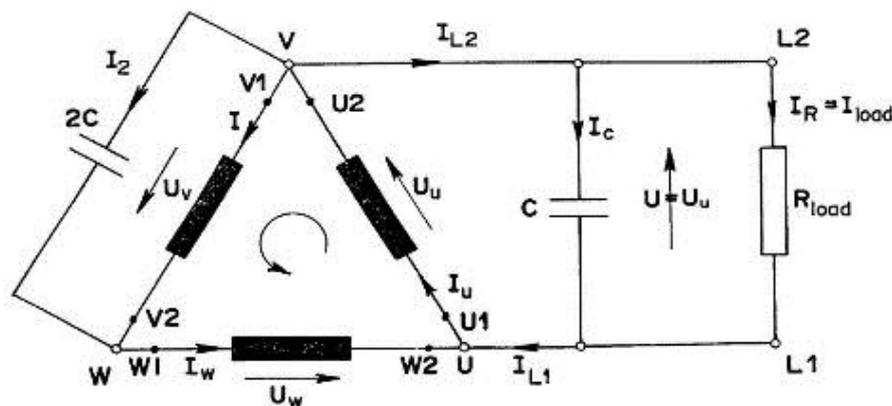
n_r = kecepatan rotor

mesin induksi (motor) tanpa beban slip-nya akan sangat kecil, lebih kecil dari 0.01 (1%). Untuk sebuah mesin dengan daya 1 kW. Slip beban penuh akan berkisar antara 0.05 (5%). Jadi bila beban bertambah, arus induksi pada rotor akan semakin besar, putaran rotor akan cenderung menurun sehingga slip akan semakin besar. Pada umumnya semakin besar mesin maka slipnya semakin kecil.

Output satu fasa dari generator tiga fasa (C2C Connection)

Ada cara dimana mesin induksi tiga fasa dapat digunakan sebagai generator satu fasa yaitu dengan menggunakan sambungan C2C.

- Gunakan mesin induksi 3 fasa biasa (220/380 V) dan sambungkan dalam hubungan Delta
- Hitung kapasitansi per fasa (kapasitor yang dibutuhkan)
- Sebagai ganti menyambungkan "C" pada tiap fasa; tetapi sambungkan 2xC pada salah satu fasa, C pada fasa yang lain dan fasa ketiga tanpa kapasitor (C2C)



Gambar 2. 37 C2C connection

Syarat Mesin Induksi Sebagai Generator

Ada beberapa hal yang perlu dipenuhi untuk dapat menggunakan mesin induksi sebagai generator, diantaranya adalah;

1. adanya daya input dari luar untuk memutar rotor.
2. kecepatan putar rotor lebih besar dari kecepatan medan putar stator/kecepatan sinkronnya ($n_r > n_s$)
3. adanya sumber daya reaktif dari luar.

4. adanya remanensi magnet.

Contoh :Sebuah motor induksi 7.5 kW, 50 Hz, 230/400 V, full load speed 1450 rpm, 4 kutub.

Tentukan; a. full load slip

b. pada kecepatan berapa mesin beroperasi sebagai generator

Jawab;

a. full load speed motor $n_r = 1450$ rpm

kecepatan sinkron $n_s = \frac{120 \times f}{p}$, $n_s = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$ rpm

$slip = \frac{n_s - n_r}{n_s}$, $slip = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0.033$

b. karena slip full load pada saat beroperasi sebagai generator adalah sama dengan nilai slip motor tetapi negative, maka $s = - 0.033$

dengan menyusun persamaan diatas didapatkan :

$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$ maka $n_r = n_s (1 - s)$

$n_r = 1500 (1 - \{-0.033\})$, $n_r = 1550$ rpm

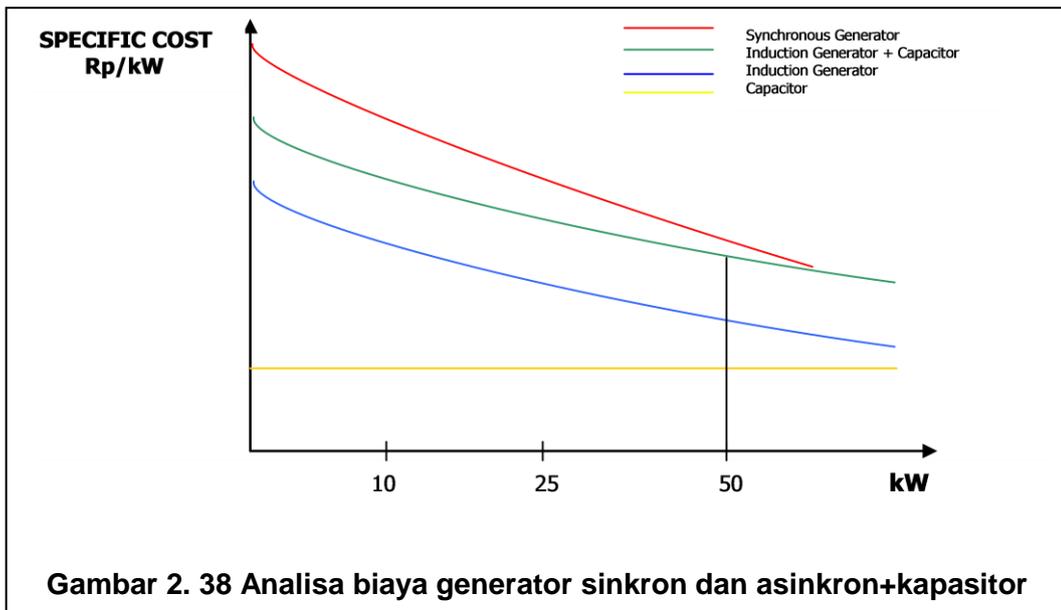
Perbandingan Generator Sinkron dan Asinkron

Terlepas dari karakteristik teknis dan non teknis, masing-masing generator memiliki kelebihan dan kekurangan dalam aplikasinya sebagai mesin konversi energi. Berikut perbandingan kelebihan dan kekurangan dari mesin –mesin tersebut

Item	Generator Sinkron	Generator Asinkron
Ketersediaan	Biasanya perlu dipesan khusus dan untuk daya kecil sulit ditemukan dipasaran	Mudah didapat pada hampir semua kategori daya
Konstruksi	Cukup rumit, kadang dilengkapi dengan slip rings, diode dan	Kompak dan simple.

	rangkaian external	
Harga	Untuk daya kecil <50 kW harganya lebih mahal dibanding daya yang sama untuk generator asinkron	Harga relative murah tetapi kapasitor harus diganti setelah waktu tertentu (± 2 tahun)
Perawatan	Perawatan dilakukan pada field winding dan sikat arang/brush (jika ada)	Perawatan dilakukan pada stator, pendinginan, tetapi tidak diperlukan untuk rotor type squirrel cage
Sinkronisasi	Diperlukan synchronizer untuk parallel ke jaringan	Tidak dibutuhkan alat sinkronisasi
Independensi Operasi	Operasi independent memungkinkan	operasi independent tidak memungkinkan, karena dibutuhkan eksitasi dari luar (jaringan atau kapasitor)
Penyesuaian Power Factor	Operasi pada power factor yang dikehendaki memungkinkan disesuaikan dengan respon load factor	Power factor ditentukan oleh output generator dan tidak dapat disesuaikan
Arus eksitasi	Menggunakan eksitasi DC	Diambil dari jaringan atau menggunakan kapasitor
Motor start (inductive load)	Tahan terhadap arus start up motor	Tidak tahan untuk arus starting yang besar (bisa kolaps dan kehilangan remanensi magnet)
Overspeed	Tidak tahan terhadap overspeed (belitan bisa terbakar) jika terjadi lebih dari waktu tertentu	100 % kecepatan nominalnya masih tahan
Penyesuaian tegangan dan frekuensi	Memungkinkan	Tidak memungkinkan. Ditentukan oleh tegangan dan frekuensi suplai (kapasitor atau

		jaringan)
Efisiensi	Efisiensi pada part maupun full load bagus >85%	Efisiensi rendah <70%



Pemilihan jenis generator dan power output

Tabel berikut dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan spesifikasi teknik nya:

Daya terpasang	s.d 10 kW	10 – 30 kW	>30 kW
Tipe generator dan fasa	Sinkron atau asinkron 1 atau 3 fasa	Sinkron atau asinkron 3 fasa	Sinkron 3 fasa

Perhitungan untuk menentukan ukuran generator dilakukan berdasarkan rumusan berikut :

Power Output in kW

Generator KVA = -- (generator sinkron)

A x B x C x D

Power Output in kW

Generator KVA = --- (generator Asinkron)

A x B

Setelah didapatkan nilai kVA generator, disarankan untuk ditambah safety factor 30% yang bertujuan untuk;

- Memungkinkan jika output turbin lebih besar dari yang direncanakan
- Jika motor besar (>10% daya generator) disuplai dari pembangkit, maka generator harus mampu menahan arus start.
- Ketika menggunakan ELC generator selalu beroperasi full load.

Kecepatan dan jumlah kutub generator

Kecepatan generator ditentukan dengan rumusan berikut;

Untuk generator sinkron

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

Dimana:

n_s = kecepatan generator (rpm)

f = frekuensi (Hz)

p = jumlah kutub

Untuk generator Asinkron

$$n_r = n_s (1 - s)$$

Dimana : n_s = kecepatan sinkron (kecepatan medan putar stator)

$$n_s = \frac{120 \times f}{p}$$

n_r = kecepatan rotor (sebagai generator)

s = slip ,

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Catatan : n_r yang digunakan dalam perhitungan slip adalah kecepatan rotor pada saat full load sebagai motor (diberikan supplier/pabrik). Lihat contoh perhitungan pada bagian Syarat Mesin Induksi Sebagai Generator diatas.

D. Aktivitas Pembelajaran

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

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 konversi energy listrik dan mekanik? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-00**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran dengan mengamati gambar berikut ini.

E. Rangkuman

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (head) dan jumlah debit air.

Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut:

- Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
- Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.

- Tidak menimbulkan pencemaran.
- Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
- Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Energi dan Tujuan Pembangunan di Millenium Ketiga:

- membantu mengatasi kemiskinan
- mengurangi kelaparan dan meningkatkan akses terhadap air minum yang bersih
- mengurangi angka kelahiran, kehamilan dan penyakit
- mendukung pencapaian pendidikan dasar, persamaan gender dan pemberdayaan perempuan
- menjaga lingkungan secara berkelanjutan

PLTMH bekerja ketika air dalam jumlah dan ketinggian tertentu dijatuhkan dan menggerakkan kincir yang ada di dalam turbin PLTMH. Putaran turbin yang bertenaga tersebut digunakan untuk menggerakkan alternator atau generator hingga menghasilkan listrik. Listrik yang dihasilkan dialirkan melalui kabel listrik ke rumah-rumah penduduk atau pabrik.

Komponen pokok yang dibutuhkan dalam sebuah instalasi PLTMH terdiri dari

- a. Komponen sipil
- b. Peralatan elektro mekanikal
- c. Transmisi dan distribusi listrik

F. Tes Formatif

Jawablah pertanyaan dibawah ini dengan singkat dan benar.

1. Apa yang dimaksud pembangkit listrik tenaga mikrohidro?
2. Sebutkan keuntungan pembangkit listrik tenaga air?
3. Jelaskan macam dan fungsi komponen sipil PLTMH?
4. Jelaskan macam dan fungsi peralatan elektro dan kelistrikan PLTMH?
5. Jelaskan macam dan fungsi peralatan mekanikal PLTMH?

G. Kunci Jawaban

1. Pembangkit listrik yang menggunakan air
2. Tidak menimbulkan pencemaran,
3. Penstok berfungsi, ...
4. Generator berfungsi,
5. Turbin berfungsi,

LEMBAR KERJA KB-2

LK - 00

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran konversi energy air ke listrik dan mekanik? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 : POTENSI DAYA AIR, DAYA TURBIN DAN DAYA GENERATOR

A. Tujuan

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai potensi daya air, daya turbin dan daya generator sehingga dapat menghitung efisiensi energi yang dihasilkan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi peserta diklat dapat menyelidiki potensi daya air, daya turbin dan daya generator.

C. Uraian Materi

- **Energi** adalah usaha dilakukan dengan waktu yang telah ditentukan, diukur dalam Joules.
- **Listrik** adalah bentuk dari energi, tetapi umumnya diberikan dalam satuannya sendiri yaitu kilowatt-hours (kWh) dimana $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kilojoule}$ yang berarti listrik tersebut disuplai sebesar 1 kW selama 1 jam.
- **Daya** adalah energi yang diubah tiap satuan detik, contoh menghitung pekerjaan yang akan selesai. Diukur dalam watt, dimana $1 \text{ watt} = 1 \text{ Joule/detik}$.
- **Tinggi Jatuh dan Debit Air**

Terdapat beberapa faktor-faktor penting yang harus dipikirkan ketika akan membangun sistem mikrohidro. Faktor pertama adalah jumlah aliran air yang tersedia; periode dimana hanya ada sedikit hujan atau tak ada sama sekali hujan maka dapat berdampak besar pada pengoperasian pembangkit. Faktor kedua adalah yang dikenal sebagai tinggi jatuh (head), ini merupakan jumlah jatuhnya air yang ada diantara saluran pemasukan (intake) dan sistem keluaran sistem. Makin besar tinggi jatuhnya, makin besar juga daya yang dapat dibangkitkan.

3.1. Pendataan PLTMH di suatu wilayah

Penentuan arah utara :

Penentuan arah utara peta dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu :

1. Utara magnetis.
2. Utara geografis.

Utara magnetis.

Utara magnetis adalah utara yang mengarah ke kutub magnetis, atau yang mengarah ke meridian magnetis.

Perbedaan arah meridian magnetis dengan meridian geografis disebut deklinasi jarum magnetis atau penyimpangan arah jarum magnetis.

Dapat dimengerti bahwa deklinasi untuk tempat-tempat di atas permukaan bumi tidak akan sama. Makin dekat letak suatu titik dari kutub magnetis, maka makin besar deklinasinya.

Sebagai contoh perbedaan deklinasi antara Jawa Barat dengan Jawa Timur sekitar $1,2^\circ$, sehingga perubahan deklinasi per km untuk Indonesia yang letaknya jauh dari kutub magnetis hanya ada $0,07'$.

Perubahan arah jarum magnetis yang disebabkan oleh adanya benda-benda yang terbuat dari logam disebut atraksi lokal.

Pada pengukuran guna pembuatan peta, arah utara bisa menggunakan utara magnetis tetapi peta tersebut tidak dapat digabungkan dengan peta-peta lainnya karena utara magnetisnya berbeda.

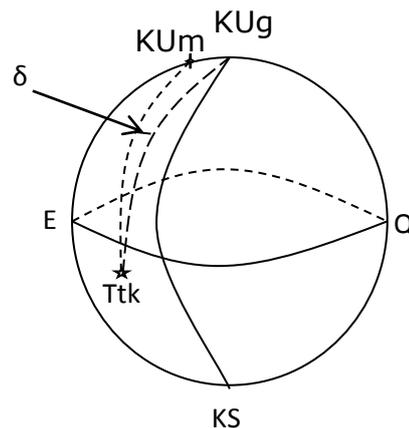
Utara geografis.

Utara geografis adalah utara yang berpatokan terhadap meridian geografis (kutub utara).

Penentuan azimuth ke suatu titik dapat dilakukan dengan pengamatan benda-benda langit seperti matahari dan bintang.

Penentuan azimuth dengan pengamatan mata hari dapat dilakukan dengan :

1. Metode tinggi mata hari.
2. Metode sudut waktu.



Gambar 3. 1 Lintasan putaran bumi terhadap matahari

Keterangan :

KUg : Kutub Utara geografis.

KUm : Kutub Utara magnetis.

E – Q : Equator.

Ttk : Posisi titik.

KS : Kutub selatan.

δ : Deklinasi magnit.

Garis yang menghubungkan KUg dengan KS disebut garis bujur. Dimana bujur nol adalah garis bujur yang melalui kota Greenwich di Inggris. Garis bujur dihitung mulai dari garis bujur nol ke arah timur. Sedangkan garis yang menghubungkan E – Q disebut garis ekuator yang sejajar dengan garis lintang. Garis ekuator adalah garis lintang 0° . Garis lintang dihitung dari ekuator sebagai lintang nol positif ke arah utara dan sebaliknya negatif ke arah selatan.

PENENTUAN POSISI HORIZONTAL CARA POLIGON

1. Pengertian.

Poligon adalah rangkaian titik-titik yang dihubungkan oleh suatu garis khayal dipermukaan bumi.

Poligon merupakan salah satu metoda penentuan posisi horisontal.

2. Pengukuran Poligon.

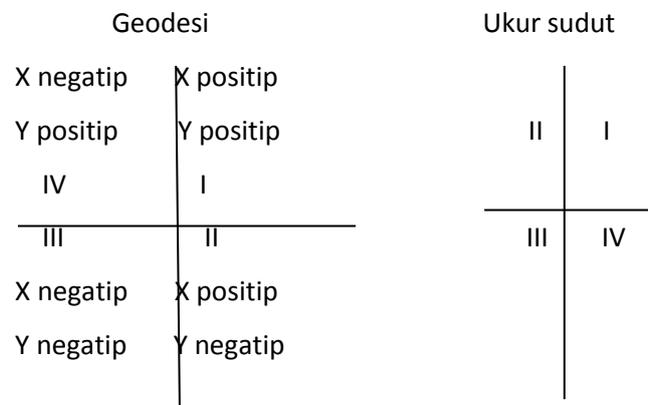
Didalam menentukan posisi horisontal cara poligon, ada dua hal yang perlu diukur

- sudut
- jarak

3. Hitungan poligon.

➤ Penentuan Kwadran suatu arah.

Pembagian kwadran dalam ilmu geodesi berbeda dengan pembagian kwadran didalam ilmu ukur sudut.



Dari gambar diatas disimpulkan bahwa :

- kwadran I besarnya dari 0 - 90
- kwadran II besarnya dari 90 - 180
- kwadran III besarnya dari 180 - 270
- kwadran IV besarnya dari 270 - 360

Untuk menentukan kwadran suatu jurusan α digunakan rumus tangen:

$$\frac{X_b - X_a}{\Delta X}$$

$$\text{Tg } \alpha_{ab} = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

tanda dari $\text{tg } \alpha_{ab}$ serta arah dari α_{ab} tergantung dari tanda ΔX dan ΔY , seperti

- ΔX positif, ΔY positif maka α_{ab} berada di kwadran I.
- ΔX positif, ΔY negatif maka α_{ab} berada di kwadran II.
- ΔX negatif, ΔY negatif maka α_{ab} berada di kwadran III.
- ΔX negatif, ΔY positif maka α_{ab} berada di kwadran IV.

Karena harga $\text{tg } \alpha_{ab}$ untuk kwadran I dan III adalah sama (juga kwadran II dan IV) bila dihitung menggunakan kalkulator maka bila :

- ΔX positif, ΔY positif harga $\text{tg } \alpha_{ab}$ sama dengan harga hasil hitungan.
- ΔX positif, ΔY negatif harga $\text{tg } \alpha_{ab}$ sama dengan harga hasil hitungan ditambah 180° .
- ΔX negatif, ΔY negatif harga $\text{tg } \alpha_{ab}$ sama dengan harga hasil hitungan ditambah 180° .
- ΔX negatif, ΔY positif harga $\text{tg } \alpha_{ab}$ sama dengan harga hasil hitungan ditambah 360° .

Contoh :

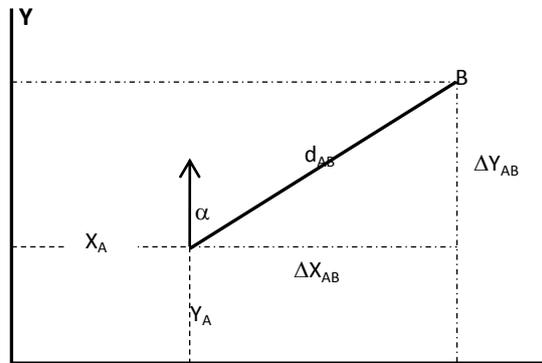
Tentukan kwadran arah dua buah titik A (5,8) dengan titik B (3,2)

Jawab :

$$\text{Tg } \alpha_{ab} = \frac{Y_b - Y_a}{X_b - X_a} = \frac{2 - 8}{3 - 5} = \frac{-6}{-2} = \frac{-3}{-1}$$

Karena ΔX dan ΔY keduanya negatif maka arah A ke B terletak pada kwadran III.

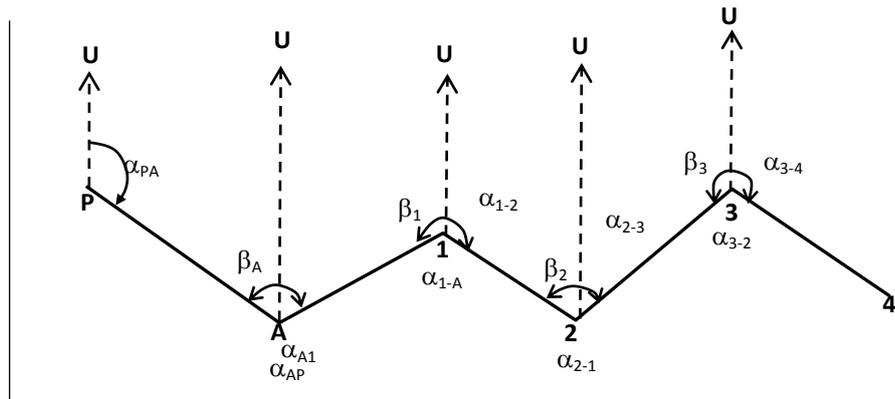
➤ Prinsip Dasar Hitungan Koordinat.



$$X_b = X_a + d_{ab} \cdot \sin \alpha_{ab}$$

$$Y_b = Y_a + d_{ab} \cdot \cos \alpha_{ab}$$

➤ Prinsip dasar Hitungan Sudut Jurusan Sisi Poligon.



Sesuai dengan defenisi, sudut adalah selisih arah kanan dikurangi arah kiri, maka :

$$\beta_a = \alpha_{a1} - \alpha_{ap}$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{ap} + \beta_a ; \alpha_{ap} = \alpha_{pa} - 180^\circ$$

$$= \alpha_{pa} + \beta_a - 180^\circ$$

$$\alpha_{a1} = \alpha_{a1} - 180^\circ = \alpha_{pa} + \beta_a - 2 \cdot 180^\circ$$

demikian seterusnya untuk jurusan berikutnya :

$$\alpha_{12} = \alpha_{1a} + \beta_1 = \alpha_{pa} + \beta_a + \beta_{b1} - 2 \cdot 180^\circ$$

$$\alpha_{23} = \alpha_{pa} + \beta_a + \beta_1 + \beta_2 - 3 \cdot 180^\circ$$

$$\alpha_{34} = \alpha_{pa} + \beta_a + \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 4 \cdot 180^\circ$$

Pelaksanaan kegiatan pembangunan dalam bentuk proyek-proyek pembangunan fisik diyakini menimbulkan dampak pada lingkungan mikro dari lokasi proyek tersebut. Hal ini mendorong diberlakukannya pelaksanaan studi kelayakan bagi rencana kegiatan proyek-proyek pembangunan. Studi tersebut merupakan perangkat untuk melakukan identifikasi dan evaluasi mengenai dampak yang akan terjadi akibat pelaksanaan suatu kegiatan proyek pembangunan, serta perumusan pengelolaan dan pemantauan lingkungan berkenaan dengan adanya dampak tersebut.

Dampak lingkungan terjadi karena adanya interaksi antara komponen-komponen dari kegiatan proyek dengan komponen-komponen lingkungan di lokasi proyek. Akibat interaksi tersebut, dampak primer yang timbul pada satu komponen lingkungan dapat pula menyebabkan terjadinya dampak sekunder dan tertier pada komponen lingkungan yang berbeda. Dampak lingkungan akibat kegiatan proyek pembangunan dapat berupa dampak temporer ataupun permanen. Selain itu, dampak yang timbul pada lingkungan dapat pula menyebabkan dampak balik pada kegiatan proyek.

Sifat dan besaran dampak pada satu komponen lingkungan sangat tergantung kepada karakteristik komponen lingkungan tersebut dan karakteristik dari komponen-komponen kegiatan yang menimbulkan dampak terhadapnya. Dampak kegiatan pembangunan yang mengena kepada komponen-komponen lingkungan yang berkaitan dengan aktifitas perekonomian masyarakat di lokasi kegiatan proyek dikategorikan sebagai dampak terhadap aspek sosial ekonomi. Sedangkan dampak yang berkaitan dengan permasalahan lingkungan disebut dampak terhadap aspek lingkungan.

Dampak yang terjadi pada aspek sosial ekonomi dan lingkungan akibat adanya kegiatan pembangunan proyek, disebabkan adanya perubahan pada tingkat kesejahteraan masyarakat di sekitar kegiatan tersebut. Perubahan tersebut merupakan refleksi dari perubahan yang terjadi pada komponen-komponen lingkungan yang terkait dengan perekonomian masyarakat, sebagai akibat dari dilaksanakannya kegiatan proyek.

Secara umum, dampak kegiatan proyek terhadap kesejahteraan masyarakat dapat terjadi melalui interaksi komponen-komponen kegiatan proyek dengan komponen-komponen lingkungan yang menyebabkan perubahan pada penggunaan lahan, tingkat produktivitas lahan, penduduk serta kesempatan kerja dan peluang berusaha. Perubahan pada setiap komponen lingkungan tersebut akan membentuk satu rangkaian perubahan yang pada gilirannya akan bermuara pada perubahan kesejahteraan masyarakat di sekitar proyek. Hal ini dapat diperkirakan bahwa satu kelompok masyarakat akan mengalami perubahan kesejahteraan yang bersifat negatif, karena satu rangkaian perubahan. Akan tetapi kelompok masyarakat tersebut diperkirakan akan mendapatkan perubahan yang bersifat positif, karena adanya perubahan pada rangkaian yang lain, maka di dalam mengenali dampak pembangunan terhadap aspek sosial ekonomi perlu diidentifikasi secara jelas.

Struktur mata pencaharian dapat mengalami perubahan karena adanya pengerahan tenaga kerja dalam jumlah yang signifikan pada sektor kegiatan ekonomi tertentu, sehingga terjadi pergeseran komposisi sektor-sektor di dalam struktur mata pencaharian. Misalnya pengoperasian sebuah pabrik pengolahan makanan di daerah pedesaan akan menyerap tenaga kerja dalam jumlah yang relatif besar, sehingga akan mengubah peran sektor industri menjadi mata pencaharian tetap bagi banyak rumah tangga penduduk setempat. Berdasarkan jumlah tenaga kerja yang diserapnya, sektor industri menggeser sejumlah sektor lain yang semula menyerap tenaga kerja lebih banyak daripada sektor industri. Dengan demikian, terjadilah perubahan struktur mata pencaharian penduduk sebagai akibat dari keberadaan pabrik di daerah pedesaan tersebut.

Adapun sektor-sektor kegiatan ekonomi mencerminkan pola nafkah tunggal rumah tangga penduduk. Sebagian penduduk memiliki pola nafkah tunggal bagi rumah tangganya , artinya rumah tangga tersebut hanya memiliki pencari nafkah tunggal yang mengandalkan satu sektor kegiatan ekonomi saja untuk pelingkup.

Pengenalan dampak lingkungan dilakukan melalui proses identifikasi. Langkah-langkah yang ditempuh untuk identifikasi dampak yang timbul akibat kegiatan proyek pembangunan adalah :

- Mengenal komponen kegiatan proyek yang di perkirakan akan menimbulkan dampak;
- Mengenal komponen lingkungan dalam aspek sosial-ekonomi yang diperkirakan akan terkena dampak;
- Mengenal interaksi antara komponen kegiatan yang diperkirakan akan menimbulkan dampak dengan komponen lingkungan yang akan terkena dampak.

Melalui langkah-langkah tersebut di atas akan didapati bahwa kegiatan proyek pembangunan yang berbeda dapat menimbulkan dampak terhadap aspek sosial-ekonomi dan lingkungan yang berbeda pula, meskipun kegiatan-kegiatan proyek tersebut dilangsungkan pada satu lokasi yang sama. Secara umum dampak kegiatan proyek pembangunan terhadap aspek sosial-ekonomi dapat dikenali melalui identifikasi perubahan yang mengena pada :

1) Struktur Kegiatan Ekonomi Masyarakat

Perubahan pola nafkah tunggal yang satu ke pola yang lain terjadi apabila terjadi alih profesi. Misalnya rumahtangga petani yang menggunakan uang dari kompensasi bagi lahan pertaniannya yang digunakan oleh satu proyek Pembangunan untuk modal kegiatan industri kecil di mana hanya petani, rumahtangga yang menjalankan kegiatan produksi, baik pada waktu di sektor pertanian ke sektor industri kecil.

2) Sumberdaya Kegiatan Ekonomi Masyarakat

Hal ini dapat dilihat pada perubahan pola kepemilikan dan penguasaan sumber daya, pola pemanfaatan sumber daya, nilai sumber daya, dan sumberdaya milik umum (common property).

Perubahan tersebut adalah pada sumberdaya lahan. Perubahan tersebut disebabkan oleh adanya kebutuhan proyek akan lahan, sehingga dibebaskanlah sejumlah lahan yang dimiliki masyarakat dengan memberikan kompensasi kepada masyarakat tersebut. Pengalihan pemilikan dan penguasaan lahan dari masyarakat ke proyek dengan sendirinya mengubah akses masyarakat terhadap sumberdaya lahan yang umumnya merupakan lahan pertanian sebagai sumber pendapatannya.

3) Kinerja Kegiatan Ekonomi Masyarakat

Perubahan kesempatan kerja dan peluang berusaha dapat pula berarti hilangnya kesempatan kerja dan berusaha bagi sejumlah masyarakat setempat karena keberadaan proyek telah menurunkan kinerja kegiatan ekonomi yang ditekuni oleh masyarakat tersebut. Contoh yang sering kali ditemui dalam kasus ini adalah masyarakat yang semula bekerja sebagai buruh tani yang kehilangan kesempatan kerja karena lahan pertanian tempatnya bekerja dibebaskan untuk keperluan proyek dan kemudian dialihkan penggunaannya.

3.2. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkitkan

2.2.1. Pengukuran potensi daya air dan daya terbangkitkan

Persamaan utama dalam proyek Mikro Hidro adalah persamaan yang menghasilkan daya listrik dalam satuan watt, yaitu :

$$P_{hydr} = Q \times \rho \times g \times H_n$$

dimana :

P_{hydr} = daya hidrolik dalam Watt [W], tanpa mempertimbangkan

pengurangan akibat efisiensi peralatan (turbin, generator dll)

Q = debit dalam $m^3/detik$

ρ = kekentalan air = kira-kira $1000 \text{ kg}/m^3$

g = percepatan gravitasi = $9.81 \text{ m}/m^2$

H_{nett} = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

Pengukuran debit air.

Perincian kegiatan survai dan investigasi yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- (1) Observasi meteorologi di sekitar tempat kedudukan calon PLTMH, yang terdiri dari pengukuran dan pencatatan tempe-ratur, curah hujan dan intensitasnya, dan lain-lain.
- (2) Pengukuran dan pencatatan temperatur air sungai dan pengamatan kualitasnya pada beberapa lokasi tertentu di sebelah hilir calon PLTMH.
- (3) Pengukuran dan pencatatan debit air sungai pada tempat kedudukan calon PLTMH.

Data-data curah hujan dan debit sungai merupakan data-data yang paling fundamental dalam merencanakan pembangunan suatu PLTMH. Dan ketepatan dalam pemilihan-pemilihan lokasi serta pemilihan type peralatannya (baik untuk curah hujan maupun untuk debit sungai) adalah merupakan faktor-faktor yang menentukan pada kualitas data yang kelak akan diperoleh.

Khususnya dalam penempatan stasiun pencatat debit disarankan agar memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- (1) Supaya diusahakan lokasi yang berdekatan dengan calon kedudukan PLTMH, tetapi diperhatikan agar dapat dihindarkan fluktuasi debit yang dipengaruhi oleh adanya kegiatan pelaksanaan pembangunan PLTMH yang bersangkutan.
- (2) Supaya diusahakan lokasi pada bagian sungai yang lurus dengan luas penampang lintang yang hampir seragam dan dengan kemiringan yang konstan.

Pada prinsipnya pengukuran-pengukuran yang dilaksanakan umum-nya dengan metode current meter (*current meter method*) dan Salt Dullition Method. Walaupun demikian dalam kondisi-kondisi tertentu dipergunakan pula metode pelampung (*floating method*) dan metode pengukuran dengan ambang pelimpah (*weir method*).

(1) Metode current meter

Pada hakekatnya cara ini termasuk cara yang sudah agak kuno, walaupun demikian mengingat pelaksanaannya yang tidak terlalu sukar, sedang hasilnya pun cukup dapat diandalkan sehingga metode current meter pada saat ini masih sangat luas pemakaiannya. Prinsip pelaksanaannya adalah dengan urutan sebagai berikut :

- (a) Menentukan suatu penampang sungai untuk lokasi pelaksanaan pengukuran debit.
- (b) Mengukur kecepatan aliran air yang melintasi penampang sungai tersebut di atas dengan current meter yang didasarkan pada prosedur-prosedur tertentu. Apabila kecepatan rata-rata tersebut dikalikan dengan luas penampang basah, maka debit sungai tersebut dapat dihitung dengan mudah. Fluktuasi permukaan air sungai dicatat oleh suatu alat pencatat dan secara otomatis tergambar sebuah grafik yang disebut hidrograf-elevasi permukaan air.
- (c) Dengan melaksanakan pengukuran-pengukuran debit seperti pada ad. (b) di atas secara berulang kali, pada elevasi permukaan air yang berbeda-beda maka didapatkan angka debit sungai yang berbeda-beda pula dan dari hasil-hasilnya maka dapat dibuatkan kurva elevasi versus debit yang disebut kurva debit (*rating curve*).
- (d) Dengan menggunakan rating curve ini, maka setiap elevasi permukaan air sungai yang tercatat pada hidrograf-elevasi dapat diketahui debitnya.

PENGUKURAN BEDA TINGGI

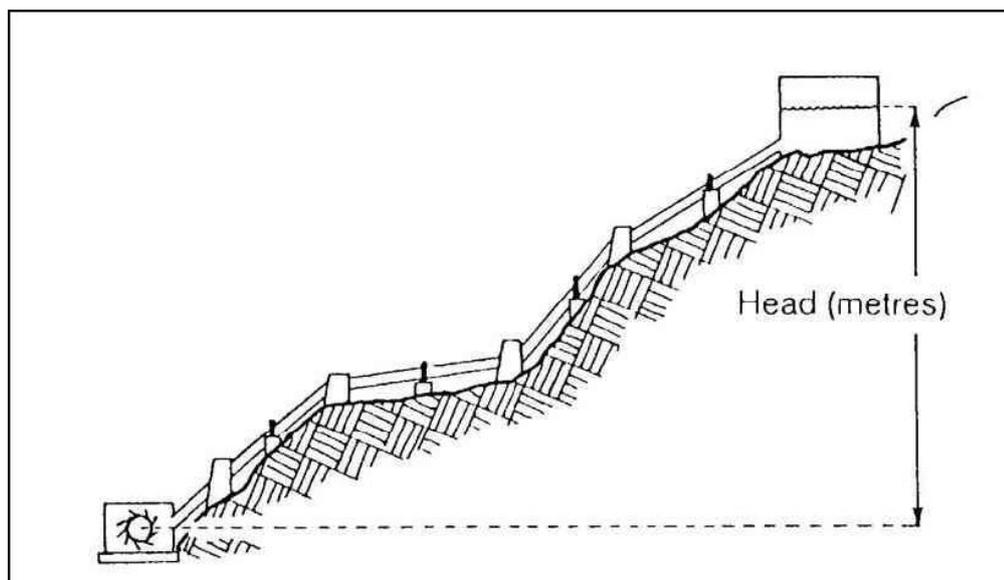
Walaupun kita dapat menggunakan pipa yang halus untuk membawa air menuruni bukit menuju turbin, sebagian energi akan hilang akibat gesekan dan gangguan yang lainnya (katup, belokan, dll). Sepanjang saluran pembawa air juga akan terjadi kerugian akibat gesekan dan turbulensi. Kehilangan energi ini biasanya dicatat untuk perhitungan output daya dengan cara mengurangi tinggi jatuh total yang ada di lapangan. Ketentuan yang berlaku sebagai berikut:

a. Tinggi jatuh kotor atau tinggi jatuh statis:

H_g (m) didefinisikan sebagai perbedaan ketinggian air di saluran pembawa atas dan ketinggian air di saluran pembuangan (tailrace). Ini merupakan tinggi jatuh teoritis yang akan tersedia apabila tidak **terjadi losses**.

b. Tinggi jatuh bersih atau efektif:

H_n (m) dihasilkan dari perbedaan antara tinggi jatuh kotor dan kerugian tinggi jatuh (head losses). Ini merupakan tinggi jatuh sebenarnya yang tersedia untuk membangkitkan daya. Kehilangan tinggi jatuh untuk skema PLTMH biasanya sekitar 10% dari tinggi jatuh kotor.



Gambar 1.2. Head dalam perhitungan sistem tenaga air

1. Debit

Aliran atau debit: Q ($m^3/detik$) merupakan bagian penting lain dalam menentukan output daya dari sebuah skema MHP. Besarnya debit dalam sebuah skema tidak sama dengan debit total atau debit maksimum yang tersedia di sungai. Hal ini dipertimbangkan untuk menghindari struktur bangunan sipil yang besar, pipa pesat, runner turbin dan fasilitas pembuangan air untuk mengakomodasi aliran yang besar. Jadi, debit diperlukan untuk mengetahui batasan arus tertinggi sampai arus terendah yang terjadi dalam aliran sungai. Variasi dari besarnya debit sepanjang tahun dan perubahannya selama musim hujan dan musim kering perlu diketahui dan dianalisa dengan cermat untuk menentukan debit desain yang akan diaplikasikan dalam sistem. Debit desain biasanya ditentukan sedikit diatas batas minimum untuk menjaga fermormansi dan efisiensi peralatan pembangkit. Metode pengukuran dan penjelasan mengenai debit akan di bahas pada modul berikutnya.

2. Energi potensial dan energi kinetik di dalam air

Energi dapat terjadi dalam berbagai bentuk: potensial, kinetik, panas, dll. Air di penampungan di atas bukit mempunyai energi potensial yang lebih besar daripada air yang berada di bawah bukit. Apabila air dilepaskan dari atas bukit menuju sungai, akan melepaskan energi potensialnya melalui gesekan di dasar sungai dan turbulansi. Apabila air mengalir menuruni bukit melewati pipa yang halus, sedikit energi akan hilang akibat gesekan dan turbulansi dan energi yang terkandung dalam air dapat digunakan untuk membangkitkan daya mekanis di dalam turbin. Energi total yang tersedia dari volume air di atas bukit merupakan berat air dikalikan dengan jarak vertical (tinggi jatuh) secara teoritis menuju turbin.

$$E_{pot} = m g H$$

dimana ; m = masa air --- kg

g = gaya gravitasi ---- (9.81 m/s²)

H = tinggi jatuh dalam --- m

Karena berat air adalah volume (V) dikalikan kekentalan (ρ) kita dapat menuliskan:

$$\text{Persamaan 1: } E_{pot} = V \rho m g H$$

3. Potensi tenaga air

Daya dapat ditunjukkan sebagai energi per satuan waktu

$$P = \frac{V \rho g H}{t}$$

Karena volume per satuan waktu sama dengan debit kita dapat menuliskan:

$$\text{Persamaan 2: } P_{hydr} = Q \rho g H_n$$

dimana ;

P_{hydr} = **daya hidrolis** dalam Watt [W], tidak mempertimbangkan pengurangan karena efisiensi peralatan (turbin, generator, dll.)

Q = debit dalam m³/detik

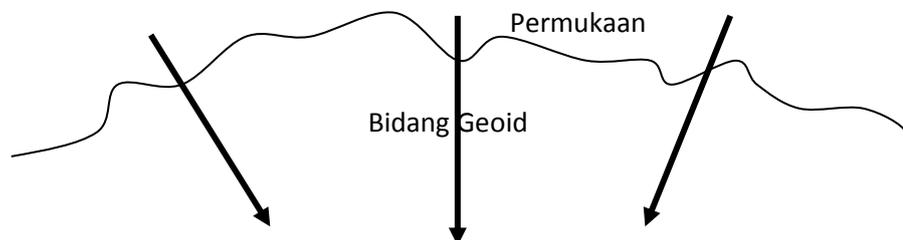
ρ = kekentalan air = kira-kira 1000 kg/m³

g = percepatan gravitasi = 9.81 m/m²

H_{nett} = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

3.1. Pengertian Sipat Datar.

Yang dimaksud dengan sipat datar adalah : cara pengukuran (proses) yang menentukan tinggi titik/evaluasi atau menentukan beda tinggi antara titik yang satu dengan titik-titik lainnya. Tinggi titik-titik itu ditentukan terhadap suatu bidang persamaan, yang umumnya disebut bidang nivo pada permukaan air laut pukul rata atau geoid (gambar 3.2).



Gambar 3. 2 Bidang geoid

3.2. Penentuan beda tinggi metode barometris.

Metode penentuan beda tinggi dengan cara barometris adalah semua cara penentuan beda tinggi yang berdasarkan terhadap tekanan udara seperti : penentuan beda tinggi dengan cara slang plastik, altimeter , pressure gauge, dan tabung gelas.

Metode ini sangat tidak teliti dibanding dengan metode trigonometris dan sipat datar, karena pengukurannya berdasarkan tekanan udara. Sedang tekanan udara disetiap tempat tidak sama.

a. Penentuan beda tinggi dengan cara slang plastic.

Alat ukur sipat datar yang paling sederhana, murah dan mudah di dapat adalah slang plastik. Waktu dulu sebelum ada slang plastik, untuk membuat bidang datar orang mempergunakan slang karet yang ada pada kedua ujung tabung gelas ini terbuka sehingga apabila slang karet diisi dengan air, maka kedua permukaan air pada tabung gelas akan terlihat dan dalam keadaan setimbang. Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam menggunakan alat ini, adalah :

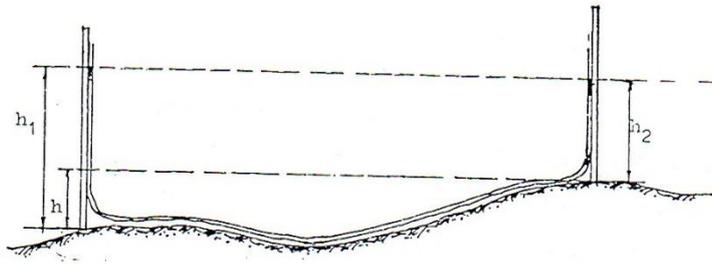
- Di dalam slang tidak boleh ada gelembung-gelembung udara.
- Tidak boleh ada kebocoran
- Slang jangan sampai terpuntir atau terlipat
- Jangan sampai ada kotoran yang menyumbat di dalam slang.

Pada saat sekarang ini dengan telah diketemukannya slang plastik bening, maka orang lebih suka menggunakan slang plastik. Keuntungan mempergunakan slang plastik ini adalah :

- Kedua permukaan zat cair pada slang plastik bening telah dapat terlihat sehingga tidak perlu lagi mempergunakan tabung gelas.
- Keadaan di dalam slang plastik dapat terlihat dengan jelas sehingga adanya gelembung udara atau kotoran secara cepat dapat diketahui dan dihilangkan.
- Penggunaannya lebih mudah, ringan dan harganya relatif lebih murah dibandingkan slang karet.

Cara Pengukuran Beda Tinggi Dengan Slang Plastik

Untuk mengukur beda tinggi antara dua titik dengan slang plastik dapat dilakukan sebagai berikut .



Gambar 3. 3 Pengukuran beda tinggi air

Pengukuran beda tinggi dengan slang plastik

1. Pekerjaan ini dapat dilakukan oleh dua orang
2. Siapkan slang plastik diameter 10 mm dengan panjang secukupnya (antara 25 m sampai 100 m), kemudian di isi dengan air yang bersih.
3. Pasang tongkat ukur atau rambu ukur pada kedua titik A dan B yang akan di ukur beda tingginya, kemudian tempelkan ujung-ujung plastik pada kedua tongkat atau rambu di A dan di B.
4. Pastikan bahwa tongkat atau rambu dalam keadaan tegak lurus dan slang bebas dari gelembung atau terpuntir.
5. Setelah kedua permukaan dalam keadaan tenang, kemudian baca dan catat hasil bacaannya. Atau dapat dengan cara mengukur tinggi permukaan air sampai ke titik A maupun titik B.
6. Jika hasil bacaan di titik A adalah h_1 dan bacaan di titik b h_2 , maka beda tinggi titik A dan B adalah :

$$h = h_1 - h_2$$

- b. Penentuan beda tinggi dengan cara altimeter.

Penentuan beda tinggi dengan menggunakan altimeter sangat tidak teliti karena dipengaruhi tekanan atmosfer. Akurasi pengukurannya berkisar antara ± 5 m sampai 20 m.

Untuk keperluan studi kelayakan pada suatu lokasi PLTMH maka altimeter dapat digunakan untuk mendapatkan beda tinggi kotor.

Penentuan beda tinggi dengan cara altimeter dapat dilakukan dengan menggunakan altimeter tunggal atau dua altimeter.

b.1 Penentuan beda tinggi dengan altimeter tunggal.

Langkah pengukuran :

- Baca altimeter pada titik awal.
- Pindahkan altimeter pada titik yang lain (titik 2) kemudian baca.
- Lakukan pembacaan kembali di titik awal dan bandingkan dengan pembacaan awal.
- Hitung beda tinggi dengan mengurangi pembacaan altimeter di titik 2 dan di titik 1.
- Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik Ulangi langkah-langkah diatas untuk mendapatkan nilai rata-rata beda tinggi.

b.2 Penentuan beda tinggi dengan dua altimeter.

- Seting kedua altimeter
- Tempatkan altimeter I pada titik awal P dengan melakukan pembacaan secara kontinu dengan interval waktu 5 sampai 10 menit.
- Tempatkan altimeter ke II pada titik yang lain Q kemudian baca dan catat waktunya.
- Hasil bacaan altimeter I pada waktu t misalnya h_1 , dan hasil bacaan altimeter II pada waktu t misalnya h_2 , maka beda tinggi antara titik P dan Q = $h_2 - h_1$.
- Ulangi langkah-langkah diatas untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti.

c Penentuan beda tinggi dengan cara pressure gauge.

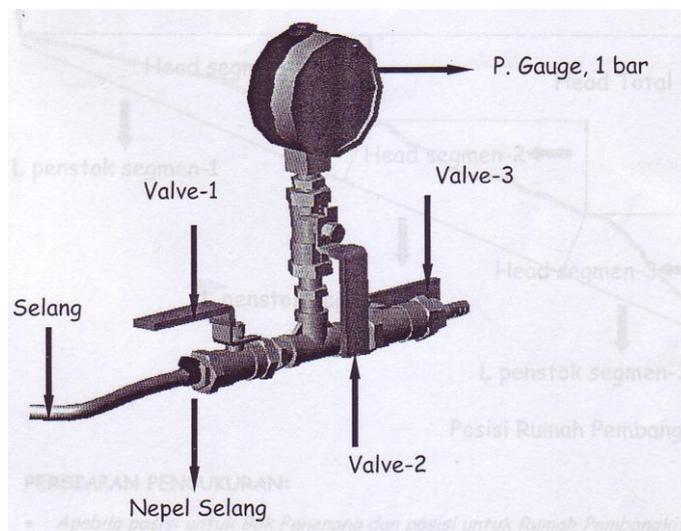
Alat ini dihubungkan slang plastik sehingga cara bekerjanya hampir sama dengan pengukuran beda tinggi menggunakan slang plastik. Oleh karena itu persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi juga sama dengan persyaratan pada pengukuran beda tinggi cara slang plastik Yakni :

- Didalam slang tidak boleh ada gelembung udara.
- Tidak boleh ada kebocoran.

- Slang jangan sampai terpuntir atau terlipat.
- Tidak boleh ada kotoran yang menyumbat didalam slang.

Langkah kerja :

- Masukkan slang pada nevelnya dan kunci dengan klem yang telah disediakan.
- Pastikan valve-2 dalam posisi tertutup sedang valve-1 dan valve-3 dalam posisi terbuka sebelum slang diisi dengan air.
- Isi slang dengan air dengan menggunakan jeregen.(pressure gauge diletakkan pada titik awal/titik 1 dan ujung slang yang lain diletakkan di titik 2)
- Jika semua persyaratan diatas sudah terpenuhi (tidak ada gelembung udara dalam slang, slang tidak bocor dan terpuntir) maka bukalah valve-2, sehingga jarum pada pressure gauge akan berputar.
- Baca/catat bacaan pada pressure gauge yang merupakan beda tinggi antara kedua titik tersebut.



Gambar 3. 4 Pressure gauge pengukur ketinggian air

3.3. Penentuan dimensi dasar komponen-komponen sipil

Data-data yang diperlukan untuk dimensi dasar komponen sipil antara lain:

(a) Peta-peta topografi.

Biasanya oleh instansi-instansi tertentu baik di tingkat pusat maupun di tingkat propinsi diterbitkan peta-peta topografi dengan skala 1 : 50.000. atau 1 : 25.000. Peta-peta ini merupakan data yang paling fundamental, sebelum kegiatan-kegiatan survai dan investigasi selanjutnya dapat direncanakan.

(b) Peta-peta geologi

Biasanya peta-peta geologi dalam skala-skala yang kecil juga diterbitkan oleh instansi-instansi tertentu, baik di tingkat pusat maupun di tingkat propinsi. Berdasarkan peta-peta tersebut beberapa kondisi geologi dari suatu daerah tertentu sudah dapat diketahui secara kasar, misalnya mengenai formasi batuan, proses pembentukannya, umur geologi suatu lapisan, struktur geologinya, dan lain-lain.

(c) Foto Udara

Dengan foto udara akan sangatlah mudah untuk mempelajari dan menganalisa tempat kedudukan calon PLTMH dan daerah sekitarnya, dimana kesukaran--kesukaran pengamat-an setempat terhadap struktur geologinya, dengan mudah dapat diatasi dengan penggunaan foto udara, misalnya untuk mengetahui adanya daerah-daerah yang mudah longsor (*sliding zones*), daerah-daerah patahan, lipatan - lipatan dan lain-lain.

Dengan memperhatikan warna dan bayangan pada foto udara, secara kasar dapat diketahui tingkat kelembaban tanah, formasi permukaan air tanah dan keadaan drainagenya, misalnya akan dapat dibedakan antara daerah lempung kedap air dan daerah formasi pasir yang kering.

Dan pengamatan-pengamatan terhadap jenis jenis vegetasi, penyebaran serta tingkat kesuburannya pada foto tersebut, maka dapat diperkirakan formasi batuan dasar suatu daerah, kelembabannya dan lain-lain.

Data-data lainnya yang tidak kurang pentingnya adalah peta-peta land-use dan catatan-catatan kegiatan pemba-ngunan di waktu-waktu yang lampau.

SALURAN

Saluran yang dimaksud disini adalah saluran air yang digunakan untuk membawa air dari intake kepenstock pada PLTMH

Dalam desain hidraulik sebuah saluran pembawa terdapat dua parameter pokok yang harus ditentukan apabila kapasitas rencana yang diperlukan sudah diketahui yaitu :

1. Perbandingan kedalaman air dengan lebar dasar
2. Kemiringan memanjang saluran.

Rencana pendahuluan untuk saluran baik untuk irigasi maupun PLTMH menunjukkan :

- trase pada peta tata letak pendahuluan.
- ketinggian tanah pada trase.
- debit rencana dan kapasitas saluran untuk berbagai ruas saluran.
- perkiraan kemiringan dasar dan potongan melintang untuk berbagai ruas.

Rencana potongan memanjang pendahuluan dibuat dengan skala peta topografi 1 : 25.000 dan 1 : 5.000. Rencana tata letak dan potongan memanjang pendahuluan dibuat dengan skala yang sama. Kemiringan medan utama akan memperlihatkan keseluruhan gambar dengan jelas

Sipon adalah bangunan silang untuk melintaskan saluran di bawah dasar sungai atau jalan. Ini dibuat apabila muka air saluran hanya sedikit lebih tinggi dari pada muka air banjir sungai yang dilewati.

Persyaratan

- Sipon hanya dipakai untuk membawa aliran saluran yang memotong jalan atau saluran dimana tidak bisa dipakai gorong-gorong, jembatan atau talang.
- Pembuatan bangunan sipon harus mempertimbangkan kecepatan air dalam pipa sipon sebesar 1,5 – 2,50 m/dt. Kalau kecepatan air diambil terlalu besar, maka akan mengakibatkan kahilangan tekanan besar, sehingga dapat mengurangi areal sawah yang akan diairi. Kalau kecepatan air terlalu kecil, menimbulkan pengendapan/ penyumbatan di dalam pipa sipon.
- Untuk kepentingan inspeksi dan pembersihan, ukuran pipa sipon diambil minimum 0,70 m.

- Dasar dan tebing sungai ditempat sipon perlu diperkuat dengan pasangan untuk menjaga bahaya penggerusan setempat dan kelongsoran tebing.
- Pada bagian masuk dan keluar harus dilengkapi dengan pintu.
- Agar sipon dapat berfungsi dengan baik, bangunan ini tidak boleh dimasuki udara. Mulut sipon sebaiknya di bawah permukaan air udik.

Struktur

- Sipon harus stabil, tahan terhadap tekanan aliran sekelilingnya
- Kemiringan pipa pada bagian hilir jangan lebih tegak dari pada 1 : 3.
- Ada bagian masuk harus dipasang saringan dari besi untuk menahan benda padat/ sampah.
- Dibuat sponing untuk balok-balok sekat untuk pemeliharaan, pada bagian masuk.

Talang adalah bangunan persilangan yang dibuat untuk melintaskan saluran dengan sungai, cekungan, jalan, dan lain-lain.

Persyaratan dan Pertimbangan.

- Bangunan talang harus cukup tinggi terhadap muka air banjir dari sungai yang dilintasi. Ini sehubungan dengan adanya batang-batang pohon benda padat lain yang hanyut pada waktu banjir.
- Bangunan dapat didukung dengan pilar atau tanpa pilar. Talang dari bahan baja dan kayu dipakai untuk membawa debit kecil.
- Untuk saluran-saluran yang lebih besar dipakai talang beton
- Talang dilengkapi dengan bagian saluran peralihan masuk dan keluar.

Struktur

- Bangunan talang lazim dibuat dari kayu, beton, besi, dan baja
- Tembok pangkalnya diberi tembok sayap
- Bila saluran di udik bangunan talang menerima air banjir/ air kelebihan yang harus dibuang sehingga tidak sampai melewati talang yang akan menimbulkan kerusakan, maka talang harus dilengkapi dengan pelimpah.

- Pondasi tembok pangkal dan tiang-tiang harus cukup dalam, mengingat kemungkinan terjadinya penggerusan setempat.
- Kemiringan tebing sungai di tempat bangunan talang sebaiknya diperkuat dengan tembok pasangan, agar tidak dapat longsor.
- Bila bangunan talang dari pasangan batu atau beton kecepatan air diambil 1,5 – 2 m/dt, dan bila talang dengan struktur besi kecepatan aliran diambil 2,5-3 m/dt.

Forebay adalah suatu bangunan sipil yang merupakan bangunan terakhir sebelum pipa *penstock*. Kolam penenang ini merupakan kolam transisi dari saluran pembawa ke pipa pesat/ *penstock*, dan sangat penting peranannya dalam pengaturan air untuk MHP.

Fungsi bangunan *Forebay*

Fungsi utama bangunan ini adalah:

- Bak penenang, agar tidak terjadi pergolakan air/ turbulensi
- Bak penampung/ *Storage* dimasa air sedikit berkuang
- Bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (*air saction*)

Bagian bagian bangunan *Forebay*

- Bak penampung
- Bangunan pelimpah
- Besi penyaring /*trash rack*
- Pintu pembilas/*sloplog get*
- Pintu pembuka
- Ventilasi udara/*Air vent*
- Pipa *penstock*

Bendung adalah bangunan air yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai, yang mana bendung bukanlah bendungan atau dam.

Menurut fungsinya, bendung digunakan oleh para petani untuk meninggikan muka air sungai dengan tujuan untuk mendapatkan ketinggian yang cukup untuk dapat mengairi

sawah sehubungan dengan ketinggian sawah yang lebih rendah dari muka air sungai sebelumnya, sedangkan fungsi bendung dalam kaitannya dengan pembangkit micro hydro ini adalah untuk mendapatkan ketinggian air yang relative dapat diukur atau ditentukan sekaligus untuk menentukan kebutuhan air yang ada untuk kebutuhan *supplay* pada turbin yang ada di bawahnya sehingga desain ketinggian dapat dihitung melalui data pengukuran.

Dalam beberapa hal banyak kesamaan bendung yang dibuat untuk keperluan persawahan dan bendung yang di desain untuk keperluan pembangkit listrik, dan sebutan keberadaan bendung pada umumnya disamakan dengan istilah *Intake*.

Bangunan bendung pada umumnya dilengkapi dengan :

- Limpasan bendung/ *spillway*
- Pintu pembilas/ *Flasing*
- Bangunan *intake*
- Pintu dan perlengkapannya

Pintu Air ada 4 macam yaitu :

a. Pintu Thomson

Pintu ini adalah pintu pengukur dengan bentuk *triangle* atau segitiga yang terbuat dari bahan pelat atau lainnya untuk dapat mempermudah dalam pembuatan dan pengukuran.

b. Pintu Chipoletti

Pintu Chipoletti ini lebih baik untuk mengukur debit air sungai yang lebih besar daripada pintu Thomson , akan tetapi pintu ini masih mempunyai kehilangan energi yakni adanya perbedaan tinggi air di hulu dan di hilir

c. Pintu Romijn

Pintu romijn ini adalah pintu dengan desain mutahir dimana pintu ini dibuat dengan fungsi untuk mengukur dan mengatur kelebihan pintu ini dapat mengurangi kehilangan energi atau delta h (Δh), dan dapat membilas/ memflasing.

Adapun kelemahan pintu ini biasanya hanya dipakai di dataran rendah dan hanya mengatur debit rendah.

d. Pintu Crump De Gruyter

Pintu ini merupakan pintu pengembangan dari pintu di atas dimana pintu ini dapat memenuhi kebutuhan debit yang lebih besar dari pintu Romijn, disamping mengurangi kehilangan energi yang sangat besar atau (Δh), akan tetapi pintu ini biasanya hanya dipakai di dataran rendah.

Bak pengendap pasir (*sandtrap*) pada dasarnya merupakan saluran dengan potongan melintang yang diperbesar yang mengakibatkan kecepatan aliran menurun. Karena penurunan kecepatan, batu kerikil, pasir dan sedimen akan mengendap dalam bak ini sehingga tidak akan masuk ke dalam saluran pembawa dan yang terpenting tidak akan masuk ke turbin, dimana partikel-partikel ini dapat menyebabkan abrasi pada *runner*.

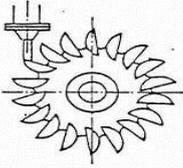
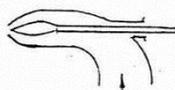
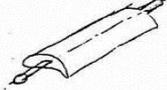
Pipa pesat (atau pipa tekanan) menghubungkan bak penenang dengan turbin di rumah pembangkit. Pada kebanyakan kasus biasanya pipa baja yang digunakan, tetapi juga plastik (PE, PVC, HDPE) atau beton, juga merupakan material yang dapat digunakan. Pipa pesat didukung oleh *sliding blocks* dan angkor; *expansion joint*. Sambungan memungkinkan jika terjadi pemuaian pipa secara memanjang umumnya akibat pengaruh temperatur .

3.4. Penentuan spesifikasi turbin air skala kecil

Turbin modern dapat dibagi dalam dua klasifikasi utama, yaitu:

A. Turbin Impuls

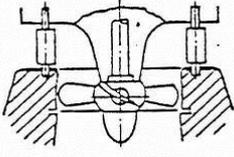
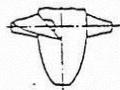
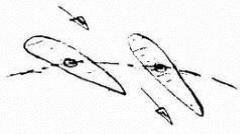
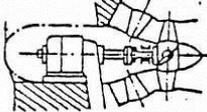
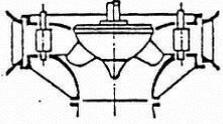
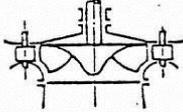
Memanfaat energi kinetik fluida, terutama dipengaruhi tekanan air (beda tinggi). Air yang jatuh bekerja hanya pada beberapa bagian *runner*. Seluruh energi hidrolis diubah menjadi energi kinetik. Tidak terjadi perubahan tekanan pada air sebelum dan sesudah melewati *runner*. *Runner* adalah bagian utama turbin yang mengubah energi hidrolis menjadi energi kinetis (putaran).

impuls turbine			
The acts only on a part of the runner. All hydraulic energy is converted into kinetic energy before entering the runner. The fluid does not change pressure on its way through the runner			
NAME		RUNNER	GUIDE VANE
PELTON TURBINE		numerous double buckets The water jet enters the runner tangentially	1 to 6 adjustable spear valves 
TURGO IMPULSE		numerous double bended buckets The water jet enters the plane of the runner at an angle of 20°	1 to adjustable spear valves 
CROSS FLOW		cylindrical runner with	one adjustable profiled 

Gambar 3. 5 Turbin Impuls

B. Turbin Reaksi

Memanfaatkan energi gravitasi pada fluida, terutama dipengaruhi oleh debit air. Seluruh bagian runner ditenggelamkan / dipenuhi oleh air. Terdapat perbedaan tekanan air, dimana tekanan sebelum melewati runner lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan air setelah melewati runner.

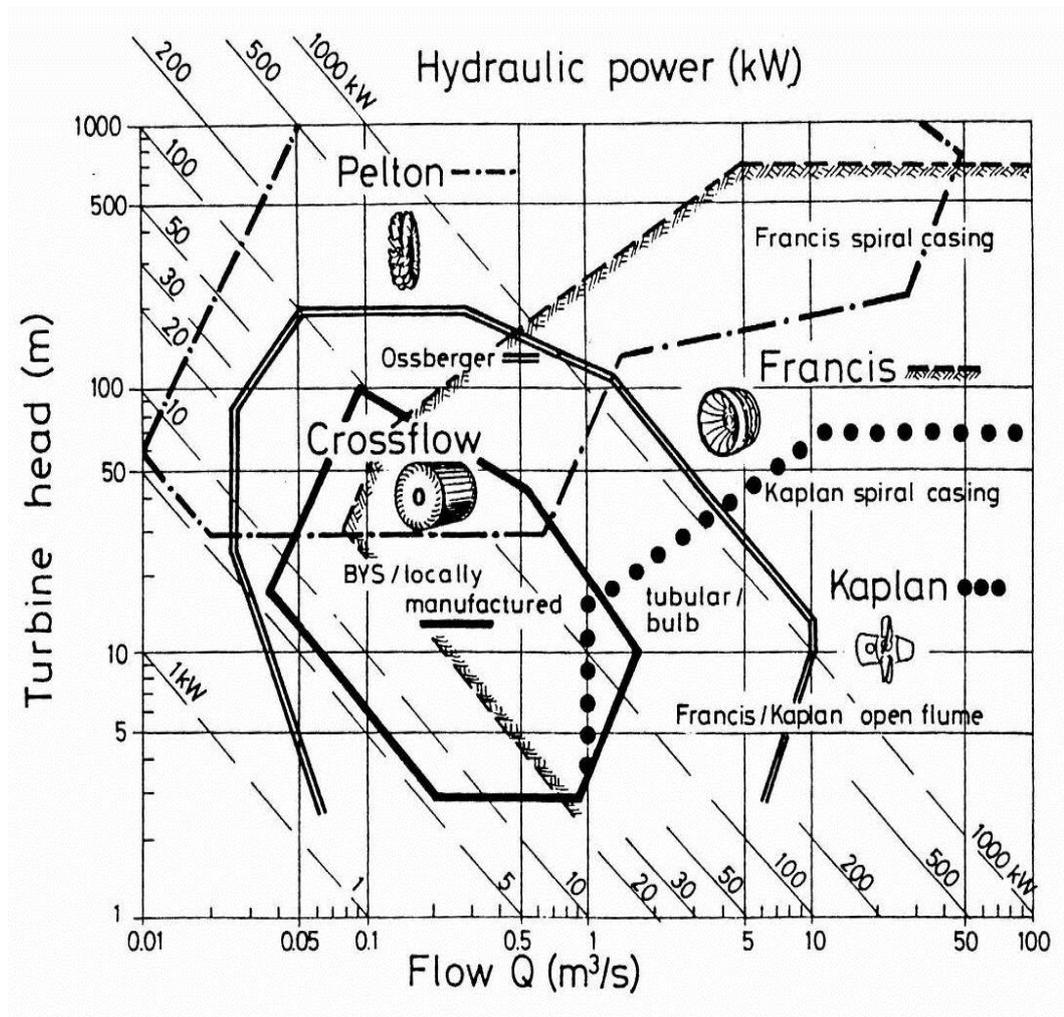
<i>Reaction turbine</i>			
The turbine runner is totally submerged in the water. There is a higher pressure at the runner inlet than at the outlet			
NAME		RUNNER	DISTRIBUTOR
<i>AXIAL FLOW</i> KAPLAN TURBINE		propeller with profiled, adjustable blades 	adjustable or fixed, radial guide vanes 
TUBE TURBINE (S-TURBINE)		like KAPLAN	adjustable or fixed semi axial guide vanes
<i>SEMI AXIAL FLOW</i> DERIAZ TURBINE		semi axial runner with adjustable blades	adjustable, radial guide vane
<i>RADIAL FLOW</i> FRANCIS TURBINE		radial runner 	adjustable, radial guide vane

Gambar 3. 6 Turbin Reaksi

Batasan dan Penggunaan Turbin

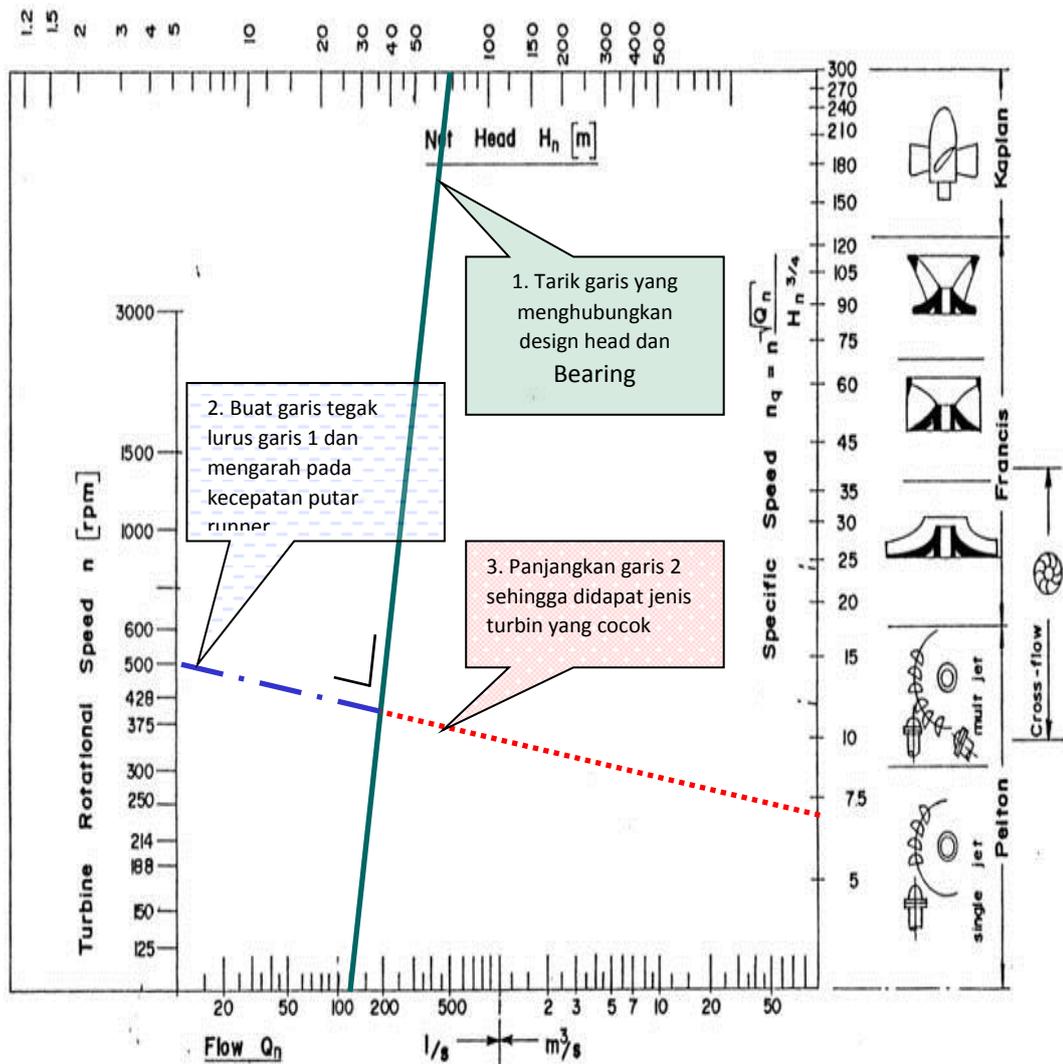
Setiap turbin memiliki aplikasi dengan batas spesifiknya masing-masing. Adalah mungkin, bahwa tipe turbin yang berbeda tersebut layak untuk suatu pembangkit. Penawaran dari pabrikan yang berbeda harus dibandingkan dahulu. Dalam banyak kasus, pertimbangan ekonomi cukup menentukan dalam pemilihan turbin. Penentuannya tidak selalu jelas dan mudah dan memerlukan pengetahuan mengenai karakteristik spesifik turbin.

Terdapat sumber-sumber diagram dan rekomendasi aplikasi yang berbeda untuk memilih tipe turbin yang sesuai. Pabrikan turbin besar dan kecil menyajikan program pabrikan turbin mereka pada diagram pemilihan.



Gambar 3. 7 Aplikasi untuk batasan umum tipe-tipe turbin air yang berbeda (sumber: MHPG Publication Vol. 11)

Seperti dilihat pada Gambar 3.8, turbin air jenis pelton hanya cocok dipergunakan untuk kondisi head yang tinggi (turbin impuls). Sedangkan turbin air jenis propeller / kaplan lebih cocok dipergunakan untuk head yang rendah dengan debit yang lebih besar (turbin reaksi). Turbin crossflow berada di area pertengahan, dengan head yang tidak terlalu tinggi dan flow yang juga tidak terlalu besar. Sedangkan turbin Francis dapat mencakup luasan yang sangat besar, dengan catatan tiap turbin didisain untuk satu keperluan yang spesifik.



Gambar 3. 8 Jenis Turbin dan fungsinya sesuai head dan debit

3.5. Penentuan spesifikasi generator

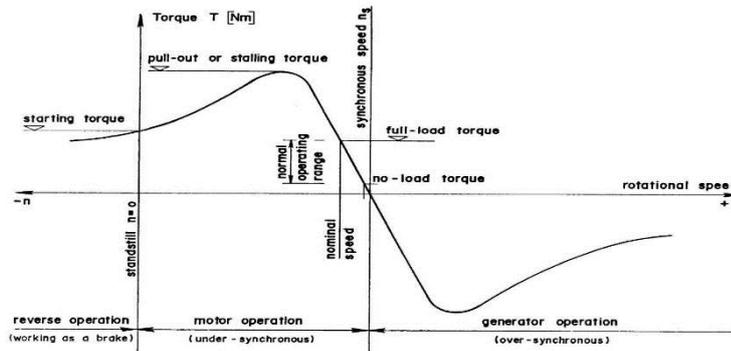
Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik. Untuk aplikasi mikro hidro dengan sistem AC ada dua tipe generator yang biasa digunakan yaitu generator sinkron dan asinkron (induksi) 1 fase maupun 3 fase.

Generator Sinkron

Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, desainnya telah mengalami penyempurnaan yang meningkatkan bertujuan untuk meningkatkan performansi, efisiensi dan perawatannya.

Generator Asinkron (induksi)

Generator asinkron (induksi) merupakan mesin induksi (motor) yang digunakan sebagai generator dengan bantuan eksitasi dari luar, baik dengan menggunakan kapasitor (isolated system) maupun terhubung dengan jala-jala PLN. Dari karakteristik kopel kecepatan, mesin induksi dapat dijadikan sebagai generator jika berada pada daerah rem sinkron lebih dan daerah rem arus lawan ($n_r > n_s$) dimana slip bernilai negative.



Gambar 3. 9 Daerah operasi mesin Induksi

Pemilihan jenis generator dan power output

Tabel berikut dapat dijadikan sebagai acuan pemilihan generator untuk lokasi yang dipilih sesuai dengan spesifikasi teknik nya:

Daya terpasang	s.d 10 kW	10 – 30 kW	>30 kW
Tipe generator dan fasa	Sinkron atau asinkron 1 atau 3 fasa	Sinkron atau asinkron 3 fasa	Sinkron 3 fasa

Perhitungan untuk menentukan ukuran generator dilakukan berdasarkan rumusan berikut :

$$\text{Generator KVA} = \frac{\text{Power Output in kW}}{A \times B \times C \times D} \text{ (generator sinkron)}$$

$$\text{Generator KVA} = \frac{\text{Power Output in kW}}{A \times B} \text{ (generator Asinkron)}$$

Setelah didapatkan nilai kVA generator, disarankan untuk ditambah safety factor 30% yang bertujuan untuk;

- Memungkinkan jika output turbin lebih besar dari yang direncanakan
- Jika motor besar (>10% daya generator) disuplai dari pembangkit, maka generator harus mampu menahan arus start.
- Ketika menggunakan ELC generator selalu beroperasi full load.

D. Aktivitas Pembelajaran

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

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 potensi daya air, daya turbin dan daya generator? 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 diunjukkan 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 pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran dengan mengamati gambar berikut ini.

Kegiatan Praktek.

1. Peserta melakukan pengukuran sudut.
2. Peserta melakukan pengukuran jarak.
3. Peserta melakukan perhitungan koordinat.

Petunjuk Umum.

1. Pembacaan sudut horizontal dicatat untuk penentuan sudut jurusan.
2. Pembacaan jarak dicatat untuk penentuan posisi horizontal.

Perlengkapan Alat.

1. Theodolit, statip dan rambu
2. Patok-patok palu dan paku.

3. Daftar ukur dan data board

Keselamatan kerja.

1. Hati-hati pada waktu membawa/memindahkan alat.
2. Setiap memindahkan alat sebaiknya dimasukkan kedalam tempatnya untuk keselamatan alat.
3. Lindungi pesawat dari panas dan hujan.
4. Hati-hati dalam melakukan pengukuran karena kemungkinan tanahnya licin atau curam.

Langkah Kerja.

🚦 Langkah Pengukuran :

1. Tempatkan dan stel alat theodolit di titik A serta rambu dititik B, dan H.
2. Arahkan theodolit ke rambu H kemudian baca sudut horisontalnya misalnya α_H .
Kemudian putar theodolit ke arah B dan baca sudut horisontalnya misalnya α_B .
3. Ukur Jarak A-B dan A - H
4. Pindahkan theodolit ke titik B dan rambu di titik A dan C.
5. Arahkan theodolit ke rambu A kemudian baca sudut horisontalnya misalnya α_A .
Kemudian putar theodolit ke titik C dan baca sudut horisontalnya misalnya α_C .
6. Ukur Jarak B – C.
7. Ulangi langkah diatas dengan memindahkan alat ke titik C.
8. Demikian seterusnya sampai semua sudut-sudut dan jaraknya selesai diukur.

E. Rangkuman

Poligon adalah rangkaian titik-titik yang dihubungkan oleh suatu garis khayal dipermukaan bumi.

Persamaan utama dalam proyek Mikro Hidro adalah persamaan yang menghasilkan daya listrik dalam satuan watt, yaitu :

$$P_{hydr} = Q \times \rho \times g \times H_n$$

dimana :

P_{hydr} = **daya hidrolis** dalam Watt [W], tanpa mempertimbangkan pengurangan akibat efisiensi peralatan (turbin, generator dll)

Q = debit dalam m^3 /detik

ρ = kekentalan air = kira-kira $1000 \text{ kg}/m^3$

g = percepatan gravitasi = $9.81 \text{ m}/m^2$

H_{nett} = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

Sipat datar adalah cara pengukuran (proses) yang menentukan tinggi titik/evaluasi atau menentukan beda tinggi antara titik yang satu dengan titik-titik lainnya.

Data-data yang diperlukan untuk dimensi dasar komponen sipil antara lain peta topografi, peta geologi, foto udara.

Saluran air PLTMH adalah saluran air yang digunakan untuk membawa air dari intake kepenstock pada PLTMH.

Talang adalah bangunan persilangan yang dibuat untuk melintaskan saluran dengan sungai, cekungan, jalan, dan lain-lain.

Forebay adalah suatu bangunan sipil yang merupakan bangunan terakhir sebelum pipa penstock.

Fungsi bangunan *Forebay* adalah :

- Bak penenang, agar tidak terjadi pergolakan air/ turbulensi
- Bak penampung/ *Storage* dimasa air sedikit berkuang
- Bak akhir untuk mencegah pengisapan udara (*air saction*)

Generator adalah alat yang digunakan untuk mengubah daya poros turbin (putaran) menjadi daya listrik.

Perhitungan untuk menentukan ukuran generator dilakukan berdasarkan rumusan berikut :

Power Output in kW

Generator KVA = ----- (generator sinkron)
A x B x C x D

Power Output in kW
Generator KVA = -----(generator Asinkron)
A x B

F. Tes Formatif

1. Sebutkan cara penentuan arah utara dan jelaskan?
2. Bagaimana cara menghitung daya listrik yang dihasilkan PLTMH?
3. Sebutkan cara pengukuran ketinggian air dan jelaskan?
4. Apa yang disebut saluran PLTMH dan apa pertimbangan perencanaan sebelum membuatnya?
5. Apa yang dimaksud forebay dan sebutkan fungsinya?

G. Kunci Jawaban

1. Utara magnetis, yaitu utara yang mengarah ke
2. Rumus $P_{hydr} = Q \times \rho \times g \times H_n$ dengan penjelasan
3. Pengukuran memakai alat pengukur tekanan yaitu,
4. Saluran PLTMH, ketinggian tanah pada trase,
5. Forebay, bak penenang,

LEMBAR KERJA KB-3

LK - 01

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran potensi daya air, daya turbin dan daya generator? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

KEGIATAN PEMBELAJARAN 4 : PERHITUNGAN HIDROLIKA DAN HIDRODINAMIKA

A. Tujuan

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai perhitungan hidrolika dan hidrodinamika.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

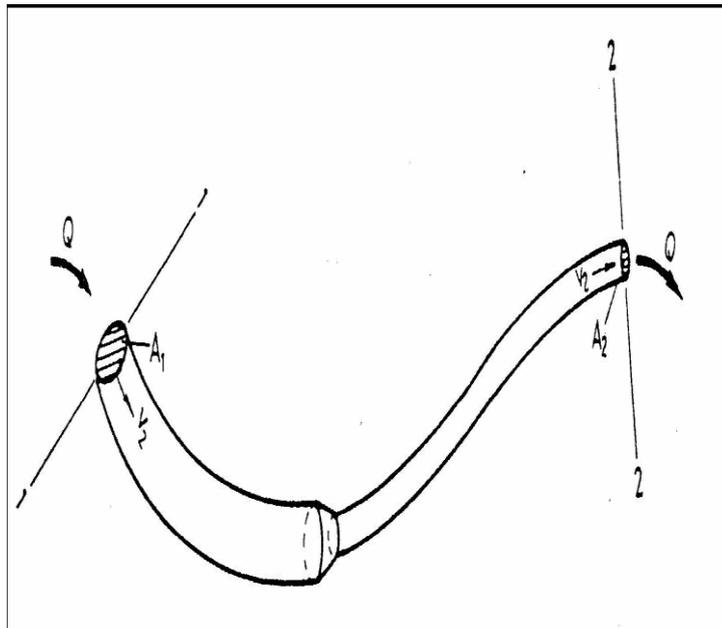
Indikator pencapaian kompetensi peserta diklat dapat menghitung konversi energi air melalui perhitungan hidrolika dan hidrodinamika.

C. Uraian Materi

4.1. Dasar-dasar hidrolika

PERSAMAAN KONTINUITAS

Persamaan kontinuitas adalah salah satu persamaan dasar dari mekanika fluida; ini menunjukkan prinsip kekekalan massa. Pertimbangkan sebuah elemen dari suatu jalur pipa (lihat gambar di bawah ini) yang dapat dikatakan bahwa massa per detik yang memasuki pipa harus sama dengan massa per detik yang keluar dari pipa dengan asumsi tidak ada rugi-rugi sepanjang dinding tabung.



Gambar 4. 1 Persamaan kontinuitas

Dapat dirumuskan:

$$\rho_w \times v_1' \times A_1 = \rho_w \times v_2' \times A_2$$

Dimana v_i adalah rata-rata aliran stationer di saluran masuk dan keluar, A_i adalah luas penampang melintang pada saluran masuk dan keluar (tegak lurus dengan garis tengah tabung) dan ρ_i adalah kekentalan zat cair. Untuk kebanyakan aplikasi dalam pembahasan mikrohidro, dapat diasumsikan bahwa air tidak dipadatkan dan kekentalan pada persamaan di atas tetap konstan dari masukan sampai sampai keluaran; sehingga persamaan kontinuitasnya menjadi:

Persamaan 5: $v_1' \times A_1 = v_2' \times A_2 = Q = \text{constant}$

dimana Q adalah kecepatan volumetrik dari aliran atau debit dengan satuan m^3/detik .

Kekekalan Energi: Persamaan Bernoulli

Energi tidak dapat dihasilkan ataupun dimusnahkan tetapi hanya diubah. **Energi potensial** air disimpan di kolam penampungan di atas bukit diubah menjadi **energi**

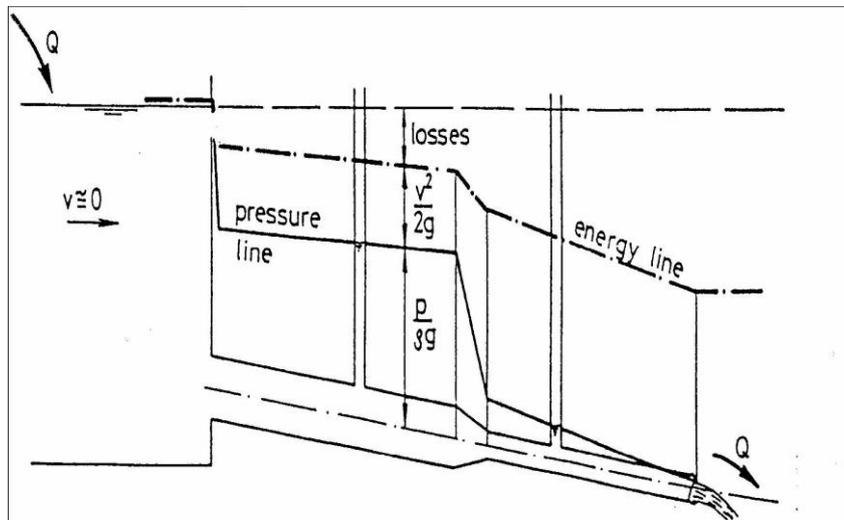
kinetik (dan panas akibat gesekan dan turbulansi) apabila air dilepas melalui saluran menuruni bukit.

Di bawah bukit, energi kinetiknya maksimum (air telah dipercepat sampai kecepatan maksimum) ketika energi potensialnya nol; total kandungan energi air adalah sama dengan yang berada di atas bukit, di bawah bukit dan pada semua titik diantaranya, apabila gesekan dan kehilangan energinya diabaikan.

Energi potensial + energi kinetik = konstan

Pertimbangkan aliran di dalam saluran tertutup, bentuk ketiga energi dalam aliran fluida harus ditentukan, yaitu energi yang berasal dari daya aksi atau tekanan, karena itu dinamakan energi tekanan. Sebagai contoh energi tekanan adalah kerja yang dilakukan pada air oleh gerakan piston yang memindahkan sejumlah air dengan jarak tertentu. Penerapan dasar-dasar kekekalan energi ke dalam tiga bentuk energi ini (kinetik, tekanan dan energi potensial) akan mengantar kita ke persamaan Bernoulli. Penerapan persamaan ini hanya untuk sistem dengan aliran stasioner (steady flow), yaitu dimana kecepatan aliran Q tetap konstan sepanjang waktu. Rugi-rugi tinggi jatuh akibat gesekan pipa dan turbulansi dapat juga dimasukkan ke dalam persamaan.

Ketiga bentuk energi di dalam persamaan Bernoulli dapat diperlihatkan secara grafik dalam potongan memanjang dari sebuah sistem jalur pipa (tenaga air dan suplai air). Ini merupakan metode yang sangat sesuai untuk memeriksa tekanan yang terdapat pada tiap titik dalam sebuah jaringan pipa. Perhatikan bahwa datum (level referensi) dapat dipilih pada sembarang level karena energi bukan merupakan jumlah yang mutlak oleh karena itu dapat diukur pada datum yang dikehendaki.



Gambar 4. 2 Energi dan garis tekanan untuk sebuah pipa dari reservoir

Jarak diantara datum ini dan garis tengah pipa menunjukkan energi potensial di setiap titik (lihat gambar di atas). Garis energi untuk air di dalam reservoir adalah permukaan air yang bebas (praktis kecepatannya adalah nol, tekanannya atmosferik yang biasanya diambil sebagai referensi tekanan). Dalam sebuah fluida ideal tanpa rugi-rugi, garis energi akan horizontal sepanjang pipa.

Bagaimanapun, akibat gesekan dan turbulensi garis energi turun secara perlahan (gesekan) atau sekaligus (turbulensi/rugi rugi lokal) dari mulai penampungan sampai keluaran pipa. Garis tekanan digambar pada setiap titik pada jalur pipa dalam suatu jarak velositi head $v^2/(2g)$ dibawah garis energi. Jarak antara garis tengah pipa dan garis tekanannya adalah kemudian ukuran untuk menskala untuk daya tekanan yang terkandung dalam air. Apabila pipa berdiri dipasang pada jalur pipa di berbagai titik, level air disetiap titik akan naik sampai ke garis tekanan.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

Persamaan 6

Dimana

$$\frac{P_1}{\rho g} = \text{pressure head}$$

dengan :

p = tekanan (N/m^2) dan

ρ = kekentalan fluida (kg/m^3),

z_1 = elevasi or **head potensial** (m)

$\frac{v^2}{2g}$ **ad kinetic atau head velocity**

Dengan,

v = velocity (m/s)

g = percepatan gravitasi 9.81 m/s^2

H_L = rugi daya akibat gesekan dan formasi eddy (eddies expressed). dengan satuan (m)
fluid column

Perhatian: dalam setiap bentuk ini setiap istilah dari persamaan memiliki dimensi panjang, oleh karena itu dinamakan "head".

Aliran Permukaan Bebas

Aliran dalam saluran alami seperti sungai dan di dalam saluran buatan adalah jenis aliran permukaan bebas. Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfer) adalah gaya gravitasi; dengan kata lain air digerakan oleh kemiringan saluran dan tidak seperti di saluran tertutup yaitu dengan perbedaan tekanan head di antara dua bagian (lihat Bab 2 di atas).

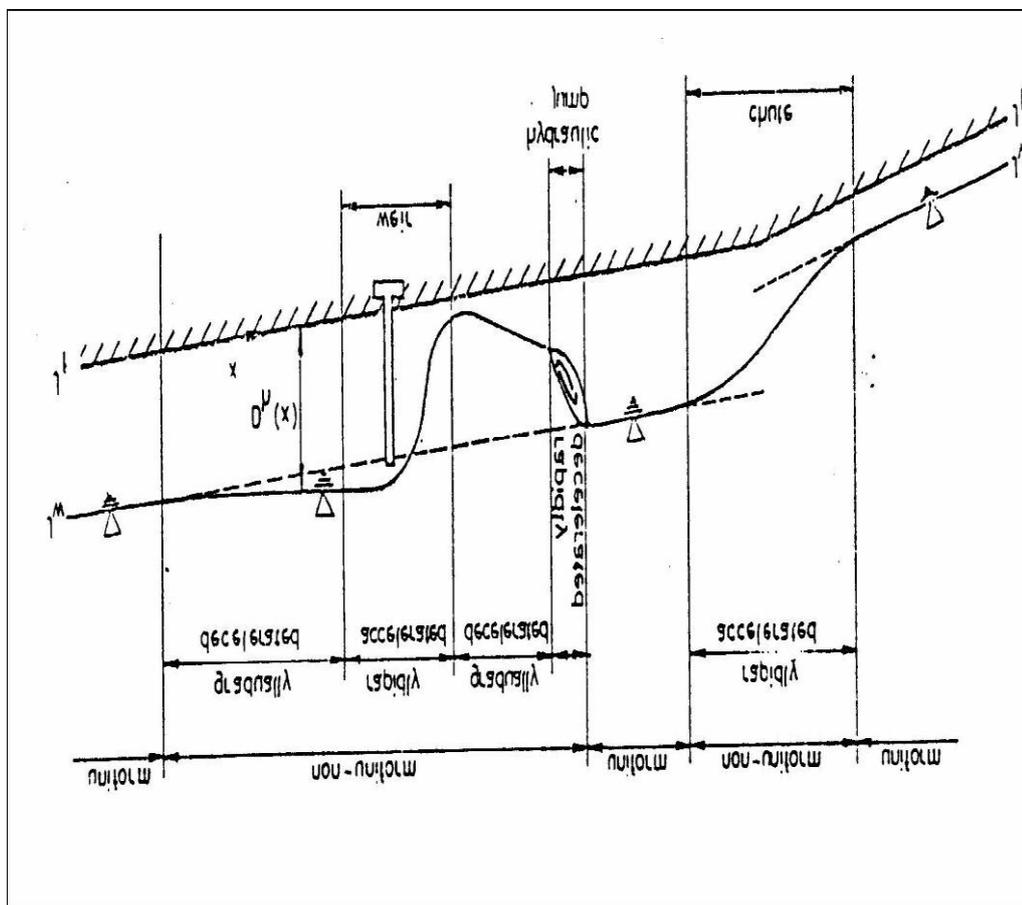
Aliran seragam dan aliran tidak seragam

Bab diatas telah menunjukkan bahwa aliran fluida dalam keadaan mantap apabila kecepatan aliran tidak berubah-ubah terhadap waktu. karena itu, kecepatan dan kedalaman air tidak berubah terhadap waktu pada bagian tertentu.

Ketika melihat perbedaan bagian pada saluran kita mungkin menemukan bahwa kecepatan dan kedalaman air konstan terhadap jarak; aliran seperti ini dinamakan

seragam dan level air paralel dengan dasar saluran (lihat gambar di bawah). Tipe aliran ini biasanya terjadi pada saluran pembawa (headrace) dengan potongan melintang dan kemiringan dasar saluran yang konstan.

Dalam kejadian yang lain aliran mungkin **berubah berangsur-angsur terhadap jarak**, yaitu menjadi aliran tidak seragam, seperti belokan dari aliran air yang tertahan di hulu bendungan dari sebuah skema MHP atau permukaan air akan berubah secara cepat ketika terjadi perubahan ukuran saluran atau kemiringan saluran.



Gambar 4. 3 Aliran mantap ($Q = \text{konstan}$) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain

Di dalam MHP, kita sebagian besar akan berurusan dengan aliran seragam untuk aliran saluran terbuka. Kedalaman air pada aliran seragam dapat ditentukan dengan rumusan sederhana seperti rumusan Manning-Strickler.

4.2. Dasar hidrodinamika

Ilmu yang mempelajari tentang terjadinya, pergerakan dan distribusi air di bumi, baik di atas, pada maupun di bawah permukaan bumi, tentang sifat fisik, kimia air serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya kehidupan.

Secara umum dikatakan bahwa Hidrologi adalah ilmu yang menyangkut masalah Kuantitas dan Kualitas air di bumi.

Analisa Hidrologi

Sebelum memahami tentang analisa Hidrologi, kita pahami terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan Hidrologi pemeliharaan dan Hidrologi Terapan. Hidrologi pemeliharaan adalah sesuatu yang menyangkut masalah pemasangan alat-alat ukur berikut penentuan jaringan stasiun pengamatannya, pengumpulan data hidrologi, pengolahan data mentah dan publikasi data.

Hidrologi terapan adalah ilmu yang langsung berhubungan dengan penggunaan hukum-hukum yang berlaku menurut ilmu-ilmu murni pada kejadian praktis dalam kehidupan.

Analisa hidrologi adalah suatu kegiatan analisa yang berhubungan dengan air yang bertujuan antara lain untuk perencanaan suatu bangunan air, misalnya perencanaan reservoir untuk mengendalikan banjir dan mengatasi kebutuhan air.

Beberapa step analisa hidrologi antara lain :

- Memperkirakan jumlah air permukaan yang tersedia
- Memperkirakan kehilangan air (akibat penguapan, rembesan dsbnya)
- Memperkirakan kebutuhan air (domestik, pertanian, perindustrian)
- Memperkirakan banjir rencana
- Memperkirakan kapasitas/ volume reservoir dan tinggi M.A (Muka Air) maksimum dalam reservoir.

Setelah itu baru dilanjutkan dengan perencanaan bangunan air yaitu :

- Merencanakan bangunan pengendalian banjir
- Merencanakan bangunan drainase pada daerah perkotaan atau daerah aliran
- Merencanakan /menentukan bentuk, ukuran konstruksi dll.

Siklus Hidrologi

Akibat panas yang bersumber dari matahari, maka terjadilah : Evaporasi dan Transpirasi.

Evaporasi adalah penguapan pada permukaan air terbuka pada permukaan tanah.

Transpirasi adalah penguapan dari permukaan tanaman.

Uap air hasil penguapan ini pada ketinggian tertentu akan menjadi awan, kemudian karena beberapa sebab awan akan berkondensasi menjadi **presipitasi** (yang diendapkan/ yang jatuh), bisa dalam bentuk salju, hujan es, hujan, embun.

Sedangkan air hujan yang jatuh kadang – kadang tertahan oleh tajuk (ujung – ujung daun), oleh daunnya sendiri atau oleh bangunan dsbnya disebut **Intersepsi**. Besarnya intersepsi pada tanaman tergantung dari jenis tanaman, tingkat pertumbuhan, tetapi biasanya berkisar 1 mm pada hujan – hujan pertama, kemudian sekitar 20% pada hujan – hujan berikutnya.

Air hujan yang mencapai tanah, sebagian menembus permukaan tanah (**berinfiltrasi**), sebagian lagi menjadi aliran air di atas permukaan (over land flow), kemudian terkumpul pada saluran yang disebut **surface run off**.

Dari hasil infiltrasi di atas sebagian mengalir menjadi aliran bawah permukaan (**interflow/ sub surface flow/ through flow**), sebagian lagi akan membasahi tanah.

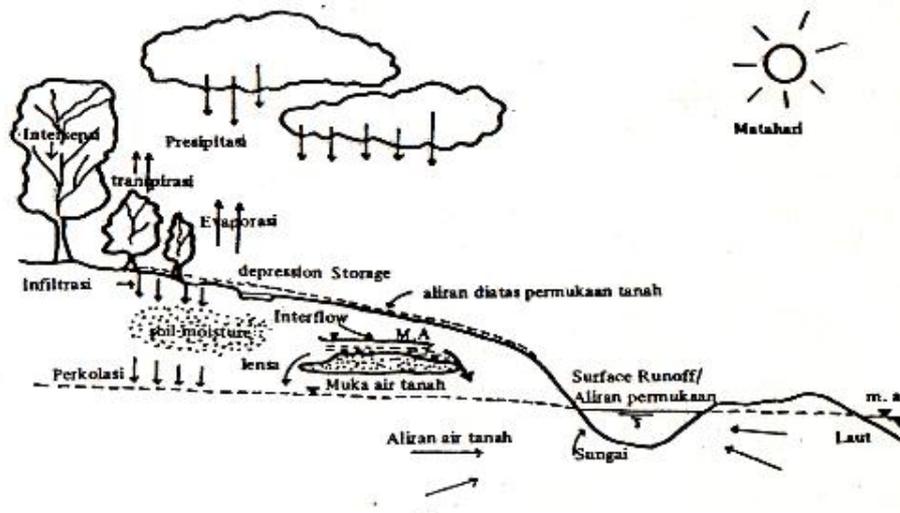
Air yang menjadi bagian dari tanah dan berada dalam pori – pori tanah tersebut disebut air Soil. Apabila kapasitas kebasahan tanah (Soil Moisture) ini terlampaui, maka kelebihan airnya akan mengalir vertikal (berperkolasi) mencapai air tanah.

Aliran air tanah (**ground water flow**) akan terjadi sesuai dengan hukum-hukum fisika.

Air yang mengalir itu pada suatu situasi dan kondisi tertentu akan mencapai danau, sungai, laut, dan menjadi simpanan air yang disebabkan oleh kubangan/ cekungan yang biasa disebut **depression storage**, serta saluran dsbnya, mencari tempat yang lebih rendah.

Untuk itu secara garis besar pada sistem sirkulasi tersebut dapat dikategorikan menjadi 2 variabel, yaitu ada yang berperan sebagai variabel input dan ada yang berperan sebagai variabel output.

Lihat Gambar 4.4 berikut :



Gambar 4. 4 Siklus Hidrologi

Karena kompleksnya sistem sirkulasi air serta luasnya ruang lingkup kehidupan, maka untuk melakukan analisa hidrologi diperlukan pula ilmu – ilmu pengetahuan lainnya, antara lain :

- **Meteorologi**, Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari fenomena fisik dari atmosfer. Adapun yang termasuk dalam meteorologi yaitu: tekanan gas, kelembaban absolut, kelembaban relatif, kelembaban nisbi, kejenuhan titik pengembunan, titik beku dan temperatur.
- **Klimatologi**, yaitu ilmu yang membahas segala sesuatu yang berhubungan dengan cuaca, termasuk interpretasi statistik, catatan – catatan cuaca jangka panjang untuk mendapatkan harga rata – rata, trend terhadap waktu, gambaran lokal dari cuaca dengan perhitungan – perhitungan radiasi matahari, derajat hari, angin, hujan,

temperatur rata – rata bulanan, temperatur rata – rata harian, temperatur maksimum, temperatur minimum dan penguapan.

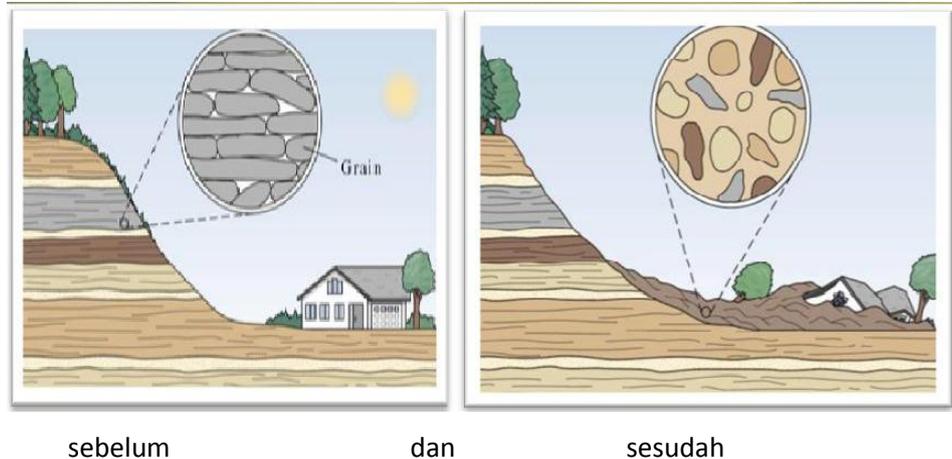
- Geografi, yaitu ilmu yang membahas tentang ciri – ciri fisik permukaan bumi.
- Agronomi, yaitu ilmu yang membahas tentang dunia tumbuh – tumbuhan, yang pengaruhnya besar terhadap distribusi air hasil presipitasi setelah mencapai tanah dan penguapannya.
- Geologi, yaitu ilmu yang mempelajari komposisi kerak bumi yang berperan pada distribusi air permukaan, air bawah permukaan dan air tanah dalam.
- Hidrolika, yaitu ilmu (hukum) yang mempelajari tentang gerakan air beraturan dalam sistem sederhana.
- Statistik, yaitu ilmu yang mempelajari tentang teknik memproses data numerik menjadi informasi yang berguna dalam penelitian ilmiah, pengambilan keputusan dsbnya. Statistik diperlukan dalam menganalisa data – data hidrologi.

4.3. Prinsip-prinsip aliran air

Sifat fisik dasar cairan adalah kerapatan dan viskositas. Perbedaan dalam sifat-sifat ini dapat mempengaruhi kemampuan cairan untuk mengikis dan transportasi sedimen. Pergerakan pada material terjadi disebabkan oleh gravitasi, tapi yang lebih umum adalah karena hasil dari aliran air, udara, es atau campuran padat (dense mixtures) sedimen dan air.

Interaksi material sedimen dengan media transportasi menghasilkan struktur sedimen, beberapa struktur sedimen berkaitan dengan pembentukan bentuk lapisan (bedform) dalam aliran sedangkan yang lain adalah erosi. Struktur sedimen ini terawetkan dalam batuan dan menyediakan rekaman proses yang terjadi pada waktu pengendapannya. Jika proses fisik terjadinya struktur ini di dalam lingkungan modern dapat diketahui, dan jika batuan sedimen diinterpretasikan berdasarkan kesamaan prosesnya, maka mungkin untuk mengetahui lingkungan pengendapannya.

Perubahan bentuk butir yang disebabkan oleh aliran fluida terhadap bentuk dan ukuran butir (grain) :



Gambar 4. 5 Perubahan bentuk butir disebabkan aliran fluida

Dua sifat yang sangat mempengaruhi sifat alir serta cara setiap medium berinteraksi dengan partikel-partikel sedimen yang diangkutnya adalah densitas dan viskositas.

Densitas fluida (r_f) menentukan besaran gaya, misalnya stress, yang akan bekerja di dalam fluida itu serta terhadap bidang batas fluida-sedimen yang terletak dibawahnya, terutama ketika fluida bergerak menuju bagian bawah lereng di bawah pengaruh gaya gravitasi. Densitas juga menentukan cara gelombang merambat melalui fluida serta mengontrol gaya apung (boyant force) yang bekerja terhadap partikel-partikel sedimen yang ada didalamnya serta menentukan densitas efektifnya ($r_s - r_f$), dimana r_s adalah densitas partikel padat. Sebagai contoh, suatu butiran kuarsa dalam air memiliki densitas efektif 1,65 g/cm³, sedangkan densitasnya di udara adalah 2,65 g/cm³. Perbedaan densitas efektif sangat mempengaruhi kemampuan suatu fluida untuk mengangkut partikel.

Viskositas (μ) menyatakan kemampuan fluida untuk mengalir. Viskositas dinyatakan sebagai nisbah shear stress (τ , shearing force/satuan luas) terhadap laju deformasi (du/dy) yang ditimbulkan oleh geseran itu :

$$\mu = \frac{\tau}{du/dy}$$

Untuk dapat menghasilkan laju deformasi yang sama, fluida yang memiliki viskositas relatif tinggi akan memerlukan shear stress yang lebih besar dibanding fluida yang memiliki viskositas relatif rendah.

Karena densitas dan viskositas sama-sama memegang peranan penting dalam menentukan tingkah laku fluida, maka keduanya sering dipersatukan melalui suatu aspek tunggal yang disebut viskositas kinematik (ν) :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

4.4. Pengaliran air dalam pipa

Aliran Air Dalam Pipa

a. Aliran mantap dan aliran tidak mantap

Untuk aliran mantap, parameter aliran seperti kecepatan, tekanan dan kekentalan untuk setiap titik adalah independen terhadap waktu sedangkan yang tergantung oleh waktu adalah aliran tidak tetap.

Contoh untuk aliran mantap: aliran melalui pipa berdiameter konstan atau diameter berubah-ubah pada tekanan konstan (misalnya; reservoir yang tinggi airnya tidak berubah, yaitu air yang keluar secara terus menerus terisi kembali).

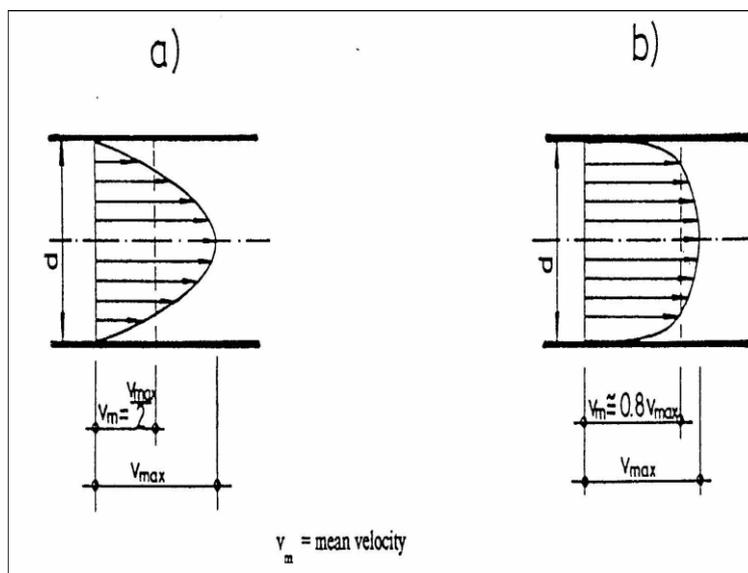
Contoh untuk aliran tidak mantap: aliran melalui pipa pada tekanan berubah-ubah akibat pergantian tinggi air yang dihubungkan dengan tangki atas.

b. Rugi-rugi head akibat gesekan

Pada aliran air sebenarnya, energi atau rugi-rugi head yang terjadi akibat resistansi dinding pipa, gangguan terhadap aliran ini akan mengakibatkan transformasi yang takterbalikan dari energi dalam aliran menjadi panas.

Kehilangan energi akibat gesekan berasal dari tegangan geser antara lapisan yang bersebelahan antara air yang meluncur satu sama lain pada kecepatan yang berbeda.. Lapisan air yang paling tipis melekat pada dinding pipa dengan pasti tidak bergerak sedangkan kecepatan setiap lapisan konsentrik meningkat untuk mencapai kecepatan maksimum di garis tengah pipa.

Apabila partikel fluida bergerak sepanjang lapisan-lapisan halus pada jalur yang telah ditentukan, alirannya disebut dengan laminar atau viscous dan tegangan geser antara lapisan-lapisan mendominasi. Pada keadaan teknisnya, bagaimanapun, aliran di dalam pipa biasanya turbulen, yaitu partikel bergerak pada jalur yang tidak teratur dan merubah kecepatan.



Gambar 4. 6 Distribusi kecepatan dalam aliran pipa a) laminar and b) aliran turbulen

Untuk mengkarakteristikan tipe aliran di dalam sistem pemipaan tertentu, bilangan Reynolds (Re) digunakan (catatan Re adalah rasio antara gaya inersia dan gesekan akibat kecepatan fluida n):

Persamaan 7: $Re = \frac{v \times d}{\nu}$

dimana :

v = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

d = diameter dalam pipa (m)

ν = kecepatan kinematik dalam m²/detik

untuk air pada saat 10° C: $\nu = 1.31 \times 10^{-6}$ m²/detik

untuk air pada saat 20° C: $\nu = 1.0 \times 10^{-6}$ m²/detik

Apabila $Re < 2000$, maka disebut aliran laminar dan $Re = 2500$ sampai 4000 , disebut aliran turbulen, batasan di antaranya dinamakan zona kritis tak terdefinisi dimana kedua bentuk aliran tersebut ada dengan bilangan Reynold yang sama.

Contoh aliran laminar adalah aliran bawah tanah yang melalui acquifer; dalam teknologi MHP air yang mengalir melalui saluran dan pipa hampir selalu turbulen.

Untuk perhitungan **Rugi gesekan untuk aliran turbulen**, rumus berikut (Darcy-Weisbach) diterapkan :

Persamaan 8 : $H_{friction}$

$$H_{friction} = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g}$$

(rugi-rugi head akibat gesekan dalam meter fluid column)

Dimana :

- λ = faktor gesekan menurut diagram Moody (lihat dibawah)
- L = panjang penampang pipa dengan diameter konstan dalam meter
- d = diameter pipa dalam meter
- v = kecepatan rata-rata dalam m/s

Percobaan telah dilakukan untuk menentukan f , faktor gesekan, untuk pipa komersial; hal ini telah membawa menuju sebuah rumus empirik dan cukup kompleks yang kemudian disebut **Colebrook and White**. Moody (Amerika Serikat) merupakan orang pertama yang menciptakan diagram untuk keperluan praktek dimana angka f (dihitung dengan rumusan Colebrook) digambarkan sebagai sebuah fungsi bilangan Reynold (lihat literatur yang relevan).

Terlepas dari bilangan Reynold, faktor gesekan juga tergantung pada kekasaran absolute dari pipa; nilainya untuk material pipa dan kondisi yang berbeda-beda biasanya disediakan oleh pabrik dan dapat ditemukan dalam literatur yang relevan.

Perhatikan bahwa apabila pabrik pipa komersial menyediakan tabel dan diagram untuk menentukan kerugian head akibat gesekan, informasi seperti ini biasanya agak menyimpang dimana sejauh mungkin mereka menyediakan nilai terbaik untuk koefisien kekasaran. Misalnya, untuk yang baru, pipa buatan pabrik digunakan, dalam kenyataannya, pipa tidak tetap halus ketika dalam operasional. Pipa logam rentan akan korosi sedangkan pipa plastik (PE, PVC) akan tertutup lumpur setelah beberapa tahun beroperasi. Pada kenyataannya, semua tipe pipa akan memiliki nilai kekasaran yang lebih tinggi setelah beberapa tahun beroperasi. Kerusakan ini harus diperhatikan ketika memilih pipa saluran pembawa atau pipa pesat dan oleh karena itu dianjurkan untuk menggunakan rumusan Darcy-Weisbach yang digabungkan dengan diagram Moody dibandingkan menggunakan tabel dan diagram-diagram dari pabrik.

4.5. Pengaliran air dalam permukaan bebas

Aliran dalam saluran alami seperti sungai dan di dalam saluran buatan adalah jenis aliran permukaan bebas. Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfer) adalah gaya gravitasi; dengan kata lain air digerakan oleh kemiringan saluran dan tidak seperti di saluran tertutup yaitu dengan perbedaan tekanan head di antara dua bagian.

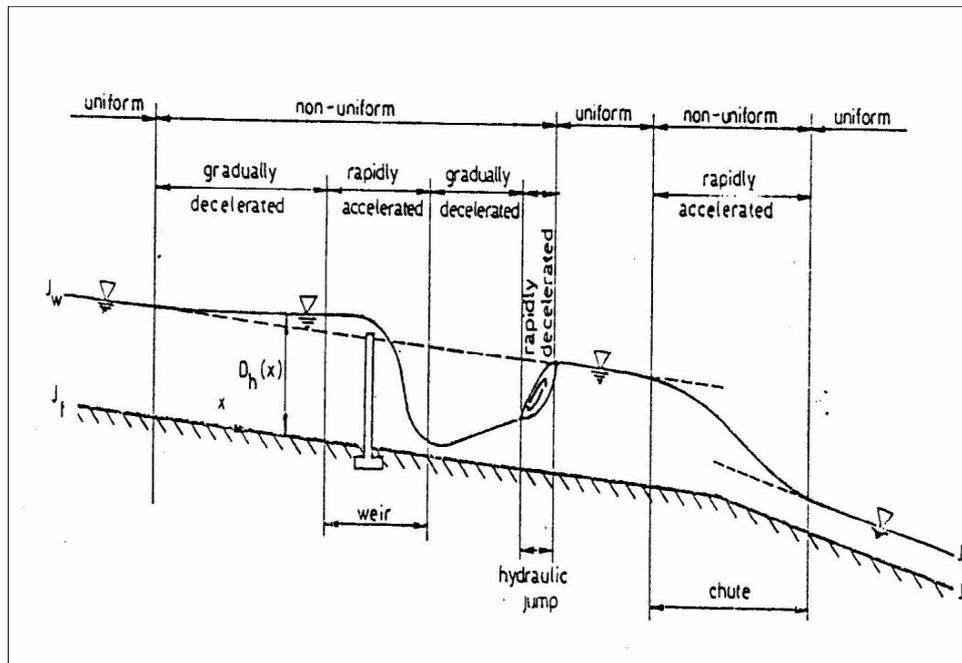
Aliran seragam dan aliran tidak seragam

Aliran fluida dalam keadaan mantap apabila kecepatan aliran tidak berubah-ubah terhadap waktu. karena itu, kecepatan dan kedalaman air tidak berubah terhadap waktu pada bagian tertentu.

Ketika melihat perbedaan bagian pada saluran kita mungkin menemukan bahwa kecepatan dan kedalaman air konstan terhadap jarak; aliran seperti ini dinamakan seragam dan level air paralel dengan dasar saluran (lihat gambar di bawah). Tipe aliran ini biasanya terjadi pada saluran pembawa (headrace) dengan potongan melintang dan kemiringan dasar saluran yang konstan.

Dalam kejadian yang lain aliran mungkin berubah berangsur-angsur terhadap jarak, yaitu menjadi aliran tidak seragam, seperti belokan dari aliran air yang tertahan di hulu

bendungan dari sebuah skema MHP atau permukaan air akan berubah secara cepat ketika terjadi perubahan ukuran saluran atau kemiringan saluran.



Gambar 4. 7 Aliran mantap ($Q = \text{konstan}$) yang seragam di beberapa bagian dan berubah ditempat yang lain

Di dalam MHP, kita sebagian besar akan berurusan dengan aliran seragam untuk aliran saluran terbuka. Kedalaman air pada aliran seragam dapat ditentukan dengan rumusan sederhana seperti rumusan Manning-Strickler.

Rumus-rumus yang digunakan adalah

$$1. \quad v_1' \times A_1 = v_2' \times A_2 = Q$$

$$2. \quad Z_1 + \frac{P_1}{\partial} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\partial} + \frac{V_2^2}{2g} + H_L$$

$$\frac{v \times d}{v}$$

4.6. Energi

Energi air terjun

Potensi tenaga air dan pemanfaatannya pada umumnya sangat berbeda bila dibandingkan dengan penggunaan tenaga lain. Sumber tenaga air secara teratur dibangkitkan kembali karena adanya pemanasan sinar matahari. Sehingga sumber

tenaga air merupakan sumber yang dapat diperbaharui.potensi secara keseluruhan tenaga air relatif kecil bila dibandingkan dengan jumlah sumber bahan bakar fosil. Penggunaan tenaga air merupakan pemanfaatan multiguna, karena dikaitkan dengan irigasi, pengendalian banjir, perikanan darat, dan pariwisata.

Pembangkit listrik tenaga air dilakukan tanpa ada perubahan suhu, karena tidak ada proses pembakaran bahan bakar. Sehingga mesin hidro yang dipakai bisa lebih tahan lama dibanding dengan mesin bahan bakar

Pada dasarnya ada dua faktor utama dalam penentuan pemakaian suatu potensi sumber tenaga air untuk pembangkit tenaga listrik, yaitu;

- a. Debit andalan
- b. H efektif

Perlu kita ketahui bahwa potensi energi air terjun adalah memanfaatkan energi karena ketinggian atau potensial yang selanjutnya dikonversi menjadi energi kinetik untuk menggerakkan sirip dan memutar turbin selanjutnya menjadi energi listrik. Sehingga dengan persamaan energi potensial, kita bisa mencari besarnya energi yang dikandung pada air terjun adalah sebagai berikut;

$$E = m.g.h$$

dengan ;

E = energi potensial

M = masa

g = percepatan gravitasi

h = tinggi relatif pada permukaan bumi

Bila persamaan diatas kita diferensialkan akan menjadi;

$$dE = dm.g.h$$

dE merupakan energi yang dibangkitkan oleh elemen massa dm yang melalui jarak h.

Bila Q di definisikan sebagai debit air, menurut rumus;

$$Q =$$

Dengan;

Q = debit air

dm = elemen masa air

dt = elemen waktu

Kita ingat bahwa daya merupakan energi per satuan waktu, sehingga rumus daya dapat kita tuliskan sebagai berikut;

$$P = \frac{E}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

$$P = Q \cdot g \cdot h$$

diantara data primer yang diperlukan untuk suatu survei dapat disebut:

Ø Jumlah energi yang secara teoritis dapat diperoleh setahun, dalam kondisi-kondisi tertentu di musim hujan dan musim kering.

Ø Jumlah daya pusat listrik yang akan dipasang, dengan memperhatikan apakah pusat listrik itu akan dipakai untuk beban dasar atau beban puncak.

Aliran atau debit: Q ($m^3/detik$) merupakan bagian penting lain dalam menentukan output daya dari sebuah skema MHP. Besarnya debit dalam sebuah skema tidak sama dengan debit total atau debit maksimum yang tersedia di sungai. Hal ini dipertimbangkan untuk menghindari struktur bangunan sipil yang besar, pipa pesat, runner turbin dan fasilitas pembuangan air untuk mengakomodasi aliran yang besar. Jadi, debit diperlukan untuk mengetahui batasan arus tertinggi sampai arus terendah yang terjadi dalam aliran sungai. Variasi dari besarnya debit sepanjang tahun dan perubahannya selama musim hujan dan musim kering perlu diketahui dan dianalisa dengan cermat untuk menentukan debit desain yang akan diaplikasikan dalam sistem. Debit desain biasanya ditentukan sedikit diatas batas minimum untuk menjaga fermormansi dan efisiensi peralatan pembangkit. Metode pengukuran dan penjelasan mengenai debit akan di bahas pada modul berikutnya.

Energi potensial dan energi kinetik di dalam air

Energi dapat terjadi dalam berbagai bentuk: potensial, kinetik, panas, dll. Air di penampungan di atas bukit mempunyai energi potensial yang lebih besar daripada air yang berada di bawah bukit. Apabila air dilepaskan dari atas bukit menuju sungai, akan melepaskan energi potensialnya melalui gesekan di dasar sungai dan turbulansi. Apabila air mengalir menuruni bukit melewati pipa yang halus, sedikit energi akan hilang akibat gesekan dan turbulansi dan energi yang terkandung dalam air dapat digunakan untuk membangkitkan daya mekanis di dalam turbin. Energi total yang tersedia dari volume air di atas bukit merupakan berat air dikalikan dengan jarak vertical (tinggi jatuh) secara teoritis menuju turbin.

$$E_{pot} = m g H$$

dimana ; m = masa air --- kg

g = gaya gravitasi ---- (9.81 m/s²)

H = tinggi jatuh dalam --- m

Karena berat air adalah volume (V) dikalikan kekentalan (ρ) kita dapat menuliskan:

$$\text{Persamaan 1: } E_{pot} = V \rho g H$$

Potensi tenaga air

Daya dapat ditunjukkan sebagai energi per satuan waktu

$$P = \frac{V \rho g H}{t}$$

Karena volume per satuan waktu sama dengan debit kita dapat menuliskan:

$$\text{Persamaan 2: } P_{hydr} = Q \rho g H_n$$

dimana ;

P_{hydr} = **daya hidrolis** dalam Watt [W], tidak mempertimbangkan pengurangan karena efisiensi peralatan (turbin, generator, dll.)

Q = debit dalam m³/detik
ρ = kekentalan air = kira-kira 1000 kg/m³
g = percepatan gravitasi = 9.81 m/m²
H_{nett} = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

Output daya listrik

Turbin air mengkonversikan tekanan air menjadi daya mekanikal shaft, yang dapat digunakan untuk memutar generator listrik, atau mesin yang lain. Daya yang tersedia sebanding dengan hasil dari tinggi jatuh dan kecepatan aliran. Persamaan 2 menggambarkan daya hidrolis yang tersedia di turbin. Bagaimanapun, perubahan energi di turbin – hidrolis menjadi mekanikal – dan di dalam generator – mekanikal menjadi elektrik – selalu berhubungan dengan kehilangan energi. Hal ini ditunjukkan dengan istilah efisiensi dimana rasio antara daya output dan daya input (untuk mesin pembangkitan). Dengan demikian, output elektrik dari skema MHP dapat diperlihatkan sebagai berikut:

Persamaan 3 : $P_{el} = P_{hydr} \times \eta_{total}$ atau

Persamaan 4: $P_{el} = Q \times \rho \times g \times H_n \times h_{total}$

dengan P_{el} = output daya elektrik dalam [W]

h_{total} = keseluruhan efisiensi dari peralatan

Turbin dengan kualitas bagus dapat memberikan efisiensi hidrolis antara 80 sampai 90% (lebih tinggi dibandingkan dengan semua penggerak utama), walaupun demikian efisiensinya akan berkurang sebanding dengan ukuran. Efisiensi sistem mikrohidro (<100 kW) cenderung di antara 60 sampai 80%. Efisiensi keseluruhan atau efisiensi total (η_{total}) sistem MHP yang berupa turbin, transmisi mekanik, generator, transformator dan transmisi listrik. biasanya berkisar di antara 50 sampai 70% dari potensi air yang tersedia.

Penyederhanaan Persamaan daya untuk perkiraan tahap awal Untuk perkiraan paling awal beberapa literature menyarankan persamaan yang disederhanakan, yang secara singkat akan diperkenalkan disini.

Beberapa komponen di persamaan 4 dikenal dengan:

ρ = kekentalan air = $\sim 1000 \text{ kg/m}^3$

g = gaya gravitasi = 9.81 m/detik^2

Untuk efisiensi keseluruhan η_{total} kita mengasumsikan 70%, dengan anggapan peralatan terpasang memiliki kualitas yang baik, jika tidak pengurangan mungkin diperlukan). olehkarena itu persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$P = 7 \times Q \times H \quad [\text{kW}]$$

Dengan : $\mu_T \times \rho_w \times g = \frac{70\% \times 1000 \times 9.81}{1000 \text{ kg/m}^3 \times \text{m/s}^2} = 7$

Contoh Soal 1:

Dketahui : Debit air $Q = 0,0135 \text{ m}^3/\text{det}$

Beda Tinggi $H = 47,88 \text{ m}$

Grafitasi $g = 9,81 \text{ m/det}$

$\rho_w = 1000 \text{ kg/ m}^3$

Ditanyakan: Hitunglah besarnya Daya ?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} P_{el} &= \rho \times g \times Q \times H_n \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/det} \times 0,0135 \text{ m}^3/\text{det} \times 47,88 \text{ m} \\ &= 6341 \text{ Watt} \\ &= 6,341 \text{ Kw} \end{aligned}$$

Latihan ; Hitunglah besarnya Daya , dimana besarnya debit air disesuaikan dengan nomor absen dibagi 100?

1.4.2 Klasifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air di kelompokkan berdasarkan ukuran kapasitasnya. Walaupun ada sejumlah definisi yang berbeda, dalam hal ini kita akan memakai klasifikasi berdasarkan standard UNIDO:

Tabel 1: Definisi tenaga air berdasarkan kapasitas daya

Istilah Power	Output
Pico Hydro	< 500 W
Micro Hydro	500 W to 100 kW
Mini Hydro	100 kW to 1 MW
Small Hydro 1	MW to 10 MW
Full-scale (large) hydro	> 10 MW

Pada training ini pembahasan akan difokuskan pada jenis mikrohidro (0,5 sampai 100 kW). Walaupun demikian dalam manual kadang kadang kita akan sering menyebut tenaga air skala kecil (small scale hydropower) yang menyiratkan bahwa istilah dan informasi juga sesuai untuk sistem yang lebih besar sampai dengan 10 MW. Dapat dipastikan banyak informasi dan istilah yang ada dalam training ini juga

terpakai dalam istilah Tenaga Air secara umum, tanpa tergantung kepada ukuran pembangkit.

D. Aktivitas Pembelajaran

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

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 perhitungan hidrolika dan hidrodinamika? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-03**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran dengan mengamati gambar berikut ini.

1. Coba jelaskan dan gambarkan secara sketsa tinggi jatuh (beda tinggi) untuk PLTMH ?
2. Tuliskan rumus-rumus apakah dalam menentukan energi potensial dan energi kinetic di dalam air ?
3. Berapa besarnya kapasitas daya untuk micro hydro power (PLTMH) dan rumus apa yang digunakan untuk perhitungan daya?

E. Rangkuman

Energi tidak dapat dihasilkan ataupun dimusnahkan tetapi hanya diubah. Energi potensial air disimpan di kolam penampungan di atas bukit diubah menjadi energi kinetik (dan panas akibat gesekan dan turbulansi) apabila air dilepas melalui saluran menuruni bukit.

Daya penggerak aliran air dalam saluran terbuka dengan permukaan bebas (tekanan atmosfer) adalah gaya gravitasi.

Analisa hidrologi adalah suatu kegiatan analisa yang berhubungan dengan air yang bertujuan antara lain untuk perencanaan suatu bangunan air, misalnya perencanaan reservoir untuk mengendalikan banjir dan mengatasi kebutuhan air.

Sifat fisik dasar cairan adalah kerapatan dan viskositas. Perbedaan dalam sifat-sifat ini dapat mempengaruhi kemampuan cairan untuk mengikis dan transportasi sedimen.

Kecepatan, tekanan dan kekentalan untuk setiap titik adalah independen terhadap waktu sedangkan yang tergantung oleh waktu adalah aliran tidak tetap.

Dua faktor utama dalam penentuan pemakaian suatu potensi sumber tenaga air untuk pembangkit tenaga listrik, yaitu;

- a. Debit andalan
- b. H efektif

Rumus-rumus yang digunakan :

- $E_{pot} = V \times \rho \times m \times g \times H$
- $P_{hydr} = Q \times \rho \times g \times H_n$
- $P_{el} = P_{hydr} \times \eta_{total}$ atau
- $P_{el} = Q \times \rho \times g \times H_n \times h_{total}$
- $P = 7 \times Q \times H$

F. Tes Formatif

1. Jelaskan dengan singkat definisi Hidrologi?
2. Jelaskan dengan singkat tentang Hidrologi Terapan?
3. Sebuah saluran irigasi memiliki potensi air dengan tinggi jatuh (head) 14.4m dan debit air yang tersedia sekitar 0.675 m³/s.
 - tentukan jenis turbin yang cocok bila diharapkan agar turbin yang terpilih dihubungkan langsung dengan generator yang memiliki kecepatan putar nominal 1000 rpm
 - Berapa besar daya potensi (hidrolis) yang dapat dibangkitkan?
4. Apabila ditentukan bahwa akan dipakai turbin propeller dengan efisiensi maksimum sebesar 89%, juga diketahui data-data sebagai berikut:
 - Akan dihubungkan melalui kopling yang memiliki loses sebesar 5%
 - Lalu dihubungkan dengan generator yang memiliki efisiensi hingga 90%
 - Losses pada step up transformer sebesar 4%
 - Losses pada jaringan transmisi dianggap 0% karena daya yang diperoleh dihubungkan dengan jaringan PLN yang melewati PLTMH, dan seluruh daya yang diperoleh akan dijual kepada PLN.
 - Losses pada bangunan sipil, baik saluran, intake, dan penstock sekitar 15%
Berapakan total daya yang bisa diterima oleh konsumen, atau dalam hal ini dijual kepada PLN?
5. Jelaskan secara singkat yang dimaksud dengan Intersepsi?
6. Jelaskan secara singkat yang dimaksud dengan Transpirasi?
7. Jelaskan secara singkat yang dimaksud dengan Evaporasi?
8. Jelaskan secara singkat sejarah perkembangan hidrologi ?
9. Jelaskan secara singkat tentang Isopachus?
10. Jelaskan secara singkat tentang Peta topografi?
11. Jelaskan secara singkat tentang Peta isohyte?
12. Jelaskan secara singkat tentang Peta isothermis?
13. Jelaskan secara singkat tentang Isobar?
14. Jelaskan secara singkat tentang Isohyps?

15. Jelaskan secara singkat tentang air Soil?

G. Kunci Jawaban

1. Hidrologi adalah ilmu yang menyangkut masalah Kuantitas dan Kualitas air di bumi.
2. Hidrologi terapan adalah ilmu yang langsung berhubungan dengan penggunaan hukum-hukum yang berlaku menurut ilmu-ilmu murni pada kejadian praktis dalam kehidupan
3. ..
4. ..
5. Intersepsi adalah air hujan yang jatuh kadang – kadang tertahan oleh tajuk (ujung – ujung daun), oleh daunnya sendiri atau oleh bangunan dsbnya
6. Yang dimaksud dengan Transpirasi adalah adalah penguapan dari permukaan tanaman
7. Yang dimaksud dengan Evaporasi adalah penguapan pada permukaan air terbuka pada permukaan tanah.
8. .Sejarah pengembangan hidrologi
 - A. Pengembangan awal (sebelum masehi)
Pengembangan pada Abad sesudah Masahi
Hidrologi Modern
Informasi tentang suatu sistem sirkulasi air didapat dengan
Studi terhadap peta-peta, pustaka, foto udara/landsat yang tersedia mengenai wilayah tinjau.
Menginvestarisir sifat-sifat alam secara langsung di lapangan (survai).
Mengolah data dan Memetakan informasi yang telah diperoleh; sehingga hasilnya lebih sederhana dan mudah diinterpretasikan untuk berbagai tujuan.
9. Isopachus : peta dengan garis-garis yang menunjukkan tempat dengan ketebalan lapisan tanah yang sama.
10. Peta topografi : peta dengan garis-garis yang menunjukkan ketinggian permukaan tanah sama
11. Peta isohyte : peta dengan garis-garis yang menghubungkan tempat dengan hujan yang sama.

12. Peta isothermis : peta dengan garis-garis yang menunjukkan tempat dengan suhu sama.
13. Isobar : peta dengan garis-garis yang menunjukkan tekanan udara yang sama.
14. Isohyps : peta dengan garis-garis yang menunjukkan tinggi M.A yang sama.
15. Air Soil.adalah air yang menjadi bagian dari tanah dan berada dalam pori – pori tanah

LEMBAR KERJA KB-4

LK - 03

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran perhitungan hidrolika dan hidrodinamika? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

KEGIATAN PEMBELAJARAN 5 : MODEL PERALATAN KONTROL HIDROLIKA

A. Tujuan

Setelah menyelesaikan modul ini, Peserta diklat diharapkan dapat mengerti, memahami dan menguasai model peralatan kontrol hidrolika.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Indikator pencapaian kompetensi peserta diklat dapat menghitung konversi energi air melalui model kontrol peralatan hidrolika.

C. Uraian Materi

5.1. Macam-macam Energi

a. Energi Kimia

Zat-zat kimia yang terkandung di dalam makanan dan minuman dapat menghasilkan energi kimia karena di dalam tubuhmu sebenarnya terjadi reaksi kimia yang mengubah zat-zat yang terkandung dalam makanan menjadi energi. Gas, bensin, solar, batu bara, dan minyak tanah juga merupakan sumber energi kimia. Jika contoh-contoh sumber energi tersebut direaksikan, dapat menghasilkan energi.

Contoh reaksi kimia yang menjadi energi panas adalah reaksi kimia yang menghasilkan panas seperti yang ada di dalam setrika. Di dalam setrika ada reaksi kimia besi yang dipanaskan melalui energi listrik. Panas yang dihasilkan melalui setrika ini memang tidak begitu panas karena sumber energi yang digunakan adalah dari bahan buatan berupa listrik.

Pengertian Energi Kimia dan Contohnya



Gambar 5. 1 Pembakaran pada korek api

Salah satu pengertian energi kimia adalah energi kimia adalah proses suatu zat yang berubah menjadi suatu energi. Energi yang dirubah itu menjadi bermacam macam energi seperti energi panas, energi listrik, energi gerak, dan juga energi cahaya. pengertian energi kimia dan contohnya seperti proses pemuaiian kapur barus dari benda padat menjadi benda gas dan proses ini disebut menyublim.

Memang untuk proses yang saatu ini tidak termasuk dalam energi kimia, namun proses ini juga termasuk dalam reaksi kimia. Proses reaksi kimia yang lain adalah energi kimia menjadi energi panas. Panas di dalam setrika ini bermula dari energi listrik yang dirubah menjadi energi panas, namun panas yang dihasilkan tidak begitu panas karena sumber energinya berasal dari energi listrik.

Pengertian dari Energi Kimia

- Energi kimia adalah energi yang tersimpan dalam senyawa senyawa kimia. Mari kita perhatikan sejenak mengapa lampu senter bisa bersinar. Lampu senter bisa memiliki cahaya karena mendapatkan energi dari batu battery yang dipasang. Di dalam batu battery ada semacam bubuk energi yang digunakan untuk merubah bubuk menjadi energi cahaya. Contoh yang satu ini termasuk dalam energi

kimia. Contoh yang lain yang bisa kita temukan adalah bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak yang bersifat cair apabila diberi sedikit api, maka cairan ini dapat menyala sepenuhnya. Hal ini juga bisa menjadi contoh singkat mengenai energi kimia.

- Energi kimia adalah proses suatu zat atau benda yang berubah menjadi zat baru menjadi sifat yang baru. Seperti minyak tanah yang cair menjadi nyala api apabila diberi dengan sedikit percikan api. Contoh lain adalah tabung gas propane untuk memasak. Ketika gas propane dibakar di atas panggangan, energi kimia yang tersimpan di dalam molekul propane akan rusak dan akan melepaskan panas. Contoh lain adalah api unggun. Dalam api unggun ini ada proses reaksi kimia yang tersimpan di dalam molekul kayu dan akan melepaskan panas dan juga cahaya. Nama reaksi dari api unggun ini bersifat radiasi yang memancarkan panas.
- Energi kimia adalah energi yang disimpan dan dilepas dengan membuat fasilitas untuk pemecahan ikatan antar atom. Salah satu manfaat energi kimia dalam kehidupan sehari-hari adalah proses makanan yang kita makan. Makanan yang kita makan mampu menghasilkan energi. Proses perubahan makanan menjadi energi ini juga bisa disebut menjadi energi kimia. Itulah beberapa macam contoh mengenai proses reaksi kimia dan juga ada beberapa macam pengertian energi kimia menurut beberapa ahli yang bisa digunakan dalam kehidupan kita sehari-hari.
- Energi kimia adalah energi yang keluar sebagai hasil interaksi elektron di mana dua atau lebih atom/molekul berkombinasi sehingga menghasilkan senyawa kimia yang stabil. Energi kimia hanya dapat terjadi dalam bentuk energi tersimpan. Bila energi dilepas dalam suatu reaksi maka reaksinya disebut reaksi eksotermis yang dinyatakan dalam kJ atau kKal. Bila dalam reaksi kimia energinya terserap maka disebut dengan reaksi endotermis. Sumber energi yang penting bagi manusia adalah reaksi kimia eksotermis yang pada umumnya disebut reaksi pembakaran. Salah satu contoh aplikasi energi kimia dalam kehidupan manusia yaitu fuel cell.

FUEL CELL

Saat ini fuel cell dianggap sebagai salah satu sumber energi alternatif yang sangat bersih, ramah lingkungan, aman, dan mempunyai resiko yang sangat kecil. Di beberapa negara maju, fuel cell sudah digunakan sebagai sumber energi gerak kendaraan bermotor. Sistem fuel cell ini merupakan pembangkit energi listrik berbahan bakar hidrogen dan tidak tertutup kemungkinan suatu saat akan menjadi bahan bakar atau sumber energi yang paling berkembang. Sistem tersebut mengubah secara langsung energi kimia menjadi energi listrik.

Secara teknis, fuel cell terdiri dari dua lempeng elektroda (katoda dan anoda) yang mengapit elektrolit. Oksigen dilewatkan pada salah satu sisi elektroda, sedangkan hidrogen dilewatkan pada sisi elektroda lainnya sehingga nantinya akan menghasilkan listrik, air, dan panas. Cara kerjanya, hidrogen disalurkan melalui katalisator anoda. Oksigen (yang diperoleh dari udara) memasuki katalisator katoda. Didorong oleh katalisator, atom hidrogen membelah menjadi proton dan elektron yang mengambil jalur terpisah di dalam katoda. Proton melintas melalui elektrolit. Elektron-elektron menciptakan aliran yang terpisah. Elektron ini dapat dimanfaatkan terlebih dahulu sebelum kembali ke katoda untuk bergabung dengan hidrogen dan oksigen, dan membentuk molekul air. Fuel cell ini bekerja secara kimia, bukan pembakaran seperti mesin konvensional. Maka dari itu, emisinya sangat rendah dan patut untuk diutamakan pemanfaatannya yang sangat baik bagi lingkungan.

Penggunaan fuel cell saat ini lebih diutamakan sebagai alat pembangkit listrik dan mesin penggerak kendaraan. Di Indonesia, penerapan system fuel cell ini bisa dijadikan jalan keluar untuk mengatasi krisis pasokan energi listrik nasional dan juga menghemat cadangan bumi kita. Gas hydrogen yang merupakan bahan bakar fuel cell ini juga sangat melimpah di Indonesia. Sehingga dalam pemanfaatan mesin ini, hydrogen yang dibutuhkan bisa diperoleh secara cuma-cuma. Gas hydrogen itu sangat melimpah karena bisa didapat dari sinar matahari, sampah organik, dan angin.

Di negara-negara maju, mereka sudah menerapkan system fuel cell ini dengan adanya penjualan tabung-tabung hydrogen secara bebas yang nantinya menjadi

sumber energy listrik bagi masyarakatnya. Sayangnya pengembangan mesin fuel cell ini di Indonesia masih sangat lamban. Padahal kelangkaan hasil tambang minyak bumi terus melanda.

a. Energi Listrik

Energi listrik merupakan salah satu faktor pendukung penting bagi kehidupan manusia karena banyak sekali peralatan yang biasa kita gunakan menggunakan listrik sebagai sumber energinya. seperti televisi, setrika, mesin cuci, handphone dan masih banyak lagi lainnya.

Pengertian energi Listrik

Energi listrik adalah energi yang berasal dari muatan listrik yang menyebabkan medan listrik statis atau gerakan elektron dalam konduktor (pengantar listrik) atau ion (positif atau negatif) dalam zat cair atau gas. Energi listrik dinamis dapat diubah menjadi energi lain dengan tiga komponen dasar, sesuai dengan sifat arus listriknya. Sedangkan menurut wikipedia energi listrik adalah energi utama yang dibutuhkan oleh peralatan listrik. Ada dua jenis arus listrik yaitu arus listrik searah atau biasa di sebut arus DC dan arus listrik bolak balik atau yang biasa di sebut arus AC.

Satuan arus listrik adalah ampere (A), tegangan listrik mempunyai satuan volt (V) dan daya listrik memiliki satuan watt (W).

Saat kamu menonton televisi atau mendengarkan radio, darimana televisi dan radio memperoleh energi? Televisi dan radio serta alat-alat elektronika lainnya memperoleh energi dari energi listrik. Pada televisi, energi listrik ini diubah menjadi energi cahaya dan energi bunyi, sedangkan pada radio diubah menjadi energi bunyi.

Contoh dari pengertian energi listrik memang beragam, untuk itu ada contoh yang bisa kita ketahui di paragraph berikut. Energi listrik mampu dihasilkan oleh

suatu energi lain atau bahkan mampu memberikan energi yang nantinya akan dikonversikan ke energi yang lain pula. Contohnya adalah nuklir.

Sumber energi yang satu ini adalah sumber daya alam yang sangat efisien karena mampu menghasilkan listrik dalam jumlah yang sangat besar. Kita tidak perlu membutuhkan banyak nuklir untuk menghasilkan suatu energi listrik yang besar. Namun bahaya dari nuklir ini sendiri menjadi sebuah ketakutan tersendiri bagi masyarakat. Oleh karena itulah jarang sekali Negara Negara yang menggunakan nuklir sebagai sumber listriknya.

Contoh lain yang bisa dimanfaatkan untuk penghasil listrik adalah minyak. Minyak merupakan sumber energi utama yang ada di bumi dan banyak digunakan. Sayangnya, minyak semakin lama pasokannya semakin menipis. Minyak merupakan sumber daya alam tak terbarukan, namun memiliki keunggulan tersendiri yaitu lebih hemat. Contoh yang terakhir adalah air. Untuk contoh yang satu ini, kita bisa menemukan banyak sekali pembangkit listrik dengan menggunakan air sebagai energi utamanya. Itulah penjelasan beserta contoh dari pengertian energi listrik.

b. Energi Panas

Energi panas sering disebut juga energi kalor, merupakan salah satu bentuk energi yang berasal dari partikel-partikel penyusun suatu benda. Mengapa partikel-partikel suatu benda dapat menghasilkan energi panas? Kamu telah mengetahui bahwa setiap benda tersusun oleh partikel-partikel. Jika ada sesuatu yang dapat membuat partikel-partikel ini bergerak, benda tersebut akan menghasilkan energi panas. Kamu mungkin pernah mendengar bahwa orang dapat membuat api dari kayu kering yang digosok-gosokkan. Kayu-kayu kering yang saling digosokkan akan menimbulkan panas yang dapat membakar bahan-bahan yang mudah terbakar.

Sumber-Sumber Energi Panas

Panas merupakan salah satu sumber energi. Energi yang dihasilkan benda-benda panas disebut energi panas. Energi Panas dapat diperoleh dari sumber-sumber panas. Sumber-sumber panas contohnya adalah sebagai berikut:

- *Matahari*

Cobalah kamu keluar dipagi hari, sinar matahari menerangi bumi dan menghangatkannya. Apalagi pada saat siang hari, cahaya matahari terasa sangat panas dikulit kita. Matahari merupakan sumber energi panas terbesar bagi bumi. Tanpa matahari, bumi akan gelap gulita dan sangat dingin sehingga tidak mungkin ada kehidupan di bumi. Energi panas dari matahari sering kita manfaatkan. Contohnya untuk menjemur pakaian yang basah sehingga cepat kering.

- *Api*

Api adalah cahaya dan panas yang dihasilkan dari suatu benda yang terbakar. Api merupakan salah satu sumber panas. Energi panas yang dihasilkan oleh api dapat kita manfaatkan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya untuk memasak, menjalankan mesin, sebagai pembangkit tenaga listrik, dan lain sebagainya. Api jika sedikit dan dapat dikendalikan bisa menjadi teman manusia karena kegunaannya sangat banyak. Akan tetapi, jika api terlalu banyak dan tidak bisa dikendalikan maka api bisa menjadi musuh karena dapat menghancurkan semua barang dan rumah tempat tinggal kita hingga tidak tersisa. Api dapat dipadamkan dengan bantuan air atau alat pemadam kebakaran. Oleh karena itu, sewaktu menggunakan api kita harus berhati-hati. Api dapat dihasilkan jika ada bahan bakar, panas, dan oksigen. Api juga dapat dihasilkan dari gesekan satu benda dengan benda lainnya. Korek api merupakan salah satu benda penghasil api.

- *Gesekan Sebuah Benda*

Pernahkah kamu mengosok-gosokkan kedua tanganmu ketika kamu merasa kedinginan? Apa yang terjadi? Tanganmu akan terasa hangat karena terjadinya gesekan tersebut. Cobalah kamu gesekkan mistar ke kain atau

tanganmu, setelah beberapa saat letakkan mistar tersebut kepipimu. Apa yang kamu rasakan?

Gesekan sebuah benda juga merupakan salah satu sumber energy panas. Banyaknya gesekan yang dihasilkan tergantung dari kasar atau lembutnya suatu permukaan benda. Jika tangan kita licin oleh air sabun maka gesekan kedua tangan kita tidak akan menghasilkan panas. Jika kita menggesekkan dua buah kayu kering secara terus-menerus, kita dapat menghasilkan energy panas dan dengan bantuan oksigen kita bisa menghasilkan api. Orang zaman dahulu memakai cara ini untuk menghasilkan api.

Sifat Energi Panas

Energi panas memiliki sifat-sifat tertentu, yaitu dapat berpindah tempat. Panas dapat berpindah ketempat yang lebih dingin. Perpindahan panas ini kita lihat pada saat kita memasukkan air panas kedalam ember yang berisi air dingin, air yang asalnya dingin akan ikut terasa hangat. Hal ini memperlihatkan adanya perpindahan panas. Selain itu, panas dapat mempengaruhi perubahan wujud benda. Pemanasan dapat menyebabkan suatu benda berubah wujudnya. Contohnya adalah kayu yang dibakar akan berubah menjadi arang. Lilin yang dibakar bentuknyapun akan dapat berubah.

c. Energi Bunyi

Kita dapat mendengar bunyi setiap saat. Kita bisa mendengar bunyi kendaraan yang lewat di jalan, kita juga dapat mendengar bunyi music atau suara dari radio, televisi atau dari teman-temanmu. Bunyi juga merupakan salah satu bentuk energy. Energi yang dihasilkan dari bunyi disebut sebagai energy bunyi. Pernahkah kamu mendengar petasan yang meledak? Tentu telingamu menjadi sakit karena suara ledakan petasan tersebut. Bunyi yang dihasilkan petasan sangat besar, itulah yang disebut sebagai energy bunyi yang besar. Kita dapat mengukur kekuatan bunyi dengan satuan decibel. Tingkat kekuatan bunyi yang lebih besar dari 120 desibel dapat merusak pendengaran manusia.

Untuk mengamati energi bunyi, lakukan kegiatan sederhana berikut. Peganglah sebuah mistar, kemudian getarkan mistar tersebut. Kamu akan mendengar bunyi yang dihasilkan dari getaran mistar tersebut. Dapatkah kamu menjelaskannya? Ketika penggaris kamu getarkan, partikel-partikel udara di sekitar mistar akan ikut bergetar, partikel-partikel inilah yang menimbulkan bunyi. Dengan demikian, bunyi dapat dihasilkan oleh getaran partikel udara di sekitar sumber bunyi.

- *Sumber-sumber Energi Bunyi*

Bunyi dapat dihasilkan dari berbagai macam sumber bunyi. Sebenarnya bunyi dihasilkan oleh setiap benda yang bergetar. Jika benda tersebut tidak bergetar, maka tidak akan menghasilkan bunyi. Benarkah demikian? Cobalah kamu simpan telunjuk dan jarimu dipangkal tenggorokan, kemudian cobalah berbicara “aaaaaa...”. Kamu akan merasakan pita suaramu bergetar. Pernahkan kamu mendengar suara dengungan nyamuk? Suara mendengung tersebut juga disebabkan oleh getaran dari sayap nyamuk tersebut. Pernahkah kamu mendengar berbagai alat music? Seperti bunyi terompet, gitar, drum, atau bunyi dentingan piano. Gitar dapat berbunyi karena ada getaran dari senar atau dawai gitar, drum dapat berbunyi karena ada getaran pada membrane drum tersebut. Semua benda yang bergetar dan menghasilkan bunyi disebut sebagai sumber bunyi. Banyaknya getaran dalam satu detik disebut dengan frekuensi. Frekuensi diukur dalam satuan Hertz. Jika satu benda bergetar maka dapat mempengaruhi benda-benda yang lain untuk ikut bergetar. Peristiwa bergetarnya benda yang disebabkan oleh benda lain disebut Resonansi.

- *Sifat-Sifat Energi Bunyi*

Ketika kita sedang duduk diteras rumah, kita dapat mendengar suara ibu yang memanggil kita dari dalam rumah. Kita dapat mendengar suatu bunyi,

walaupun bunyi itu berasal dari sumber yang jauh atau bahkan terhalangi oleh benda-benda, seperti dinding rumah. Hal ini disebabkan karena bunyi memiliki sifat dapat merambat melalui benda padat, cair, dan gas (udara). Mari kita pelajari perambatan bunyi berikut:

- *Bunyi Dapat Merambat Melalui Benda Padat*

Benarkah bunyi dapat merambat melalui benda padat? Kita dapat membuktikan hal tersebut dengan melakukan percobaan sendiri, misalnya percobaan telepon-teleponan yang terbuat dari gelas aqua yang kosong yang disambungkan dengan tali atau benang. Dari percobaan tersebut, kita dapat membuktikan bahwa bunyi dapat merambat melalui benda padat. Pada telepon-teleponan, bunyi merambat melalui benang atau tali yang direntangkan.

Kita juga dapat melakukan percobaan dengan penggaris. Coba dekatkan salah satu ujung penggaris ketelingamu, kemudian ketuk-ketukkan ujung yang satunya lagi dengan tanganmu. Apakah kamu dapat mendengar bunyinya? Bunyi tersebut merambat melalui penggaris tersebut. Hal ini membuktikan bahwa bunyi dapat merambat melalui benda padat.

- *Bunyi Dapat Merambat Melalui Benda Cair*

Bunyi dapat merambat melalui benda cair. Untuk membuktikannya, mari kita lakukan kegiatan berikut:

Sediakanlah:

- Ember yang besar
- Air
- Batu
- Corong kecil

Lakukan langkah-langkah sebagai berikut:

- Isilah ember dengan air hingga penuh
- Masukkan corong ke dalam air hingga bagian dalamnya terisi oleh air. Usahakan corong tersebut tidak menepel pada ember.

➤ Coba ketuk-ketukkan salah satu sisi ember dengan menggunakan batu. Sementara itu, salah seorang temanmu mendekatkan telinganya di atas corong.

- *Bunyi* akan dapat didengar oleh temanmu.

Dari kegiatan di atas, kita dapat melihat bahwa bunyi dapat merambat melalui zat cair. Bunyi tersebut merambat melalui air sebagai perantaranya.

- *Bunyi Dapat Merambat Melalui Udara*

Selain melalui zat padat dan zat cair, bunyi juga dapat merambat melalui udara. Sebenarnya, sebagian besar bunyi yang kita dengarkan setiap hari adalah bunyi yang merambat di udara. Kita dapat mendengar bunyi atau suara dari sumber bunyi yang jaraknya jauh karena tersebut merambat melalui udara sehingga dapat terdengar oleh kita.

Untuk membuktikannya, seorang temanmu dapat mengetuk-ngetuk sebuah kaleng atau meja. Cobalah kamu berdiri agak jauh darinya. Dapatkah kamu mendengar suara ketukan kaleng tersebut? Tentu dapat, hal ini disebabkan oleh bunyi tersebut merambat melalui udara.

Kecepatan merambatnya bunyi di udara tergantung dari suhu udara ketika terjadi perambatan. Udara yang panas akan lebih cepat merambatkan bunyi daripada udara yang dingin.

d. Energi Nuklir

Pernahkah kamu mendengar energi nuklir? Reaksi nuklir terjadi karena reaksi inti di dalam inti radioaktif. Contoh energi nuklir terjadi pada ledakan bom atom dan reaksi inti yang terjadi di Matahari. Energi nuklir dapat digunakan sebagai energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Di Matahari, terjadi reaksi inti fusi yang menghasilkan energi nuklir yang sangat besar sehingga energi ini merupakan sumber energi utama di bumi.

Energi potensial nuklir adalah energi potensial yang terdapat pada partikel di dalam nukleus atom.

Partikel nuklir seperti proton dan neutron tidak terpecah di dalam proses reaksi fisi dan fusi, tapi kumpulan dari mereka memiliki massa lebih rendah

daripada jika mereka berada dalam posisi terpisah/ sendiri-sendiri. Adanya perbedaan massa ini dibebaskan dalam bentuk panas dan radiasi di reaksi nuklir (panas dan radiasinya mempunyai massa yang hilang, tapi terkadang terlepas ke sistem, dimana tidak terukur). Energi matahari adalah salah satu contoh konversi energi ini. Di matahari, proses fusi hidrogen mengubah 4 miliar ton materi surya per detik menjadi energi elektromagnetik, yang kemudian diradiasikan ke angkasa luar.

5.2. Konversi Energi

a. Pengertian Energi.

Energi merupakan sesuatu pengertian yang tidak mudah didefinisikan dengan singkat dan tepat. Energi yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan, tetapi dapat dirasakan adanya. Energi atau yang sering disebut tenaga, adalah suatu pengertian yang sering sekali digunakan orang. Kita sering mendengar istilah krisis energi yang bermakna untuk menunjukkan krisis bahan bakar (terutama minyak). Bahan bakar adalah sesuatu yang menyimpan energi, jika dibakar akan diperoleh energi panas yang berguna untuk alat pemanas atau untuk menggerakkan mesin. Energi dalam kehidupan sehari-hari arti gerak, misal seorang anak banyak bergerak dan berlari-lari dikatakan penuh dengan energi. Energi juga dihubungkan dengan kerja. Seseorang yang mampu bekerja keras dikatakan mempunyai energi atau tenaga besar. Jadi boleh dikatakan energi adalah sesuatu kekuatan yang dapat menghasilkan gerak, tenaga, dan kerja.

b. Pengertian Konversi Energi

Energi dalam pengetahuan teknologi dan fisika dapat diartikan sebagai kemampuan melakukan kerja. Energi di dalam alam adalah suatu besaran yang kekal (hukum termodinamika pertama). Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi dapat dikonversikan/berubah dari bentuk energi yang satu ke bentuk energi yang lain, misalnya pada kompor di dapur, energi yang tersimpan

dalam minyak tanah diubah menjadi api. Selanjutnya jika api digunakan untuk memanaskan air dalam panci, energi berubah bentuk lagi menjadi gerak molekul-molekul air. Perubahan bentuk energi ini disebut konversi. Sedangkan perpindahan energi disebabkan adanya perbedaan temperatur yang disebut kalor. Energi juga dapat dipindahkan dari suatu sistem ke sistem yang lain melalui gaya yang mengakibatkan pergeseran posisi benda. Transfer energi ini adalah kemampuan suatu sistem untuk menghasilkan suatu kerja yang pengaruh/berguna bagi kebutuhan manusia secara positif. Jadi energi adalah suatu kuantitas yang kekal, dapat berubah bentuk, dan dapat pindah dari satu sistem ke sistem yang lain, akan tetapi jumlah keseluruhannya adalah tetap.

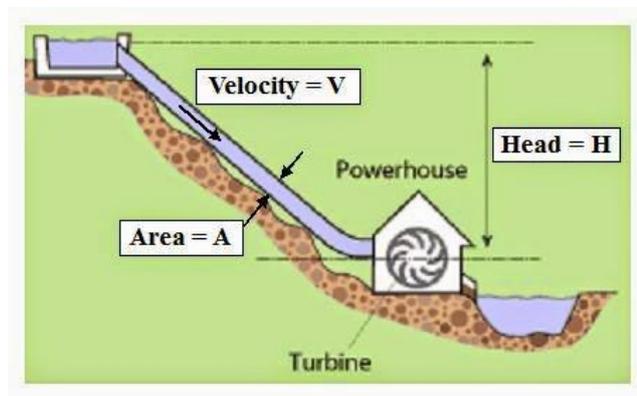
Sistem konversi energi dalam suatu sistem energi dalam suatu sistem tertentu dapat dirubah menjadi usaha, artinya kalau energi itu dimasukkan ke dalam sistem dan dapat mengembang untuk menghasilkan usaha. Sebagai contoh sistem konversi energi, apabila bahan bakar bensin (premium) yang dimasukkan ke dalam silinder mesin konversi energi jenis motor pembakaran dalam, misalnya sepeda motor. Energi (C_8H_{18} /iso-oktan atau nilai kalor) yang tersimpan sebagai ikatan atom dalam molekul bensin/premium dilepas pada waktu terjadi pembakaran dalam silinder, hasil pembakaran ini ditransfer menjadi energi panas/kalor. Energi panas yang dihasilkan ini akan mendorong torak/piston yang ada dalam silinder, akibatnya torak/piston akan bergerak. Bergeraknya torak/piston terjadi transformasi energi, yaitu dari energi panas menjadi energi kinetik. Selanjutnya energi kinetik ditransfer menjadi energi mekanik yang menghasilkan usaha (kerja). Kerja yang merupakan hasil kemampuan dari sistem yang berguna bagi kepentingan manusia, yaitu dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain yang jauh jaraknya.

5.3. Komponen (Alat) untuk konversi energi pada PLTMH

Komponen untuk konversi energi pada PLTMH:

- Turbin, merupakan peralatan mekanik yang mengubah tenaga air menjadi mekanik (tenaga putar/ gerak). Terdapat dua jenis turbin air (PLTMH) yaitu : **turbin impulse dan turbin reaksi** sesuai dengan debit dan tinggi jatuh air, yaitu turbin pelton, turbin cross flow, turbin propeler turbin open plum dan pump as turbin (PAT)

Type Turbin ini dipengaruhi oleh "head" atau tinggi dari air terhadap turbin dan debit atau volume air di lokasi Pembangkit. Faktor lain yang mempengaruhi adalah efisiensi dan biaya.

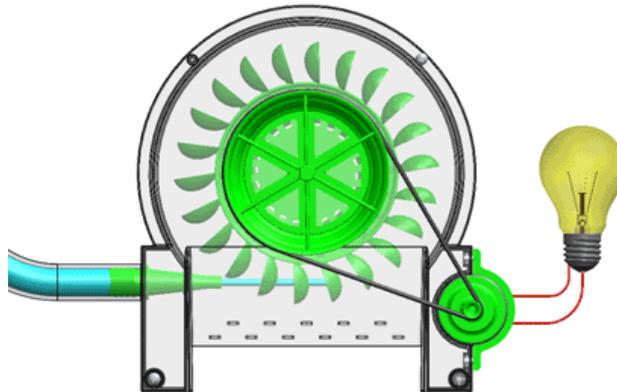


Gambar 5. 2 Ilustrasi Head pada PLTA (<https://wiki.uiowa.edu>)

- **TURBIN IMPULSE**

Turbin impulse umumnya menggunakan kecepatan dari air untuk menggerakkan runner dan dilepaskan pada tekanan atmosfer. Aliran air menyemprot setiap piringan pada runner. Tidak ada bagian yang menghisap dibawah turbin dan air mengalir kebawah rumah turbin setelah mengenai runner. Turbin impulse umumnya cocok untuk yang memiliki head tinggi dan volume air rendah.

- **TURBIN PELTON**



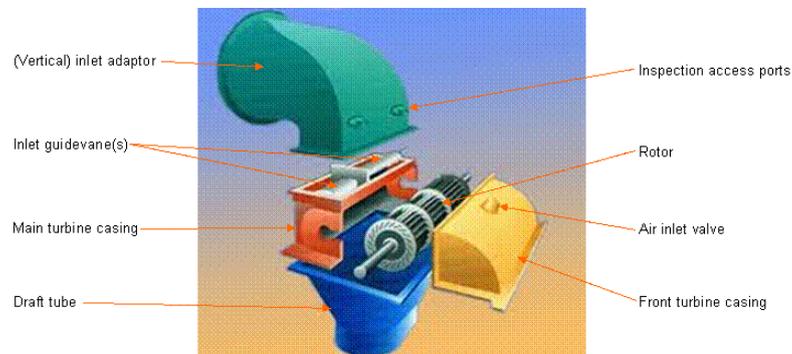
Gambar 5. 3 Turbin Pelton (sumber <http://www.mecaflux.com/en/turbines.htm>)

Turbin Pelton ditemukan pada tahun 1870an oleh Lester Allan Pelton. Jenis Turbin ini memiliki satu atau beberapa jet penyemprot air untuk memutar piringan. Tak seperti turbin jenis reaksi, turbin ini tidak memerlukan tabung diffuser.

Ketinggian air (head) = 200 s.d 2000 meter.

Debit air = 4 s.d 15 m³/s

- **TURBIN CROSS FLOW**



Gambar 5. 4 Turbin Cross Flow

Turbin Cross Flow juga disebut Turbin Banki-Mitchel atau Turbin Ossbeger, dikarenakan jenis turbin ini disebut-sebut ditemukan oleh ilmuwan Australia Anthony Michell, Ilmuwan Australia Donat Banki, Ilmuwan Jerman Fritz Ossberger. Mereka masing-masing memiliki patent atas jenis turbin ini.

Tak seperti kebanyakan turbin yang berputar dikarenakan aliran air secara axial maupun radial, pada turbin Cross Flow air mengalir secara melintang atau memotong blade turbin, Turbin Cross Flow didesain untuk mengakomodasi debit air yang lebih besar dan head yang lebih rendah dibanding Pelton. Headnya kurang dari 200 meter.

- **TURBIN REAKSI**

Turbin REAKSI menghasilkan daya dari kombinasi tekanan dan pergerakan air. Runner di letakkan langsung pada aliran arus. turbin reaksi biasanya digunakan untuk lokasi PLTA/PLTMH yang memiliki head yang lebih rendah dan debit yang lebih besar dibandingkan dengan turbin IMPULSE.

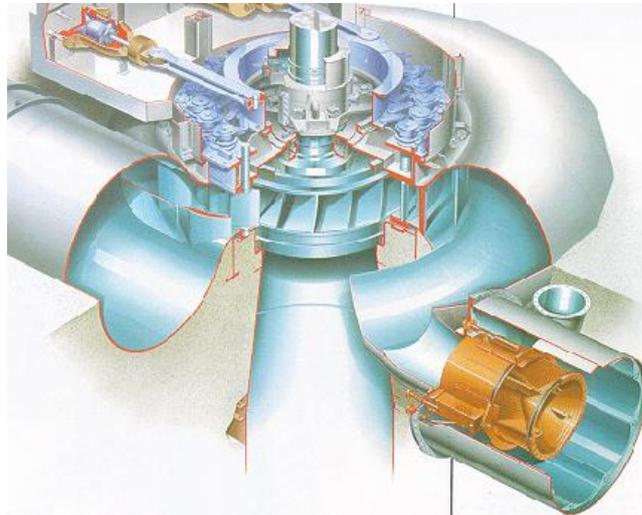
- **TURBIN PROPELLER**



Gambar 5. 5 Turbin Propeller jenis KAPLAN
(Sumber : <http://www.hydroquebec.com/>)

Turbin propeller pada umumnya memiliki runner dengan 3 sampai dengan 6 blade dimana air mengenai semua blade secara konstan. Pitch dari blade dapat fix atau diadjust. Ada beberapa macam turbin propeller yaitu : turbin bulb, turbin Straflo, turbin tube dan turbin KAPLAN

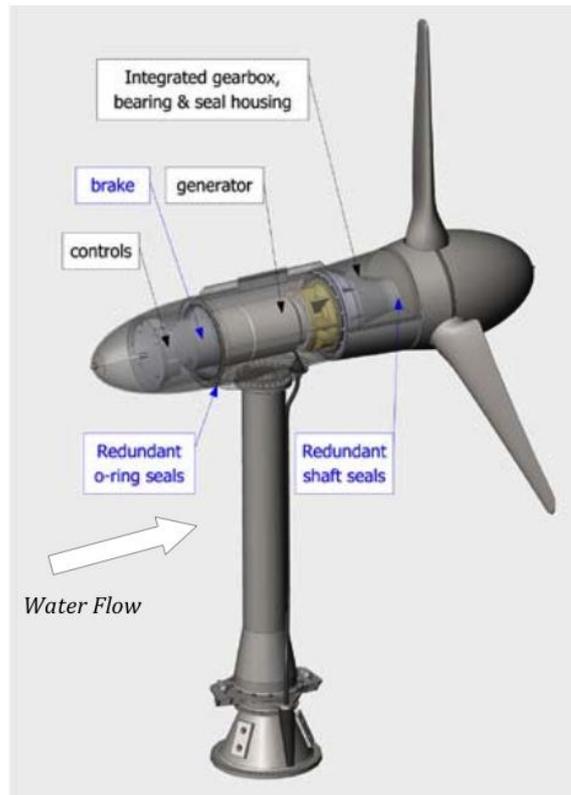
- **TURBIN FRANCIS**



Gambar 5. 6 Turbin FRANCIS (<http://ffden-2.phys.uaf.edu/>)

Turbin FRANCIS memiliki runner dengan baling-baling tetap, biasanya jumlahnya 9 atau lebih. Air dimasukkan tepat diatas runner dan mengelilinginya dan jatuh melalui runner dan memutarinya. Selain Runner komponen lainnya adalah scroll case, wicket gate dan draft tube.

- **TURBIN KINETIC**



Gambar 5. 7 Free Flow Turbine (<http://macaulay.cuny.edu/>)

Turbin KINETIK juga disebut turbin aliran bebas, menghasilkan listrik dari energi kinetik di dalam air yang mengalir, alih-alih dari energi potensial dari ketinggian. Sistem dapat beroperasi di sungai, saluran buatan manusia, air pasang surut, atau arus laut. Sistem Kinetic memanfaatkan jalur alami aliran air. Turbin ini tidak memerlukan pengalihan air melalui saluran buatan manusia, dasar sungai, atau pipa, meskipun mungkin memiliki aplikasi dalam saluran tersebut. Sistem Kinetic tidak memerlukan pekerjaan sipil yang besar; Namun dapat menggunakan struktur yang ada seperti jembatan, tailraces dan saluran.

- b.** Alternator atau generator merupakan peralatan mekanik yang berfungsi mengubah tenaga gerak putar menjadi listrik. Alternator digerakan oleh turbin dengan bantuan sabuk pemutar.

prinsip dan cara kerja generator

generator bekerja berdasarkan hukum faraday yakni apabila suatu penghantar diputar dalam sebuah medan magnet sehingga memotong garis gaya magnet maka pada ujung penghantar tersebut akan timbulkan ggl (garis gaya listrik) yang mempunyai satuan volt.

Jenis jenis generator :

1. Jenis generator berdasarkan letak kutubnya dibagi menjadi :

- a. generator kutub dalam : generator kutub dalam mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang berputar (rotor).
- b. generator kutub luar : generator kutub luar mempunyai medan magnet yang terletak pada bagian yang diam (stator)

2. Jenis generator berdasarkan putaran medan dibagi menjadi :

- a. generator sinkron
- b. generator asinkron

3. Jenis generator berdasarkan jenis arus yang dibangkitkan

- a. generator arus searah (DC)
- b. generator arus bolak balik (AC)

4. Jenis generator dilihat dari fasanya

- a. generator satu fasa
- b. generator tiga fasa

5. Jenis generator berdasarkan bentuk rotornya :

- a. generator rotor kutub menonjol biasa digunakan pada generator dengan rpm rendah seperti PLTA dan PLTD
- b. generator rotor kutub rata (silindris) --> biasa digunakan pada pembangkit listrik / generator dengan putaran rpm tinggi seperti PLTG dan PLTU

Generator Listrik

Pengertian Generator listrik

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.

Sebelum hubungan antara magnet dan listrik ditemukan, generator menggunakan prinsip elektrostatik. Mesin Wimshurst menggunakan induksi elektrostatik atau "influence". Generator Van de Graaff menggunakan salah satu dari dua mekanisme:

- Penyaluran muatan dari elektrode voltase-tinggi
- Muatan yang dibuat oleh efek triboelektrisitas menggunakan pemisahan dua insulator

Faraday

Pada 1831-1832 Michael Faraday menemukan bahwa perbedaan potensial dihasilkan antara ujung-ujung konduktor listrik yang bergerak tegak lurus terhadap medan magnet. Dia membuat generator elektromagnetik pertama berdasarkan efek ini menggunakan cakram tembaga yang berputar antara kutub magnet tapal kuda. Proses ini menghasilkan arus searah yang kecil. Desain alat yang dijuluki 'cakram Faraday' itu tidak efisien dikarenakan oleh

aliran arus listrik yang arahnya berlawanan di bagian cakram yang tidak terkena pengaruh medan magnet. Arus yang diinduksi langsung di bawah magnet akan mengalir kembali ke bagian cakram di luar pengaruh medan magnet. Arus balik itu membatasi tenaga yang dialirkan ke kawat penghantar dan menginduksi panas yang dihasilkan cakram tembaga. Generator homopolar yang dikembangkan selanjutnya menyelesaikan permasalahan ini dengan menggunakan sejumlah magnet yang disusun mengelilingi tepi cakram untuk mempertahankan efek medan magnet yang stabil. Kelemahan yang lain adalah amat kecilnya tegangan listrik yang dihasilkan alat ini, dikarenakan jalur arus tunggal yang melalui fluks magnetik.

Dinamo

Dinamo adalah generator listrik pertama yang mampu mengantarkan tenaga untuk industri, dan masih merupakan generator terpenting yang digunakan pada abad ke-21. Dinamo menggunakan prinsip elektromagnetisme untuk mengubah putaran mekanik menjadi listrik arus bolak-balik.

Dinamo pertama berdasarkan prinsip Faraday dibuat pada 1832 oleh Hippolyte Pixii, seorang pembuat peralatan dari Perancis. Alat ini menggunakan magnet permanen yang diputar oleh sebuah "crank". Magnet yang berputar diletakkan sedemikian rupa sehingga kutub utara dan selatannya melewati sebungkah besi yang dibungkus dengan kawat. Pixii menemukan bahwa magnet yang berputar memproduksi sebuah pulsa arus di kawat setiap kali sebuah kutub melewati kumparan. Lebih jauh lagi, kutub utara dan selatan magnet menginduksi arus di arah yang berlawanan. Dengan menambah sebuah komutator, Pixii dapat mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

Dinamo Gramme

Namun, kedua desain di atas menderita masalah yang sama: mereka menginduksi "spike" arus diikuti tanpa arus sama sekali. Antonio Pacinotti, seorang ilmuwan Italia, memperbaikinya dengan mengganti kumparan berputar dengan yang "toroidal", yang dia ciptakan dengan membungkus cincin besi. Ini berarti bahwa sebagian dari kumparan terus melewati magnet, membuat arus

menjadi lancar. Zénobe Gramme menciptakan kembali desain ini beberapa tahun kemudian ketika mendesain pembangkit listrik komersial untuk pertama kalinya, di Paris pada 1870-an. Desainnya sekarang dikenal dengan nama dinamo Gramme. Beberapa versi dan peningkatan lain telah dibuat, tetapi konsep dasar dari memutar loop kawat yang tak pernah habis tetap berada di hati semua dinamo modern.

5.4. Debit air maksimum dan minimum

Survei harus direncanakan dengan sangat matang sehingga dapat diperoleh hasil yang memuaskan. Pemilihan waktu survei yang tepat adalah sangat penting mengingat di daerah kita terdapat dua musim yang sangat mempengaruhi perilaku aliran sungai, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Pelaksanaan survei untuk satu lokasi tertentu sebaiknya dilakukan minimal sebanyak 2 (dua) kali, yaitu saat puncak musim penghujan dan puncak musim kemarau sehingga laju aliran (debit) sungai maksimum dan minimum dapat diukur.

Debit puncak atau debit banjir (q_p , Q_{maks}) adalah besarnya volume air maksimum yang mengalir melalui suatu penampang melintang suatu sungai per satuan waktu, dalam satuan $m^3/detik$.

Debit minimum (Q_{min}) adalah besarnya volume air minimum yang mengalir melalui suatu penampang melintang suatu sungai per satuan waktu, dalam satuan $m^3/detik$.

Koefisien Regim Sungai (KRS)

Koefisien regim sungai (KRS) adalah perbandingan antara debit maksimum (Q_{maks}) dengan debit minimum (Q_{min}) dalam suatu DAS. $KRS = \frac{Q_{maks}}{Q_{min}}$ (m^3/det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan tertinggi – Q_{min} (m^3/det) = debit harian rata-rata (Q) tahunan terendah.

Data Q_{maks} dan Q_{min} diperoleh dari nilai rata-rata debit harian (Q) dari hasil pengamatan SPAS di DAS/SubDAS yang dipantau.

Klasifikasi nilai KRS untuk menunjukkan karakteristik tata air DAS disajikan pada Tabel Klasifikasi Nilai KRS

Np	Nilai KRS	Kelas	Skor
1	< 50	Baik	1
2	50 – 120	Sedang	3
3	> 120	Jelek	5

5.5. Debit air rata-rata pertahun

Debit air rata-rata sungai dihitung berdasarkan data curah hujan yang diukur selama satu tahun. Sebagai contoh debit air rata-rata sungai Dompjong yang mengacu pada data curah hujan dan debit rata-rata kabupaten Trenggalek tahun 2009 menurut balai PSAWS Malang ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5. 1 DATA CURAH HUJAN TAHUN 2009 DAN DEBIT AIR RATA-RATA

Bulan	Curah Hujan	Catchment Area	Debit Air	Debit RataRata
	mm	km ²	m ³ /s	m ³ /s
Januari	78	20	0.24	0.43
Februari	137	36	0.76	
Maret	75	19	0.22	
April	156	36	0.87	
Mei	199	39	1.2	
Juni	65	15	0.15	
Juli	55	10	0.08	
Agustus	4	2	0.001	
Septembe r	24	8	0.03	
Oktober	93	25	0.36	
Novembe r	93	26	0.37	
Desembe r	157	37	0.9	

Pengukuran debit sungai Dompjong dilakukan pada tanggal 24 Maret 2011 dalam kondisi cuaca cerah. Lebar sungai Dompjong pada daerah pengukuran adalah 7m yang dibagi dalam 7 segmen dengan jarak antar penampang 1m. Diperoleh penampang melintang Sungai Dompjong seperti pada gambar 5.1 dan hasil pengukuran debit pada tabel 5.



Gambar 5. 8 Penampang melintang sungai Dompjong hasil pengukuran

Tabel 5. 2 DEBIT AIR PER PENAMPANG

Titik	Luas Penampang	Kecepatan Rata-Rata Aliran	Debit Air
	m ²	m/s	m ³ /s
0	0	0	0
1	0.25	0.32	0.08
2	0.27	0.35	0.09
3	0.31	0.41	0.13
4	0.35	0.44	0.15
5	0.22	0.43	0.09
6	0.24	0.32	0.08
7	0	0	0
Debit Total			0.63

Sungai Dompjong merupakan sungai dangkal dengan aliran bebas sehingga faktor koreksi debit air sebesar 0.65 sehingga diperoleh debit air sungai Dompjong sebesar:

$$\begin{aligned}
 Q &= cQ_{total} \\
 &= 0.65 \times 0.63 \\
 &= 0.41 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

5.6. Besaran debit, ketinggian jatuh air (head) dan energi potensial air

Tinggi Jatuh dan Debit Air

Terdapat beberapa faktor-faktor penting yang harus dipikirkan ketika akan membangun sistem mikrohidro. Faktor pertama adalah jumlah aliran air yang tersedia; periode dimana hanya ada sedikit hujan atau tak ada sama sekali hujan maka dapat berdampak besar pada pengoperasian pembangkit. Faktor kedua adalah yang dikenal sebagai tinggi jatuh (head), ini merupakan jumlah jatuhnya air yang ada diantara saluran pemasukan (intake) dan sistem keluaran sistem. Makin besar tinggi jatuhnya, makin besar juga daya yang dapat dibangkitkan.

Tinggi Jatuh (Head)

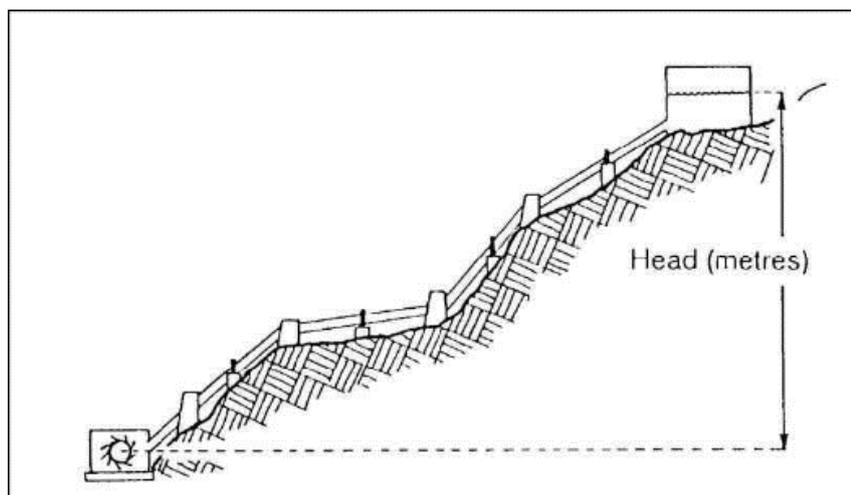
Walaupun kita dapat menggunakan pipa yang halus untuk membawa air menuruni bukit menuju turbin, sebagian energi akan hilang akibat gesekan dan gangguan yang lainnya (katup, belokan, dll). Sepanjang saluran pembawa air juga akan terjadi kerugian akibat gesekan dan turbulensi. Kehilangan energi ini biasanya dicatat untuk perhitungan output daya dengan cara mengurangi tinggi jatuh total yang ada di lapangan. Ketentuan yang berlaku sebagai berikut:

Tinggi jatuh kotor atau tinggi jatuh statis:

H_g (m) didefinisikan sebagai perbedaan ketinggian air di saluran pembawa atas dan ketinggian air di saluran pembuangan (tailrace). Ini merupakan tinggi jatuh teoritis yang akan tersedia apabila tidak terjadi **loses**.

Tinggi jatuh bersih atau efektif:

H_n (m) dihasilkan dari perbedaan antara tinggi jatuh kotor dan kerugian tinggi jatuh (head losses). Ini merupakan tinggi jatuh sebenarnya yang tersedia untuk membangkitkan daya. Kehilangan tinggi jatuh untuk skema PLTMH biasanya sekitar 10% dari tinggi jatuh kotor.



Gambar 5. 9 Head dalam perhitungan sistem tenaga air

Debit

Aliran atau debit: Q ($m^3/detik$) merupakan bagian penting lain dalam menentukan output daya dari sebuah skema MHP. Besarnya debit dalam sebuah skema tidak sama dengan debit total atau debit maksimum yang tersedia di sungai. Hal ini dipertimbangkan untuk menghindari struktur bangunan sipil yang besar, pipa pesat, runner turbin dan fasilitas pembuangan air untuk mengakomodasi aliran yang besar. Jadi, debit diperlukan untuk mengetahui batasan arus tertinggi sampai arus terendah yang terjadi dalam aliran sungai. Variasi dari besarnya debit sepanjang tahun dan perubahannya selama musim hujan dan musim kering perlu diketahui dan dianalisa dengan cermat untuk menentukan debit desain yang akan diaplikasikan dalam sistem. Debit desain biasanya ditentukan sedikit diatas batas minimum untuk menjaga fermormansi dan efisiensi peralatan pembangkit. Metode pengukuran dan penjelasan mengenai debit akan di bahas pada modul berikutnya.

Energi potensial dan energi kinetik di dalam air

Energi dapat terjadi dalam berbagai bentuk: potensial, kinetik, panas, dll. Air di penampungan di atas bukit mempunyai energi potensial yang lebih besar daripada air yang berada di bawah bukit. Apabila air dilepaskan dari atas bukit menuju sungai, akan melepaskan energi potensialnya melalui gesekan di dasar sungai dan turbulansi. Apabila air mengalir menuruni bukit melewati pipa yang halus, sedikit energi akan hilang akibat gesekan dan turbulansi dan energi yang terkandung dalam air dapat digunakan untuk membangkitkan daya mekanis di dalam turbin. Energi total yang tersedia dari volume air di atas bukit merupakan berat air dikalikan dengan jarak vertical (tinggi jatuh) secara teoritis menuju turbin.

$$E_{pot} = m g H$$

dimana ;

m = masa air --- kg

g = gaya gravitasi ---- ($9.81 m/s^2$)

H = tinggi jatuh dalam --- m

Karena berat air adalah volume (V) dikalikan kekentalan (ρ) kita dapat menuliskan:

Persamaan 1: $E_{pot} = V \times \rho \times g \times H$

Potensi tenaga air

Daya dapat ditunjukkan sebagai energi per satuan waktu

$$P = \frac{V \times \rho \times g \times H}{t}$$

Karena volume per satuan waktu sama dengan debit kita dapat menuliskan:

Persamaan 2: $P_{hydr} = Q \times \rho \times g \times H_n$

dimana ;

P_{hydr} = **daya hidrolis** dalam Watt [W], tidak mempertimbangkan pengurangan karena efisiensi peralatan (turbin, generator, dll.)

Q = debit dalam m³/detik

ρ = kekentalan air = kira-kira 1000 kg/m³

g = percepatan gravitasi = 9.81 m/m²

H_{nett} = tinggi jatuh bersih dalam meter [m]

D. Aktivitas Pembelajaran

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta didik di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran peralatan kontrol hidrolis? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-04**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Kerjakan tugas kelompok dibawah ini dan hitung energi potensial air yang tersedia.

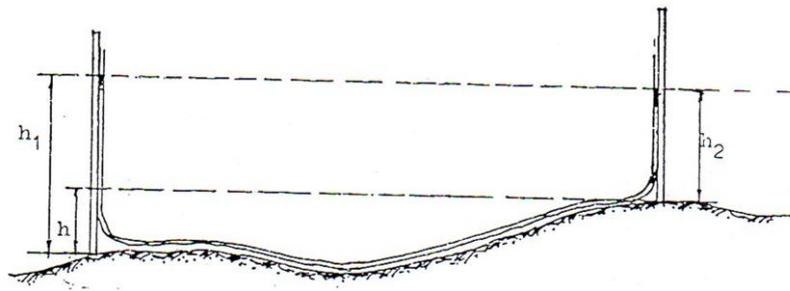
a. Mengukur Beda Tinggi Dengan Cara Slang Plastik.

Alat ukur beda tinggi yang paling sederhana, murah dan mudah didapat adalah slang plastik.

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam menggunakan alat ini :

- Didalam slang tidak boleh ada gelembung udara.
- Tidak boleh ada kebocoran.
- Slang jangan sampai terpuntir atau terlipat.
- Tidak boleh ada kotoran yang menyumbat didalam slang.

Cara pengukuran beda tinggi dengan slang plastik.



Untuk mengukur beda tinggi antara dua titik dengan slang plastik dapat dilakukan sebagai berikut :

Pengukuran beda tinggi dengan slang plastik

- Pekerjaan ini dapat dilakukan oleh dua orang
- Siapkan slang plastik diameter 10 mm dengan panjang secukupnya (antara 25 m sampai 100 m), kemudian di isi dengan air yang bersih.
- Pasang tongkat ukur atau rambu ukur pada kedua titik A dan B yang akan di ukur beda tingginya, kemudian tempelkan ujung-ujung plastik pada kedua tongkat atau rambu di A dan di B.
- Pastikan bahwa tongkat atau rambu dalam keadaan tegak lurus dan slang bebas dari gelembung atau terpuntir.
- Setelah kedua permukaan dalam keadaan tenang, kemudian baca dan catat hasil bacaannya. Atau dapat dengan cara mengukur tinggi permukaan air sampai ke titik A maupun titik B.
- Jika hasil bacaan di titik A adalah h_1 dan bacaan di titik B h_2 , maka beda tinggi titik A dan B adalah :

$$\Delta h = h_1 - h_2$$

b. Mengukur Beda Tinggi Dengan Cara Altimeter.

Penentuan beda tinggi dengan cara altimeter sangat dipengaruhi oleh perubahan cuaca, sehingga hasil pengukuran beda tinggi yang diperoleh kurang teliti, dimana akurasi berkisar antara 5m sampai 20m yang berarti bahwa altimeter hanya dapat digunakan untuk memperkirakan beda tinggi kotor di lokasi PLTMH.

Untuk menggunakan altimeter sebagai alat orientasi di lapangan, maka altimeter harus terlebih dahulu disesuaikan dengan ketinggian sebenarnya . Hal ini dapat dilakukan dengan menyesuaikan altimeter dengan ketinggian titik benchmark yang ada dilapangan.

Langkah kerja :

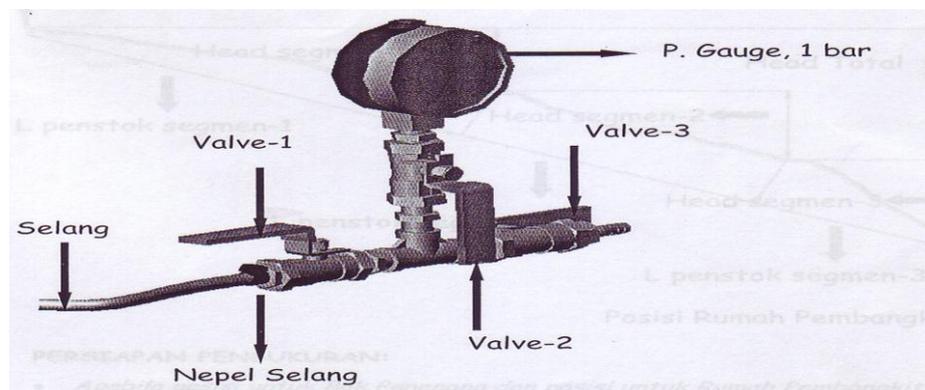
- Baca altimeter pada titik awal (titik 1).
- Pindahkan altimeter pada titik yang lain (titik 2) kemudian baca.
- Lakukan pembacaan kembali di titik awal dan bandingkan dengan pembacaan awal.

- Hitung beda tinggi dengan mengurangi pembacaan altimeter di titik 2 dan di titik 1.
- Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik Ulangi langkah-langkah diatas untuk mendapatkan nilai rata-rata beda tinggi.

c. Mengukur Beda Tinggi Dengan Cara Pressure Gauge.

Alat ini dihubungkan slang plastik sehingga cara bekerjanya pun hampir sama dengan pengukuran beda tinggi menggunakan slang plastik. Oleh karena itu persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi juga sama dengan persyaratan pada pengukuran beda tinggi cara slang plastik yakni :

- Didalam slang tidak boleh ada gelembung udara.
- Tidak boleh ada kebocoran.
- Slang jangan sampai terpuntir atau terlipat.
- Tidak boleh ada kotoran yang menyumbat didalam slang.



Langkah kerja :

- Masukkan slang pada nevelnya dan kunci dengan klem yang telah disediakan.
- Pastikan valve-2 dalam posisi tertutup sedang valve-1 dan valve-3 dalam posisi terbuka sebelum slang diisi dengan air.
- Isi slang dengan air dengan menggunakan jeregen.(pressure gauge diletakkan pada titik awal/titik 1 dan ujung slang yang lain diletakkan di titik 2)

- Jika semua persyaratan diatas sudah terpenuhi (tidak ada gelembung udara dalam slang, slang tidak bocor dan terpuntir) maka maka bukalah valve-2, sehingga jarum pada pressure gauge akan berputar.

Baca/catat bacaan pada pressure gauge yang merupakan beda tinggi antara kedua titik tersebut

E. Rangkuman

Energi adalah sesuatu kekuatan yang dapat menghasilkan gerak, tenaga, dan kerja.

Perubahan bentuk energi ini disebut konversi. Sedangkan perpindahan energi disebabkan adanya perbedaan temperatur yang disebut kalor.

Komponen untuk konversi energi pada PLTMH adalah turbin dan alternator.

Terdapat beberapa faktor-faktor penting yang harus dipikirkan ketika akan membangun sistem mikrohidro. Faktor pertama adalah jumlah aliran air yang tersedia; periode dimana hanya ada sedikit hujan atau tak ada sama sekali hujan maka dapat berdampak besar pada pengoperasian pembangkit. Faktor kedua adalah yang dikenal sebagai tinggi jatuh (head).

Energi total yang tersedia dari volume air di atas bukit merupakan berat air dikalikan dengan jarak vertical (tinggi jatuh) secara teoritis menuju turbin.

$$E_{pot} = m g H$$

dimana ;

m = masa air --- kg

g = gaya gravitasi ---- (9.81 m/s²)

H = tinggi jatuh dalam --- m

Daya dapat ditunjukkan sebagai energi per satuan waktu

$$P = \frac{V \times \rho \times g \times H}{t}$$

F. Tes Formatif

1. Sebutkan komponen untuk merubah energy air menjadi energy listrik?
2. Sebutkan dan jelaskan factor dalam perhitungan daya PLTMH?

G. Kunci Jawaban

1. Turbin, generator....
2. Debit air, tinggi air

LEMBAR KERJA KB-4

LK - 03

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran peralatan kontrol hidrolika? 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 diunjukkan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB III PENUTUP

UJI KOMPETENSI

1. Coba jelaskan dan gambarkan secara sketsa tinggi jatuh (beda tinggi) untuk PLTMH ?
2. Tuliskan rumus-rumus apakah dalam menentukan energi potensial dan energi kinetic di dalam air ?
3. Berapa besarnya kapasitas daya untuk micro hydro power (PLTMH) dan rumus apa yang digunakan untuk perhitungan daya?
4. Jelaskan persamaan kontinuitas dan uraikan penurunan rumusnya
5. Jelaskan persamaan Bernoulli dan uraikan penurunan rumusnya
6. Jelaskan Aliran air dan tentukan aliran air dalam permukaan bebas

7. Ubahlah besaran sudut di bawah ini ke cara sentisimal cocokkanlah jawaban Anda dengan kunci jawaban di bawahnya.
 - ❖ $124^{\circ} 27' 21'' =$
 - ❖ $16^{\circ} 24' 42'' =$
 - ❖ $172^{\circ} 24' 42'' =$
 - ❖ $76^{\circ} 34' 28'' =$
 - ❖ $242^{\circ} 14' 13'' =$

8. Sekarang ubahlah besaran sudut di bawah ini ke cara seksagesimal
 - ❖ $144^{\text{g}} 26^{\text{c}} 16^{\text{cc}} =$
 - ❖ $137^{\text{g}} 48^{\text{c}} 81^{\text{cc}} =$
 - ❖ $67^{\text{g}} 12^{\text{c}} 48^{\text{cc}} =$
 - ❖ $174^{\text{g}} 51^{\text{c}} 95^{\text{cc}} =$
 - ❖ $225^{\text{g}} 63^{\text{c}} 38^{\text{cc}} =$

9. Sebut metode-metode penentuan tinggi yang Anda ketahui ?

10. Dari hasil pengukuran sipat datar tabung gelas di dapat bacaan rambu:

(A) belakang = 1,236 m

(B) muka = 1,842 m

Jika ketinggian titik A diketahui = + 638,297 m dari permukaan air laut rata-rata, berapa ketinggian titi B.

11. Bagaimana cara memeriksa alat ukur waterpas tangan (spirit level) sebelum digunakan ?

12. Sebutkan syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam menggunakan alat sipat datar slang plastik.

13. Dalam menggunakan alat sipat datar tangan (hand level), bagaimana cara mendatarkan alat tersebut ?

DAFTAR PUSTAKA

- Boyle,G.(ed). 1996, Renewable Energy Power for a Sustainable Future. Open University, UK.
- Djojonegoro,W,1992, Pengembangan dan penerapan Energi Baru dan terbarukan, Lokakarya “bio Mature unit” (BMU) untuk pengembangan masyarakat Pedesaan, BPPT, Jakarta
- Buku “Langkah Pembangunan PLTMH”, ditulis oleh Catoer Wibowo, diterbitkan oleh M Keterbatasan PLTMH
- Martha Joyce, Ir. Mengenal Dasar – Dasar Hidrologi, Penerbit NOVA Bandung
- Sosrodarsono Suyon, Ir. Hidrologi untuk pengairan, Penerbit Pradya Paramita, Jakarta
- Gupta. J. B, Electrical Power, Katson Publishing House, Ludhiana, 1991
- Narang. K. L, Electrical Technology, Satya Prakashan Publications, New Delhi, 1989
- Uppal. S.L, A Course in Electrical Power, Khanna Publisher, New Delhi, 1990

GLOSARIUM

Alternating current (AC), Arus bolak-balik Arus listrik yang polaritasnya berbalik secara periodik (berlawanan dengan arus DC)

Arus listrik di Indonesia dan kebanyakan negara memiliki frekuensi standar sebesar 50 Hz.

Arus bolak-balik digunakan secara universal pada sistem tenaga karena dapat ditransmisikan dan didistribusikan lebih ekonomis dibandingkan dengan arus searah.

Average Daily Flow debit rata-rata harian, Jumlah rata-rata harian dari air yang melewati alat ukur yang ditentukan.

Baseflow Aliran dasar, Bagian dari debit di sungai yang berasal dari air tanah yang mengalir perlahan melalui tanah dan muncul kesungai melalui tepian dan dasar sungai.

Base load Beban dasar Jumlah daya listrik yang perlu disampaikan/dibutuhkan setiap saat dan selama tanpa tergantung musim.

BFI baseflow index Perbandingan dari run-off yang dikontribusikan oleh baseflow.

Buckets mangkok dalam turbin impuls, bucket diletakkan pada turbin dekat dengan runner, dan berfungsi untuk 'menangkap' air. Tenaga air yang menumbuk bucket akan memutar runner, yang memutar shaft generator, menyebabkan generator membangkitkan daya.

Butterfly Valve, Katup Butterfly, Katup kontrol air tipe cakram, semuanya tertutup dalam bulatan pipa, yang memungkinkan untuk dibuka dan ditutup oleh tuas dari luar. Seringkali dioperasikan dengan sistem hidrolis.

Capacitor, Kapasitor Sebuah alat dielectric yang menyerap dan menyimpan energi listrik sementara.

Capacity, Kapasitas Kemampuan daya maksimum dari sebuah sistem pembangkitan daya. Satuan yang umum digunakan adalah kilowatt atau megawatt.

Capacity factor, Faktor kapasitas Rasio energi yang dihasilkan pembangkit terhadap energi yang akan dihasilkan jika dioperasikan pada kapasitas penuhnya sepanjang periode yang ditentukan, biasanya satu tahun.

Catchment Area, Daerah tangkapan, Keseluruhan tanah dan daerah permukaan air yang berkontribusi terhadap besarnya debit pada suatu titik tertentu di sungai.

Cavitation Kavitasi, Fenomena hidrolis dimana cairan menjadi gas pada tekanan rendah dan membentuk gelembung dan secara cepat pecah yang menyebabkan guncangan hidrolis pada struktur yang tertimpa. Pada beberapa kasus hal ini dapat menyebabkan kerusakan fisik yang parah.

Compact fluorescent light (CFL), Bola lampu modern dengan integral ballast yang menggunakan sedikit listrik dibanding bola lampu incandescent biasa.

Compensation flow Aliran kompensasi Aliran minimum yang dibutuhkan untuk dilepaskan pada aliran sungai dibawah intake, dam atau bendungan, untuk memastikan aliran yang cukup dibagian hilir untuk lingkungan, pertanian atau perikanan.

Current Arus, tingkat aliran listrik, diukur dalam ampere, atau amps. Dapat dianalogikan seperti kecepatan aliran air diukur dalam liter per detik.

Demand (Electric), Permintaan (Listrik) Kebutuhan/permintaan daya pada sistem kelistrikan (kW atau MW).

Direct current (DC) Arus searah, Listrik yang mengalir secara terus menerus dalam satu arah, seperti dari baterai.

Diversion Pengalihan, Sistem pengalihan air mengalihkan aliran air dari jalur alaminya. Pengalihan dapat sebagai terbuka seperti saluran atau parit, atau tertutup seperti jalur pipa. Lihat juga: Intake, penstock, tail race, trashrack, weir.

Draft tube, tabung perpanjangan dari bawah turbin sampai di bawah level air minimum saluran pembuang.

Dynamic pressure, Tekanan dinamis, Tekanan air di dalam jalur pipa sewaktu air mengalir. Sama dengan tekanan statis (diukur di dalam pipa tertutup) dikurangi kehilangan tekanan akibat gesekan, turbulensi dan kavitasi didalam jalur pipa dan perlengkapannya.

Efficiency, Efisiensi Rasio antara output dengan input dari energi atau daya, ditunjukkan dengan persentase.

Energy, Energi, Kemampuan untuk melakukan kerja; jumlah listrik yang dikirimkan selama suatu periode waktu. Istilah energi listrik yang digunakan biasanya adalah kilowatt hours (kWh), yang menggambarkan daya (kW) beroperasi selama periode waktu (jam); 1 kWh = 3600 kilojoules.

Fish Ladder, Sebuah struktur yang terdiri dari rangkaian yang disusun seperti untu pijakan setinggi ± 30 cm dalam yang berguna untuk migrasi ikan menuju hulu sungai melewati dam atau bendungan.

Flow, Aliran / Debit jumlah air yang digunakan untuk menghasilkan daya. Biasanya diukur dalam satuan meter kubik per detik, cubic feet per menit, liter per detik atau gallon per menit.

Flow Duration Curve(FDC)

Grafik debit vs persentase waktu (dari periode yang tercatat) selama besaran tertentu dari debit sama atau dilampaui.

Forebay, Bak penenang, Bak terbuka untuk memperlambat aliran yang datang dan menyaring lumpur dan batu kerikil sebelum aliran masuk pipa pesat.

Frequency, Frekuensi, Sejumlah siklus yang dilewati arus bolak-balik dalam satu detik, diukur dalam Hertz (Hz).

Gauging Station Lokasi dimana aliran air sungai diukur.

Generator Mesin berputar yang merubah energi mekanikal menjadi energi listrik.

Grid Jaringan ,Istilah untuk jaringan kabel yang mendistribusikan listrik dari sumber yang beragam melalui daerah yang luas.

Gross Head Perbedaan antara level air di hulu dan di hilir.

Guide Vanes, Sudu pengarah, Digunakan pada turbin reaksi untuk merubah arah aliran air sebesar 90 derajat, menyebabkan air berputar dan masuk ke turbin runner bucket secara bersamaan, menambah efisiensi turbin..

Head Tinggi Jatuh, Perbedaan ketinggian antara dua permukaan air, diukur dalam meter atau feet (lihat juga tinggi jatuh kotor dan tinggi jatuh bersih).

Headrace Saluran yang membawa air dari intake sampai ke forebay

Hertz (Hz), Satuan pengukuran frekuensi untuk AC. Equivalen dengan “siklus per detik”, peralatan rumah tangga di Indonesia pada umumnya adalah 50 Hz.

Impulse Turbine, Turbin impuls menghasilkan daya ketika pancaran air dari pipa pengalihan tertutup ‘menembak’ melalui nozzle kecil langsung ke dalam runner turbin. Turbin impuls cocok untuk head tinggi (>20 feet), tetapi tidak membutuhkan kecepatan aliran yang sangat tinggi. Turbin Pelton dan Turgo merupakan turbin yang umumnya dipakai.

Installed Capacity Kapasitas Terpasang, Total output maksimum (kW/MW) dari suatu system pembangkitan daya.

Intake, Titik yang mana air dialihkan dari sungai ke saluran pembawa melalui struktur pengalihan. Saringan dan bak penenang sering kali dipasang pada titik intake untuk mencegah sampah dan pasir atau lumpur masuk ke turbin.

Inverter, Alat elektronik yang digunakan untuk merubah arus DC menjadi AC, biasanya dengan kenaikan tegangan.

Joule (J), Satuan internasional untuk energi. Energi yang dihasilkan oleh daya satu watt yang mengalir dalam satu detik.

Kilowatt (kW) Satuan (komersil) dari daya listrik; 1000 watt.

Kilowatt hour (kWh): Ukuran dari energi. Satu kilowatt jam sama dengan satu kilowatt

Kilowatt jam (kWh) yang digunakan selama satu jam. (1 kWh = 3600 Joules)

Load (beban) sejumlah peralatan yang dihubungkan dengan sumber daya.

Megawatt (MW): Ukuran daya sama dengan 1 juta watt.

Micro Hydro Sistem hydropower dengan output daya kurang dari 100 kW.

Net Head, Tinggi jatuh bersih, Tinggi jatuh tekan yang tersedia menuju turbin setelah rugi-rugi gesekan dalam sistem hidrolis (dari intake sampai turbin).

Off-grid, Tidak tersambung dengan jaringan besar; penyediaan listrik dalam jaringan tersendiri.

Output, Sejumlah daya (atau energi tergantung dari definisinya) yang dikirimkan/dikeluarkan oleh suatu alat atau sistem.

Over speed, Kecepatan runner turbin ketika kondisi sesuai dengan design, semua beban dilepaskan.

Peak load Beban listrik pada saat kebutuhan maksimum.

Pelton Turbine, Suatu Tipe turbin impuls dengan satu atau lebih jet air menembak bucket (mangkok) runner. Runner menyerupai miniature kincir air. Turbin Pelton digunakan pada lokasi dengan head tinggi (7 – 2000 m), dan dapat menghasilkan daya sampai sebesar 200 MW.

Penstock, Pipa pesat, Pipa (biasanya baja, beton atau plastik) yang mengalirkan air bertekanan dari forebay sampai ke turbin.

Phantom loads, Peralatan yang menggunakan daya selama 24 jam sehari, bahkan pada saat dimatikan. Televisi, VCR, oven microwave dengan jam dan komputer, semuanya mengandung beban phantom.

Power Daya, Kemampuan untuk melakukan kerja, atau lebih umumnya, kemampuan untuk merubah energi dari satu bentuk ke bentuk yang lainnya. Diukur dalam joule per detik atau watt ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/detik}$). Daya listrik diukur dalam kilowatt (kW).

Power factor, Faktor daya, Rasio jumlah daya, diukur dalam kilowatt (kW) terhadap daya hayal diukur dalam kilovolt-ampere (kVA).

Propeller Turbine, Jenis turbin reaksi dengan jenis runner propeller. Air mengalir melalui runner dan menggerakkan sudu propeller. Turbin propeller dapat digunakan untuk head < 1 sampai 100 m, dan dapat mencapai 100 MW.

Lihat juga: Aliran, Tinggi jatuh

Reynolds Number, Parameter ukuran yang digunakan dalam perhitungan gesekan pipa (interalia), dan diambil dari diameter pipa, kecepatan cairan dan viskositas kinematik.

Runner Bagian dari turbin air yang berputar dan dipasang ke shaft generator. Bucket pada runner adalah apa yang didorong oleh air untuk memutar runner dan membangkitkan listrik.

Spillway, Pelimpah, Mengontrol kelebihan air dan mengalirkan kembali ke sungai.

Suction Head, Energi tambahan pada sistem turbin air reaksi, dihasilkan oleh draft tube yang menyalurkan air ke luar. Tekanan inlet, dari air yang ‘mendorong’ runner turbin ketika masuk, menciptakan ~80% energi pada sistem reaksi. Suction head, dari vacuum diciptakan oleh sistem outlet tertutup, ‘tarikan’ di runner karena air keluar dari sistem, menambah sampai ~20% output daya sistem.

Tailrace Saluran air dari turbin sebelum bergabung dengan sungai utama.

Trashrack Saringan pelindung untuk mencegah cabang-cabang besar, batang-batang pohon dan sampah memasuki dan merusak turbin. Biasanya terdiri dari batang-batang vertical dengan jarak satu dengan yang lain antara 30-100 mm. Saringan ini dibersihkan dengan alat pengeruk otomatis ataupun manual.

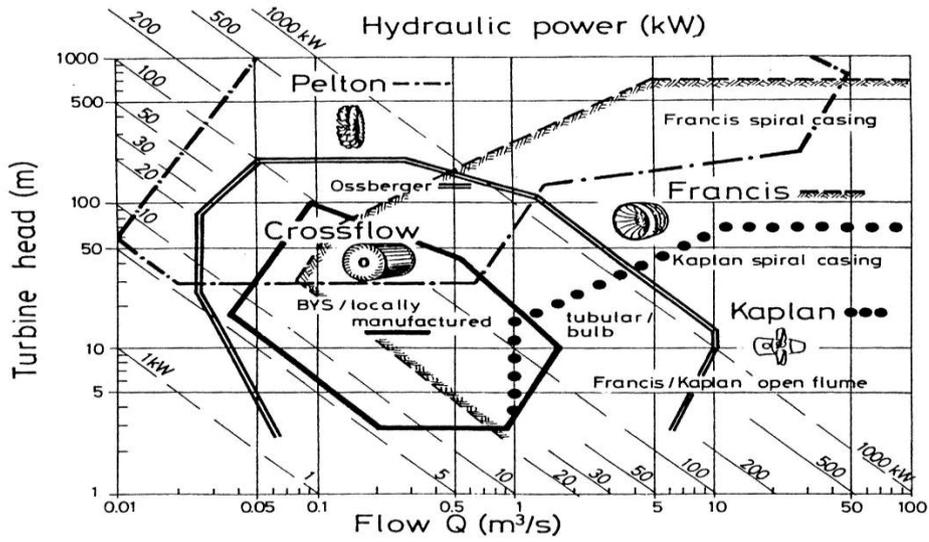
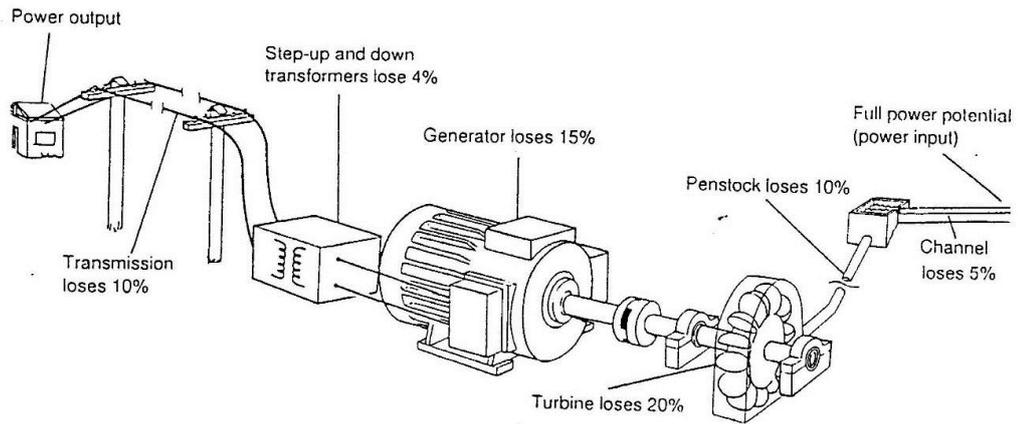
Turgo Turbine, Sebuah turbin impuls yang dapat menghasilkan output daya yang lebih besar pada beberapa lokasi head tinggi dibandingkan dengan tipe Pelton. Desain Runner Turgo memungkinkan untuk pengeluaran air yang telah digunakan dengan lebih efisien, dan pancaran air yang lebih besar, untuk meningkatkan produksi daya di lokasi dengan debit yang besar. Runner Turgo umumnya lebih mahal dibandingkan jenis Pelton, yang disebabkan proses pembuatan yang lebih sulit.

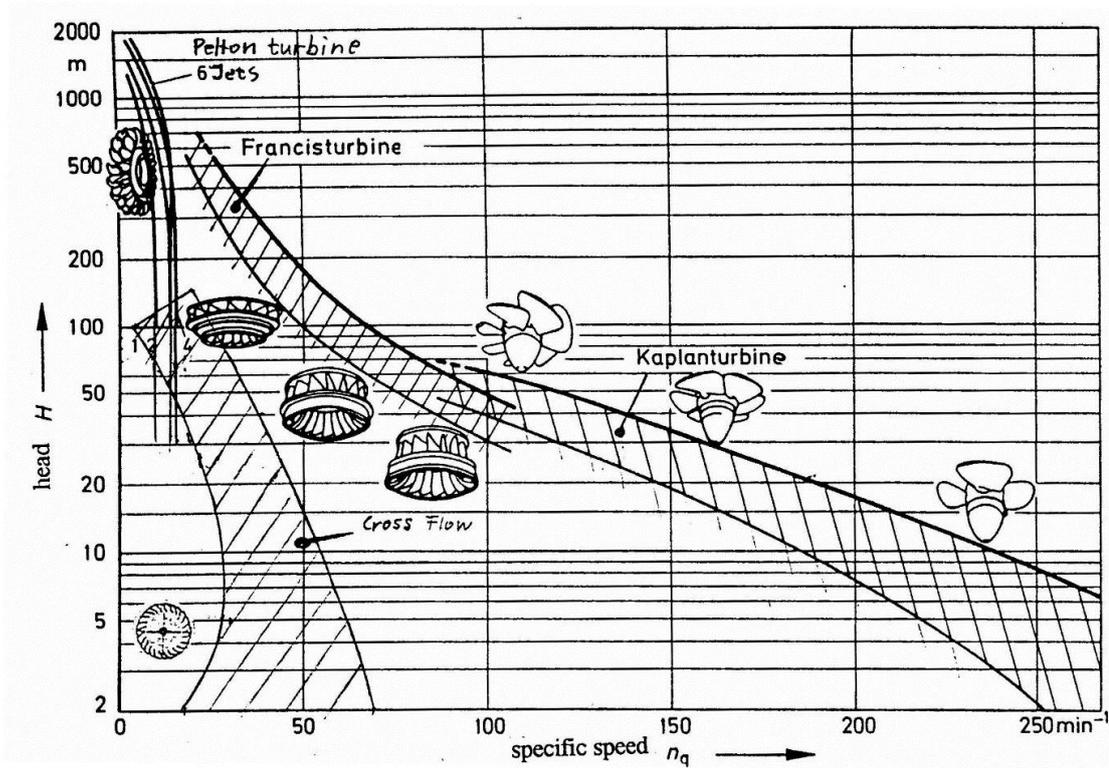
Tegangan (V) ukuran potensial elektrik; “tekanan” elektrik yang memaksa arus listrik untuk mengalir melalui rangkain tertutup.

Watt (W), Satuan ilmiah untuk daya listrik; satuan pekerjaan yang dilakukan dengan satuan satu joule per detik. Umumnya digunakan untuk menentukan ukuran konsumsi listrik pada alat-alat listrik.

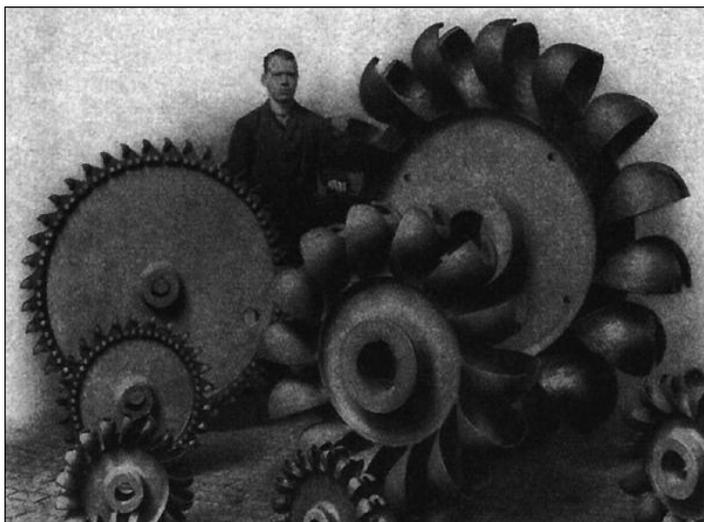
LAMPIRAN

Lampiran 1 Aplikasi turbin





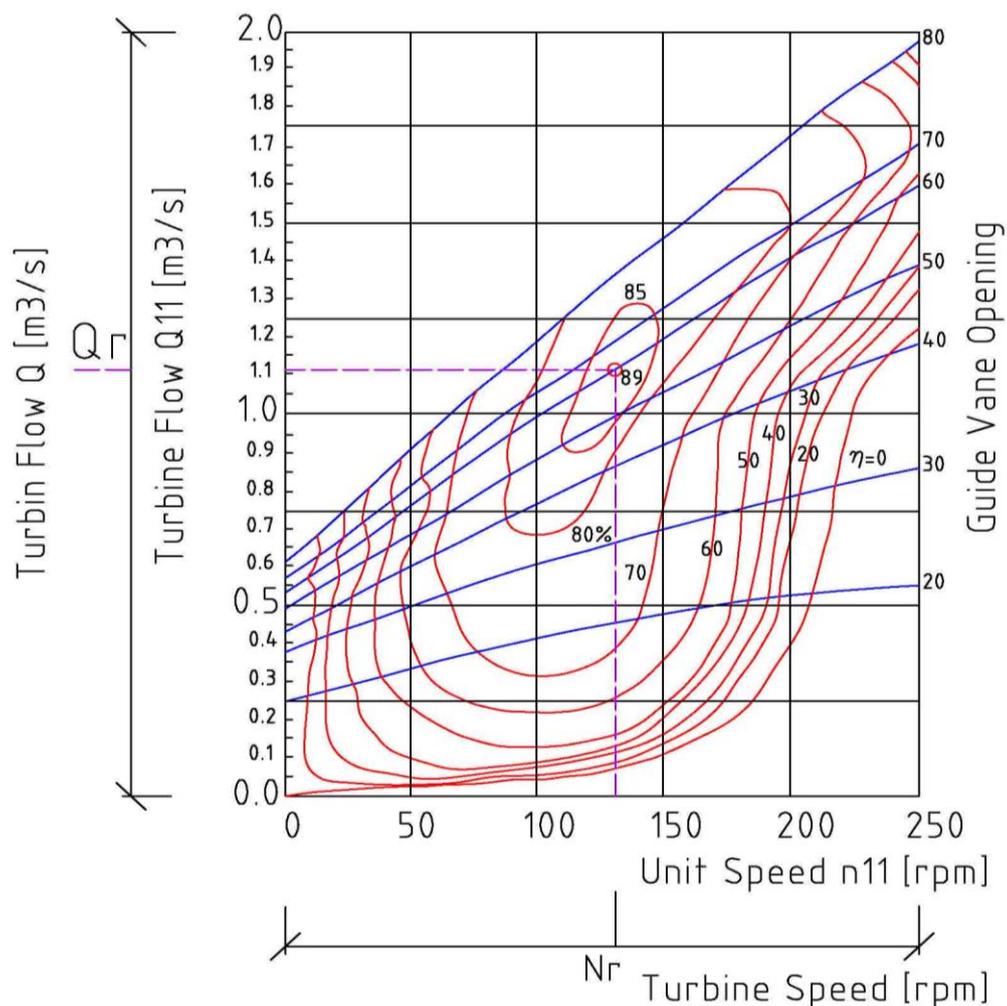
Lampiran 2 Variasi mangkok pelston



KARAKTERISTIK TURBIN

- Range Aplikasi
- Efisiensi
- Perhitungan Dimensi Turbin

Karakteristik turbin adalah bagaimana performa suatu jenis turbin dengan bentuk runner tertentu & ukuran tertentu apabila dipasang pada lokasi dengan potensi head dan debit tertentu



Persamaan Euler

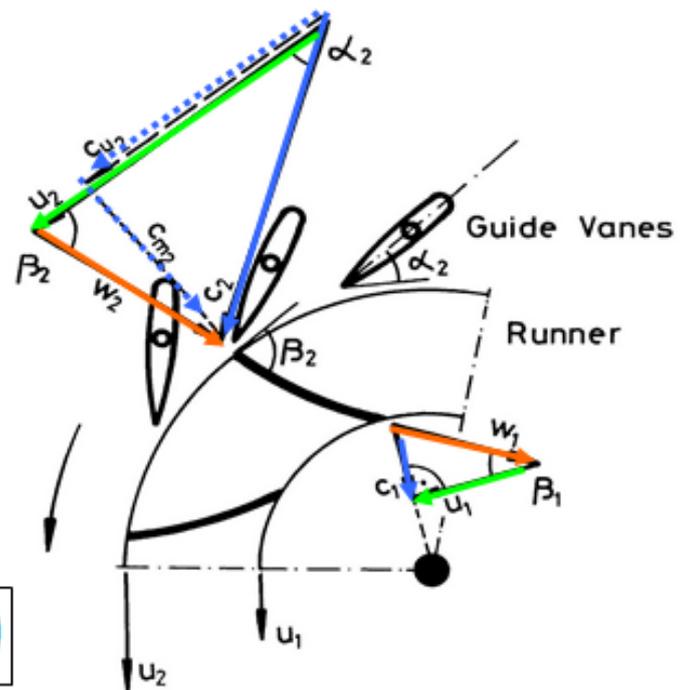
Pada tahun 1750 ditemukan sebuah rumus yang disebut **“Euler Equation”**.

Rumus tersebut didasarkan pada rumus kekekalan momentum pada bagian runner sebuah turbin atau pompa.

Contoh penerapan dalam sebuah runner Francis.

Torque

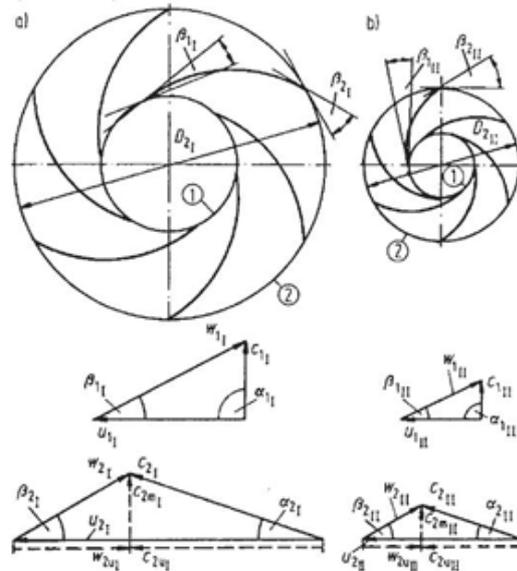
$$T = \rho \cdot Q \cdot (c_{u2} \cdot r_2 - c_{u1} \cdot r_1)$$



Karakteristik Turbin

Dua buah runner Francis dengan ukuran yang berbeda tetapi **sebangun** akan memiliki bentuk vektor kecepatan yang sama bentuk.

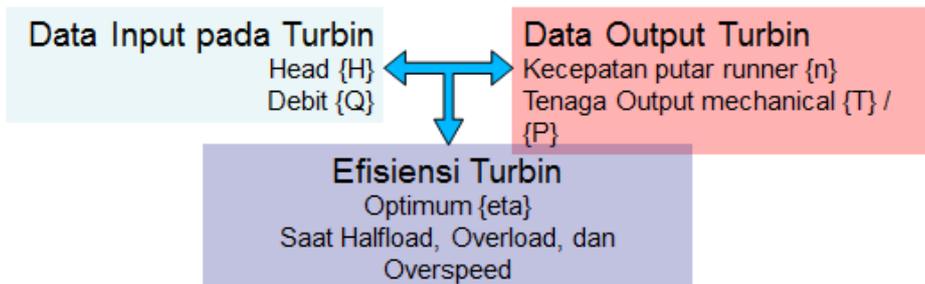
Menurut “Euler Equation” akan memiliki **karakteristik** yang sama persis



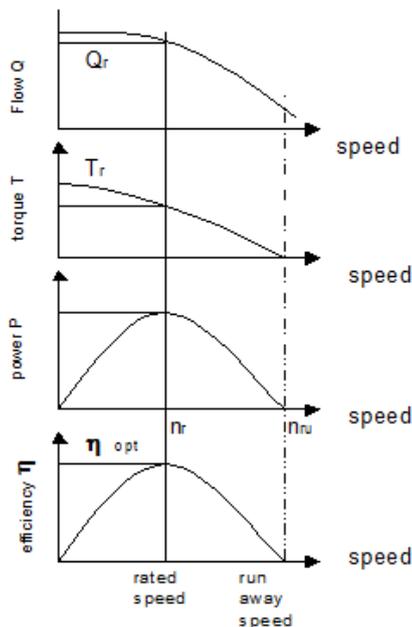
Karakteristik Turbin

Karakteristik Turbin hanya bisa didapat dengan mengukur performa dari turbin atau model turbin yang bersangkutan

Untuk suatu model runner dengan ukuran $\{D\}$, diukur data-data:



Biasanya proses pengukuran dilakukan di sebuah laboratorium dengan peralatan pengukuran yang memadai atau dapat juga hanya dengan simulasi model di komputer



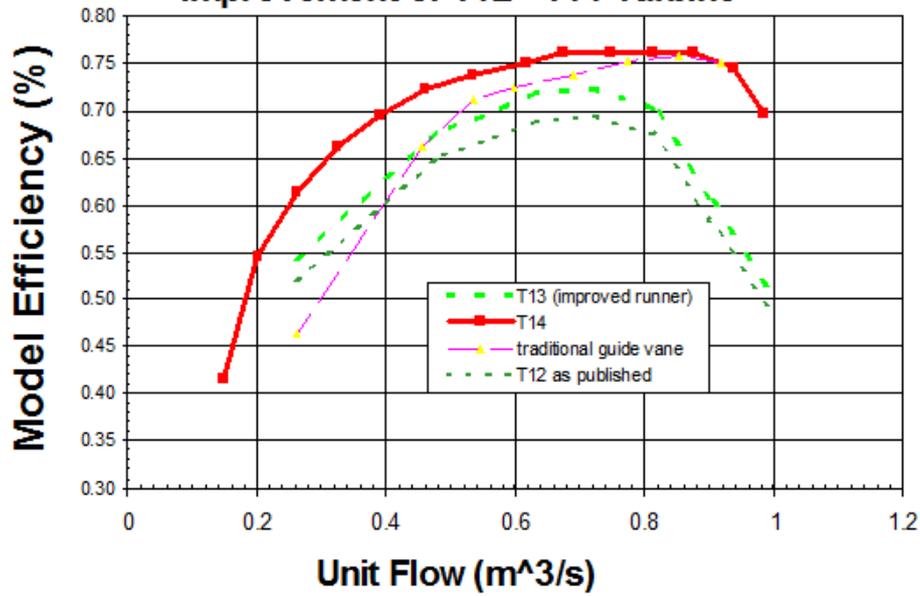
Hasil Pengukuran

Keterangan:

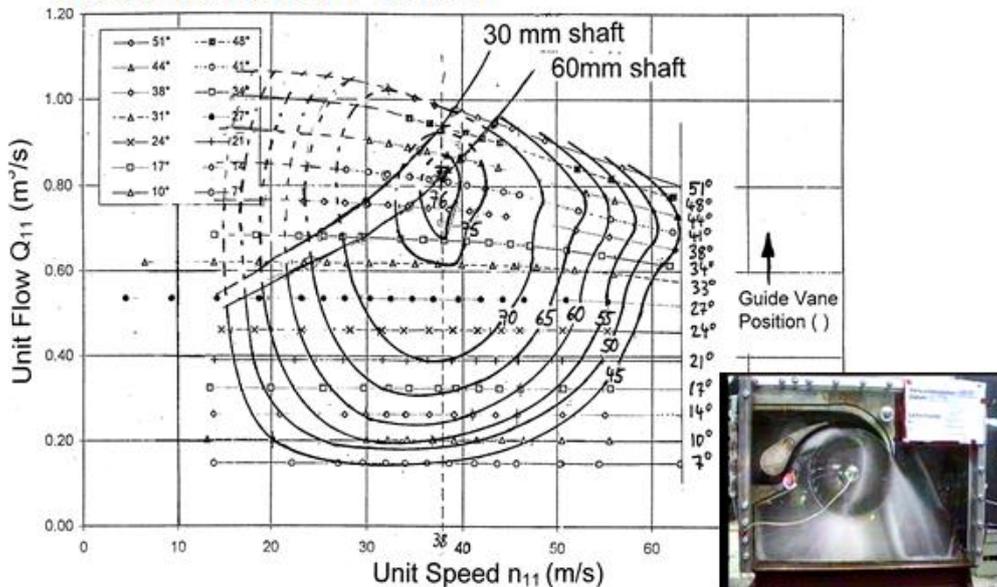
- Flow = Debit air [m^3/s]
- Torque = Torsi pada shaft runner [Nm]
- Power = Daya terbangkitkan [W]
- Efficiency = Efisiensi Turbin [%]
- perbandingan antara daya hidrolics dgn daya yang dihasilkan turbine
- Speed = Putaran runner [rpm]
- Rated speed = Putaran desain [rpm]
- Run-away speed = Putaran runner saat tidak dihubungkan dengan beban

Pengukuran dilakukan dari saat runner dalam keadaan diam hingga overspeed dan kondisi guide vane konstan

Improvement of T12 - T14 Turbine



Karakteristik Turbin



Affinity Law

Jika sebuah turbin dipasang pada dua lokasi dengan head berbeda (H_1 and H_2), dengan efisiensi tetap, maka:

$$\text{Kecepatan Baru } n_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \cdot n_1$$

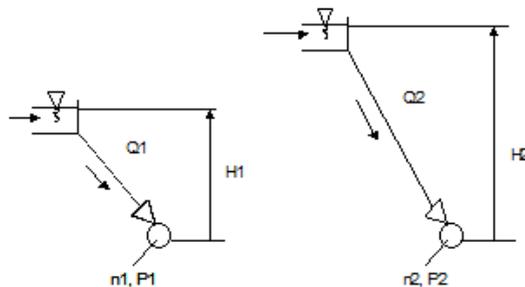
$$\text{Debit (butuh) baru } Q_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \cdot Q_1$$

$$\text{Torsi Baru } T_2 = \frac{H_2}{H_1} \cdot T_1$$

$$\text{Tenaga yang Dihasilkan } P_2 = \frac{H_2^{3/2}}{H_1^{3/2}} \cdot P_1$$

Affinity Law

Bagaimana performa turbin yang sama jika dipasang pada site dengan berbeda potensi ?



Site A:

Head : H_1 m

Debit : $Q_1 \text{ m}^3/\text{s}$

Site B:

Head : H_2 m

Debit : $Q_2 \text{ m}^3/\text{s}$

Jawaban:

Untuk menjaga efisiensi turbin, maka kita harus menghitung ulang turbin dengan kondisi terbaru

> Efisiensi turbin terhitung (eta) = $P_1 / (\rho \cdot g \cdot H_1 \cdot Q_1) = 70 \%$

New speed	=	$n_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \cdot n_1$	705 rpm	Nilai Lama 742 rpm
New flow	=	$Q_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \cdot Q_1$	472.3 Ltr/s	497 Ltr/s
New Power	=	$P_2 = \frac{H_2^{3/2}}{H_1^{3/2}} \cdot P_1$	90.8 kW	105.8 kW

Sedangkan rasio transmisi (i2) = $n_g / n_2 = 2.13 = 2.02$

Contoh Soal:

Turbin T12 telah dibuat untuk kondisi spesifik berikut:

rated head	H1 = 31m .
rated flow	Q1 = 497 l/s
rated speed	n1 = 742 rpm
rated output	P1 = 105.8 kW

Turbin tersebut dipasang dengan generator (ng=1500 rpm) dan sebuah elemen transmisi flar belt.

generator speed	ng =1500 rpm
gearing ratio	i = 1500 rpm / 742 rpm = 2.02

Sayangnya, pada saat akan dipasang, diketahui bahwa hasil survey salah. Data yang benar **H2 = 28 m.**

Apakah yang harus dilakukan agar efisiensi turbin tetap terjaga ?

Jawaban:

Untuk menjaga efisiensi turbin, maka kita harus menghitung ulang turbin dengan kondisi terbaru

> Efisiensi turbin terhitung (η) = $P_1 / (\rho \cdot g \cdot H_1 \cdot Q_1) = 70 \%$

New speed	=	$n_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \cdot n_1$	705 rpm	Nilai Lama 742 rpm
New flow	=	$Q_2 = \frac{\sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} \cdot Q_1$	472.3 Ltr/s	497 Ltr/s
New Power	=	$P_2 = \frac{H_2^{3/2}}{H_1^{3/2}} \cdot P_1$	90.8 kW	105.8 kW

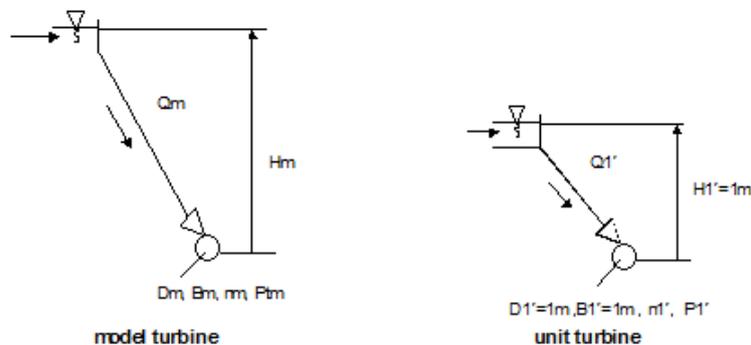
Sedangkan rasio transmisi (i_2) = $n_2 / n_1 = 2.13 = 2.02$

Konsep "Unit Machine"

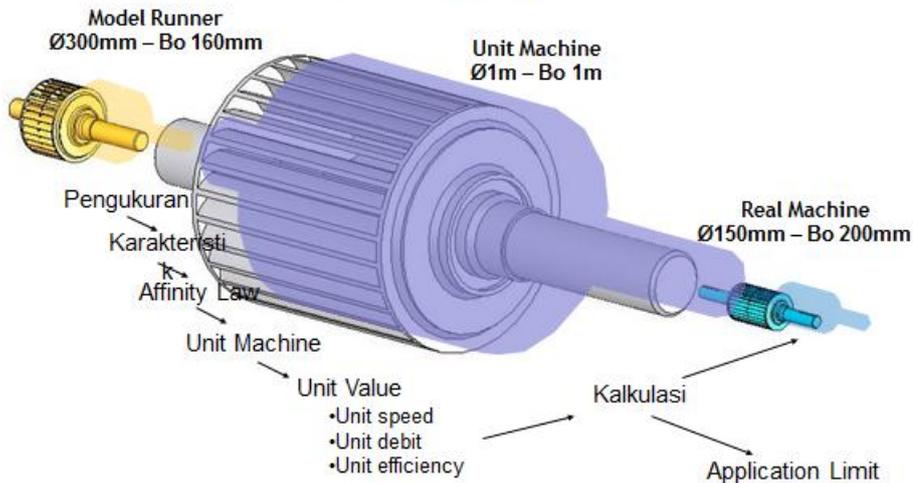
"Unit Machine" merupakan penerapan rumus Afinity Law pada kondisi tertentu

"Unit Machine" didefinisikan sebagai **turbine imajiner** dengan diameter $D_{11} = 1m$ beroperasi pada head $H_{11} = 1m$.

Dalam bentuk "unit Turbine", turbin yang dipesan dapat diperbandingkan dengan turbin dari desain atau tipe lain



Pengertian Unit Machine



Nilai unit atau “Unit Value”

Nilai dari “unit Machine” yang didefinisikan sebagai turbine

$D_{11} = 1\text{m}$ and a head of $H_{11} = 1\text{ m}$.

Unit speed $n_{11} = \frac{D_{m^*}}{\sqrt{H_{m^*}}} \cdot n_m$

Unit flow $q_{11} = \frac{Q_m}{D_{m^*}^2 \cdot \sqrt{H_{m^*}}}$

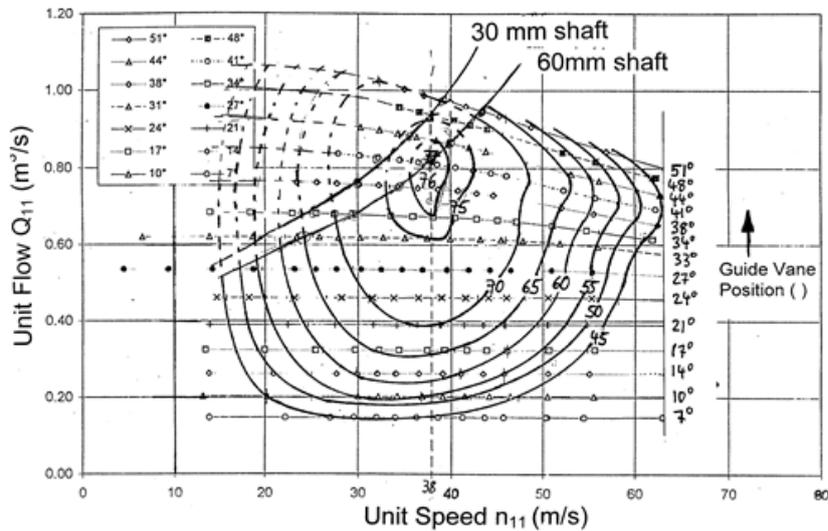
Unit torque $t_{11} = \frac{T_m}{D_{m^*}^3 \cdot H_{m^*}}$

Unit Power output $p_{11} = \frac{\pi}{30} \cdot n_{11} \cdot t_{11}$

where the Index * = dimensionless numerical value (valid for SI-units !)

Index m = model measurements

Contoh Karakteristik T14



Perhitungan Turbin Crossflow

Unit Speed { n_{11} }

Unit Flow { q_{11} }

Unit Efficiency { η_{11} }

Runner Width :

$$B_t = \frac{Q_t}{D_{t^*} \cdot \sqrt{H_{t^*}} \cdot q_{11}}$$

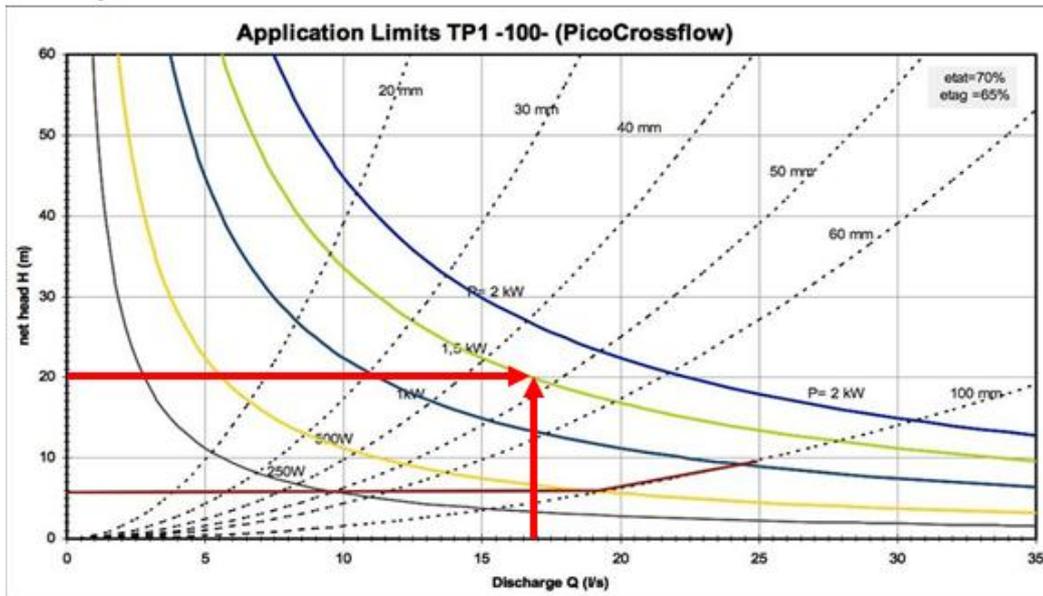
Speed :

$$n_t = \frac{\sqrt{H_{t^*}}}{D_{t^*}} \cdot n_{11}$$

Power Output :

$$P_t = \rho \cdot g \cdot H_t \cdot Q_t \cdot \eta = 981 H_t \cdot Q_t \cdot \eta$$

Tp100 Public Domain



Perhitungan Turbin T15

- $H_{net} = 60m$
- $Q = 600l/s$
- $D_t = 300mm$

Unit Speed $\{n_{11}\} = ?$

Unit Flow $\{q_{11}\} = ?$

Unit Efficiency $\{\eta_{11}\} = ?$

Runner Width :

$$B_t = \frac{Q_t}{D_{t^*} \cdot \sqrt{H_{t^*}} \cdot q_{11}}$$

$$B_t = \frac{0,6}{0,3 \cdot \sqrt{60} \cdot 0,8} = 0,323m = \frac{0,6}{1,86}$$

Speed :

$$n_t = \frac{\sqrt{H_{t^*}}}{D_{t^*}} \cdot n_{11}$$

$$n_t = \frac{\sqrt{60}}{0,3} \cdot 38 = 981rpm$$

Perhitungan Turbin T15

$$\begin{aligned}\text{Runaway Speed :} &= 1,8 \cdot n_t \\ &= 1,8 \cdot 981 = 1766rpm\end{aligned}$$

$$\text{Power Output :} \quad P_t = \rho \cdot g \cdot H_t \cdot Q \cdot \eta$$

$$P_t = 1 \cdot 9.81 \cdot 60 \cdot 0.6 \cdot 76.5\%$$

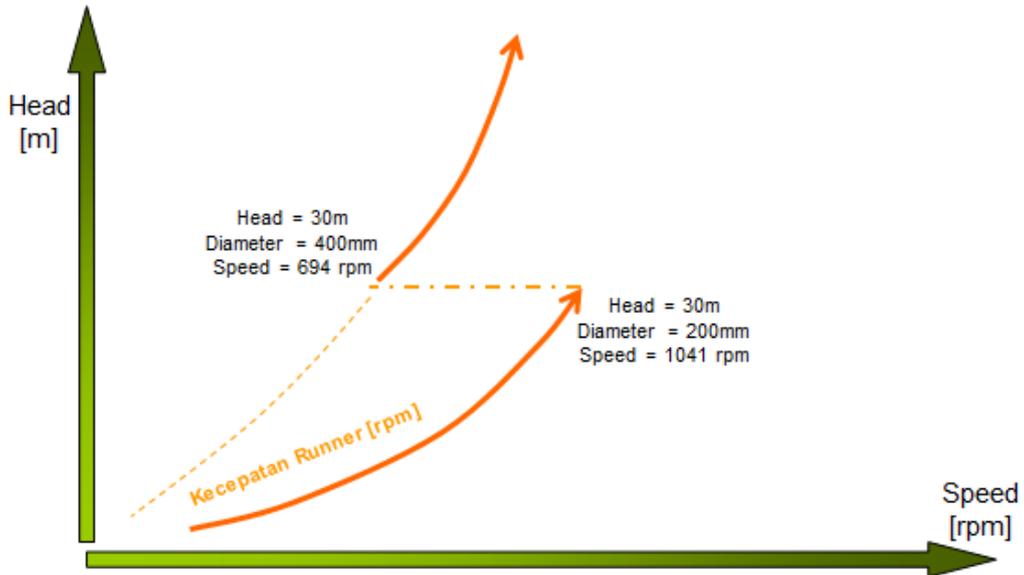
$$P_t = 270kW$$

Pengaruh berbagai Variable – Head

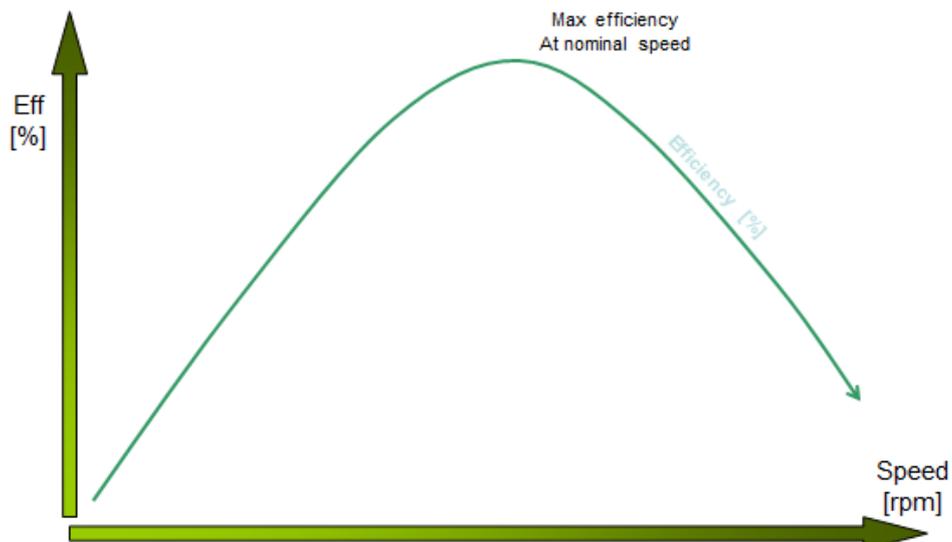
Apakah pengaruh berubahnya Head (lebih tinggi) :

- Pada tekanan air ?
- Pada daya yang dihasilkan ?
- Kecepatan Runner ? Bila diameter runner diperbesar ?
- Lebar Runner ?
- Bagaimana dengan elemen transmisi ?
- Apa yang terjadi bila elemen transmisi tidak diupgrade ?
- Bagaimana dengan efisiensi turbin ?

Pengaruh Variable Head



Pengaruh kecepatan putar runner

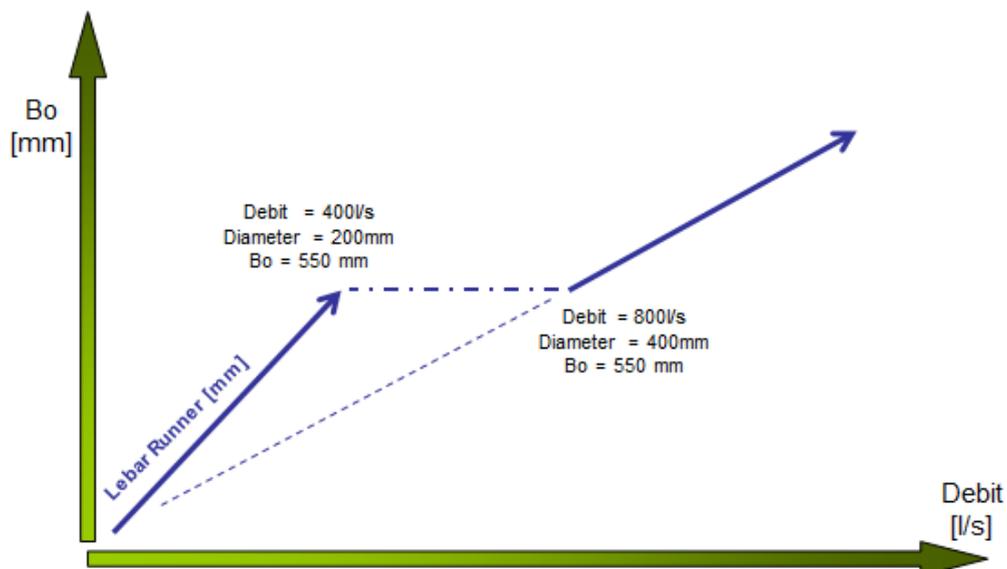


Pengaruh berbagai Variable – Debit

Apakah pengaruh berubahnya Debit air (lebih besar) :

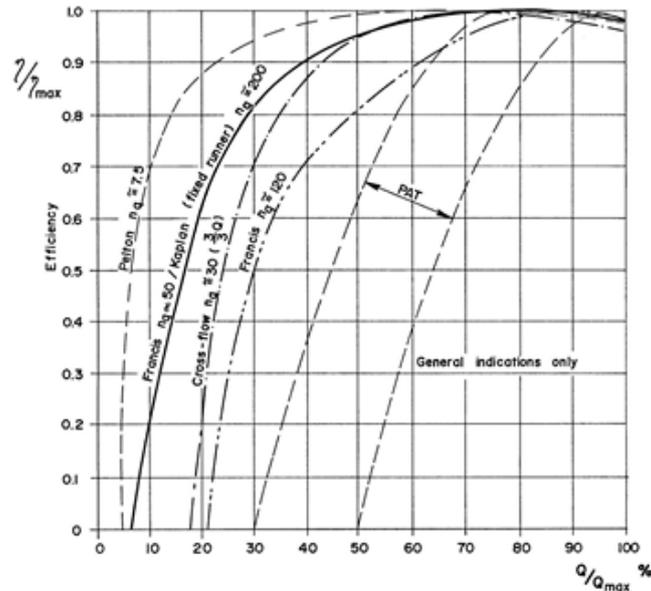
- Pada tekanan air ?
- Pada daya yang dihasilkan ?
- Kecepatan Runner ?
- Lebar Runner ? Bila diameter runner diperbesar ?
- Bagaimana dengan elemen transmisi ?
- Apa yang terjadi bila elemen transmisi tidak diupgrade ?

Pengaruh Variable Head



Faktor lain mempengaruhi Efisiensi

Efisiensi berbagai turbin saat debit berbeda dengan debit desain



Faktor lain mempengaruhi Efisiensi

Efisiensi berbagai jenis turbin saat pemakaian beban tidak sesuai dengan beban desain (Full load)

