



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Konstruksi Baja

Pedagogik : Pengembangan Instrumen Penilaian
Profesional : Mendimensi Profil Baja pada Struktur Konstruksi

KELOMPOK
KOMPETENSI





MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Konstruksi Baja

Penyusun :

**Rahmi Karolina, ST., MT
USU Medan
rachmie_caroline@yahoo.co.id
082164000211**

Reviewer :

**Ir. Syahrizal, MT
USU Medan
rizal_ar@ymail.com
0811636174**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
PUSAT PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN
PENDIDIK DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK
MEDAN
2016**



KATA PENGANTAR

Profesi guru dan tenaga kependidikan harus dihargai dan dikembangkan sebagai profesi yang bermartabat sebagaimana diamanatkan Undang-undang Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen. Hal ini dikarenakan guru dan tenaga kependidikan merupakan tenaga profesional yang mempunyai fungsi, peran, dan kedudukan yang sangat penting dalam mencapai visi pendidikan 2025 yaitu “Menciptakan Insan Indonesia Cerdas dan Kompetitif”. Untuk itu guru dan tenaga kependidikan yang profesional wajib melakukan Guru Pembelajar.

Pedoman Penyusunan Modul Diklat Guru Pembelajar Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan merupakan petunjuk bagi penyelenggara pelatihan di dalam melaksanakan pengembangan modul. Pedoman ini disajikan untuk memberikan informasi tentang penyusunan modul sebagai salah satu bentuk bahan dalam kegiatan Guru Pembelajar bagi guru dan tenaga kependidikan.

Pada kesempatan ini disampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi secara maksimal dalam mewujudkan pedoman ini, mudah-mudahan pedoman ini dapat menjadi acuan dan sumber informasi bagi penyusun modul, pelaksanaan penyusunan modul, dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan modul diklat GP.

Jakarta, Maret 2016

Direktur Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan,

Sumarna Surapranata, Ph.D,

NIP 19590801 198503 1002

DAFTAR ISI

Kata	
Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG.....	1
B. TUJUAN.....	2
C. PETA KOMPETENSI.....	2
D. RUANG LINGKUP.....	3
E. SARAN CARA PENGGUNAAN MODUL.....	3

BAB II KOMPETENSI PEDAGOGIK

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

A. TUJUAN PEMBELAJARAN.....	5
B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI.....	5
C. URAIAN MATERI.....	5
D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN.....	14
E. LATIHAN	14
F. RANGKUMAN.....	14
G. UMPAN BALIK DAN TINDAK LANJUT.....	15
H. EVALUASI	15
I. KUNCI JAWABAN	17

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

A. TUJUAN PEMBELAJARAN.....	18
B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI.....	18
C. URAIAN MATERI.....	18
D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN.....	47
E. LATIHAN	48
F. RANGKUMAN.....	49
G. UMPAN BALIK DAN TINDAK LANJUT.....	49
H. EVALUASI	50
I. KUNCI JAWABAN	52
DAFTAR PUSTAKA	53

BAB III KOMPETENSI PROFESIONAL

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 MODELLING KONSTRUKSI BAJA DENGAN SOFTWARE

A. TUJUAN.....	54
B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI.....	54
C. URAIAN MATERI.....	54
a. Pemodelan Struktur Dengan Komputer.....	54
i. Konsep Dasar.....	54
ii. Prinsip Dasar dan Kategori Pemodelan Struktur.....	55
iii. Pemodelan Struktur Garis Rangka Batang.....	55
iv. Pemodelan Struktur Garis Portal dan Grid.....	58
v. Rangka khusus dan perlunya variasi pemodelan	59
vi. Petunjuk tentang Pemodelan.....	61
b. Formulasi Element FRAME dan Opsi – opsinya.....	64
i. Elemen dan "Element".....	64
ii. Element dan Metode Kekakuan.....	65
iii. Joint dan D.O.F (<i>Degree of Freedom</i>)	66
iv. Sistem Sumbu Koordinat (Global & Lokal)	68
v. Orientasi Sumbu Lokal Element.....	71

vi. Orientasi Sumbu Lokal Nodal.....	73
vii. Sistem Koordinat Silinder dan Spherikal.....	76
c. Mengenal SAP 2000 dan Cara Pakainya.....	78
i. Sejarah dan Perkembangannya.....	78
ii. Versi Program SAP2000 dan Pengaruhnya.....	78
iii. Program SAP2000 Versi Student.....	79
iv. Tampilan Awal Program.....	80
v. Keterampilan Tingkat Dasar.....	81
vi. Data Pembebanan.....	88
vii. Data Bahan Material.....	97
viii. Data Penampang Batang.....	100
ix. File yang Dihasilkan Program.....	106
x. Kesepakatan Tanda dan Arah Hasil Hitungan.....	111
D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN.....	114
a. Contoh Aplikasi Sederhana Gaya V7.4.....	114
b. Contoh Aplikasi Lengkap Gaya dan Lendutan V7.4.....	123
E. LATIHAN / KASUS / TUGAS	125
F. RANGKUMAN.....	127
G. KUNCI JAWABAN.....	128

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 KONSTRUKSI BAJA BATANG TARIK

A. TUJUAN.....	129
B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI.....	129
C. URAIAN MATERI.....	129
a. Pendahuluan.....	129
b. Batas Kelangsingan.....	129
c. Konsep Perencanaan.....	133
d. Kuat Tarik Nominal.....	135
e. Konsep Luas Penampang.....	136
i. Pengaruh lubang dan cara penyambungan.....	136
ii. Diameter lubang baut - real dan imajiner.....	137

iii. Lubang-lubang berpola <i>staggered</i>	138
iv. Pola <i>staggered</i> tidak sebidang.	139
f. Shear lag dan efektivitas sambungan.....	140
g. Ilustrasi Perencanaan Batang Tarik.....	144
D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN.....	148
a. Contoh Aplikasi Batang tarik profil L.....	148
b. Contoh Aplikasi Batang tarik profil U.....	149
c. Diskusi Lanjutan.....	150
E. LATIHAN / KASUS / TUGAS.....	155
F. RANGKUMAN.....	156
G. KUNCI JAWABAN.....	157

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3 KONSTRUKSI BAJA BATANG TEKAN

A. TUJUAN.....	158
B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI.....	158
C. URAIAN MATERI.....	158
a. Pendahuluan.....	148
b. Tekuk dan Parameter Penting Batang Tekan.....	160
c. Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal.....	162
d. Teori Tekuk (Buckling)	185
i. Umum.....	185
ii. Panjang Efektif.....	186
iii. Rangka tidak-bergoyang dan rangka bergoyang.....	188
iv. Kurva kapasitas tekan kolom.....	194
v. Pengaruh bentuk penampang terhadap tekuk.....	194
e. Kuat Tekan Nominal.....	194
i. Peta petunjuk pemakaian rumus AISI.....	195
ii. Tekuk lentur (AISC - E3)	195
iii. Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur-Torsi (AISC - E4)	196
f. Profil Siku Tunggal (AISC - E5)	196
i. Umum.....	196

ii. Kuat tekan profil siku tunggal.....	196
iii. Modifikasi kelangsingan profil siku tunggal.....	197
D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN.....	197
a. Contoh Aplikasi Rancangan Kolom Baja Profil O	198
b. Contoh Aplikasi Rancangan Kolom Baja Profil H	199
c. Contoh Aplikasi Rancang Kolom Siku Tunggal.....	202
E. LATIHAN / KASUS / TUGAS.....	203
F. RANGKUMAN.....	204
G. KUNCI JAWABAN.....	204
PENUTUP.....	206
DAFTAR PUSTAKA.....	207

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Pemodelan struktur Truss
- Gambar 1.2 Sambungan dan distribusi beban pada Rangka Batang
- Gambar 1.3 Struktur dengan Sambungan Pin
- Gambar 1.4 Orientasi Model dan Penamaannya
- Gambar 1.5 Bentuk Tipikal Sistem Struktur EBF
- Gambar 1.6 Perilaku Sistem Struktur EBF terhadap Gaya Lateral
(Gempa)
- Gambar 1.7 Strategi Analisis LINK Struktur EBF
- Gambar 1.8 Perbandingan eksperimen dan numerik
- Gambar 1.9 Strategi AI dan KBESs pada pemodelan Struktur Pelat
- Gambar 1.10 Element dan Elemen pada pemodelan Balok Tinggi
- Gambar 1.11 Tumpuan sebagai Nodal dengan d.o.f ditahan
- Gambar 1.12 Sistem Sumbu dengan Kaidah Tangan Kanan
- Gambar 1.13 Rotasi Positif dengan Kaidah Tangan Kanan
- Gambar 1.14 Model Struktur dengan Tumpuan Miring
- Gambar 1.15 Sistem Koordinat Persegi
- Gambar 1.16 Orientasi Default Batang Terhadap Sumbu Global
- Gambar 1.17 Mengubah Orientasi Sumbu 2 dan 3
- Gambar 1.18 Langkah 1: Pemutaran Nodal
- Gambar 1.19 Langkah 2: Pemutaran Nodal
- Gambar 1.20 Langkah Terakhir Pemutaran Nodal
- Gambar 1.21 Informasi Mengenai Suatu Nodal yang Dipilih
- Gambar 1.22 Sistem Koordinat Silinder
- Gambar 1.23 Sistem Koordinat Spherical
- Gambar 1.24 SAP2000 Student Version 7,40
- Gambar 1.25 Tampilan Awal Program
- Gambar 1.26 Menetapkan Ukuran Grid Bantu
- Gambar 1.27 Pola Bentuk Struktur yang Tersedia

Gambar 1.28 Tampilan Jika Ada Data Geometri yang Dibuat

Gambar 1.29 Tampilan Menu Memilih (SELECT) Element / Nodal

Gambar 1.30 Object yang Terpilih

Gambar 1.31 Mengubah Kondisi d.o.f Nodal yang Terpilih

Gambar 1.32 Data Tumpuan Elastik

Gambar 1.33 Mengubah dan Membuat Static Load Case

Gambar 1.34 Mengubah dan Membuat Data Kombinasi Beban

Gambar 1.35 Pemberian Beban pada Nodal

Gambar 1.36 Menu Pembebanan pada Element Batang

Gambar 1.37 Beban Merata Trapezium

Gambar 1.38 Beban Merata Tidak Penuh

Gambar 1.39 Data Material

Gambar 1.40 Data Frame Sections

Gambar 1.41 Element Batang Non-Prismatik

Gambar 1.42 Data Type General Section

Gambar 1.43 Screen Warning yang Tercetak Juga pada File *LOG (.\$OG)

Gambar 1.44 Menetapkan Isi File *.OUT

Gambar 1.45 Vektor Positif Nodal pada Ruang

Gambar 1.46 Vektor Positif pada Bidang

Gambar 1.47 Gaya Aksial dan Torsi Positif

Gambar 1.48 Gaya Geser dan Momen pada Bidang 1-2 Positif

Gambar 1.49 Gaya Geser dan Momen pada Bidang 1-3 Positif

Gambar 1.50 Truss - N. William & WM.Lucas (1978) p.54

Gambar 1.51 Geometri dari Template untuk Dimanipulasi

Gambar 1.52 Geometri Final Hasil Manipulasi Template

Gambar 1.53 Deformasi Struktur Akibat Pembebanan

Gambar 1.54 Gaya Aksial Batang dan Nilainya

Gambar 1.55 Gaya Reaksi Tumpuan dan Nilainya

Gambar 1.57 Tampilan Output dalam Tabel

Gambar 1.58 Penomoran Nodal dan Element

Gambar 1.59 Truss - N. William & WM.Lucas (1978) p.60

Gambar 1.60 Deformasi Struktur Truss yang benar

Gambar 2.1 Batang tarik struktur Museum di Louvre, Paris

Gambar 2.2 Batang tarik dengan *turn – buckle* pada jembatan Lincoln, Nebraska

Gambar 2.3 Resiko Pemakaian Elemen yang Terlalu Langsing

Gambar 2.4 Batang Tarik Produksi Massal

Gambar 2.5 Sambungan Batang Tarik

Gambar 2.6 Konsep visual perencanaan batang tarik

Gambar 2.7 Kerusakan akibat pembuatan lubang

Gambar 2.8 Kemungkinan keruntuhan pada lubang berpola *staggered*

Gambar 2.9 Pola *staggered* pada profil tidak sebidang

Gambar 2.10 Pengaruh shear-lag terhadap konfigurasi sambungan tarik

Gambar 2.11 Jarak x pada profil H dan C untuk menghitung faktor U

Gambar 2.12 Jarak l sebagai panjang batang tersambung

Gambar 2.13 Profil H sebagai batang tarik dalam tiga konfigurasi berbeda

Gambar 2.14 Sambungan baut tipe geser pada profil L100 x 100 x 10

Gambar 2.15 Batang tarik pemikul

Gambar 2.16 Mekanisme pengalihan gaya batang tarik terhadap struktur

Gambar 2.17 Jalur kritis lubang dengan pola *staggered*

Gambar 2.18 Evaluasi terhadap kuat geser baut

Gambar 2.19 Evaluasi terhadap kuat tumpu baut

Gambar 2.20 Evaluasi terhadap kuat blok geser

Gambar 3.1 Fenomena tekuk

Gambar 3.2 Perilaku tekuk elemen langsing

Gambar 3.3 Percobaan daya dukung kolom model

Gambar 3.4 Model kolom ideal dari Euler

Gambar 3.5 Konsep panjang efektif dan daya dukung kolom

Gambar 5.6 Rangka tidak bergoyang ($0.5 \leq K \leq 1.0$)

Gambar 3.7 Rangka bergoyang ($2.0 \leq K \leq$)

Gambar 3.8 Pengaruh tumpuan dan kategori rangka terhadap nilai K

Gambar 3.9 Sistem rangka kombinasi (Rangka batang - Portal)

Gambar 3.10 Sistem portal terbuka (rangka bergoyang)

Gambar 3.11 Alignment chart - rangka tidak bergoyang (AISC 2010)

Gambar 3.12 Alignment chart - rangka bergoyang (AISC 2010)

Gambar 3.13 Kurva perilaku elastis-inelastis Mom

Gambar 3.14 Kurva kapasitas kolom real dan Euler

Gambar 3.15 Bentuk penampang dan perilaku tekuk kolom

Gambar 3.16 Perilaku penampang terhadap variasi bentuk pada luas yang sama

Gambar 3.17 Tekuk torsi pada profil H

Gambar 3.18 Perilaku tekuk torsi pada profil X

Gambar 3.19 Perbandingan kurva F_{cr} berbagai mutu baja ASTM terhadap KL/r

Gambar 3.20 Parameter torsi profil tee dan siku ganda

Gambar 3.21 Deformasi akibat tekuk lentur atau tekuk lentur torsi

Gambar 3.23 Deformasi penampang palang akibat tekuk lentur atau tekuk torsi

Gambar 3.24 Parameter torsi profil simetri tunggal (CISC 2002)

Gambar 3.25 Elemen siku tunggal pada tower radio

Gambar 3.26 Konfigurasi kolom profil-H yang ditinjau

Gambar 3.27 Profil siku tunggal pada struktur truss

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Shear-Lag (U) batang tarik(AISC 2010)

Tabel 3.1 Klasifikasi elemen pada batang tekan aksial (Table 84.1a AISC 2010)

Tabel 3.2 Panduan memprediksi nilai K (AISC 2010)

Tabel 3.3 Perbandingan karakter torsi profil H dan X

Tabel 3.4 Pengaruh bentuk penampang terhadap kelangsingan kolom

Tabel 3.5 Peta petunjuk pemakaian rumus perencanaan batang tekan

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Undang-undang No. 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen, telah menyatakan dasar legal pengakuan atas profesi guru dengan segala dimensinya. Di dalam UU ini disebutkan bahwa guru adalah pendidik profesional dengan tugas utama mendidik, mengajar, membimbing, mengarahkan, melatih, menilai, dan mengevaluasi peserta didik pada pendidikan anak usia dini jalur pendidikan formal, pendidikan dasar, dan pendidikan menengah. Tugas ini tercermin dalam kompetensi pedagogik dan kompetensi professional seorang guru. Oleh sebab itu Guru perlu ditingkatkan kompetensinya melalui diklat dengan menggunakan modul yang dapat memberikan motivasi kepada peserta diklat agar mampu belajar secara mandiri.

Desain modul ini dirancang untuk memperkuat kompetensi guru dari sisi pengetahuan, ketrampilan serta sikap secara utuh. Dimana proses pencapaiannya melalui pembelajaran pada sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai satu kesatuan yang saling mendukung dalam mencapai kompetensi tersebut. Modul yang berjudul “ Modul Diklat Pasca UKG Paket Teknik konstruksi baja Grade-9 ” merupakan sejumlah kompetensi yang diperlukan untuk guru SMK pada program keahlian teknik konstruksi baja yang diberikan pada Jenjang Menengah-2 dengan perolehan nilai 81-90 pasca Uji Kompetensi Guru (UKG). Modul ini merupakan usaha minimal yang harus dilakukan oleh guru untuk mencapai sejumlah kompetensi yang diharapkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar sesuai dengan pendekatan ilmiah (*scientific approach*) yang dipergunakan dalam kurikulum 2013. Langkah-langkah pendekatan ilmiah dalam proses pembelajarannya dimulai dari menggali informasi melalui pengamatan, pertanyaan dan percobaan, kemudian mengolah data dan informasi, menyajikan data atau informasi dan dilanjutkan dengan menganalisis, menalar dan kemudian menyimpulkan serta terakhir diharapkan dapat mencipta. Setiap guru diharapkan untuk memperkaya dan mengkreasi mata

pelajaran dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan, serta bersumber dari alam sekitar kita.

Modul ini dilengkapi dengan materi yang tercakup dalam kompetensi Pedagogik dan kompetensi professional.

B. Tujuan

1. Peserta Diklat dapat mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar tentang teknik perminyakan.
2. Peserta Diklat dapat mendirikan (erection) konstruksi struktur baja.
3. Peserta Diklat dapat merancang proyek konstruksi baja .

C. Peta Kompetensi

Kompetensi Utama	Kompetensi Inti	Kompetensi Guru
Pedagogik	8. Menyelenggarakan Penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar	8.4. Mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar 8.7 Melakukan evaluasi proses dan hasil belajar.
Profesional	20. Menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu	20.1.10Merancang proyek konstruksi baja 20.1.12Mendirikan (erection) konstruksi struktur baja.

D. Ruang Lingkup

Ada pun ruang lingkup dari modul ini meliputi :

1. Kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi hasil belajar
2. Penyusunan kisi-kisi dan soal
3. Modeling konstruksi baja dengan software
4. Konstruksi baja batang tarik
5. Konstruksi baja batang tekan

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Langkah pembelajaran dalam modul ini dibagi dalam dua aktivitas, yakni aktivitas kelas dan individual. Aktivitas kelas dilaksanakan dalam bentuk kegiatan ceramah, diskusi dan curah pendapat dalam bentuk klasikal learning. Aktivitas individual meliputi, membaca modul, melakukan latihan dan membuat rangkuman dan melakukan evaluasi individual.

Dengan mengikuti langkah pembelajaran yang telah ditentukan ini, diharapkan peserta Diklat dapat meningkatkan kompetensinya, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas pembelajaran di kelas, sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil belajar peserta didik di sekolah.

Di dalam modul ini anda akan menemukan bagian-bagian sebagai berikut :

1. Pendahuluan

Anda menemukan informasi tentang latar belakang, tujuan, Peta Kompetensi, ruang lingkup modul, dan saran penggunaan modul.

2. Uraian Materi

Pada bagian ini anda mempelajari materi pelajaran yang harus anda kuasai

3. Aktivitas Pembelajaran

Anda menemukan berbagai bentuk kegiatan belajar yang harus dilakukan untuk memantapkan pengetahuan, keterampilan, serta nilai dan sikap yang terkait dengan uraian materi.

4. Latihan/Kasus/Tugas

Pada bagian ini anda mengerjakan soal-soal atau melaksanakan tugas untuk mengukur kemampuan anda terhadap topik pelajaran yang telah anda pelajari.

5. Ringkasan

Anda menemukan inti sari dari uraian materi kegiatan pembelajaran yang disajikan diakhir kegiatan pembelajaran.

6. Umpan Balik/Tindak Lanjut

Pada bagian ini anda akan menulis pernyataan deskriptif tentang hal-hal yang telah dipelajari/ditemukan selama pembelajaran, rencana pengembangan dan implementasinya, input terhadap pembelajaran berikutnya.

7. Kunci jawaban Latihan/Kasus/Tugas

Anda menemukan kunci jawaban dari latihan-latihan yang anda kerjakan.

8. Evaluasi

Anda menemukan seperangkat tes yang diberikan untuk mengukur penguasaan terhadap materi yang dipelajari

9. Glosarium

Anda menemukan daftar kata-kata/istilah/frase yang berhubungan dengan uraian materi.

BAB II

KOMPETENSI PEDAGOGIK

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 : KAIDAH PENGEMBANGAN INSTRUMEN PENILAIAN DAN EVALUASI HASIL BELAJAR

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti sesi ini, peserta diklat dapat menerapkan kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi hasil belajar sesuai dengan karakteristik teknik perminyakan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar dijelaskan dengan benar.

C. Uraian materi

➤ Kaidah Pengembangan Instrumen

Dalam pengembangan instrumen hasil belajar perlu dipahami domain perilaku/kemampuan yang akan diukur sebelum menyusun instrumen. Pemahaman terhadap domain perilaku yang akan diukur menentukan apakah instrumen yang dikembangkan tepat sehingga pengukuran dan hasilnya juga tepat. Perilaku yang akan diukur, pada Kurikulum Berbasis Kompetensi tergantung pada tuntutan kompetensi. Setiap kompetensi di dalam kurikulum memiliki tingkat keluasan dan kedalaman kemampuan yang berbeda. Semakin tinggi kemampuan/perilaku yang diukur sesuai dengan target kompetensi, maka semakin sulit soal dan semakin sulit pula menyusunnya. Dalam Standar Isi, perilaku yang akan diukur dapat dilihat pada “perilaku yang terdapat pada rumusan kompetensi dasar atau pada standar kompetensi”. Bila ingin mengukur perilaku yang lebih tinggi, guru dapat mendaftar terlebih dahulu semua perilaku yang dapat diukur, mulai dari perilaku yang sangat sederhana/mudah sampai dengan perilaku yang paling sulit/tinggi, berdasarkan rumusan kompetensinya

(baik standar kompetensi maupun kompetensi dasar). Dari susunan perilaku itu, dipilih satu perilaku yang tepat diujikan kepada peserta didik, yaitu perilaku yang sesuai dengan kemampuan peserta didik di kelas.

Pengembangan instrumen (penulisan soal) didasarkan pada spesifikasi yang terdapat dalam kisi-kisi soal. Agar soal yang dihasilkan lebih bermutu maka perlu mengikuti kaidah-kaidah penulisan soal. Kaidah penulisan soal merupakan petunjuk atau pedoman dalam menulis soal, sehingga soal mampu menjangkau informasi secara optimal. Kaidah-kaidah dalam penulisan soal ini dapat dikelompokkan atas 3 bagian yaitu :

- a. Kaidah yang menyangkut Materi ; berkaitan dengan kesesuaian dan kebenaran isi (materi) yang diujikan.
- b. Kaidah yang menyangkut konstruksi; berkaitan dengan grafika, penempatan dan kelengkapan soal.
- c. Kaidah yang menyangkut penggunaan bahasa; menyangkut bahasa yang digunakan dalam penulisan butir soal.

Secara umum kaidah penyusunan soal dapat dipahami seperti uraian di bawah ini :

- Petunjuk pengerjaan dan rumusan soal harus jelas dan menggunakan bahasa Indonesia yang baik dan benar.
- Rumusan soal harus sesuai dengan indikator
- Butir soal tidak tergantung pada jawaban soal sebelumnya
- Rumusan soal tidak boleh mengandung petunjuk (clue) kepada kunci jawaban.
- Materi soal harus sesuai dengan jenjang/jenis pendidikan atau tingkatan kelas.
- Rumusan soal harus mempertimbangkan tingkat kesulitan soal

Dengan mempertimbangkan keunggulan masing-masing bentuk soal dan kaidah penyusunannya, diharapkan tercipta soal yang mampu mengukur sejauh mana siswa dapat menguasai materi yang ia pelajari. Perangkat soal sebagai salah satu alat penilaian diharapkan dapat mengungkap semua domain terutama aspek kognitif siswa. Alat penilaian jangan hanya berfungsi sebagai sumatif tetapi juga sebagai sarana peningkatan motivasi belajar.

1. Mengonstruksi Pertanyaan Esai

Tes esai adalah salah satu bentuk tes tertulis, yang susunannya terdiri atas item-item pertanyaan yang masing-masing mengandung permasalahan dan menuntut jawaban siswa melalui uraian-uraian kata yang merefleksikan kemampuan berpikir siswa.

Bentuk pertanyaan atau item tes esai dapat dikonstruksi dengan menggunakan kata bantu pertanyaan tertentu yang mengandung unsur singkatan 4W +1H, *Where* (di mana), *who* (siapa), *what* (apa), *why* (mengapa), dan *how* (bagaimana). Di samping itu pertanyaan esai direncanakan secara sistematis untuk mendorong para siswa agar memiliki kemampuan mengekspresikan ide-ide mereka dengan menggunakan bahasa atau kata-kata sendiri, menggunakan informasi dari pengetahuan mereka sendiri, kemudian menuangkannya secara bebas dalam lembaran jawaban yang ada. Kemampuan mengekspresikan ide-ide siswa sendiri itulah yang sebenarnya merupakan kelebihan dari tes esai.

Beberapa contoh tes esai diantaranya dapat dilihat berikut ini :

1. Sebutkan dua alasan pokok mengapa transmisi roda gigi lebih menguntungkan dibanding dengan transmisi sabuk (*belt transmission*)!
2. Apakah fungsi minyak pelumas pada kotak transmisi roda gigi (*transmission gear box*)?

Kegagalan yang sering terjadi, yang berasal dari guru sebagai evaluator dalam mengonstruksi pertanyaan tidak dapat memotivasi para siswa agar mau mengungkapkan kemampuannya dalam menuangkan ide-ide mereka. Berikut adalah beberapa contoh item pertanyaan esai yang dirasakan masih kurang baik.

Contoh jelek : Mengapa bahan bakar bensin banyak disukai di masyarakat?

Lebih baik : Nyatakan tiga macam alasan yang dapat menerangkan, mengapa bahan bakar bensin banyak disukai masyarakat.

Ada beberapa cara yang harus diperhatikan guru (evaluator) dalam menyusun tes esai, yaitu :

1. Hendaknya memfokuskan pertanyaan esai pada materi pembelajaran yang tidak dapat diungkap dengan bentuk tes lain misalnya tes objektif. Ada beberapa faktor penting dalam proses belajar mengajar, yang hanya bisa diungkap oleh tes esai diantaranya pembelajaran yang kompleks, organisasi

materi, integrasi penyusunan jawaban, dan ekspresi penuangan ide dari pemikiran siswa kedalam bentuk jawaban soal. Itu semua menjadikan tes esai tetap menjadi pilihan para guru.

2. Hendaknya memformulasikan item pertanyaan yang mengungkap perilaku spesifik yang diperoleh dari pengalaman hasil belajar. Pertanyaan yang tidak mengarah pada tujuan instruksional sebaiknya dikesampingkan terlebih dahulu.
3. Item-item pertanyaan esai sebaiknya jelas dan dan tidak menimbulkan kebingungan sehingga para siswa dapat menjawab dengan tidak ragu-ragu. Menggunakan kata-kata yang spesifik, seperti terangkan, bandingkan, buktikan, nyatakan dalam kesimpulan, gunakan dan sebagainya.
4. Serta petunjuk waktu pengerjaan untuk setiap pertanyaan, agar para siswa dapat memperhitungkan kecepatan berpikir, menulis, dan menuangkan ide sesuai dengan waktu yang disediakan. Pertimbangan waktu tersebut hendaknya didasarkan pada tingkat kesulitan setiap pertanyaan.
5. Ketika mengonstruksi sejumlah pertanyaan esai, para guru hendaknya menghindari pertanyaan pilihan. Pertanyaan pilihan biasanya terletak pada kalimat instruksi pengerjaan pada awal tes, misalnya "pilih empat soal dari lima pertanyaan yang tersedia. Penggunaan pertanyaan pilihan dimungkinkan mempengaruhi reliabilitas tes esai yang direncanakan.
6. Item pertanyaan yang direncanakan hendaknya memuat persoalan penting yang telah diajarkan dalam proses belajar mengajar.
7. Kata-kata yang digunakan dalam pertanyaan hendaknya tidak diambil secara langsung dari buku/catatan. Para guru/evaluator dapat memodifikasi atau menggunakan kata lain yang mungkin artinya sama agar siswa tidak semata-mata menghafal.
8. Pertanyaan esai yang direncanakan sebaiknya dibuat bervariasi dan bisa mencakup unit-unit mata pelajaran yang diajarkan.

2. Mengonstruksi Tes Objektif Jenis Isian

Disamping tes esai seperti yang telah dibahas diatas, ada item tes jenis lain yang juga sering digunakan oleh para guru dalam kegiatan belajar mengajar. Item tes yang dimaksud yaitu tes objektif. Tes ini dikatakan objektif karena para siswa tidak dituntut merangkai jawaban atas dasar informasi yang dimilikinya

seperti tes esai. Secara garis besar tes objektif dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu tes objektif jenis isian (*supply type*) dan tes objektif jenis pilihan (*selection type*).

Tes objektif jenis isian pada prinsipnya mencakup tiga macam tes, yaitu a) tes jawaban bebas atau jawaban terbatas, b) tes melengkapi, dan c) tes asosiasi.

Tes jawaban bebas mengungkap kemampuan siswa dengan cara bertanya, tes melengkapi mengungkap kemampuan siswa melalui memberikan spasi atau ruang kosong untuk diisi siswa dengan kata yang tepat, dan tes asosiasi mengungkap kemampuan para siswa dengan menyediakan spasi yang diisi dengan satu jawaban atau lebih, di mana jawaban tersebut masih memiliki keterkaitan dan bersifat homogen antara satu dengan lainnya.

Mengonstruksi item tes, baik jenis isian maupun jenis pilihan merupakan langkah penting yang harus dikuasai dengan baik oleh guru. Hal ini terjadi karena validitas tes objektif jenis isian dan pilihan pada umumnya tergantung pada kualitas isi dan tampilannya, sedangkan kualitas isi dan tampilan sangat dipengaruhi oleh kemampuan guru dalam mengonstruksi tes yang dimaksud. Oleh karena itu, perlu kiranya seorang guru memiliki kemampuan mengonstruksi agar hal-hal yang menurunkan kualitas isi dan tampilan tes, seperti kerusakan teknik, pernyataan yang tidak relevan, substansi yang keliru dapat dikurangi seminimal mungkin.

Agar mendapatkan tes yang memiliki susunan dan penampilan yang baik, para guru/evaluator dapat mempertimbangkan beberapa petunjuk yang dapat dilihat seperti berikut.

1. Nyatakan petunjuk tes yang singkat dan jelas dengan cara memberikan garis bawah pada kata-kata kunci. Petunjuk ini penting agar para siswa dengan cepat dapat memahami perintah tes dengan baik dan dapat melakukan pekerjaan evaluasi seperti yang diperintahkan.
2. Tulis pertanyaan dan atau pernyataan, di mana hanya ada satu kemungkinan jawaban benar.
3. Pilih batasan atau terminologi dari suatu pengetahuan, dengan menghilangkan kata kuncinya. Kata kunci tersebut menjadi jawaban yang harus diisi oleh para siswa.

4. Tanyakan secara spesifik untuk jawaban yang diinginkan. Sebagai contoh, Refigerasi mekanis unit bisa diinstalasi di dari VRU untuk perolehan cairan hidrokarbon yang memiliki yield point tinggi.

Jawabannya adalah (*downstream*).

5. Gunakan hanya satu spasi atau ruang kosong, untuk setiap item tes melengkapi. Jika spasi lebih dari tiga maka item tersebut lebih baik dikonstruksi dengan model tes jawaban bebas. Contoh :

Kurang baik : yang termasuk warna primer yaitu.....,, dan

Lebih baik : Tiga macam warna apakah yang termasuk sebagai warna primer?

6. Tempatkan spasi atau ruang kosong pada akhir kalimat dari item tes melengkapi. Penempatan spasi tersebut dimaksudkan agar lebih membantu para siswa untuk menjawab dengan cepat.
7. Buat kunci jawaban yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pemberian penilaian. Kunci jawaban diperlukan untuk memudahkan dalam penilaian guru maupun pedoman jawaban yang diberikan kepada siswa.

Tes/Instrumen jawaban singkat dan tes melengkapi merupakan tes esai yang sangat sederhana. Instrumen-instrumen ini kurang cocok untuk tes dengan sasaran pengetahuan yang memiliki tingkat domain lebih tinggi, seperti aplikasi, sintesis dan evaluasi pada ranah kognitif. Walaupun demikian jawab singkat dan tes melengkapi, sangat baik untuk tujuan mengungkap kemampuan kognitif yang rendah dan berguna bagi siswa yang sejak awal ingin dididik dan dikembangkan melalui latihan-latihan yang secara periodik dan bertahap meningkat ke arah jawaban yang lebih kompleks.

Item tes jenis asosiasi sering disebut tes identifikasi karena pada proses penilaian para siswa di minta menghubungkan atau mengidentifikasi satu konsep dengan konsep lainnya. Pada kasus lain di sebut pertanyaan mengingat, karena para siswa perlu mengingat antara kaitan konsep satu dengan konsep lain yang sejenis. Untuk mendapatkan item tes asosiasi yang baik, berikut beberapa petunjuk yang dapat digunakan sebagai pertimbangan, ketika seorang guru mengonstruksi item tes mmodel analisis.

1. Nyatakan perintah pengerjaan tes secara singkat dan jelas sehingga semua peserta didik dapat memahami perintah tersebut.
2. Guru sebaiknya lebih dahulu melakukan pengelompokan fakta yang homogen. Jangan sampai pada langkah ini guru mencampurkan antara

fungsi alat dengan komponen lain yang tidak terkait satu sama lain. Sebagai contoh antara fungsi pisau frais dengan konsep air pendingin pada mesin industri.

3. Berikan satu kolom untuk satu konsep, dan kolom yang lain untuk jawaban yang dimaksud.
4. Kedua kolom sebaiknya memuat kata-kata atau frasa yang sama tujuannya.
5. Gunakan konsep-konsep yang dapat dihubungkan dengan konsep lain untuk tujuan sama.
6. Untuk tujuan pengembangan, jumlah kolom jawaban pada umumnya dibuat lebih banyak dibanding pada jumlah pernyataan.

Contoh :

Tujuan : Mengidentifikasi prinsip pembelajaran melalui fakta sekitar siswa.

Petunjuk : Isilah pernyataan dalam kolom kedua dengan bentuk kikir yang paling tepat sehingga menjadi kalimat bermakna.

Penggunaan	Macam-Macam bentuk kikir
1. Mengurangi ukuran permukaan	
2. Membentuk sudut	
3. Memperluas lubang	
4. Menghaluskan benda kerja	

Pada kondisi tertentu, tes asosiasi dapat juga dipresentasikan dalam bentuk lain, yaitu dengan tes penampilan yang menggunakan metode demonstrasi, dimana para siswa diminta untuk menunjukkan kegunaan dan mengidentifikasi macam-macam alat yang diinginkan.

3. Mengonstruksi Tes Pilihan Ganda

Soal pilihan ganda merupakan bentuk soal yang jawabannya dapat dipilih dari beberapa kemungkinan jawaban yang telah disediakan. Kontruksinya terdiri dari pokok soal dan pilihan jawaban. Pilihan jawaban terdiri atas kunci dan pengecoh. Kunci jawaban harus merupakan jawaban benar atau paling benar sedangkan pengecoh merupakan jawaban tidak benar, namun daya jebaknya harus berfungsi, artinya siswa memungkinkan memilihnya jika tidak menguasai materinya.

Soal pilihan ganda dapat diskor dengan mudah, cepat, dan memiliki objektivitas yang tinggi, mengukur berbagai tingkatan kognitif, serta dapat mencakup ruang lingkup materi yang luas dalam suatu tes. Bentuk ini sangat tepat digunakan untuk ujian berskala besar yang hasilnya harus segera diumumkan, seperti ujian nasional, ujian akhir sekolah, dan ujian seleksi pegawai negeri. Hanya saja, untuk menyusun soal pilihan ganda yang bermutu perlu waktu lama dan biaya cukup besar, disamping itu, penulis soal akan kesulitan membuat pengecoh yang homogen dan berfungsi, terdapat peluang untuk menebak kunci jawaban, dan peserta mudah mencotek kunci jawaban.

Secara umum, setiap soal pilihan ganda terdiri dari pokok soal (*stem*) dan pilihan jawaban (*option*). Pilihan jawaban terdiri atas kunci jawaban dan pengecoh (*distractor*). Dalam penyusunan soal tes tertulis, penulis soal harus memperhatikan kaidah-kaidah penulisan soal dilihat dari segi materi, konstruksi, maupun bahasa. Selain itu soal yang dibuat hendaknya menuntut penalaran yang tinggi. Hal ini dapat dilakukan antara lain dengan cara :

- a. mengidentifikasi materi yang dapat mengukur perilaku pemahaman, penerapan, analisis, sintesis, atau evaluasi. Perilaku ingatan juga diperlukan namun kedudukannya adalah sebagai langkah awal sebelum siswa dapat mengukur perilaku yang disebutkan di atas;
- b. membiasakan menulis soal yang mengukur kemampuan berfikir kritis dan mengukur keterampilan pemecahan masalah; dan
- c. menyajikan dasar pertanyaan (stimulus) pada setiap pertanyaan, misalnya dalam bentuk ilustrasi/bahan bacaan seperti kasus, contoh, tabel dan sebagainya.

Menulis soal bentuk pilihan ganda sangat diperlukan keterampilan dan ketelitian. Hal yang paling sulit dilakukan dalam menulis soal bentuk pilihan ganda adalah menuliskan pengecohnya. Pengecoh yang baik adalah pengecoh yang tingkat kerumitan atau tingkat kesederhanaan, serta panjang-pendeknya relatif sama dengan kunci jawaban. Oleh karena itu, untuk memudahkan dalam penulisan soal bentuk pilihan ganda, maka dalam penulisannya perlu mengikuti langkah-langkah berikut, langkah pertama adalah menuliskan pokok soalnya, langkah kedua menuliskan kunci jawabannya, langkah ketiga menuliskan pengecohnya.

Dalam menulis soal pilihan ganda harus memperhatikan kaidah - kaidah sebagai berikut:

a. Materi

1. Soal harus sesuai dengan indikator.
2. Pilihan jawaban harus homogen dan logis ditinjau dari segi materi.
3. Setiap soal harus mempunyai satu jawaban yang benar atau yang paling benar.

b. Konstruksi

1. Pokok soal harus dirumuskan secara jelas dan tegas.
2. Rumusan pokok soal dan pilihan jawaban harus merupakan pernyataan yang diperlukan saja.
3. Pokok soal jangan memberi petunjuk ke arah jawaban benar.
4. Pokok soal jangan mengandung pernyataan yang bersifat negatif ganda.
5. Panjang rumusan pilihan jawaban harus relatif sama.
6. Pilihan jawaban jangan mengandung pernyataan, "Semua pilihan jawaban di atas salah", atau "Semua pilihan jawaban di atas benar".
7. Pilihan jawaban yang berbentuk angka atau waktu harus disusun berdasarkan urutan besar kecilnya nilai angka tersebut, atau kronologisnya.
8. Gambar, grafik, tabel, diagram, dan sejenisnya yang terdapat pada soal harus jelas dan berfungsi.
9. Butir soal jangan bergantung pada jawaban soal sebelumnya.

c. Bahasa

1. Setiap soal harus menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia.
2. Jangan menggunakan bahasa yang berlaku setempat, jika soal akan digunakan untuk daerah lain atau nasional.
3. Setiap soal harus menggunakan bahasa yang komunikatif.
4. Pilihan jawaban jangan mengulang kata atau frase yang bukan merupakan satu kesatuan pengertian.

D. Aktivitas Pembelajaran

Bagilah kelas anda menjadi beberapa kelompok berdasarkan jenis mata pelajaran yang diampu. Silahkan berdiskusi dengan kelompok anda dengan instruksi sebagai berikut :

1. Susunlah soal (instrumen) yang memperhatikan prinsip dan kaidah penulisan soal.
2. Bentuk soal sesuai dengan kesepakatan anggota.
3. Jumlah soal yang disusun 10 butir.
4. Setiap soal yang disusun, harus disertai alasan apakah soal tersebut telah mengikuti kaidah penyusunan soal yang telah dipelajari .
5. Masing-masing kelompok akan mempresentasikan instrumen yang sudah disusun disertai dengan argumen yang kuat, bawa instrumen yang telah disusun tersebut sudah mengikuti kaidah penyusunan soal.

E. Rangkuman

- a. Kaidah-kaidah dalam penulisan soal ini dapat dikelompokkan atas 3 bagian yaitu : Kaidah yang menyangkut Materi , Kaidah yang menyangkut konstruksi dan kaidah yang menyangkut penggunaan bahasa.
- b. Tes esai merupakan salah satu bentuk tes tertulis, yang susunannya terdiri atas item-item pertanyaan yang masing-masing mengandung permasalahan dan menuntut jawaban siswa melalui uraian-uraian kata yang merefleksikan kemampuan siswa.
- c. Tes objektif jenis isian pada prinsipnya mencakup tiga macam tes, yaitu a) tes jawaban bebas atau jawaban terbatas, b) tes melengkapi, dan c) tes asosiasi.

Tes jawaban bebas mengungkap kemampuan siswa dengan cara bertanya, tes melengkapi mengungkap kemampuan siswa melalui memberikan spasi atau ruang kosong untuk diisi siswa dengan kata yang tepat, dan tes asosiasi mengungkap kemampuan para siswa dengan menyediakan spasi yang diisi dengan satu jawaban atau lebih, di mana jawaban tersebut masih memiliki keterkaitan dan bersifat homogen antara satu dengan lainnya.

- d. Soal pilihan ganda merupakan bentuk soal yang jawabannya dapat dipilih dari beberapa kemungkinan jawaban yang telah disediakan. Kontruksinya

terdiri dari pokok soal dan pilihan jawaban. Pilihan jawaban terdiri atas kunci dan pengecoh. Kunci jawaban harus merupakan jawaban benar atau paling benar sedangkan pengecoh merupakan jawaban tidak benar, namun daya jebaknya harus berfungsi, artinya siswa memungkinkan memilihnya jika tidak menguasai materinya.

F. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

1. Tulislah apa yang sudah Anda ketahui dari materi ini !
2. Apakah materi ini bermanfaat untuk membantu tugas Anda sebagai guru?
3. Materi apa yang masih diperlukan untuk membantu tugas Anda berkaitan dengan kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi hasil belajar ?
4. Adakah saran/komentar Anda berkaitan dengan kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi hasil belajar ?

G. Evaluasi

1. Salah satu bentuk tes tertulis, yang susunannya terdiri atas item-item pertanyaan yang mengandung permasalahan dan menuntut jawaban siswa melalui uraian kata-kata yang merefleksikan kemampuan berfikir siswa adalah ...
 - a. Esai
 - b. Piliha ganda
 - c. Uraian terstruktur
 - d. Menjodohkan
2. Pertanyaan esai sebagai alat pengukuran hasil belajar yang kompleks, sebaiknya mengungkap perilaku spesifik yang diperoleh dari
 - a. Proses penilaian
 - b. Hasil ujian
 - c. Pengalaman hasil belajar
 - d. Angket
3. Secara garis besar tes objektif dapat dibedakan atas
 - a. Jenis isian
 - b. Jenis pilihan
 - c. Jenis kesulitan
 - d. a dan b benar
4. Tes objektif jenis isian pada prinsipnya mencakup tiga macam tes, yaitu...
 - a. Tes jawaban bebas, tes jawaban terbatas, dan tes melengkapi.
 - b. Tes jawaban bebas, tes melengkapi, dan tes asosiasi
 - c. Tes jawaban bebas, tes jawaban terbatas, tes substitusi

- d. Tes Melengkapi, Tes jawaban bebas, dan tes jawaban terbatas
- 5. Item tes jenis asosiasi sering disebut tes identifikasi karena
 - a. Pada proses penilaian siswa di minta menghubungkan satu konsep lain yang sejenis.
 - b. Pada proses penilaian siswa di minta mengidentifikasi beberapa konsep lain yang sejenis.
 - c. Pada proses penilaian siswa di minta melengkapi satu konsep lain yang sejenis
 - d. Pada proses penilaian siswa di minta melengkapi beberapa konsep lain yang sejenis
- 6. Pada kondisi tertentu, tes asosiasi dapat dipresentasikan dalam bentuk tes penampilan dengan menggunakan metode ...
 - a. Bermain peran
 - b. Demonstrasi
 - c. Brainstorming
 - d. Tanya jawab
- 7. Item pilihan ganda pada prinsipnya terdiri atas ...
 - a. Pokok soal dan sub pokok soal
 - b. Pokok soal dan pengecoh
 - c. Pokok soal dan pilihan jawaban
 - d. Pilihan jawaban dan pengecoh
- 8. Soal pilihan ganda dapat diskor dengan mudah, cepat, dan memiliki ...
 - a. Subjektivitas yang tinggi
 - b. Kontinuitas yang tinggi
 - c. Ketelitian yang tinggi
 - d. Objektivitas yang tinggi
- 9. Rumusan pokok soal pada item pilihan berganda sebaiknya ...
 - a. Jelas dan tegas
 - b. Panjang dan tegas
 - c. Jelas dan panjang
 - d. Tegas dan memiliki fokus
- 10. Berdasarkan kaidah penulisan soal, maka setiap soal harus menggunakan bahasa yang sesuai dengan ...
 - a. Kaidah yang baik
 - b. Kaidah bahasa indonesia
 - c. Kaidah penyusunan soal

- d. Kaidah penyempurnaan butir soal

H. Kunci Jawaban

1. A
2. C
3. D
4. B
5. A
6. B
7. C
8. D
9. A
10. B

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 : PENYUSUNAN KISI-KISI DAN SOAL

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti sesi ini, peserta diklat dapat mengembangkan kisi-kisi dan soal sesuai dengan karakteristik teknik perminyakan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Kisi-kisi dikembangkan sesuai dengan tujuan penilaian
2. Instrumen penilaian dikembangkan sesuai dengan kisi-kisi

C. Uraian materi

1. Penyusunan Kisi-Kisi Soal

Dalam kegiatan pembelajaran kegiatan yang paling penting adalah melakukan tes, karena dengan melakukan tes, seorang guru dapat mengetahui sejauh mana kemampuan siswa dalam memahami materi yang telah dipelajari.

Dalam penyusunan soal-soal/tes terkadang guru mengalami kesulitan, karena dalam pembuatan soal tersebut diperlukan berbagai pertimbangan agar soal yang dibuat tidak terlalu sulit, terlalu mudah dan membingungkan peserta didik ketika hendak menjawab soal-soal tersebut. Dalam penyusunan tes hal yang paling penting yang harus dimiliki yaitu validitas soal-soal yang akan diujikan kepada peserta didik. Untuk memudahkan guru dalam penyusunan tes maka diperlukan pembuatan kisi-kisi (tabel *spesifikasi*).

Suatu soal tes hasil belajar baru dapat dikatakan tes yang baik apabila materi yang tercantum dalam item-item soal tes tersebut merupakan pilihan yang cukup representatif terhadap materi pelajaran yang diberikan di kelas yang bersangkutan. Apabila materi yang diungkapkan dalam item-item suatu soal tes hasil belajar hanya menyangkut sebagian kecil saja dari keseluruhan materi yang harus dikuasai oleh murid-murid maka soal tes hasil belajar tersebut bukan lah termasuk soal tes yang baik. Sebaliknya, apabila materi yang diungkapkan dalam item-item tes hasil belajar tadi melebihi daripada apa yang harus diketahui oleh murid-murid, maka tes hasil belajar semacam itu bukanlah merupakan soal tes yang baik.

Untuk mendapatkan suatu soal tes hasil belajar yang cukup representatif terhadap bahan yang ditetapkan maka, dalam bukunya Wayan menyebutkan hal tersebut dapat diadakan analisa rasional. Artinya, kita mengadakan analisa berdasarkan fikiran-fikiran yang logis, bahan-bahan apa yang perlu kita kemukakan dalam suatu soal tes, sehingga soal tes yang kita susun tersebut benar-benar merupakan pilihan yang representatif terhadap ketentuan-ketentuan yang terdapat pada sumber-sumber tertentu seperti tujuan pelajaran, rencana pelajaran, dll.

Dalam bukunya juga, Wayan menjelaskan bahwasannya analisis rasional disebut "Blue print" atau "lay-out". Istilah ini disebut juga kisi-kisi soal.

Kisi-kisi adalah format pemetaan soal yang menggambarkan distribusi item untuk berbagai topik atau pokok bahasan berdasarkan jenjang kemampuan tertentu. Fungsi kisi-kisi adalah sebagai pedoman untuk menulis soal atau merakit soal menjadi perangkat tes. Jika kisi-kisi yang dimiliki baik, maka akan memperoleh perangkat soal yang relatif sama sekalipun penulis soalnya berbeda. Dalam konteks penilaian hasil belajar, kisi-kisi disusun berdasarkan silabus setiap mata pelajaran. Jadi, seorang guru harus melakukan analisis silabus terlebih dahulu.

Kisi-kisi adalah suatu format atau matriks berisi informasi yang dapat dijadikan petunjuk teknis dalam menulis soal atau merakit soal menjadi alat tes/evaluasi. Kisi-kisi disusun berdasarkan tujuan evaluasi. Dengan demikian dapat diperoleh berbagai macam kisi-kisi. Misalnya, kisi-kisi yang dimaksudkan untuk mendiagnosis kesukaran belajar berbeda dengan kisi-kisi soal yang dimaksudkan untuk mengukur pencapaian kompetensi (prestasi hasil belajar) peserta didik. Penyusunan kisi-kisi merupakan langkah penting yang harus dilakukan sebelum penulisan soal, tanpa adanya indikator dalam kisi-kisi tidak dapat diketahui arah dan tujuan setiap butir soal.

Dalam praktiknya, seringkali guru membuat soal langsung dari buku sumber. Hal ini jelas sangat keliru, karena buku sumber belum tentu sesuai dengan silabus. Kisi-kisi ini menjadi penting dalam perencanaan evaluasi, karena didalamnya terdapat sejumlah indikator sebagai acuan dalam menulis soal. Kisi-kisi soal yang baik harus memenuhi persyaratan tertentu, antara lain :

1. Representatif, yaitu harus betul-betul mewakili isi kurikulum atau materi yang telah diajarkan secara tepat dan proporsional.

2. Komponen-komponennya harus terurai/rinci, jelas, dan mudah dipahami.
3. Soalnya dapat dibuat sesuai dengan indikator dan bentuk soal yang ditetapkan.

Sebenarnya, format kisi-kisi tidak ada yang baku, karena itu banyak model format yang dikembangkan para pakar evaluasi. Namun demikian, sekedar untuk memperoleh gambaran, format kisi-kisi dapat dibagi menjadi dua komponen pokok, yaitu komponen identitas dan komponen matriks. Komponen identitas ditulis di bagian atas matriks, sedangkan komponen matriks dibuat dalam bentuk kolom yang sesuai. Komponen identitas meliputi jenis/jenjang madrasah, jurusan/program studi (bila ada), bidang studi/mata pelajaran, tahun ajaran dan semester, kurikulum acuan, alokasi waktu, jumlah soal keseluruhan, dan bentuk soal. Sedangkan komponen matriks terdiri atas kompetensi dasar, materi, jumlah soal, jenjang kemampuan, indikator, dan nomor urut soal.

Salah satu unsur penting dalam komponen matriks adalah indikator. Indikator adalah rumusan pernyataan sebagai bentuk ukuran spesifik yang menunjukkan ketercapaian kompetensi dasar dengan menggunakan kata kerja operasional (KKO). Dalam praktiknya, penggunaan kata kerja operasional untuk setiap indikator harus disesuaikan dengan domain dan jenjang kemampuan yang diukur. Manfaat adanya indikator adalah :

1. Guru dapat memilih materi, metode, media, dan sumber belajar yang tepat, sesuai dengan kompetensi yang telah ditetapkan, dan
2. Sebagai pedoman dan pegangan bagi guru untuk menyusun soal atau instrument penilaian lain yang tepat, sesuai dengan standar kompetensi dan kompetensi dasar yang telah ditetapkan.

Indikator merupakan penanda pencapaian Kompetensi Dasar yang ditandai oleh perubahan perilaku yang dapat diukur yang mencakup sikap, pengetahuan, dan keterampilan. Indikator dikembangkan sesuai dengan karakteristik peserta didik, mata pelajaran, satuan pendidikan, potensi daerah dan dirumuskan dalam kata kerja operasional yang terukur dan/atau dapat diobservasi.

Kisi-kisi soal berfungsi sebagai petunjuk teknis dalam penulisan butir soal dan perakitan soal. Dengan adanya petunjuk teknis ini, penyusun soal akan dapat menghasilkan butir-soal yang sesuai dengan tujuan penilaian dan perakitan soal dapat menyusun perangkat soal dengan mudah. Jika tersedia sebuah kisi-

kisi yang baik, maka pengembang soal yang berbedapun akan dapat menghasilkan perangkat soal yang relatif sama, baik dari tingkat kedalaman maupun cakupan materi yang diukur (ditanyakan). Kisi-kisi soal/tes prestasi belajar harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu :

1. mewakili isi kurikulum (KI/KD) yang akan diujikan;
2. komponen-komponennya rinci, jelas dan mudah dipahami;
3. butir-soal dapat dikembangkan sesuai dengan indikator dan bentuk soal yang ditetapkan pada kisi-kisi.

Komponen terdiri atas dua kelompok, yaitu: identitas dan matriks/format. Kelompok identitas dicantumkan di bagian atas matriks, sedangkan matriks/format dicantumkan dalam baris-kolom yang sesuai.

Kelompok identitas, antara lain :

- 1) Jenis /jenjang sekolah
- 2) Kompetensi Keahlian
- 3) Mata Pelajaran
- 4) Alokasi waktu
- 5) Jumlah soal
- 6) Bentuk soal

Kelompok matriks/format isi, antara lain:

- 1) Kompetensi Inti (KI)
- 2) Kompetensi Dasar (KD)
- 3) Indikator / Kinerja
- 4) Indikator Soal
- 5) Nomor urut soal

Komponen KD perlu dipilih mengacu hasil analisis dengan memperhatikan kriteria sebagai berikut :

1. Urgensitas, yaitu KD yang mutlak harus dikuasai oleh siswa/peserta didik,
2. Kontinuitas, merupakan KD lanjutan yang merupakan pendalaman dari satu atau lebih KD yang sudah dipelajari sebelumnya,
3. Relevansi, KD terpilih harus merupakan pokok (core) yang diperlukan untuk menguasai kompetensi keahlian,
4. Keterpakaian, KD memiliki nilai terapan tinggi dalam pekerjaan di dunia usaha/industri atau kehidupan sehari-hari.

Selain kriteria pemilihan di atas perlu pula diperhatikan bahwa penguasaan materi KD terpilih harus dapat diukur dengan menggunakan bentuk soal yang sudah ditetapkan.

➤ **Kaidah Penyusunan Kisi-kisi Soal Tes**

Kisi-kisi tes adalah format atau matrik yang memuat informasi tentang *spesifikasi* soal-soal yang akan dibuat. Dengan kisi-kisi ini akan dikembangkan soal-soal yang sesuai tujuan tes serta memudahkan bagi perakit tes dalam menyusun perangkat tes. Kisi-kisi dijadikan dasar bagi penulis soal, sehingga oleh siapapun soal tes ditulis, akan dihasilkan soal yang isi maupun tingkat kesulitannya relative sama.

Kisi-kisi tes biasanya berupa matriks yang berisi *spesifikasi* soal-soal yang akan dibuat. Kisi-kisi merupakan acuan penulis soal dalam menuliskan butir-butir soal sehingga dapat menghasilkan soal yang isi maupun tingkat kesulitannya sama. Kisi-kisi soal terdiri dari kolom-kolom dengan isi : kompetensi dasar, materi pembelajaran, indicator, bentuk soal dan nomor soal. Terdapat tiga langkah dalam mengembangkan kisi-kisi tes dalam system penilaian berbasis kompetensi, yaitu :

- a. Membuat daftar kompetensi dasar yang akan diuji
- b. Menentukan indicator
- c. Menentukan jenis tagihan, bentuk dan jumlah butir soal

Paling sedikit memuat empat hal yang harus diperhatikan dalam memilih materi pembelajaran yang akan diujikan yaitu :

- a. Merupakan konsep dasar
- b. Merupakan materi kompetensi dasar berkelanjutan
- c. Memiliki nilai terapan
- d. Merupakan materi yang dibutuhkan untuk mempelajari bidang lain.

Sumber utama kompetensi dasar adalah silabus. Pemilihan materi kompetensi dasar yang akan diujikan pada tingkat kepentingan yaitu : konsep dasar, materi yang berkelanjutan, berkaitan dengan mata pelajaran yang lain, dan mengandung nilai aplikasi tinggi. Tujuan yang akan dicapai disertai informasi tentang materi kemudian diuraikan dalam bentuk indicator. Penentuan indicator-indikator mengacu pada kompetensi dasar dengan maksud agar tidak terjadi

penyimpangan-penyimpangan dalam memilih bahan yang akan diujikan. Jumlah butir soal tergantung pada waktu yang disediakan dalam menyelesaikan tes yang akan diujikan.

Dalam memilih materi perlu diperhatikan kesahihan isi, yaitu seberapa jauh materi yang akan diujikan sesuai dengan kompetensi dasar. Ada kompetensi dasar yang harus diukur melalui tugas rumah, ada yang melalui ulangan harian, ataupun melalui portofolio. Untuk ulangan akhir semester materi yang diujikan harus mencakup kompetensi dasar yang belum dianggap penting.

Kisi-kisi penilaian terdiri dari sejumlah kolom yang memuat kemampuan dasar, materi standar, pengalaman belajar, indikator, bentuk soal, dan jenis ujian. Berikut ini diberikan contoh form kisi-kisi penilaian .

Nama Sekolah :

Mata Pelajaran :

Kelas/Semester :

KD	Materi Pembelajaran	Pengalaman Belajar	Indikator	Penilaian		
				Jenis Tagihan	Bentuk Soal	Contoh Soal

Syarat kisi-kisi yang baik:

1. Mewakili isi kurikulum/kemampuan yang diuji
2. Komponen-komponen rinci, jelas, dan mudah dipahami
3. Soal-soalnya dapat dibuat berdasarkan indikator

Table *spesifikasi* atau kisi kisi soal merupakan table analisis yang didalamnya dimuat rincian materi tes dan tingkah laku beserta proporsi yang dikehendaki oleh tester, dimana pada tiap petak atau sel dari sel tersebut diisi dengan angka angka yang menunjukkan banyaknya butir soal yang akan dikeluarkan dalam tes hasil belajar secara obyektif.

Table *spesifikasi* atau kisi kisi itu memuat informasi informasi yang berhubungan dengan butir butir soal tes yang akan disusun. Dalam menyusun butir butir soal tes hasil belajar, petunjuk petunjuk berikut ini kiranya dapat dijadikan pegangan :

Pertama, sebelum sampai kepada butir butir soal yang akan diajukan dalam tes hasil belajar, pada bagian atas lembar soal sebaiknya dicantumkan petunjuk umum tentang pelaksanaan tes. Dalam petunjuk umum tersebut misalnya dimuat

keterangan mengenai sifat dan tes tersebut. Petunjuk tentang cara menjawab soal juga perlu diberikan. Demikian juga akan sangat baik apabila ada keterangan yang menyebutkan boleh atau tidaknya peserta didik meninggalkan ruangan tes setelah pekerjaan selesai.

Kedua, kecuali petunjuk umum, seyogyanya juga dilengkapi dengan petunjuk khusus. Petunjuk khusus ini juga memuat keterangan bagaimana cara memberikan jawaban pada soal untuk bentuk bentuk soal yang berbeda.

Berikut akan di contohkan bagaimana cara membuat table *spesifikasi* atau kisi kisi dalam rangka penyusunan soal - soal evaluasi hasil belajar pada teknik perminyakan.

Misalkan seorang guru akan melakukan evaluasi hasil belajar pada teknik perminyakan dengan ketentuan sebagai berikut :

- a. Alokasi waktu tes 90 menit.
- b. Materi tes diambil dari buku mulai bab 1 sampai bab 5 yang setelah dilakukan penelusuran ternyata memiliki perbandingan presentase sebagai berikut:
 - Bab 1 = 10 %
 - Bab 2 = 20 %
 - Bab 3 = 25 %
 - Bab 4 = 30 %
 - Bab 5 = 15 %
- c. Aspek yang ingin diungkap dalam tes dan perimbangan presentasenya sebagai berikut:
 - Aspek hafalan = 50 %
 - Aspek pemahaman = 30 %
 - Aspek aplikasi = 20 %
- d. Jenis tes obyektuf
- e. Jumlah butir tes = 60 butir

Bertitik tolak dari ketentuan diatas, maka dalam menyusun butir butir soal tes obyektif itu di tempuh dengan langkah langkah sebagai berikut:

Materi tes	Taraf kompetensi			Total
	Hafalan 50 %	Pemahaman 30 %	Aplikasi 20 %	

Bab 1 = 10 %	3	1,8 = 2	1,2 = 1	6
Bab 2 = 20 %	6	3,6 = 4	2,4 = 2	12
Bab 3 = 25 %	7,5 = 8	4,5 = 4	3	15
Bab 4 = 30 %	9	5,4 = 5	3,6 = 4	18
Bab 5 = 15 %	4,5 = 4	2,7 = 3	1,8 = 2	9
Total 100%	30	18	12	60

Setelah pembuatan table selesai, selanjutnya adalah menetapkan bentuk dan soal tes yang akan diterapkan dalam rangka evaluasi hasil belajar. Selanjutnya adalah menetapkan banyak butir soal yang akan diambil dari setiap bab, sehubungan dengan taraf kompetensi yang akan diungkap dan bentuk tes obyektif yang akan digunakan dalam tes. Dan langkah terakhir adalah menyusun atau membuat butir butir soal tes, sesuai dan jumlah yang telah dirancang dalam table *spesifikasi* atau kisi kisi.

Sebelum menyusun kisi-kisi dan butir soal perlu ditentukan jumlah soal setiap kompetensi dasar dan penyebaran soalnya. Setiap kompetensi dasar yang telah dijabarkan dalam indikator harus dianalisis terlebih dahulu, dan ditentukan aspek-aspek mana yang akan diukur. Masing-masing kompetensi dasar memiliki keluasan dan kedalaman materi yang spesifik. Oleh sebab itu para perancang soal hendaknya memikirkan pendistribusian soal yang merata untuk masing-masing kompetensi dasar.

Pertimbangan yang harus diperhatikan seorang guru dalam menentukan penyebaran soal ini adalah karakteristik dari standar kompetensi dan kompetensi dasar yang telah dituangkan dalam Standar Proses Pendidikan Nasional. Selanjutnya memikirkan jumlah soal yang akan di susun, setelah itu mendistribusikannya sesuai dengan karakteristik kompetensi dasar yang telah dituangkan dalam indikator-indikator. Indikator-indikator ini menjadi acuan dalam mengembangkan materi pembelajaran. Untuk lebih jelasnya, perhatikan contoh penilaian akhir semester berikut ini.

Contoh penyebaran butir soal untuk semester ganjil kelas X

NO	KOMPETENSI DASAR	MATERI	JUMLAH SOAL TES TULIS		JUMLAH SOAL PRAKTIK
			PG	URAIAN	
1	1.1 .....	.....	6	....	.....
2	1.2 .....	.....	3	1	.....
3	1.3 .....	.....	4	....	1
4	2.1 .....	.....	5	1	.....
5	2.2 .....	.....	8	1	.....
6	3.1 .....	.....	6	....	1
7	3.2 .....	.....	....	2	.....
JUMLAH SOAL			40	5	2

Kisi-kisi dapat berbentuk format atau matriks seperti contoh berikut ini.

1. Kisi- Kisi Soal Teori

Satuan Pendidikan :

Kompetensi Keahlian :

Alokasi Waktu :

Jumlah Soal :

No	Kompetensi Iti	Kompetensi Dasar (Kd)	Indikator	Indikator Soal	Bentuk Soal	Nomor Soal
1	2	3	4	5	6	7

Keterangan pengisian kolom/Format Kisi-Kisi

Kolom 1 : Di isi nomor urut

Kolom 2 : Di isi SK yang representatif (inti/aplikatif dan pengetahuan kejuruan) terhadap kompetensi keahlian.

Kolom 3 : Di isi KD dari SK yang ada di kolom dua.

Kolom 4 : di isi indikator dari KD di kolom 3

Kolom 5 : Di isi indikator soal dari indikator di kolom 4. Setiap indikator pengetahuan dapat di tuliskan lebih dari satu indikator soal .

Kolom 6 : Di isi bentuk soal/tes

Kolom 7 : Di isi nomor sebaran soal

2. Kisi – Kisi Soal Praktik

Kisi – kisi soal praktik disiapkan sebagai dasar untuk menetapkan indikator performansi dan menjadi acuan dalam merumuskan soal/penugasan dan petunjuk teknis penilaian unjuk kerja.

Satuan Pendidikan :

Kompetensi Keahlian :

Alokasi Waktu :

No	Sk/Kd	Indikator	Indikator Soal
1	2	3	4
1	...	...	..
	...	...	...
	...	...	...

Keterangan Pengisian Kolom :

Kolom 1 : Di isi nomor urut SK/KD

Kolom 2 : Di isi dengan SK/KD sesuai dengan silabus

Kolom 3 : Di isi dengan indikator dari KD yang ada di Kolom 2

Kolom 4 : Di isi dengan indikator soal yang akan dikembangkan.

Indikator soal dalam kisi-kisi merupakan pedoman dalam merumuskan soal yang dikehendaki. Kegiatan perumusan indikator soal merupakan bagian dari kegiatan penyusunan kisi-kisi. Untuk merumuskan indikator soal dengan tepat, guru harus memperhatikan materi yang akan diujikan, indikator pembelajaran, kompetensi dasar, dan standar kompetensi. Indikator soal yang baik dirumuskan secara singkat dan jelas. Syarat indikator soal yang baik : menggunakan kata kerja operasional (perilaku khusus) yang tepat, menggunakan satu kata kerja operasional untuk soal objektif, dan satu atau

lebih kata kerja operasional untuk soal uraian/tes perbuatan, dapat dibuatkan soal atau pengecohnya (untuk soal pilihan ganda).

Penulisan indikator soal yang lengkap mencakup A = *audience* (peserta didik) , B = *behaviour* (perilaku yang harus ditampilkan), C = *condition* (kondisi yang diberikan), dan D = *degree* (tingkatan yang diharapkan). Ada dua model penulisan indikator. Model pertama adalah menempatkan kondisinya di awal kalimat. Model pertama ini digunakan untuk soal yang disertai dengan dasar pernyataan (stimulus), misalnya berupa sebuah kalimat, paragraf, gambar, denah, grafik, kasus, atau lainnya, sedangkan model yang kedua adalah menempatkan peserta didik dan perilaku yang harus ditampilkan di awal kalimat. Model yang kedua ini digunakan untuk soal yang tidak disertai dengan dasar pertanyaan (stimulus).

2. Penyusunan Soal

Kegiatan penyusunan soal merupakan proses menterjemahkan kisi-kisi dalam bentuk operasional. Setiap butir tes akan menghasilkan informasi terhadap peserta didik selaku individu yang mengerjakan tes pada butir tertentu. Adapun keseluruhan butir tes yang terdiri atas sejumlah butir dalam suatu perangkat tes akan menghasilkan informasi hasil ujian. Untuk memperoleh hasil tes yang berkualitas diperlukan butir-butir yang baik dalam suatu perangkat tes sehingga dapat mengungkap kemampuan yang sebenarnya, bukan kemampuan yang semu dari peserta didik.

Penulisan butir soal merupakan penciptaan kreativitas yang menuntut kombinasi dari berbagai kemampuan yang dikembangkan melalui latihan, pengalaman, penguasaan bentuk tes, dan teknik penulisan bentuk tes. Bentuk tes yang digunakan dalam mengembangkan perangkat tes memiliki perbedaan atau ciri-ciri antara bentuk tes yang satu dengan yang lainnya.

Penyusunan soal sebagai perangkat tes untuk hasil belajar memiliki beberapa ketentuan sebagai berikut :

1. Perangkat tes hasil belajar harus dapat mengukur secara jelas hasil belajar berupa kompetensi yang telah ditetapkan sebelumnya dari kompetensi dasar.

2. Butir tes yang digunakan dalam perangkat ukur merupakan sampel yang representative dari populasi bahan ajar yang diikuti peserta didik dalam suatu pelajaran.
3. Bentuk tes dalam perangkat tes di buat bervariasi sehingga betul-betul cocok untuk mengukur hasil belajar yang dikehendaki. Mengukur hasil belajar keterampilan tidak menggunakan bentuk tes uraian yang jawabannya hanya menguraikan dan tidak mempraktikkan. Mengukur kemampuan menganalisis prinsip tidak cocok digunakan butir tes bentuk objektif karena tes ini hanya mengungkap pemahaman dan daya ingatan.
4. Penyusunan tes hasil belajar harus sesuai dengan kegunaan masing-masing tes (*placement test, formative test, summative test, dan diagnostic test*).
5. Tes hasil belajar harus memiliki reliabilitas yang dapat diandalkan dan valid.
6. Tes hasil belajar harus dapat dijadikan alat pengukur keberhasilan belajar dan alat untuk mencari informasi dalam memperbaiki hasil belajar

➤ **Bentuk Soal Aspek Kognitif**

Ada beberapa bentuk tes hasil belajar yang dapat digunakan untuk mengukur kemampuan peserta didik dalam bidang kognitif setelah mengikuti proses pembelajaran di sekolah. Pembagian bentuk tes berdasarkan jawaban yang diberikan peserta didik pada butir tes menurut Brown (1971) dibagi menjadi empat bagian, yaitu :

1. Bentuk memilih alternatif jawaban
Bentuk ini meminta peserta didik memilih salah satu jawaban yang paling benar diantara beberapa pilihan jawaban yang disediakan dalam butir tes.
2. Bentuk jawaban singkat
Butir tes ini meminta peserta didik memberikan jawaban dalam bentuk kalimat pendek, contoh butir tes melengkapi.
3. Bentuk karangan
Butir tes berupa pertanyaan atau perintah yang menghendaki jawaban terurai dari peserta didik berdasarkan materi pelajaran dan dari berbagai sumber.
4. Bentuk problem

Bentuk ini menghendaki peserta didik merumuskan lebih dahulu suatu prosedur yang akan digunakan, kemudian menerapkannya untuk penyelesaian problem yang dihadapi.

Secara garis besar, tes hasil belajar dalam bidang kognitif bentuk tertulis terbagi menjadi dua, yaitu tes berbentuk objektif dan tes bentuk uraian. Pembagian ini dipandang dari segi prosedur penskoran butir pada tes hasil belajar.

➤ **Bentuk Soal aspek Psikomotorik**

Sebagaimana dijelaskan di atas, bahwa bentuk tes penilaian hasil belajar psikomotorik berbeda dengan kognitif. Ada beberapa ahli yang menjelaskan cara menilai hasil belajar psikomotor. Ryan (1980) menjelaskan bahwa hasil belajar keterampilan dapat diukur melalui (1) pengamatan langsung dan penilaian tingkah laku peserta didik selama proses pembelajaran praktik berlangsung, (2) sesudah mengikuti pembelajaran, yaitu dengan jalan memberikan tes kepada peserta didik untuk mengukur pengetahuan, keterampilan, dan sikap, (3) beberapa waktu sesudah pembelajaran selesai dan kelak dalam lingkungan kerjanya. Sementara itu Leighbody (1968) berpendapat bahwa penilaian hasil belajar psikomotor mencakup: (1) kemampuan menggunakan alat dan sikap kerja, (2) kemampuan menganalisis suatu pekerjaan dan menyusun urutan pengerjaan, (3) kecepatan mengerjakan tugas, (4) kemampuan membaca gambar dan atau simbol, (5) keserasian bentuk dengan yang diharapkan dan atau ukuran yang telah ditentukan. Dari penjelasan di atas dapat dirangkum bahwa dalam penilaian hasil belajar psikomotor atau keterampilan harus mencakup persiapan, proses, dan produk. Penilaian dapat dilakukan pada saat proses berlangsung yaitu pada waktu peserta didik melakukan praktik, atau sesudah proses berlangsung dengan cara mengetes peserta didik.

Untuk melakukan pengukuran hasil belajar ranah psikomotor, ada dua hal yang perlu dilakukan oleh pendidik, yaitu membuat soal dan membuat perangkat/ instrumen untuk mengamati unjuk kerja peserta didik. Soal untuk hasil belajar ranah psikomotor dapat berupa lembar kerja, lembar tugas, perintah kerja, dan lembar eksperimen. Instrumen untuk mengamati unjuk kerja peserta didik dapat berupa lembar observasi atau portofolio. Lembar observasi

adalah lembar yang digunakan untuk mengobservasi keberadaan suatu benda atau kemunculan aspek-aspek keterampilan yang diamati. Lembar observasi dapat berbentuk daftar periksa/*check list* atau skala penilaian (*rating scale*). Daftar periksa berupa daftar pertanyaan atau pernyataan yang jawabannya tinggal memberi *check* (centang) pada jawaban yang sesuai dengan aspek yang diamati. Skala penilaian adalah lembar yang digunakan untuk menilai unjuk kerja peserta didik atau menilai kualitas pelaksanaan aspek-aspek keterampilan yang diamati dengan skala tertentu, misalnya skala 1 - 5. Portofolio adalah kumpulan pekerjaan peserta didik yang teratur dan berkesinambungan sehingga peningkatan kemampuan peserta didik dapat diketahui untuk menuju satu kompetensi tertentu.

Sama halnya dengan soal ranah kognitif, soal untuk penilaian ranah psikomotor juga harus mengacu pada standar kompetensi yang sudah dijabarkan menjadi kompetensi dasar. Setiap butir standar kompetensi dijabarkan minimal menjadi 2 kompetensi dasar, setiap butir kompetensi dasar dapat dijabarkan menjadi 2 indikator atau lebih, dan setiap indikator harus dapat dibuat butir soalnya. Indikator untuk soal psikomotor dapat mencakup lebih dari satu kata kerja operasional.

Selanjutnya, untuk menilai hasil belajar peserta didik pada soal ranah psikomotor perlu disiapkan lembar daftar periksa observasi, skala penilaian, atau portofolio. Tidak ada perbedaan mendasar antara konstruksi daftar periksa observasi dengan skala penilaian. Penyusunan kedua instrumen itu harus mengacu pada soal atau lembar perintah/lembar kerja/lembar tugas yang diberikan kepada peserta didik.

Berdasarkan pada soal atau lembar perintah/lembar tugas dibuat daftar periksa observasi atau skala penilaian. Pada umumnya, baik daftar periksa observasi maupun skala penilaian terdiri atas tiga bagian, yaitu: (1) persiapan, (2) pelaksanaan, dan (3) hasil.

Sebaiknya guru merancang secara tertulis sistem penilaian yang akan dilakukan selama satu semester. Rancangan penilaian ini sifatnya terbuka, sehingga peserta didik, guru lain, dan kepala sekolah dapat melihatnya. Langkah-langkah penulisan rancangan penilaian adalah:

1. Mencermati silabus yang sudah ada.

2. Menyusun rancangan sistem penilaian berdasarkan silabus yang telah disusun.

Selanjutnya, rancangan penilaian ini diinformasikan kepada peserta didik pada awal semester. Dengan demikian sistem penilaian yang dilakukan guru semakin sempurna atau semakin memenuhi prinsip –prinsip penilaian.

Langkah pertama yang harus dilakukan oleh penulis soal ranah psikomotor adalah mencermati kisi-kisi instrumen yang telah dibuat. Soal harus dijabarkan dari indikator dengan memperhatikan materi pembelajaran. Selanjutnya menyusun pedoman penskoran.

Pedoman penskoran dapat berupa daftar periksa observasi atau skala penilaian yang harus mengacu pada soal. Soal/lembar tugas/perintah kerja ini selanjutnya dijabarkan menjadi aspek-aspek keterampilan yang diamati. Berikut ini adalah langkah-langkahnya :

- a. Mencermati soal
- b. Mengidentifikasi aspek-aspek keterampilan kunci yang di harus diperlihatkan
- c. Mengidentifikasi aspek-aspek keterampilan dari setiap aspek keterampilan
- d. Menentukan jenis instrumen untuk mengamati kemampuan peserta didik, apakah daftar periksa observasi atau skala penilaian.
- e. Menuliskan aspek-aspek keterampilan dalam bentuk pertanyaan/ pernyataan ke dalam tabel
- f. Membaca kembali skala penilaian atau daftar periksa observasi untuk meyakinkan bahwa instrumen yang ditulisnya sudah tepat
- g. Meminta orang lain untuk membaca atau menelaah instrumen yang telah ditulis untuk meyakinkan bahwa instrumen itu mudah dipahami oleh orang lain.
- h. upaya penulis agar instrumen memiliki validitas isi tinggi,
- i. upaya penulis agar instrumen memiliki reliabilitas tinggi.

Tidak jauh berbeda dengan penilaian ranah kognitif, penilaian ranah psikomotor juga dimulai dengan pengukuran hasil belajar peserta didik. Perbedaan di antara keduanya adalah pengukuran hasil belajar ranah kognitif umumnya dilakukan dengan tes tertulis, sedangkan pengukuran hasil belajar ranah psikomotor menggunakan tes unjuk kerja atau tes perbuatan, yang disertai dengan rubric atau pedoman penskoran.

Kriteria atau rubrik adalah pedoman penilaian kinerja atau hasil kerja peserta didik. Dengan adanya kriteria, penilaian yang subjektif atau tidak adil dapat dihindari atau paling tidak dikurangi, guru menjadi lebih mudah menilai prestasi yang dapat dicapai peserta didik, dan peserta didik pun akan terdorong untuk mencapai prestasi sebaik-baiknya karena kriteria penilaiannya jelas. Rubrik terdiri atas dua hal yang saling berhubungan. Hal pertama adalah skor dan hal lainnya adalah kriteria yang harus dipenuhi untuk mencapai skor itu. Banyak sedikitnya gradasi skor (misal 5, 4, 3, 2, 1) tergantung pada jenis skala penilaian yang digunakan dan hakikat kinerja yang akan dinilai. Contoh rubrik dan penggunaannya pada lembar skala penilaian sebagai berikut. : Berilah centang (✓) di bawah skor 5 bila Anda anggap cara melakukan aspek keterampilan sangat tepat, skor 4 bila tepat, 3 bila agak tepat, 2 bila tidak tepat, dan skor 1 bila sangat tidak tepat untuk setiap aspek keterampilan di bawah ini!

Tampak dalam skala penilaian di atas bahwa penilai harus bekerja keras untuk menilai apakah aspek keterampilan yang muncul itu sangat tepat sehingga harus diberi skor 5, atau agak tepat sehingga skornya 3. Oleh karena itu, dalam menggunakan skala penilaian ini harus dilakukan secermat mungkin agar skor yang didapat menunjukkan kemampuan peserta didik yang sebenarnya. Sedikit berbeda dengan skala penilaian, skor yang ada di lembar daftar periksa observasi tidak banyak bervariasi, biasanya hanya dua pilihan, yaitu: ada atau “ya” dengan skor 1 dan “tidak” dengan skor 0. Kriteria (rubrik) dan penggunaannya pada daftar periksa observasi dapat dilihat pada contoh berikut : Berilah centang (✓) di bawah kata “ya” bila aspek keterampilan yang dinyatakan itu muncul dan benar, dan berilah centang di bawah kata “tidak” bila aspek keterampilan itu muncul tetapi tidak benar atau aspek itu tidak muncul sama sekali. Kata “ya” diberi skor 1, dan kata “tidak” diberi skor 0.

Hal pertama yang harus diperhatikan dalam melakukan penskoran adalah ada atau tidak adanya perbedaan bobot tiap-tiap aspek keterampilan yang ada dalam skala penilaian atau daftar periksa observasi. Apabila tidak ada perbedaan bobot maka penskorannya lebih mudah. Skor akhir sama dengan jumlah skor tiap-tiap butir penilaian. Selanjutnya untuk menginterpretasikan, hasil yang dicapai dibandingkan dengan acuan atau kriteria. Oleh karena pembelajaran ini menggunakan pendekatan belajar tuntas dan berbasis kompetensi maka acuan

yang digunakan untuk menginterpretasikan hasil penilaian kinerja dan hasil kerja peserta didik adalah acuan kriteria.

➤ **Bentuk Soal Aspek Afektif**

Menurut Popham (1995), ranah afektif menentukan keberhasilan belajar seseorang”. Jika seseorang tidak memiliki minat pada pelajaran tertentu, maka orang tersebut akan sulit untuk mencapai keberhasilan belajar secara optimal. Seseorang yang berminat dalam suatu mata pelajaran diharapkan akan mencapai hasil pembelajaran yang optimal. Oleh karena itu semua pendidik harus mampu membangkitkan minat semua peserta didik untuk mencapai kompetensi yang telah ditentukan. Selain itu ikatan emosional sering diperlukan untuk membangun semangat kebersamaan, semangat persatuan, semangat nasionalisme, rasa sosial, dan sebagainya. Untuk itu semua dalam merancang program pembelajaran, satuan pendidikan harus memperhatikan ranah afektif.

Berbeda dengan instrumen evaluasi domain kognitif dan psikomotor, instrumen evaluasi domain afektif perlu dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mengukur kemampuan yang berkenaan dengan perasaan, emosi, sikap/derajat penerimaan atau penolakan suatu objek. Menurut Krathwol, domain afektif meliputi lima tingkatan kawasan afektif yaitu kawasan yang berkaitan aspek-aspek emosional, seperti perasaan, minat, sikap, kepatuhan terhadap moral dan sebagainya, di dalamnya mencakup: penerimaan (*receiving/attending*), sambutan (*responding*), penilaian (*valuing*), pengorganisasian (*organization*), dan karakterisasi (*characterization*). Anderson (dalam Robert K. Gable), menyebutkan aspek-aspek afektif meliputi *attitude/sikap, self concept/self esteem, interest, value/beliefs as to what should be desired*”. Tujuan dilaksanakannya evaluasi hasil belajar afektif adalah untuk mengetahui capaian hasil belajar dalam hal penguasaan domain afektif dari kompetensi yang diharapkan dikuasai oleh setiap peserta didik setelah kegiatan pembelajaran berlangsung. Bahkan menurut Popham (1995), bahwa “ranah afektif menentukan keberhasilan belajar seseorang. Orang yang tidak memiliki minat pada matapelajaran tertentu sulit untuk mencapai keberhasilan belajar secara optimal’.

Adapun teknik pengukuran dan evaluasi belajar domain afektif lebih tepat dengan menggunakan teknik non testing. Teknik non testing adalah teknik evaluasi yang menggunakan instrumen bukan tes sebagai alat ukurnya. Yang termasuk teknik ini adalah observasi/pengamatan yang dapat berbentuk rating scale, anecdotal record atau rekaman, interview, questionnaire, dan inventori. Menurut Andersen (1980), ada dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur ranah afektif, yaitu metode observasi dan metode laporan diri.

Penggunaan metode observasi berdasarkan pada asumsi bahwa karakteristik afektif dapat dilihat dari perilaku atau perbuatan yang ditampilkan dan/atau reaksi psikologi. Menurut Andersen (1981:4) bahwa pemikiran atau perilaku harus memiliki dua kriteria untuk diklasifikasikan sebagai ranah afektif. Pertama, perilaku melibatkan perasaan dan emosi seseorang. Kedua, perilaku harus tipikal perilaku seseorang. Kriteria lain yang termasuk ranah afektif adalah intensitas, arah, dan target. Intensitas menyatakan derajat atau kekuatan dari perasaan. Beberapa perasaan lebih kuat dari yang lain, misalnya cinta lebih kuat dari senang atau suka. Sebagian orang kemungkinan memiliki perasaan yang lebih kuat dibanding yang lain. Arah perasaan berkaitan dengan orientasi positif atau negatif dari perasaan yang menunjukkan apakah perasaan itu baik atau buruk.

Penilaian domain afektif biasanya menggunakan skala penilaian. Skala penilaian adalah skala penilaian untuk mengukur penampilan atau perilaku orang lain oleh seseorang melalui pernyataan perilaku individu pada suatu kategori yang bermakna nilai. Kategori diberi rentangan, biasanya mulai dari yang tertinggi sampai terendah. Rentangan tersebut dapat berupa huruf, angka, kategori, misalnya tinggi, sedang, baik, kurang dan sebagainya.

Instrumen yang dapat digunakan untuk mengukur domain afektif, diantaranya dengan menggunakan skala sikap, observasi, angket, wawancara dan lain-lain. Dalam penelitian ini instrumen yang dikembangkan adalah skala sikap. Skala sikap biasanya digunakan untuk mengukur sikap seseorang terhadap objek tertentu. Hasilnya berupa kategori sikap, yakni mendukung (positif), menolak (negatif) dan netral. Skala sikap terdiri dari beberapa jenis, yaitu skala Likert, skala Guttman, skala Thurstone, skala Semantik Differensial, Rating Scale, observasi.

Secara teknis penilaian ranah afektif dilakukan melalui dua hal yaitu :

- a. laporan diri oleh siswa yang biasanya dilakukan dengan pengisian angket anonym.
- b. pengamatan sistematis oleh guru terhadap afektif siswa dan perlu lembar pengamatan.

Hal ini sesuai dengan apa yang disampaikan Anderson (1980), ada dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur ranah afektif yaitu metode observasi dan metode laporan diri. Penggunaan metode observasi didasarkan pada asumsi bahwa karakteristik afektif dapat dilihat dari perilaku atau perbuatan yang ditampilkan dan/atau reaksi psikologis seseorang. Metode laporan diri berasumsi bahwa yang mengetahui keadaan seseorang adalah dirinya sendiri. Namun, metode ini menuntut kejujuran dalam mengungkapkan karakteristik afektif diri sendiri.

Proses pengembangan penilaian aspek afektif adalah sebagai berikut :

1. Membuat kisi-kisi instrumen
2. Menulis instrumen
3. Menentukan skala pengukuran
4. Menentukan pedoman penskoran
5. Menelaah (validitas isi) instrumen
6. Melakukan ujicoba
7. Memperbaiki instrumen
8. Melaksanakan pengukuran
9. Menafsirkan hasil pengukuran.

Kemampuan yang diukur adalah :

1. Menerima (memperhatikan), meliputi kepekaan terhadap kondisi, gejala, kesadaran, kerelaan, mengarahkan perhatian
2. Merespon, meliputi merespon secara diam-diam, bersedia merespon, merasa puas dalam merespon, mematuhi peraturan.
3. Menghargai, meliputi menerima suatu nilai, mengutamakan suatu nilai, komitmen terhadap nilai
4. Mengorganisasi, meliputi mengkonseptualisasikan nilai, memahami hubungan abstrak, mengorganisasi system suatu nilai.

Karakteristik suatu nilai, meliputi falsafah hidup dan system nilai yang dianutnya. Contohnya mengamati tingkah laku siswa selama mengikuti proses belajar mengajar berlangsung.

Contoh pengukuran minat terhadap pelajaran dengan skala Thurstone

NO	Pernyataan	7	6	5	4	3	2	1
1	Saya senang belajar teknik perminyakan							
2	Pelajaran teknik perminyakan bermanfaat							
3	Saya berusaha hadir dalam proses pembelajaran							
4	Saya berusaha memiliki buku teknik perminyakan							
5	Pelajaran teknik perminyakan membosankan							

Contoh pengukuran sikap dengan menggunakan skala likert :

NO	Pernyataan	SS	S	N	TS	STS
1	Saya senang belajar teknik perminyakan					
2	Pelajaran teknik perminyakan bermanfaat					
3	Saya berusaha hadir dalam proses pembelajaran					
4	Saya berusaha memiliki buku teknik perminyakan					
5	Pelajaran teknik perminyakan membosankan					

➤ **Validitas dan reliabilitas Butir Soal**

Validitas berasal dari kata *validity* yang mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu alat ukur dalam melakukan fungsi ukurnya (Azwar 1986). Suatu skala atau instrumen pengukur dapat dikatakan mempunyai validitas yang tinggi apabila instrumen tersebut menjalankan fungsi ukurnya, atau memberikan hasil ukur yang sesuai dengan maksud dilakukannya pengukuran tersebut. Sedangkan tes yang memiliki validitas rendah akan menghasilkan data yang tidak relevan dengan tujuan pengukuran.

Validitas tes biasa juga disebut sebagai kesahihan suatu tes adalah mengacu pada kemampuan suatu tes untuk mengukur karakteristik atau dimensi yang dimaksudkan untuk diukur. Sedangkan reliabilitas atau biasa juga disebut sebagai kehandalan suatu tes mengacu pada derajat suatu tes yang mampu mengukur berbagai atribut secara konsisten (Brennan, 2006). Konstruksi tes yang baik harus memenuhi kedua syarat tersebut, sehingga tes itu mampu memberikan gambaran yang sebenarnya terhadap kondisi *testee* (siswa) yang diuji.

Sifat valid diperlihatkan oleh tingginya validitas hasil ukur suatu tes. Suatu alat ukur yang tidak valid akan memberikan informasi yang keliru mengenai keadaan subjek atau individu yang dikenai tes itu. Apabila informasi yang keliru itu dengan sadar atau tidak dengan sadar digunakan sebagai dasar pertimbangan dalam pengambilan suatu keputusan, maka keputusan itu tentu bukan merupakan suatu keputusan yang tepat.

Pengertian validitas juga sangat erat berkaitan dengan tujuan pengukuran. Oleh karena itu, tidak ada validitas yang berlaku umum untuk semua tujuan pengukuran. Suatu alat ukur biasanya hanya merupakan ukuran yang valid untuk satu tujuan yang spesifik. Dengan demikian, anggapan valid seperti dinyatakan dalam "alat ukur ini valid" adalah kurang lengkap. Pernyataan valid tersebut harus diikuti oleh keterangan yang menunjuk kepada tujuan (yaitu valid untuk mengukur apa), serta valid bagi kelompok subjek yang mana? Istilah validitas ternyata memiliki keragaman kategori. Ebel (dalam Nazir 1988) membagi validitas menjadi *concurrent validity*, *construct validity*, *face validity*, *factorial validity*, *empirical validity*, *intrinsic validity*, *predictive validity*, *content validity*, dan *curricular validity*.

- ♣ *Concurrent Validity* adalah validitas yang berkenaan dengan hubungan antara skor dengan kinerja.
- ♣ *Construct Validity* adalah validitas yang berkenaan dengan kualitas aspek psikologis apa yang diukur oleh suatu pengukuran serta terdapat evaluasi bahwa suatu konstruk tertentu dapat menyebabkan kinerja yang baik dalam pengukuran.
- ♣ *Face Validity* adalah validitas yang berhubungan apa yang nampak dalam mengukur sesuatu dan bukan terhadap apa yang seharusnya hendak diukur.
- ♣ *Factorial Validity* dari sebuah alat ukur adalah korelasi antara alat ukur dengan faktor-faktor yang bersamaan dalam suatu kelompok atau ukuran-ukuran perilaku lainnya, dimana validitas ini diperoleh dengan menggunakan teknik analisis faktor.
- ♣ *Empirical Validity* adalah validitas yang berkenaan dengan hubungan antara skor dengan suatu kriteria. Kriteria tersebut adalah ukuran yang bebas dan langsung dengan apa yang ingin diramalkan oleh pengukuran.
- ♣ *Intrinsic Validity* adalah validitas yang berkenaan dengan penggunaan teknik uji coba untuk memperoleh bukti kuantitatif dan objektif untuk mendukung bahwa suatu alat ukur benar-benar mengukur apa yang seharusnya diukur.
- ♣ *Predictive Validity* adalah validitas yang berkenaan dengan hubungan antara skor suatu alat ukur dengan kinerja seseorang di masa mendatang.
- ♣ *Content Validity* adalah validitas yang berkenaan dengan baik buruknya sampling dari suatu populasi.
- ♣ *Curricular Validity* adalah validitas yang ditentukan dengan cara menilik isi dari pengukuran dan menilai seberapa jauh pengukuran tersebut merupakan alat ukur yang benar-benar mengukur aspek-aspek sesuai dengan tujuan instruksional.

Sementara itu, Kerlinger (1990) membagi validitas menjadi tiga yaitu *content validity* (validitas isi), *construct validity* (validitas konstruk), dan *criterion-related validity* (validitas berdasar kriteria). Semua jenis kesahihan harus diperhatikan untuk semua jenis tes, hanya penekanan yang berbeda. Tes psikologi menekankan pada konstruksi tes, tes pencapaian belajar menekankan pada kesahihan isi, sedangkan tes seleksi menekankan pada kesahihan kriteria, terutama pada kesahihan prediktif.

Pada pembahasan ini, akan dititik beratkan pada validitas isi, karena akan berbicara tentang tes hasil belajar. Validitas isi merupakan validitas yang diperhitungkan melalui pengujian terhadap isi alat ukur dengan analisis rasional. Pertanyaan yang dicari jawabannya dalam validasi ini adalah "sejauhmana item-item dalam suatu alat ukur mencakup keseluruhan kawasan isi objek yang hendak diukur oleh alat ukur yang bersangkutan?" atau berhubungan dengan representasi dari keseluruhan kawasan. Pengertian "mencakup keseluruhan kawasan isi" tidak saja menunjukkan bahwa alat ukur tersebut harus komprehensif isinya akan tetapi harus pula memuat hanya isi yang relevan dan tidak keluar dari batasan tujuan ukur.

Walaupun isi atau kandungannya komprehensif tetapi bila suatu alat ukur mengikutsertakan pula item-item yang tidak relevan dan berkaitan dengan hal-hal di luar tujuan ukurnya, maka validitas alat ukur tersebut tidak dapat dikatakan memenuhi ciri validitas yang sesungguhnya.

Apakah validitas isi sebagaimana dimaksudkan itu telah dicapai oleh alat ukur, sebanyak tergantung pada penilaian subjektif individu. Dikarenakan estimasi validitas ini tidak melibatkan komputasi statistik, melainkan hanya dengan analisis rasional maka tidak diharapkan bahwa setiap orang akan sependapat dan sepaham dengan sejauhmana validitas isi suatu alat ukur telah tercapai.

Selanjutnya, validitas isi ini terbagi lagi menjadi dua tipe, yaitu *face validity* (validitas muka) dan *logical validity* (validitas logis). *Face Validity* (Validitas Muka). Validitas muka adalah tipe validitas yang paling rendah signifikasinya karena hanya didasarkan pada penilaian selintas mengenai isi alat ukur. Apabila isi alat ukur telah tampak sesuai dengan apa yang ingin diukur maka dapat dikatakan validitas muka telah terpenuhi.

Dengan alasan kepraktisan, banyak alat ukur yang pemakaiannya terbatas hanya mengandalkan validitas muka. Alat ukur atau instrumen psikologi pada umumnya tidak dapat menggantungkan kualitasnya hanya pada validitas muka. Pada alat ukur psikologis yang fungsi pengukurannya memiliki sifat menentukan, seperti alat ukur untuk seleksi karyawan atau alat ukur pengungkap kepribadian (asesmen), dituntut untuk dapat membuktikan validitasnya yang kuat.

Logical Validity (Validitas Logis). Validitas logis disebut juga sebagai validitas sampling (*sampling validity*). Validitas tipe ini menunjuk pada sejauhmana isi alat ukur merupakan representasi dari aspek yang hendak diukur. Untuk memperoleh validitas logis yang tinggi suatu alat ukur harus dirancang sedemikian rupa sehingga benar-benar berisi hanya item yang relevan dan perlu menjadi bagian alat ukur secara keseluruhan. Suatu objek ukur yang hendak diungkap oleh alat ukur hendaknya harus dibatasi lebih dahulu kawasan perilakunya secara seksama dan konkrit. Batasan perilaku yang kurang jelas akan menyebabkan terikatnya item-item yang tidak relevan dan tertinggalnya bagian penting dari objek ukur yang seharusnya masuk sebagai bagian dari alat ukur yang bersangkutan. Validitas logis memang sangat penting peranannya dalam penyusunan tes prestasi dan penyusunan skala, yaitu dengan memanfaatkan *blue-print* atau tabel spesifikasi.

Bila skor pada tes diberi lambang x dan skor pada kriterianya mempunyai lambang y maka koefisien antara tes dan kriteria itu adalah r_{xy} inilah yang digunakan untuk menyatakan tinggi-rendahnya validitas suatu alat ukur.

Pengukuran validitas sebenarnya dilakukan untuk mengetahui seberapa besar (dalam arti kuantitatif) suatu aspek psikologis terdapat dalam diri seseorang, yang dinyatakan oleh skor pada instrumen pengukur yang bersangkutan.

Koefisien validitas pun hanya punya makna apabila apalagi mempunyai harga yang positif. Walaupun semakin tinggi mendekati angka 1 berarti suatu tes semakin valid hasil ukurnya, namun dalam kenyataanya suatu koefisien validitas tidak akan pernah mencapai angka maksimal atau mendekati angka 1. Bahkan suatu koefisien validitas yang tinggi adalah lebih sulit untuk dicapai daripada koefisien reliabilitas. Tidak semua pendekatan dan estimasi terhadap validitas tes akan menghasilkan suatu koefisien. Koefisien validitas diperoleh hanya dari komputasi statistika secara empiris antara skor tes dengan skor kriteria yang besarnya disimbolkan oleh r_{xy} tersebut. Pada pendekatan-pendekatan tertentu tidak dihasilkan suatu koefisien akan tetapi diperoleh indikasi validitas yang lain.

Menurut Suryabrata (2000), bahwa untuk mengetahui validitas isi dari sebuah instrumen dapat digunakan validasi dari pendapat ahli (*profesional judgment*). Koefisien validasi isi dapat dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif oleh beberapa orang pakar (Gregory, 2000 dalam Koyan, 2002). Untuk

menentukan koefisien validitas isi, hasil penilaian dari kedua pakar dimasukkan ke dalam tabulasi silang 2 X 2 yang terdiri dari kolom A, B, C, dan D. Kolom A adalah sel yang menunjukkan ketidaksetujuan kedua penilai. Kolom B dan C adalah sel yang menunjukkan perbedaan pandangan antara penilai pertama dan kedua (penilai pertama setuju penilai kedua tidak setuju, atau sebaliknya). Kolom D adalah sel yang menunjukkan persetujuan antara kedua penilai. Validitas isi adalah banyaknya butir soal pada kolom D dibagi dengan banyaknya butir soal kolom A + B + C + D.

Setelah butir soal divalidasi oleh dua penilai, selanjutnya dianalisis dengan menggunakan perhitungan menurut Gregory seperti pada tabel berikut.

Tabel Matrik Uji Gregory

Judges	Judges I		
	Penilaian Judges	Kurang Relevan	Sangat Relevan
Judges II	Kurang Relevan	A (- -)	B (+ -)
	Sangat Relevan	C (- +)	D (+ +)

Dari tabel di atas dapat dicari validitas konten (*Content Validity*) dengan menggunakan rumus Gregory :

$$VC = D/A+B+C+D$$

Keterangan : VC = Validitas Konten

D = Kedua Judges setuju

A. = Kedua Judges tidak setuju

B. = Judges I setuju, Judges II tidak setuju

C. = Judges I tidak setuju, Judges II setuju

Kriteria Validitas Konten :

a. 0,80 - 1,00 = Sangat tinggi

b. 0,60 - 0,79 = Tinggi

c. 0,40 - 0,59 = Sedang

d. 0,20 - 0,39 = Rendah

e. 0,00 - 0,19 = Sangat rendah

Sebagai dasar penilaian terhadap isi sebuah tes, maka berikut diuraikan kaidah penulisan soal.

Aspek Materi

1. Soal harus sesuai dengan Indikator.

2. Pengecoh berfungsi.
3. Setiap soal harus mempunyai satu jawaban yang benar atau yang paling benar.

Aspek Konstruksi

1. Pokok soal harus dirumuskan secara jelas dan tegas.
 2. Rumusan pokok soal dan pilihan jawaban harus merupakan pernyataan yang diperlukan saja.
 3. Pokok soal jangan memberi petunjuk ke arah jawaban benar.
 4. Pokok soal jangan mengandung pernyataan negatif ganda.
 5. Pilihan jawaban harus homogen dan logis ditinjau dari segi materi.
 6. Panjang rumusan pilihan jawaban harus relatif sama.
 7. Pilihan jawaban jangan mengandung pernyataan, "Semua pilihan jawaban di atas salah".
 8. Pilihan jawaban yang berbentuk angka atau waktu harus disusun berdasarkan urutan besar kecilnya nilai angka tersebut, atau kronologis waktunya.
 9. Gambar, grafik, tabel, diagram, dan sejenisnya yang terdapat pada soal harus jelas dan berfungsi.
 10. Butir soal jangan bergantung pada jawaban soal sebelumnya.
- Ketergantungan pada soal sebelumnya

Aspek Bahasa

1. Setiap soal harus menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia.
2. Menggunakan bahasa yang komunikatif, sehingga mudah dimengerti.
3. Jangan menggunakan bahasa yang berlaku setempat.
4. Pilihan jawaban jangan mengulang kata atau frase yang bukan merupakan satu kesatuan pengertian.

Dalam hal pengukuran ilmu sosial, validitas yang ideal tidaklah mudah untuk dapat dicapai. Pengukuran aspek-aspek psikologis dan sosial mengandung lebih banyak sumber kesalahan (*error*) daripada pengukuran aspek fisik. Kita tidak pernah dapat yakin bahwa validitas instrinsik telah terpenuhi dikarenakan kita tidak dapat membuktikannya secara empiris dengan langsung.

Pengertian validitas alat ukur tidaklah berlaku umum untuk semua tujuan ukur. Suatu alat ukur menghasilkan ukuran yang valid hanya bagi satu tujuan ukur tertentu saja. Tidak ada alat ukur yang dapat menghasilkan ukuran yang valid bagi berbagai tujuan ukur. Oleh karena itu, pernyataan seperti "alat ukur ini valid" belumlah lengkap apabila tidak diikuti oleh keterangan yang menunjukkan kepada tujuannya, yaitu valid untuk apa dan valid bagi siapa. Itulah yang ditekankan oleh Cronbach (dalam Azwar 1986) bahwa dalam proses validasi sebenarnya kita tidak bertujuan untuk melakukan validasi alat ukur akan tetapi melakukan validasi terhadap interpretasi data yang diperoleh oleh prosedur tertentu.

Dengan demikian, walaupun kita terbiasa melekatkan predikat valid bagi suatu alat ukur akan tetapi hendaklah selalu kita pahami bahwa sebenarnya validitas menyangkut masalah hasil ukur bukan masalah alat ukurnya sendiri. Sebutan validitas alat ukur hendaklah diartikan sebagai validitas hasil pengukuran yang diperoleh oleh alat ukur tersebut.

Atas alasan tersebut di atas, maka uji validitas perlu dilakukan dengan uji coba langsung kepada testee. Setelah uji empirik dilakukan, maka hasilnya dilakukan analisis butir meliputi uji validitas.

Validitas butir dicari dengan mengkorelasikan skor butir dengan skor total. Rumus yang digunakan adalah korelasi produk moment dengan rumus :

$$r_{iy} = \frac{n (\sum X_i Y) - (\sum X_i) (\sum Y)}{\sqrt{(n \sum X_{1i}^2 - (\sum X_i)^2) (n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

Keterangan :

X = Skor butir

Y = Skor total

n = banyaknya responden (Arikunto, 2001)

Kriteria yang digunakan adalah dengan membandingkan harga r_{xy} dengan harga tabel kritik r *product moment*, dengan ketentuan r_{xy} dikatakan valid apabila $r_{xy} > r_{tabel}$ pada $ts = 0,05$. Namun dalam analisis menggunakan program microsoft

excel telah tersedia fungsi korelasi. Sehingga dalam uji ini digunakan rumus korelasi pada program microsoft excel.

Reliabilitas

Suatu alat ukur dikatakan reliabel jika alat ukur tersebut menunjukkan sejauh mana hasil pengukuran dengan alat tersebut dapat dipercaya. Hal ini ditunjukkan oleh taraf keajegan (konsistensi) skor yang diperoleh oleh para subjek yang diukur dengan alat yang sama, atau diukur dengan alat yang setara pada kondisi yang berbeda. Dalam artinya yang paling luas, reliabilitas alat ukur menunjuk kepada sejauh mana perbedaan-perbedaan skor perolehan itu mencerminkan perbedaan-perbedaan atribut yang sebenarnya.

Reliabilitas alat ukur yang juga menunjukkan derajat kekeliruan pengukuran tak dapat ditentukan dengan pasti, melainkan hanya dapat diestimasi. Ada tiga pendekatan dalam mengestimasi reliabilitas alat ukur itu, yaitu:

1. Pendekatan tes ulang / *Test-Retest Method*: Suatu perangkat tes diberikan kepada sekelompok subjek 2x, dengan selang waktu tertentu, misalkan 2 minggu. Reliabilitas tes dicari dengan menghitung korelasi antara skor pada testing 1 dan skor pada testing 2. Pendekatan ini secara teori baik, namun didalam praktek mengandung kelemahan, yaitu bahwa kondisi subjek pada testing 2 tidak lagi sama dengan kondisi subjek pada testing 1, karena terjadinya proses belajar, pengalaman, perubahan motivasi, dll. Oleh karena itu pendekatan ini sudah sangat jarang dipakai. Pendekatan ini sangat sesuai kalau yang dijadikan objek pengukuran adalah ketrampilan, terutama ketrampilan fisik.
2. Pendekatan dengan tes paralel / *Parallel Form Method*: Dua perangkat tes yang paralel, misalnya perangkat A dan B diberikan kepada sekelompok subjek. Reliabilitas tes dicari dengan menghitung korelasi antara skor pada perangkat A dan skor pada perangkat B. Keterbatasan utama pendekatan ini terletak pada sulitnya menyusun 2 perangkat tes yang paralel. Pendekatan inipun sudah jarang digunakan.
3. Pendekatan pengukuran satu kali / *Single Trial Method*: Seperangkat tes diberikan kepada sekelompok subjek satu kali, lalu dengan cara tertentu dihitung estimasi reliabilitas tes tersebut. Pendekatan pengukuran satu kali ini

menghasilkan informasi mengenai keajegan (konsistensi) internal alat ukur. Pendekatan pengukuran satu kali ini dapat menghindarkan diri dari kesulitan yang timbul dari pendekatan dengan pengukuran ulang maupun pendekatan tes paralel, oleh karena itu pendekatan ini banyak digunakan. Yang menggunakan pendekatan pengukuran satu kali:

- a. Spearman-Brown: Jumlah butir dibelah menjadi 2 dan dicari nilai r_{xx} -nya. Jumlah butir dapat dibelah kiri dan kanan, angka ganjil dan genap maupun dengan cara random / acak. Bila nilai r_{xx} -nya > 0.8 maka dianggap reliabel.
- b. Rulon: Menghitung dengan melihat selisih belahan satu dengan belahan yang lain, bukan dilihat dari belahannya. Bila nilai r_{xx} -nya > 0.8 maka dianggap reliabel.
- c. Alpha Cronbach: Alpha membagi jumlah butir dengan berapapun asal sama rata, tidak seperti Spearman-Brown dan Rulon yang tidak dapat membagi dua angka ganjil menjadi sama rata seperti misalnya angka 15, Alpha bisa membagi menjadi: 5, 5 dan 5. Bila nilai Alpha-nya > 0.8 maka dianggap reliabel.
- d. Anava Hoyt: Membagi jumlah butir sebesar jumlah butirnya, jadi dapat dibagi berapapun, tidak seperti Alpha yang tidak dapat membagi jumlah butir yang nilainya imajiner, misalnya 19. Tapi Alpha akhirnya mengeluarkan rumus baru yang dapat membagi jumlah butir sebesar jumlah butirnya juga. Dan Anava Hoyt dan Alpha yang paling banyak digunakan dalam perhitungan reliabilitas sampai saat ini. Bila nilai r_{tt} -nya > 0.8 maka dianggap reliabel.
- e. KR20: Kuder Richardson mengeluarkan rumus perbaikan tetapi KR20 juga jarang dipakai karena KR20 hanya dapat digunakan pada data dikotomi (pilihan ya dan tidak / 0 dan 1) tidak seperti diatas, yang bisa menghitung data dikotomi dan kontinu. Bila nilai KR20-nya > 0.8 maka dianggap reliabel.

Tapi ada pendapat lain yang mengatakan bahwa suatu alat tes bukan dilihat dari r_{tt} -nya tapi dilihat dari seberapa besar penyimpangan dari alat ukur tersebut (*Standart Error Measurement / SEM / SE*). Semakin kecil nilai penyimpangannya maka alat ukur tersebut semakin baik.

Dengan adanya kemajuan teknologi dan adanya program-program komputer yang menangani tentang statistik, kita tidak perlu lagi menghitung secara manual, kita bisa menggunakan program SPSS atau menggunakan program SPS.

Reliabilitas menyangkut derajat konsistensi atau kesepakatan antara dua perangkat skor yang diturunkan secara independen sehingga dapat diungkap dengan istilah koefisien korelasi. Dalam uji empiric ini digunakan koefisien alfa hasil penurunan rumus yang dilakukan oleh Cronbach yakni :

$$r_{11} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_b^2}{\sum \sigma_t^2} \right)$$

Dimana :

r_{tt} adalah koefisien reliabilitas seluruh tes

n adalah jumlah soal dalam tes

$\sum \sigma_b^2$ adalah varian skor tes ke i

$\sum \sigma_t^2$ adalah varian skor-skor total pada tes

D. Aktivitas Pembelajaran

Bagilah kelas anda menjadi beberapa kelompok berdasarkan karakteristik teknik perminyakan. Silahkan berdiskusi dengan kelompok anda dengan instruksi sebagai berikut :

1. Susunlah soal (instrumen) berbentuk pilihan ganda sebanyak 40 item sesuai dengan kisi-kisi soal yang telah anda buat dan jangan melupakan prinsip dari kaidah penulisan soal untuk tes Pilihan berganda.
2. Lakukanlah uji coba terhadap butir soal tersebut, dan lakukan analisis validitas dan reliabilitasnya.

Petunjuk :

Gunakanlah format di bawah ini untuk membantu melakukan analisis validitas dan reliabilitas .

No. Siswa	No. Butir Soal										Σy	$(\Sigma y)^2$
	1	2	3	4	5	...	...	...	...	40		
1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0		
2	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1		
3	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1		
4	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1		
5	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1		
6	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1		
7	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1		
8	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1		
9	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1		
10	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1		
Σx												
Σxy												
r												

E. Latihan/Kasus/Tugas

Bagilah kelas anda menjadi beberapa kelompok berdasarkan jenis mata pelajaran yang diampu. Silahkan berdiskusi dengan kelompok anda dengan instruksi sebagai berikut :

- Berdasarkan perilaku-prilaku yang sudah anda tentukan, buatlah penyebaran soal sesuai dengan format yang ada pada uraian materi .
- Sesuai dengan penyebaran soal, susunlah kisi-kisi soal yang bertujuan untuk mengukur pencapaian kompetensi (prestasi hasil belajar).
- Mengapa guru harus melakukan ujicoba terhadap butir soal yang telah disusun?
- Masing-masing kelompok akan mempresentasikan hasil diskusinya.

F. Rangkuman

Kisi-kisi adalah suatu format atau matriks berisi informasi yang dapat dijadikan petunjuk teknis dalam menulis soal atau merakit soal menjadi alat tes/evaluasi. Kisi-kisi disusun berdasarkan tujuan evaluasi. Penyusunan kisi-kisi merupakan langkah penting yang harus dilakukan sebelum penulisan soal, tanpa adanya indikator dalam kisi-kisi tidak dapat diketahui arah dan tujuan setiap butir soal. Kisi-kisi soal yang baik harus memenuhi persyaratan tertentu, antara lain :

1. Representatif, yaitu harus betul-betul mewakili isi kurikulum atau materi yang telah diajarkan secara tepat dan proporsional.
2. Komponen-komponennya harus terurai/rinci, jelas, dan mudah dipahami.
3. Soalnya dapat dibuat sesuai dengan indikator dan bentuk soal yang ditetapkan.

Formula yang digunakan untuk menghitung validitas adalah rumus Pearson correlation, yakni:

$$r_{YX} = \frac{n(\sum X_i Y_i) - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{(n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2)(n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2)}}$$

Nilai r_i berkisar antara -1 dan 1

Butir soal dikatakan valid apabila memiliki nilai korelasi yang lebih besar dari nilai tabel.

Rumus untuk menghitung koefisien reliabilitas tes adalah cronbach alpha, yakni:

$$r_{11} = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_b^2}{\sum \sigma_t^2} \right)$$

Koefisien Reliabilitas tes yang lebih besar dari 0,50 adalah reliable

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

1. Tulislah apa yang sudah Anda ketahui dari materi ini !
2. Apakah materi ini bermanfaat untuk membantu tugas Anda sebagai guru?
3. Materi apa yang masih diperlukan untuk membantu tugas Anda berkaitan dengan kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi hasil belajar?

4. Adakah saran/komentar Anda berkaitan dengan kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi hasil belajar ?

H. Evaluasi

1. Untuk memudahkan guru dalam penyusunan tes maka diperlukan ...
 - a. Analisis silabus
 - b. Kisi-kisi soal
 - c. Indikator
 - d. Kompetensi dasar
2. Kompetensi dasar harus memiliki nilai terapan tinggi dalam pekerjaan di dunia usaha atau kehidupan sehari-hari. Pernyataan ini menunjukkan bahwa kompetensi dasar tersebut memiliki kriteria ...
 - a. Keterpakian
 - b. Urgenitas
 - c. Relevansi
 - d. Kontinuitas
3. Perhatikanlah pernyataan-pernyataan di bawah ini :
 1. Membuat daftar kompetensi dasar yang akan di uji
 2. Menganalisis silabus
 3. Menentukan indicator
 4. Menganalisis materi
 5. Menentukan jenis tagihan, bentuk dan jumlah butir soal
 6. Menentukan kompetensi dasar yang akan diujiManakah yang merupakan langkah-langkah dalam mengembangkan kisi-kisi soal?
 - a. 1, 2, dan 3
 - b. 2, 3, dan 4
 - c. 3, 4, dan 5
 - d. 3, 5, dan 6
4. Manakah pernyataan di bawah ini yang merupakan syarat kisi-kisi yang baik?
 1. Mewakili isi kurikulum/kemampuan yang diuji
 2. Komponen-komponen rinci, jelas dan mudah dipahami
 3. Memiliki petunjuk umum tentang pelaksanaan tes
 4. Soal-soalnya dapat dibuat berdasarkan indicator
 5. Memiliki jenis tagihan, bentuk dan jumlah butir soal.
 - a. 1, 2, dan 3
 - b. 2, 3, dan 4

- c. 1, 3, dan 5
 - d. 1, 2, dan 4
5. Pertimbangan yang harus diperhatikan seorang guru dalam menentukan penyebaran soal adalah ...
- a. Karakteristik dari kompetensi dasar
 - b. Karakteristik dari kompetensi inti
 - c. Karakteristik dari materi ajar
 - d. Karakteristik dari silabus
6. Proses menterjemahkan kisi-kisi dalam bentuk operasional merupakan ...
- a. Kegiatan analisis tingkat kesulitan
 - b. Kegiatan identifikasi kompetensi dasar
 - c. Kegiatan penyusunan soal
 - d. Kegiatan indentifikasi indikator
7. Tes hasil belajar aspek kognitif berbentuk ...
- a. Tertulis
 - b. Lisan
 - c. Essay
 - d. Objektif
8. Bentuk soal aspek psikomotorik adalah untuk mengamati ...
- a. Proses pembelajaran
 - b. Produk pembelajaran
 - c. Persiapan pembelajaran
 - d. Unjuk kerja
9. Teknik pengukuran dan evaluasi belajar ranah afektif lebih tepat menggunakan ...
- a. Teknik tes
 - b. Non tes
 - c. unjuk kerja
 - d. Portofolio
10. Sebuah tes dikatakan valid jika ia ...
- a. Dapat dipercaya
 - b. Memiliki skor yang relative sama meskipun dilakukan berulang-ulang

- c. Memang mengukur apa yang seharusnya diukur
- d. Memberikan peluang untuk menjawab benar

I. Kunci Jawaban

- 1. B
- 2. A
- 3. D
- 4. D
- 5. A
- 6. C
- 7. A
- 8. D
- 9. B
- 10. C

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin & Zainal. 2009. *Evaluasi Pembelajaran*, Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Budi Susetyo. 2015. *Prosedur Penyusunan & Analisis Tes untuk Penilaian Hasil Belajar Bidang Kognitif*. Bandung : Rafika Aditama
- Daryanto. 2008. *Evaluasi Pendidikan*, Jakarta: Rineka Cipta.
- Kumaidi. 2008. *Konstruksi Instrumen*. Bahan Kuliah Pascasarjana UNY. Unpublished.
- Koyan, I Wayan. 2004. *Konsep Dasar dan Teknik Evaluasi Hasil Belajar*. Singaraja : IKIP Negeri Singaraja
- Mimin. 2009. *Model Dan Teknik Penilaian Pada Tingkat Satuan Pendidikan*. Jakarta: Gaung Persada Press.
- Muri Yusuf. 2015. *Asesmen dan Evaluasi Pendidikan*. Jakarta : Prenadamedia
- Majid, Abdul. 2011. *Perencanaan Pembelajaran*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- Purwanto, *Evaluasi hasil Belajar*, Yogyakarta: pustaka pelajar, 2009 Haryati.

BAB III

KOMPETENSI PROFESIONAL

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

MODELLING KONSTRUKSI BAJA DENGAN SOFTWARE

A. TUJUAN

Tujuan dari Kegiatan Pembelajaran 1 ini adalah agar Guru Mata Pelajaran mampu Merencanakan Konstruksi Baja dengan menggunakan Perangkat Lunak (*Software*)

B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI

Indikator Pencapaian Kompetensi dari kegiatan pembelajaran 1 ini adalah Merencanakan Konstruksi Baja dengan menggunakan perangkat lunak (*software*)

C. URAIAN MATERI

a. Pemodelan Struktur Dengan Komputer

i. Konsep Dasar

Komputer menurut wikipedia adalah adalah alat yang dipakai untuk mengolah data menurut prosedur yang telah dirumuskan. Kata komputer pada awalnya dipergunakan untuk menggambarkan orang yang perkerjaannya melakukan perhitungan aritmatika, dengan atau tanpa alat bantu, tetapi arti kata ini kemudian dipindahkan kepada mesin itu sendiri. Terkait dengan bidang rekayasa di bidang struktur, fungsi utama komputer adalah melakukan perhitungan struktur. Pada awalnya komputer hanya membantu *engineer* menyelesaikan perhitungan struktur berdasarkan metode perhitungan manual yang telah dibuat. Namun pada perkembangannya, komputer tidak hanya mampu menghitung namun juga

membantu proses kerja *engineer* mulai dari membuat model perhitungan, sampai menggambarkan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan.

ii. Prinsip Dasar dan Kategori Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur menurut Dewobroto, 2013 adalah proses penyiapan data – data numerik yang dianggap mewakili struktur yang sebenarnya, dan dipakai sebagai input data bagi program komputer rekayasa (SAP2000 dan sejenis). Jadi dalam hal tersebut, yang diproses hanyalah model dari struktur; dan bukan objek struktur *real* yang sebenarnya. Jika model yang dibuat, meskipun secara geometri atau fisiknya terlihat mirip, tetapi ternyata perilaku internalnya tidak sesuai dengan kenyataan lapangan, maka meskipun memakai komputer yang canggih sekalipun, hasilnya tidak dapat digunakan. Suatu pekerjaan yang sia – sia. Jadi dapat mengetahui, apakah model yang dipilih sudah benar atau belum, adalah sangat penting dibanding proses analisis komputer itu sendiri.

Kondisi struktur di lapangan dapat berbentuk apa saja. Untuk dapat mengidentifikasi dan memodelkan struktur tersebut maka harus dibuat kategori yang sesuai. Dari sisi geometri, maka model struktur dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Struktur garis / 1 D; biasanya dipakai untuk pemodelan balok dan kolom;
2. Struktur permukaan / 2 D; biasanya dipakai untuk pemodelan pelat lantai, dinding, dan pelat cangkang;
3. Struktur pejal / solid / 3D; biasanya dipakai untuk pemodelan struktur yang memerlukan analisa elemen 3D.

Pada bidang struktur, pemodelan yang cukup dominan dipakai adalah struktur garis, umumnya disebut dengan struktur rangka (*frame*).

iii. Pemodelan Struktur Garis Rangka Batang

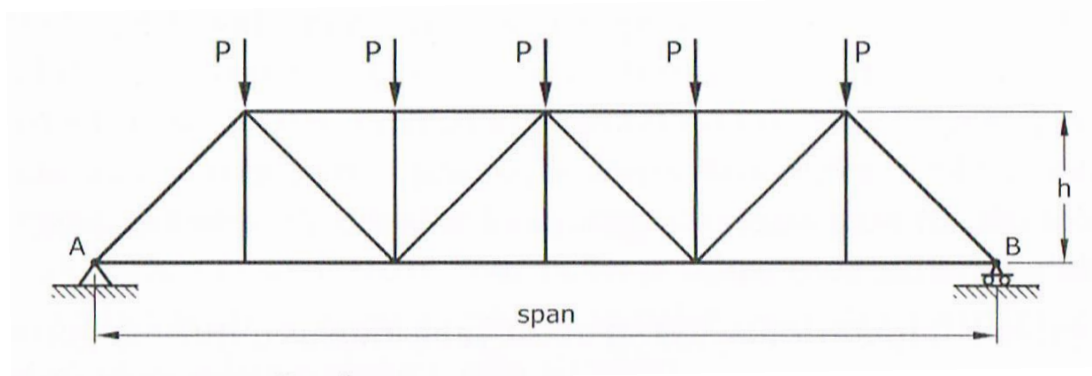
Pemodelan Struktur Garis

Penyelesaian analisa struktur dengan pemodelan "struktur garis" relatif sederhana, sehingga banyak dijadikan pilihan dibandingkan pemodel

struktur yang lain. Oleh karena itu, metode penyelesaian pemodelan "struktur garis" mendominasi materi pembelajaran di tingkat perguruan tinggi. Metode – metode yang umumnya dikenal adalah cremona, clayperon, cross, slope – deflection, kani, takabeya, semuanya didedikasikan untuk itu. Oleh karena itu, menggali kompetensi "rekayasa struktur berbasis komputer" pada pemodelan struktur garis, yang sudah terbukti keandalannya pada banyak kasus proyek-proyek konstruksi, tentu akan lebih mudah dan berharga dibandingkan dengan kategori pemodelan struktur yang lainnya. Selanjutnya akan dibahas masing-masing strategi pemodelan yang ada, serta faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan jika memilih pemodelan tersebut sekaligus juga melihat bentuk struktur real sesungguhnya yang dimodelkan tersebut.

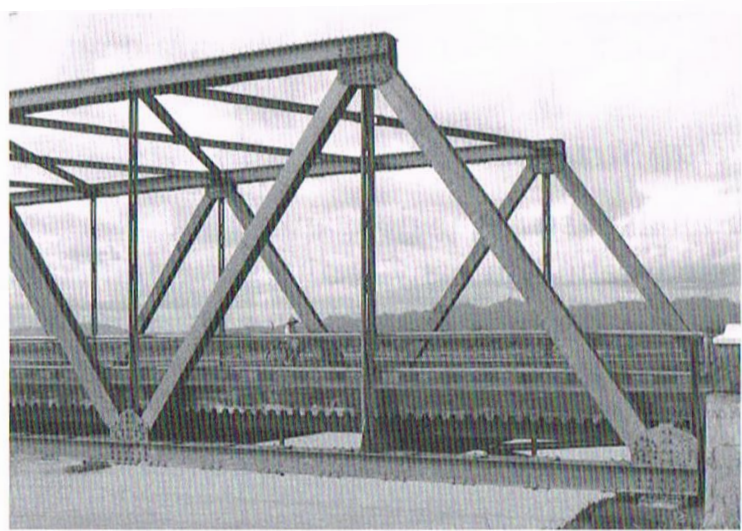
Rangka Batang (Truss)

Struktur garis yang paling sederhana dalam memikul gaya adalah struktur rangka batang (*truss*). Struktur tersebut terdiri dari kumpulan batang – batang yang disambung satu dengan lainnya membentuk geometri tertentu sedemikian sehingga apabila diberi beban pada titik buhul (*joint*) maka struktur akan menyalurkan beban ke tumpuan melalui perilaku aksial (gaya tarik atau gaya tekan) batang, contohnya lihat Gambar 1.1.



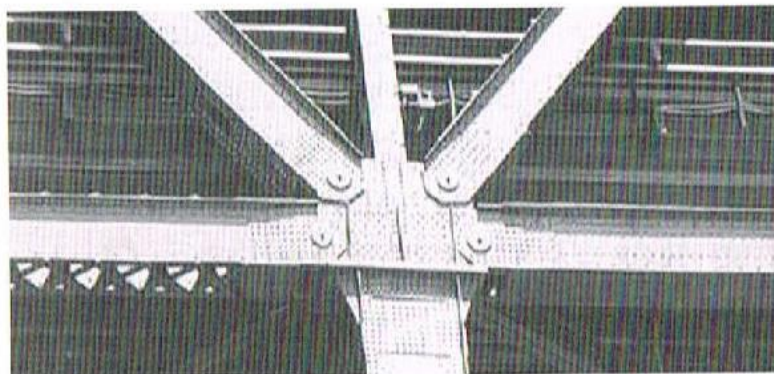
Gambar 1.1 Pemodelan Struktur Truss

Karena hanya menyalurkan gaya aksial saja maka dianggap bahwa hubungan antara batang satu dengan yang lainnya adalah berupa sendi (*pin*). Dalam kenyataannya, apa yang dianggap sebagai sambungan sendi (*pin*) adalah tidak persis sesuai istilah tersebut.



Gambar 1.2 Sambungan dan Distribusi Beban pada Rangka Batang

Gambar 1.2 adalah jembatan rangka baja yang dapat dimodelkan sebagai struktur *truss*. Bagi awam tentu sukar memahami bahwa sambungan baut yang begitu banyaknya tersebut ternyata bisa disederhanakan dan dianggap berperilaku seperti engsel (*pin*). Itu tentu berbeda jika dibandingkan dengan struktur jenis lain, yang juga termasuk rangka batang (Gambar 1.3) yang sepintas saja memang dapat terlihat bentuknya yang khas, yaitu pin, sehingga wajar jika diasosiasikan sebagai sendi.



Gambar 1.3 Struktur dengan sambungan pin

Ada dua detail struktur baja yang berbeda, Gambar 1.2 dan 1.3, tetapi analisisnya ternyata dapat memakai model struktur sama, yaitu *truss*, yang asumsi sambungannya adalah engsel atau sendi. Mungapa itu dapat terjadi, Kembali pada struktur jembatan baja di Gambar 1.2, perhatikan bahwa badan jalan yang dipikul jembatan ternyata terpisah dan struktur rangka baja yang utama. Apakah pemisahan tersebut juga merupakan suatu konsekuensi dari sistem pemodelan struktur *truss* yang dipilih. Bagaimana jika struktur lantainya disatukan dengan elemen *truss* di bagian bawah. Hal – hal seperti itu tentunya dapat dijawab oleh engineer yang baik dengan mantap.

Pemisahan seperti itu jelas ada kaitannya dengan pemodelannya, yaitu untuk memastikan bahwa gaya – gaya bekerja pada jembatan hanya bekerja pada titik buhulnya. Jika beban ada yang bekerja tegak lurus pada batang, pasti akan timbul momen, sehingga pemodelan sebagai struktur *truss* jelas tidak dapat digunakan.

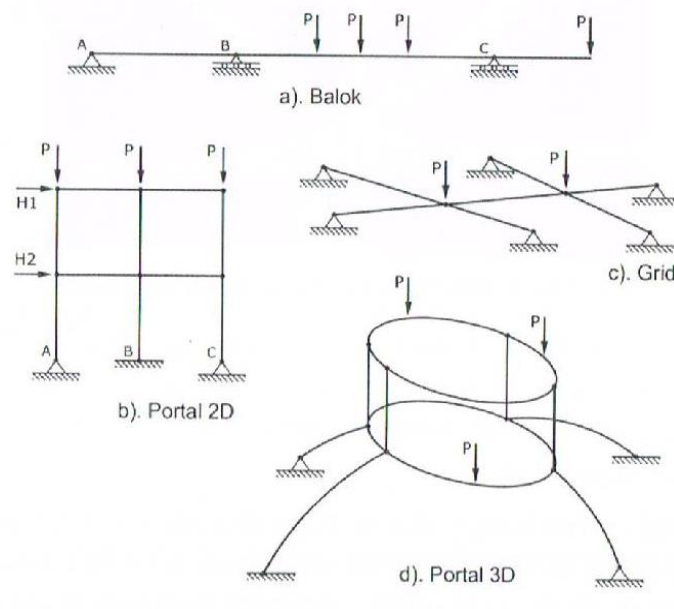
Jadi dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa gambar detail struktur yang difabrikasi dan yang akan dilaksanakan di lapangan harus konsisten dan sesuai dengan batasan – batasan dari model yang sebelumnya dipakai pada analisis struktur, yang hasilnya juga digunakan untuk membuat detail tersebut.

iv. Pemodelan Struktur Garis Portal dan Grid

Balok adalah struktur garis yang meneruskan gaya melalui aksi lentur, meskipun demikian jika masih ada gaya aksial, perilakunya sama seperti struktur portal yang banyak dipakai sebagai struktur utama pada bangunan gedung. Jika ditinjau bidang vertikal pada satu sisi saja dan bebannya bekerja searah bidang tersebut, maka disebutlah sebagai portal 2D, kalau berbagai arah maka menjadi portal 3D. Jika frame portal direbahkan, yaitu akan ditinjau dalam bidang horizontal misalnya untuk struktur lantai sehingga beban bekerja tegak lurus bidang tersebut, maka analisisnya ditinjau sebagai struktur grid.

Meskipun konfigurasi strukturnya sama tapi jika orientasi rangka dan pembebanannya berbeda, maka perilaku model akan berbeda. Bahkan

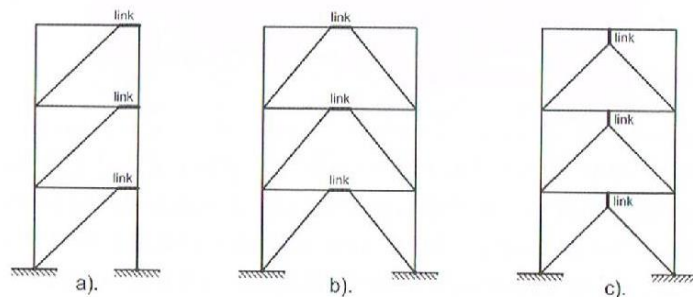
detail sambungan berpengaruh juga, sehingga kadangkala perlu melakukan modifikasi model atau memilih yang lain.



Gambar 1.4 Orientasi Model dan Penamaannya

v. Rangka khusus dan perlunya variasi pemodelan

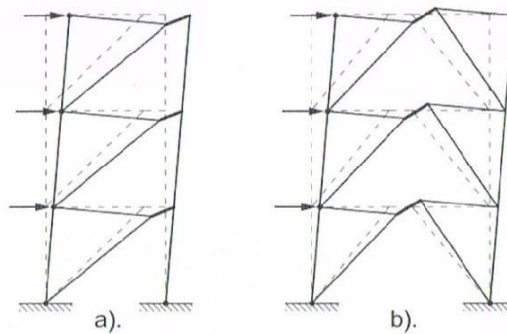
Pada perkembangan lebih lanjut, dapat dibuat modifikasi bentuk berdasarkan struktur yang ada, meskipun demikian perilaku yang dihasilkan bisa berbeda signifikan termasuk strategi desainnya. Sebagai misalnya adalah struktur EBF (*eccentrically brace frame*) yang semakin populer untuk dijadikan alternatif sistem struktur pada bangunan tahan gempa dari konstruksi baja.



Gambar 1.5 Bentuk Tipikal Sistem Struktur EBF

Struktur EBF, akan menggabungkan keunggulan rangka batang (*truss*) yang kaku dan efisien karena akan memanfaatkan perilaku aksial dan sistem

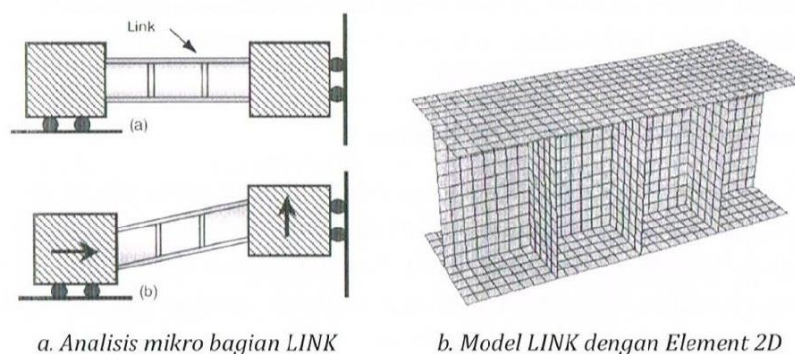
portal lentur yang kurang kaku tapi berperilaku daktail. Hasilnya adalah sistem struktur yang cukup kaku tetapi cukup daktail. EBF dihasilkan dengan sedikit menggeser salah satu as batang sehingga terjadi daerah eksentrik, yaitu LINK maka disitu terjadi perilaku lentur yang relatif paling lemah. Jika bagian tersebut dapat dikendalikan dengan baik saat gempa, tentunya akan diperoleh sistem struktur yang kaku tetapi daktail.



Gambar 1.6 Perilaku Sistem Struktur EBF terhadap Gaya Lateral (Gempa)

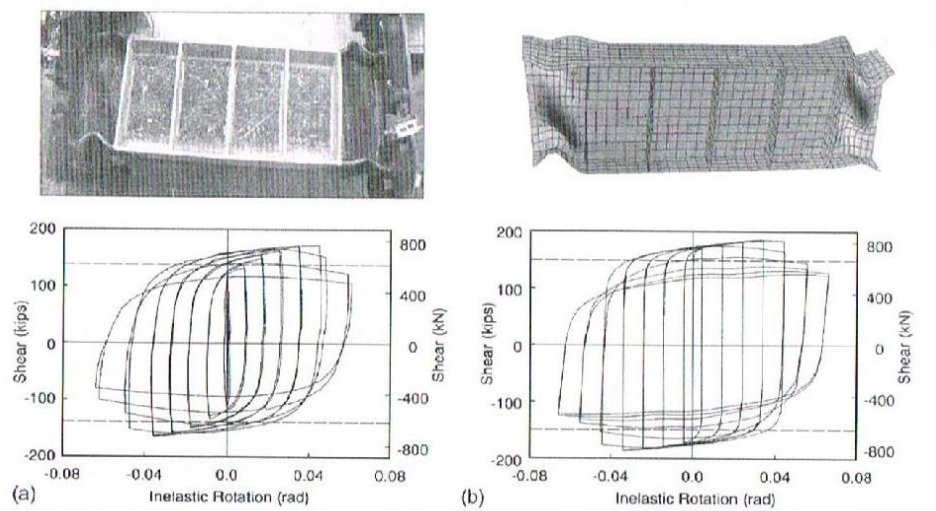
Jika merencanakan struktur EBF maka jelas strateginya berbeda dengan struktur truss atau portal, khususnya desain bagian LINK, bahkan analisisnya dengan pemodelan garis saja tidak mencukupi sehingga perlu memakai cara pemodelan struktur yang lain.

Bilamana sistem struktur di atas dapat didekati secara keseluruhan (makro) sebagai struktur garis (1D) maka peneliti dari Universitas Texas bahkan menganalisis perilaku LINK secara terpisah (mikro) memakai pemodelan struktur permukaan (2D).



Gambar 1.7 Strategi Analisis LINK Struktur EBF (Richard-Uang 2005)

Analisis struktur yang benar, tidak berhenti setelah ada hasilnya, yang paling penting sebenarnya adalah evaluasi dan interpretasi hasilnya. Itu tergantung kompetensi manusia pemakainya. Bahkan Jika belum ada acuan pembanding yang dapat digunakan untuk membuat interpretasi maka pengujian eksperimental laboratorium sangat membantu. Uji skala penuh tentunya paling ideal, tetapi karena keterbatasan biaya atau teknologi maka pengujian 'lokal' masih lebih baik daripada tidak ada sama sekali.



Gambar 1.8 Perbandingan Eksperimen dan Numerik (Richard-Uang 2005)

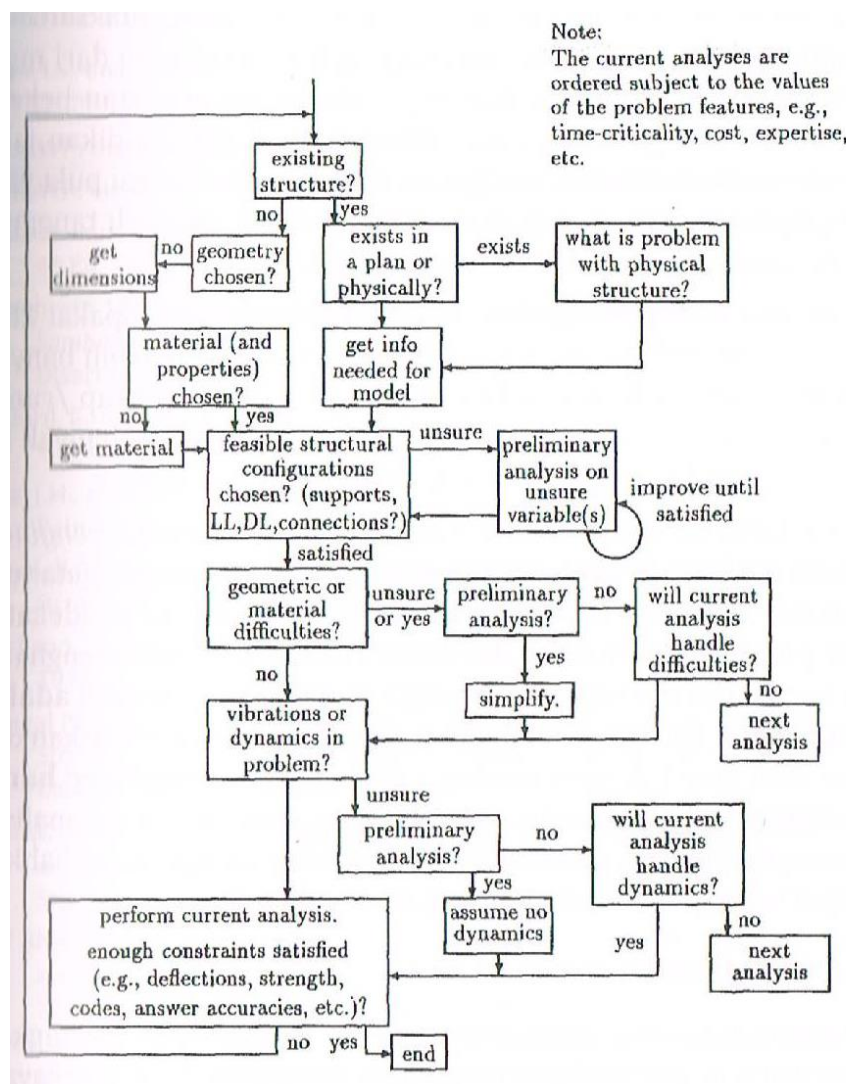
Gambar 1.8 adalah kurva uji eksperimen di Universitas Texas, dipakai sebagai rujukan untuk mengevaluasi perilaku model LINK memakai Element 2D (Gambar 1.8b). Program SAP2000 jarang dipakai pada pemodelan mikro seperti model di atas, khususnya sampai kondisi inelastis, ada program canggih lain yang umurn dipakai yaitu ABAQUS. Tetapi kebalikannya, jika program tersebut dipakai untuk analisis makro seperti yang biasa dipakai SAP2000 maka terlalu berlebihan, setiap program mempunyai keunggulan dan kelemahan masing-masing.

vi. Petunjuk tentang Pemodelan

Tidak ada petunjuk baku tentang bagaimana pemodelan struktur, sebagian besar hanya mengandalkan kebiasaan sebelumnya yang sukses. Itu tentu saja sudah lebih dari cukup jika digunakan untuk menyelesaikan kasus –

kasus rekayasa umum, apalagi jika memakai metode – metode klasik, yang memang terbatas pemakaiannya.

Bagan alir dari Salata dan Clive (1991) untuk pembuatan program komputer berbasis *artificial intelligence (AI)* dan *knowledge-based expert systems (KBESs)* pada pemodelan pelat, patut dipelajari. Ternyata masalahnya tidak sederhana seperti yang diduga. Salata dan Clive (1991) membuat langkah – langkah detail mengenai apa yang perlu dipertimbangkan dalam pemodelan struktur.



Gambar 1.9 Strategi AI dan KBESs pada pemodelan Struktur Pelat (Salata dan Clive 1991)

Ternyata pemodelan struktur terkait dengan metode analisis yang akan digunakan. Itu pula yang mendasari, mengapa engineer perlu mempelajari dan mengetahui "metode analisis apa", program komputer akan menangani masalahnya, sehingga model struktur dapat disesuaikan. Pada beberapa orang, strategi di atas dianggap terlalu rumit, bahkan ada yang bertambah bingung. Jika demikian, maka lebih baik merujuk langsung pada perancangan struktur yang telah sukses, mempelajari dan meniru strategi pemodelan yang dibuat. Jika perlu, dapat dibuat saja studi parametris untuk mengetahui pengaruh faktor – faktor yang ditinjau.

Bagi engineer yang bekerja pada perusahaan konsultan rekayasa dengan banyak pengalaman proyeknya, maka tentu saja cara yang disarankan di atas bukan sesuatu hal yang sulit dilaksanakan. Adapun pemula yang baru lulus kadang kala tidak tahu dari mana memulai. Oleh karena itu magang, yaitu membantu atau bekerja terlebih dahulu pada engineer senior tentu dapat dijadikan jalan keluar untuk membantu mengatasi masalah. Strategi itu pula yang menjawab mengapa tahap pemodelan struktur menjadi tanggung jawab senior engineer dan bukan yang lain.

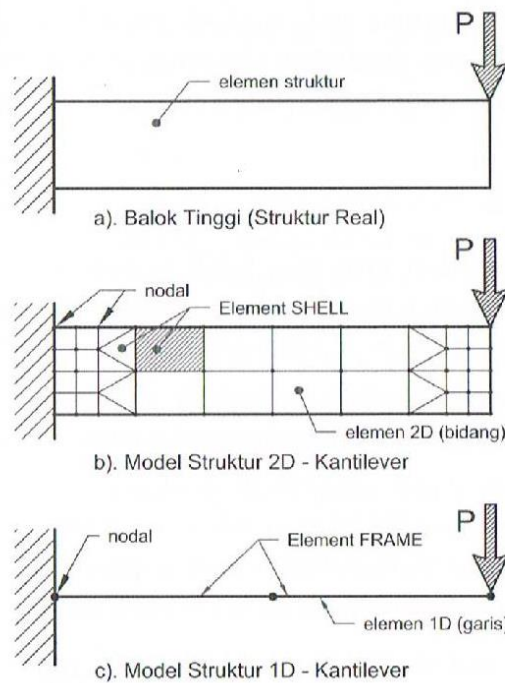
Dalam era serba komputer, analisa struktur yang dipakai akan mampu memperhitungkan berbagai parameter yang lebih banyak, sehingga memungkinkan dibuat model yang lebih lengkap /rumit. Dengan demikian variasi model akan lebih banyak, sebanyak ide engineer yang bertanggung jawab untuk menyiapkannya.

Adalah fakta bahwa pemodelan dapat berhasil hanya jika engineer paham metode penyelesaian yang digunakan, juga pengetahuan perilaku struktur *real* yang akan dianalisis. Setiap pendekatan pasti punya keterbatasan, dan keterbatasan tersebut menghasilkan konsekuensi yang menyertainya. Padahal jelas, model adalah pendekatan dan bukan objek *real*-nya. Ini harus diperhatikan dan salah satu kunci penyelesaiannya adalah bahwa engineer harus konsisten terhadap suatu batasan yang diambil, mulai analisis, desain penampang, pelaksanaan konstruksi di lapangan, bahkan sampai tahap pemakaian, perawatan maupun perbaikannya.

b. Formulasi Element FRAME dan Opsi – opsinya

i. Elemen dan "Element"

Element pada judul di atas, mempunyai arti yang berbeda dengan elemen yang biasa dikenal, yang umumnya merujuk bagian – bagian dasar, yang mendasari sesuatu. Tetapi, jika dipandang dari segi geometri, maka bisa saja kata element tadi akan merujuk suatu objek yang sama, yaitu bagian susunan dari suatu model struktur.



Gambar 1.10 Element dan elemen pada pemodelan Balok Tinggi (Sumber : Dewobroto 2013)

Sebagai penjelasan, Gambar 1.10 memuat gambar struktur real dari balok tinggi, dan dua gambar model struktur untuk penyelesaian yang berbeda. Dari gambar tersebut dapat diketahui, apa yang dimaksud dengan elemen dan Element. Pada struktur real, hanya dikenal istilah elemen, sedangkan istilah Element tidak dikenal. sedangkan pada gambar model struktur, kedua istilah tersebut dapat digunakan dan dapat saja merujuk pada objek yang sama.

Analisa struktur berbasis "metode elemen hingga" mensyaratkan terlebih dahulu bahwa model struktur dibagi menjadi elemen – elemen diskrit, yang merupakan unit satuan terkecil yang masih dianggap mewakili perilaku struktur real. Elemen diskrit dipilih sesuai dengan model strukturnya, misalnya untuk model garis (1D) dipakai Element Frame, sedangkan model permukaan (2D) adalah Element Shell. Nama Element ditentukan dari programnya, umumnya dapat diketahui dari buku manual yang menyertainya.

Pada metode matrik atau metode elemen hingga, matrik kekakuan struktur $[k]$, yang sebelumnya dikenal sebagai "unit pendekatan" pada dasarnya adalah Element itu sendiri. Adapun pada program SAP2000 formulasi elemen matrik $[k]$ untuk membuat model satu dimensi balok-kolom dikenal sebagai Element Frame.

ii. Element dan Metode Kekakuan

Sebagaimana sebelumnya, pada metode matrik kekakuan, keseimbangan struktur dapat dituliskan dalam bentuk persamaan matrik yang bersifat global atau keseluruhan sebagai berikut:

$$[K]\{\delta\}=\{F\} \dots\dots\dots(1.1)$$

Matrik $[K]$ disusun dari satu atau lebih matrik kekakuan $[k]$ lokal, sesuai elemen diskrit yang dipilih. Jenisnya bisa sama, bisa juga berbeda, tergantung strategi pemodelan strukturnya.

Langkah penyelesaian analisa struktur dengan "metode matrik kekakuan" atau "metode elemen hingga" adalah sebagai berikut:

1. Diskritisasi struktur, mengubah geometri yang satu kesatuan menjadi model dengan banyak elemen – elemen diskrit. Bila ada sambungan yang berperilaku tidak kontinyu (terputus) maka diperlukan penyesuaian d.o.f (*degree of freedom*).
2. Penyusunan matrik kekakuan elemen $[k]$, yang bersifat lokal, yang tergantung orientasi elemen-elemen diskritnya.
3. Matrik kekakuan elemen $[k]$, disusun jadi matrik kekakuan struktur $[K]$ yang bersifat global. Tahap ini perlu transformasi koordinat sumbu lokal

ke global. Agar dapat dianalisis perlu diberikan kondisi batas (tumpuan) dan vektor beban $\{F\}$

4. Proses numerik menghitung deformasi nodal $\{F\} [K]^{-1} = \{\delta\}$

5. Deformasi nodal $\{\delta\}$ digunakan untuk menghitung gaya reaksi tumpuan (global) dan gaya internal elemen batang (lokal).

Pada metode matrik kekakuan di atas, pertama kali yang didapat adalah deformasi pada titik nodal. Selanjutnya gaya – gaya reaksi tumpuan dan gaya-gaya internal pada elemennya.

Adanya deformasi pada titik nodal selanjutnya dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku struktur keseluruhan. Pada tahap ini, engineer yang berpengalaman dapat memanfaatkannya untuk memeriksa: apakah bentuk deformasi dari model struktur, mirip dengan perilaku struktur real sebenarnya, tanpa melihat secara lengkap terlebih dahulu besarnya gaya-gaya internal dan reaksi yang dihasilkan. Adanya opsi grafis canggih dan tersedianya layar resolusi tinggi pada komputer sangat membantu.

Adanya kombinasi elemen diskrit, parameter geometri, material dan kondisi tumpuan yang berbeda, menyebabkan karakter suatu model struktur berbeda dari model struktur yang lain. Apakah karakter model struktur yang dibuat akan sama dengan struktur sesungguhnya, pada dasarnya tidak berhubungan langsung. Pada tahap inilah diperlukan peran dan tanggung-jawab engineer untuk memastikan bahwa model yang dibuat akan mewakili karakter struktur yang sesungguhnya.

Jika isi matrik $[K]$, yang terdiri dari parameter geometri, material dan kondisi tumpuan nilainya tetap sama di keseluruhan analisis, maka kondisi tersebut menunjukkan bahwa jenis analisa struktur yang dianalisis adalah elastik linier. Jika ternyata ada perubahan, maka analisisnya dikategorikan sebagai (inelastik) non-linier. Itu terjadi misalnya ada hasil output analisis yang mempengaruhi input data yang dipakai, seperti lendutannya yang besar sehingga konfigurasi geometri akhir dibanding geometri awal jadi berubah.

iii. Joint dan D.O.F (*Degree of Freedom*)

Joint atau titik nodal, mempunyai peran penting pada pemodelan struktur. Pada titik nodal, elemen – elemen diskrit saling terhubung (bersatu),

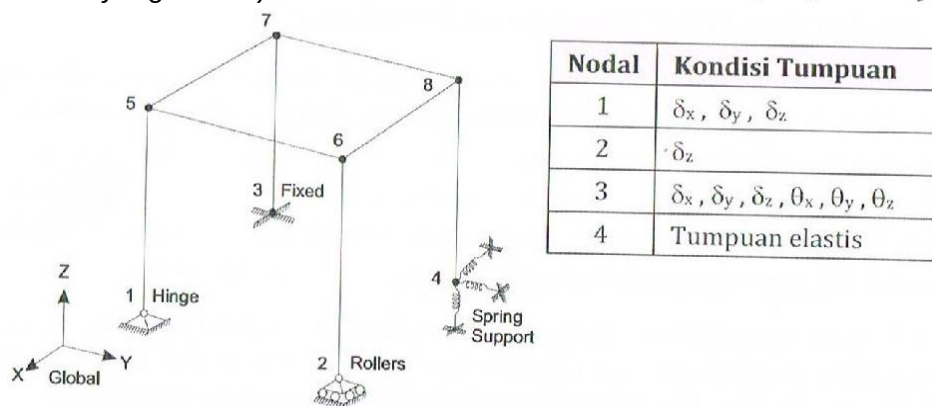
membentuk sesuatu yang lebih bermakna dari sekedar elemen tunggal, yaitu geometri struktur itu sendiri. Secara visual dikenal sebagai model struktur. Titik nodal juga sebagai tempat memonitor besarnya deformasi, dan juga titik pembebanan.

Pada waktu mendefinisikan geometri model secara langsung pada program dengan interface bantu berbasis grafis, maka titik nodal otomatis dibuat dan ditempatkan di ujung – ujung element Frame.

Degree of freedom (d.o.f) adalah jumlah derajat kebebasan titik nodal dalam berdeformasi, yang berupa translasi (perpindahan) maupun rotasi (perputaran) terhadap tiga sumbu imajiner x-y-z pada orientasi ruang atau 3D. Jadi pada titik nodal dapat terjadi 6 (enam) bentuk deformasi pada suatu ruang bebas, yaitu 3 (tiga) translasi ($\delta_x, \delta_y, \delta_z$) dan 3 (tiga) rotasi ($\theta_x, \theta_y, \theta_z$).

Suatu titik nodal yang tertahan (tidak bebas berdeformasi) karena adanya *restraint* akan menyebabkan $u = 0$ dan, atau $\delta = 0$, kondisi titik nodal seperti itu disebut tumpuan. Sedangkan titik nodal lain yang kondisinya dapat berdeformasi tetapi terbatas, akan disebut sebagai tumpuan elastis (*spring support*). Opsi ini berguna untuk memodelkan tumpuan berupa pondasi di tanah lunak, atau balok anak menumpu pada balok induk lainnya, dan sebagainya.

Adanya *restraint* pada d.o.f yang menyebabkan titik nodal bebas berubah menjadi titik nodal tumpuan adalah penting, karena itu menentukan stabilitas struktur. Bagaimanapun jika struktur tidak stabil maka tidak dapat dianalisa dan kondisinya harus dirubah terlebih dulu sampai struktur stabil (diberi restraint yang sesuai).



Gambar 1.11 Tumpuan sebagai Nodal dengan d.o.f ditahan (Sumber : Dewobroto 2013)

Gambar 1.11 memperlihatkan berbagai kondisi tumpuan dari suatu model struktur portal ruang (3D), tumpuan sendi (titik nodal #1); tumpuan rol (titik nodal #2); tumpuan jepit (titik nodal #3) dan tumpuan elastis (titik nodal #4). Jika dicermati, titik-titik nodal tumpuan, kesemuanya pada dasarnya hanya titik nodal biasa yang d.o.f-nya diberi *restraint*, suatu kondisi yang menyebabkan d.o.f pada titik nodal yang dimaksud ditahan untuk tidak mengalami deformasi, atau nilainya $\delta = 0$ atau $\psi = 0$.

Jadi untuk mengetahui pada suatu model struktur, apakah titik nodal tumpuan berperilaku jepit, sendi atau rol, adalah dengan melihat kemungkinan terjadinya deformasi atau tidak, saat diberi pembebanan. Kadangkala kondisinya tidak selalu mutlak sifatnya, bias disebut jepit meskipun tumpuan tersebut sebenarnya mengalami rotasi (deformasi yang diakibatkan momen) tetapi mestinya besarnya relatif kecil dibanding deformasi di bagian yang lain.

Bilamana ada keraguan bahwa tumpuan bersifat jepit atau sendi, atau rol, seperti misalnya pondasi mengalami penurunan (kondisi tanah jelek) atau lainnya, dapat saja dilakukan analisis dengan tumpuan berupa *spring support* atau tumpuan elastis, sehingga sifat tumpuannya menjadi antara jepit dan sendi. Masalah yang ada, umumnya menentukan konstanta pegas, k yang adalah gaya per unit deformasi. Jika itu digunakan untuk mensimulasi perilaku pondasi, dapat dipakai data tanah dari buku – buku pondasi, tetapi untuk kondisi yang lain seperti sambungan, maka kecuali ada data empiris tertentu, k_s dapat ditentukan melalui *trial-and-error*.

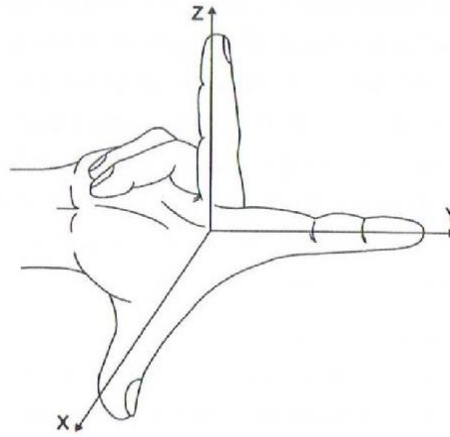
iv. Sistem Sumbu Koordinat (Global & Lokal)

sistem koordinat diperlukan untuk menetapkan geometri model, arah pembebanan, arah deformasi, dan arah gaya reaksi yang ada.

Secara keseluruhan, sistem diatur satu sistem koordinat global, tetapi pada setiap bagian (nodal, elemen, atau constraint) dapat juga memiliki sistem koordinat lokal secara sendiri, orientasinya bisa sama atau bisa berbeda dari sistem koordinat globalnya.

sistem koordinatnya adalah sistem koordinat persegi (Cartesian) tiga dimensi, sesuai dengan kaidah tangan kanan, dimana ibu jari, telunjuk, dan jari tengah membentuk garis yang saling tegak lurus satu sama lain (lihat

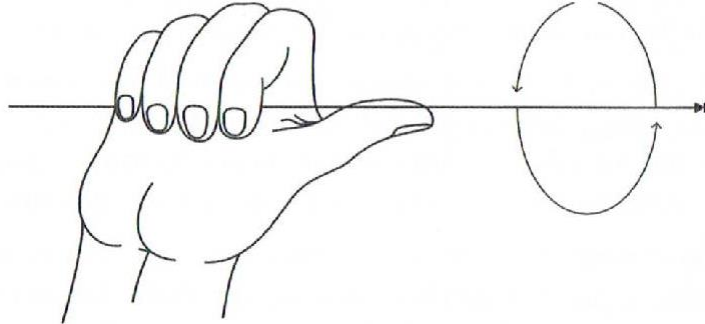
Gambar 1.12), dengan arah yang ditunjukkan oleh ketiga jari tangan kanan dalam arah positif, dimana ibu jari sebagai sumbu X, jari telunjuk sebagai sumbu Y, sedangkan jari manis atau jari tengah sebagai sumbu Z.



Gambar 1.12 Sistem sumbu dengan kaidah tangan kanan (Sumber: Dewobroto 2013)

Translasi atau gaya, arahnya positif jika selaras sumbu koordinat arah positif. Adapun rotasi dan momen berarah positif ditentukan dengan kaidah tangan kanan, yaitu tangan kanan menggenggam dengan ibu jari menunjuk luar (lihat Gambar 1.13). Arah ibu jari menunjukkan arah sumbu putaran, sedangkan ke-empat jari-jari menggenggam menunjukkan arah rotasi dan momen arah positif

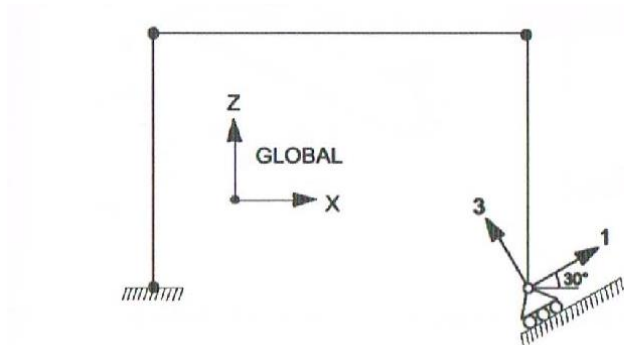
SAP2000 selalu menganggap sumbu Z terletak vertikal dengan sumbu +Z ke atas. Sistem koordinat lokal dari nodal, elemen, atau akselerasi tanah dinyatakan terhadap sumbu vertikal tersebut. Berat sendiri elemen struktur (self-weight loading) arahnya ke bawah (sumbu-Z). Bidang X-Y adalah horizontal, adapun sudut pada bidang tadi diukur dari sumbu positif X dengan sudut positif membentuk arah berlawanan dengan arah jarum jam (dilihat dan atas di bidang X-Y).



Gambar 1.13 Rotasi positif dengan kaidah tangan kanan (Sumber: Dewobroto 2013)

Sistem koordinat lokal untuk nodal, elemen disebut sumbu 1, 2, dan 3. Tetapan default, sistem koordinat sumbu lokal 1-2-3 dari suatu nodal adalah identik dengan sistem koordinat global X-Y-Z.

Opsi yang dapat mengubah koordinat lokal pada titik nodal sangat berguna untuk mengatasi kasus-kasus pemodelan seperti Skewed restraints (tumpuan miring), lihat Gambar 1.14.



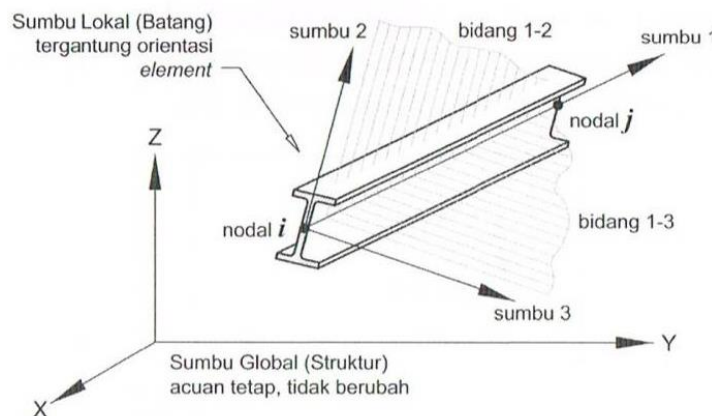
Gambar 1.14 Model struktur dengan tumpuan miring (Sumber: Dewobroto 2013)

jika tidak dirubah secara khusus, semua titik nodal mengacu pada sistem koordinat global. Pada Gambar 1.14, terlihat tumpuan rol diputar terhadap sumbu 2 atau Y sebesar minus 30 derajat.

v. Orientasi Sumbu Lokal Element

untuk menentukan kedudukan element Frame, Shell, dan Nlink, maka salah satu sumbu perlu diselaraskan terhadap sumbu global, dan selanjutnya kedua sumbu lainnya dapat ditetapkan tersendiri berdasarkan suatu vektor acuan atau nilai sudut rotasi tertentu.

Tetapan default untuk sistem koordinat lokal pada element Frame adalah sebagai berikut (lihat Gambar 1.15):



Gambar 1.15 Sistem koordinat persegi (Sumber: Dewobroto 2013)

Sumbu 1- Longitudinal

Sumbu lokal 1 selalu menjadi sumbu longitudinal batang dengan arah positif, yaitu dari nodal I menuju nodal J (ini ditentukan saat membuat geometri model struktur).

Orientasi Default

Orientasi default sumbu 2 dan sumbu 3 ditentukan dari hubungan antara sumbu 1 dan sumbu Z global, sebagai berikut:

- Bidang 1-2 terletak vertikal, sejajar dengan sumbu Z.
- Sumbu 2 lokal pada arah vertikal ke atas (+Z) kecuali element yang berorientasi vertikal (kolom) di mana sumbu 2 lokal terletak pada bidang horizontal searah dengan sumbu +X.
- Sumbu 3 lokal terletak pada bidang horizontal (bidang X-Y).

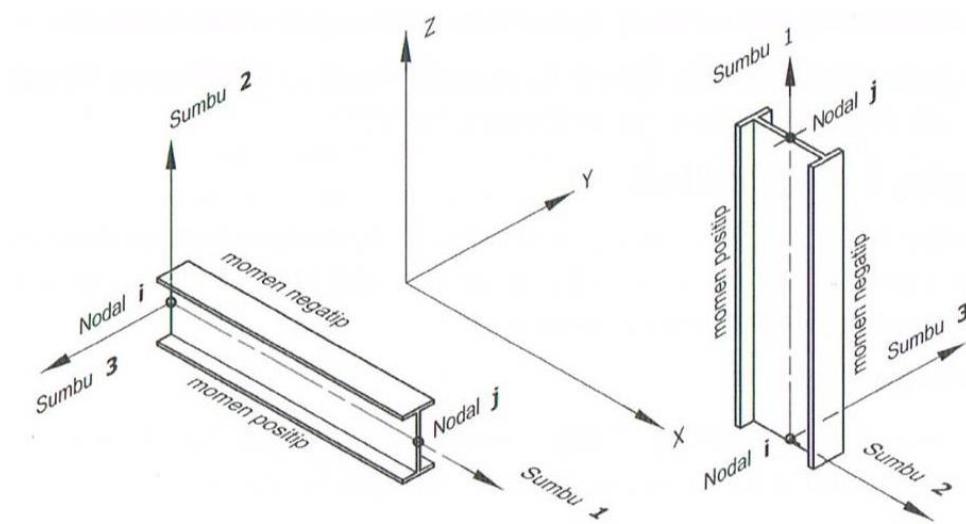
Orientasi elemen dianggap vertikal jika sinus sudut sumbu-1 lokal dan sumbu global Z kurang dari 0.001.

PERHATIAN: Pelajari perbedaan orientasi sumbu lokal antara elemen vertikal (kolom) dan non-vertikal (balok), karena menggeser sedikit saja

salah satu ujung kolom sehingga sinus sudut Sumbu 1 > 0.001 maka yang tadinya kolom akan berubah menjadi balok.

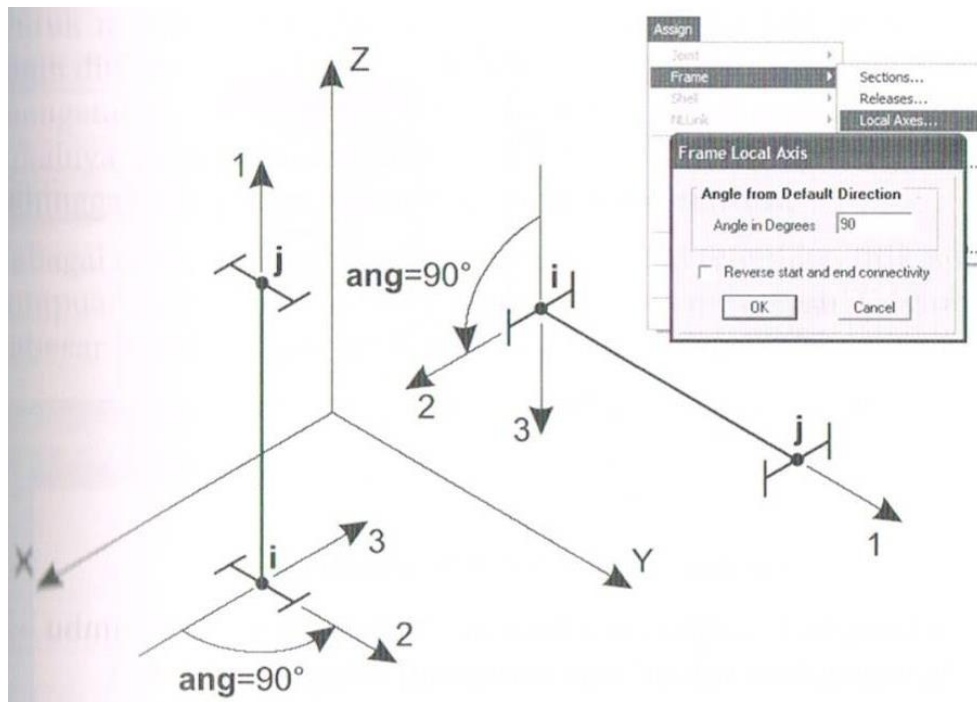
Mengubah Orientasi Elemen

Orientasi default sesuai untuk pemodelan portal bidang, karena bidang default layar adalah XZ, adapun arah kuat kolom terletak pada bidang tersebut (sumbu 3 adalah sumbu kuat kolom, terletak tegak lurus bidang XZ). Pada kondisi tersebut nilai $\text{ang} = 0$.



Gambar 1.16 Orientasi default batang terhadap sumbu global (Sumber: Dewobroto 2013)

Pada pemodelan portal ruang, orientasi kolom bisa berbeda – beda, tidak sesuai *default*. Untuk itu perlu cara mengubah orientasinya, khususnya orientasi sumbu lokal 2 dan lokal 3 berdasarkan sudut koordinat element, ang (lihat Gambar 1.17). Jika nilai $\text{ang} \neq 0$ maka sudut sumbu lokal 2 dan 3 akan berputar terhadap sumbu lokal 1 positif, dimana sumbu lokal 1 positif selalu dari nodal i ke nodal j.



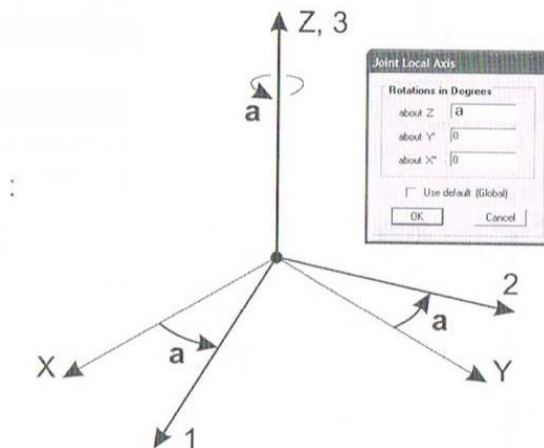
Gambar 1.17 Mengubah Orientasi Sumbu 2 dan 3 (Sumber: Dewobroto 2013)

Catatan : untuk orientasi kolom yang sepintas sama pada Gambar 1.16 dan Gambar 1.17, ternyata memiliki orientasi sumbu global (XYZ) yang berbeda. Pada kondisi seperti itu, perbedaannya terletak pada nilai ang dari keduanya. Ingat pada kondisi default (bawaan) nilai $\text{ang} = 0$, yaitu kolom yang diperlihatkan pada Gambar 2.8. Adapun kolom di Gambar 29, nilai $\text{ang} \neq 0$, yaitu diputar 90 derajat. Caranya, pilih terlebih dahulu (Select) elemennya, selanjutnya diubah dengan perintah Assign - Frame - Local Axis (SAP2000 v 7.40).

vi. Orientasi Sumbu Lokal Nodal

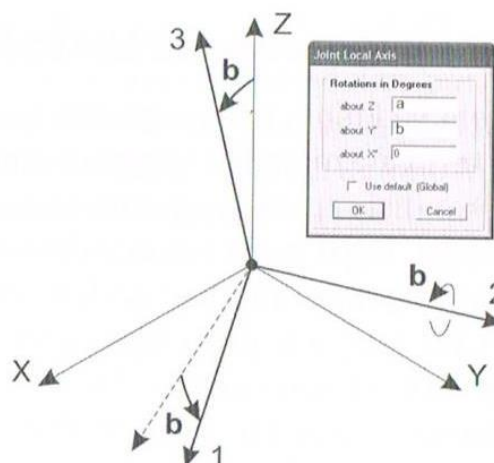
Orientasi sistem koordinat lokal dari suatu titik nodal, adalah sama dengan orientasi sistem koordinat globalnya (*default*). Apabila diperlukan, dapat diubah berdasarkan parameter sudut a , b , dan c melalui perintah Assign - Joint - Local Axis, dengan urutan langkah sebagai berikut.

- Pada kondisi awal dimana sistem sumbu lokal belum diputar, maka orientasinya akan sama dengan orientasi sumbu global, dimana sumbu +3 = sumbu +Z. Jika kemudian titik nodal akan diputar terhadap sumbu +3 sebesar sudut α , sehingga vektor arah sumbu X atau 1, dan sumbu Y atau 2 berputar juga (Gambar 1.18). Dengan memakai kaidah tangan kanan untuk momen (lihat Gambar 1.13) maka arah positif jika berlawanan dengan arah jarum jam, dan negatif jika searah jarum jam.



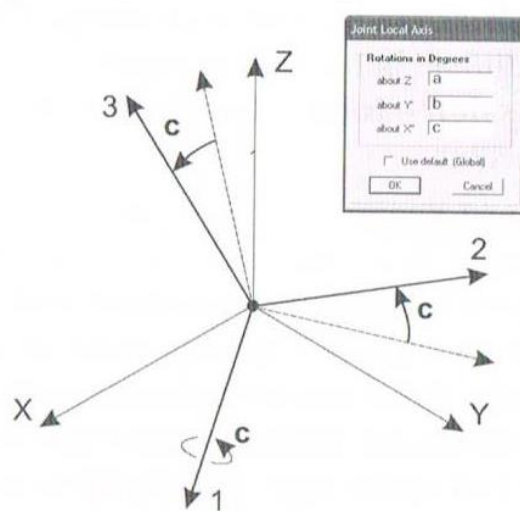
Gambar 1.18 Langkah 1: Pemutaran Nodal (Sumber: Dewobroto 2013)

- Selanjutnya sumbu koordinatnya diputar terhadap sumbu +2 (yang telah berubah kedudukannya) sebesar sudut b .



Gambar 1.19 Langkah 2: Pemutaran Nodal (Sumber: Dewobroto 2013)

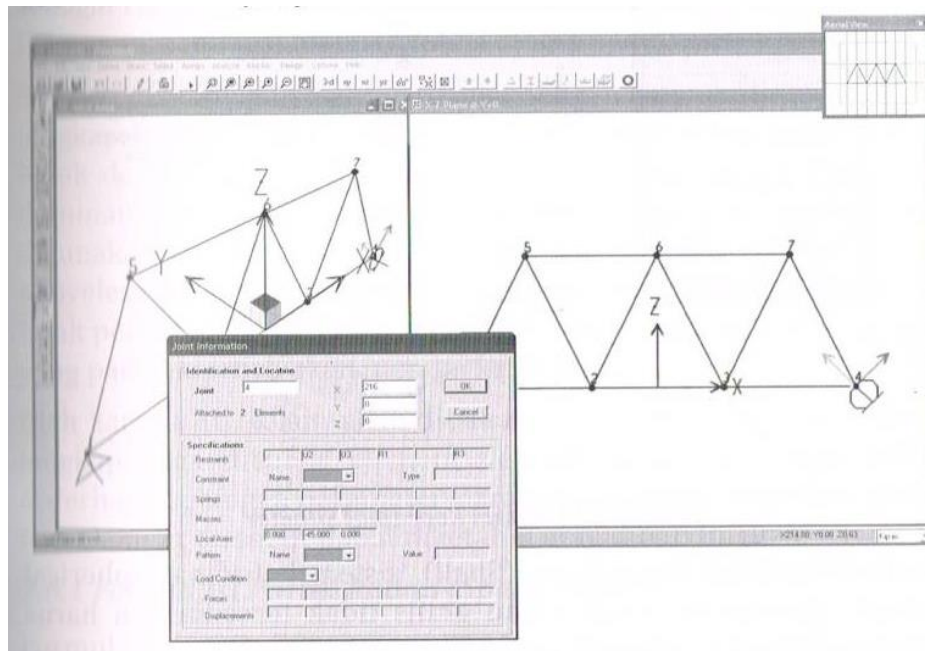
Akhirnya sumbu diputar terhadap sumbu +1 sebesar sudut c .



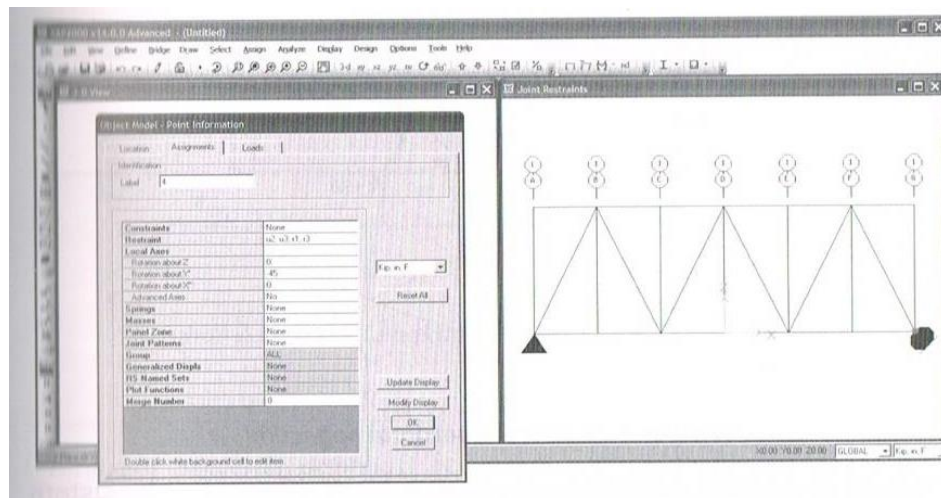
Gambar 1.20 Langkah Terakhir Pemutaran Nodal (Sumber: Dewobroto 2013)

Untuk melakukan tindakan di atas, jangan lupa titik nodal yang ingin diubah dalam kondisi terpilih (*Select*) terlebih dahulu. Untuk mengetahui informasi suatu titik nodal termasuk orientasi sumbu lokalnya, dengan mouse pilih nodal dan klik tombol mouse kanan sehingga dapat ditampilkan data *Joint Information*.

sebagai contoh, diambil rangka batang sesuai template, titik nodal tumpuan paling kanan (#4) diputar terhadap sumbu Y (global) sebesar -45 derajat, yaitu berlawanan jarum jam.



(a). SAP2000 Student Version v7.4

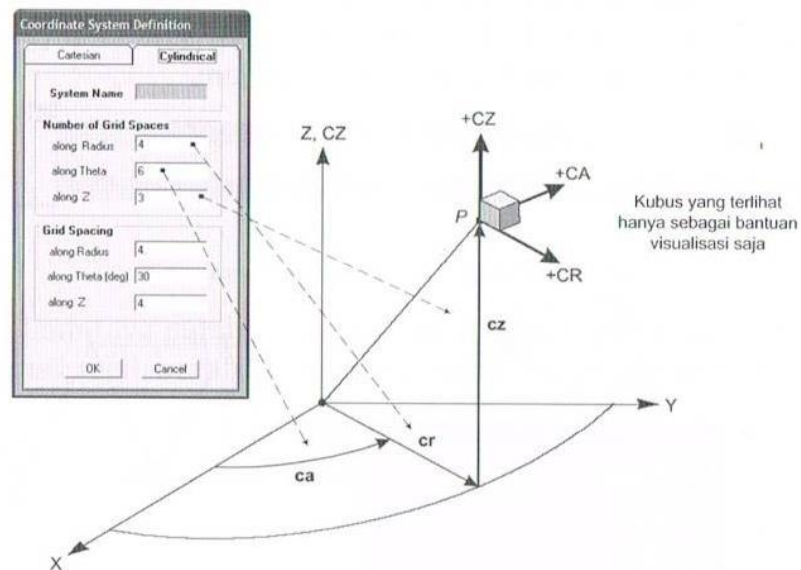


(b). SAP2000 Advanced 14.0.0

Gambar 1.21 Informasi Mengenai Suatu Nodal yang Dipilih (Sumber: Dewobroto 2013)

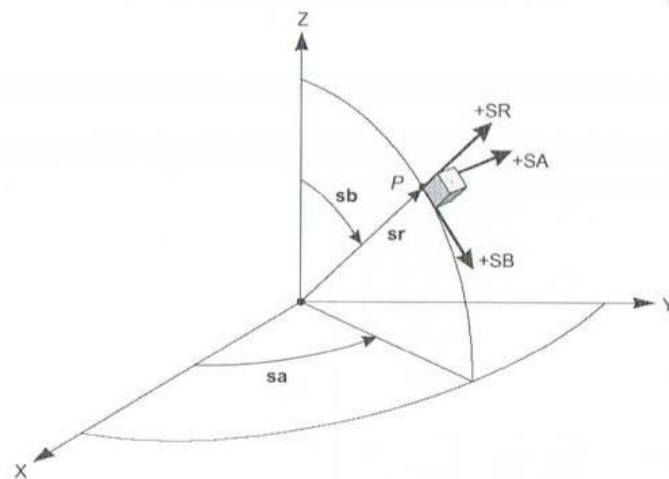
vii. Sistem Koordinat Silinder dan Sferikal

Melengkapi sistem koordinat Cartesian yang merupakan sistem koordinat standar (default), ada juga sistem koordinat yang lain, yaitu silinder atau sferikal. Hanya saja sistem koordinat silinder yang diperlukan harus dibuat melalui menu grafis SAP2000.



Gambar 1.22 Sistem Koordinat Silinder (Sumber: Dewobroto 2013)

Pada pemodelan permukaan (Shell), sistem koordinat Spherical sangat membantu, tetapi menu grafis tidak tersedia dan harus diakses dengan memasukkan data menggunakan file.



Gambar 1.23 Sistem Koordinat Spherical (Sumber: Dewobroto 2013)

Catatan: koordinat nodal non-kartesian akan dikonversi ke sistem koordinat kartesian sumbu global jika dicetak ke file output *.EKO (SAP2000 versi 7.40).

c. Mengetahui SAP 2000 dan Cara Pakainya

Isi Bab ini Mengutip Bab 3 dalam buku Dewobroto, W (2013). Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000 (pp. 121 – 160)

i. Sejarah dan Perkembangannya

SAP 2000 dikembangkan berdasarkan program SAP' suatu program komputer yang diciptakan oleh Prof. Edward L. Wilson, guru besar University of California, Berkeley, California, USA, sekitar tahun 1970. Versi komersial program tersebut dilansir tahun 1975 oleh perusahaan *Computer and Structure Inc. (CSI)*, yang dipimpin oleh Ashraf Habibullah, yang sampai sekarang masih eksis, dan dikenal didunia sebagai pioner di bidang *software* rekayasa struktur dan kegempaan (<http://www.csiberkeley.com>). Sebagai *software* yang bertumbuh di lingkungan perguruan tinggi, tidak heran jika *source code*-nya banyak yang mempelajarinya dan menjadi cikal bakal program analisa struktur serupa lainnya. Saat ini, *software* CSI telah dipakai lebih dari 160 negara dan dipakai untuk perencanaan pada proyek – proyek besar, seperti Taipei 101 Tower (Taiwan), One World Trade Center (New York), Stadium Birds Nest (Beijing), dan jembatan *cable – stayed* Centenario yang melintasi Selat Panama. Program SAP awalnya dibuat untuk *mainframe*. Tahun 1980 ada versi PC-nya, yaitu SAP80, dan tahun 1990 menjadi versi SAP90, semuanya dalam sistem operasi DOS. Ciri-cirinya memakai file Untuk untuk memasukkan input data. Ketika PC beralih dari DOS (teks) ke Windows (grafis), versi SAP2000 dikeluarkan. Saat ini versi PC yang terakhir adalah SAP2000 v 15.00. Versi ini cukup canggih, karena dapat digunakan untuk melakukan analisa *nonlinier* (deformasi besar, gap / kontak), kabel, beban ledak, tahapan konstruksi. Tetapi untuk kasus – kasus sederhana (umum) misalnya level S1, antara program versi lama dan baru tidak memberi suatu perbedaan yang signifikan, bahkan cenderung persis sama.

ii. Versi Program SAP2000 dan Pengaruhnya

Seperti produk teknologi lainnya, meskipun namanya boleh sama yaitu SAP2000, tetapi jika versinya lebih baru tentu menunjukkan opsi

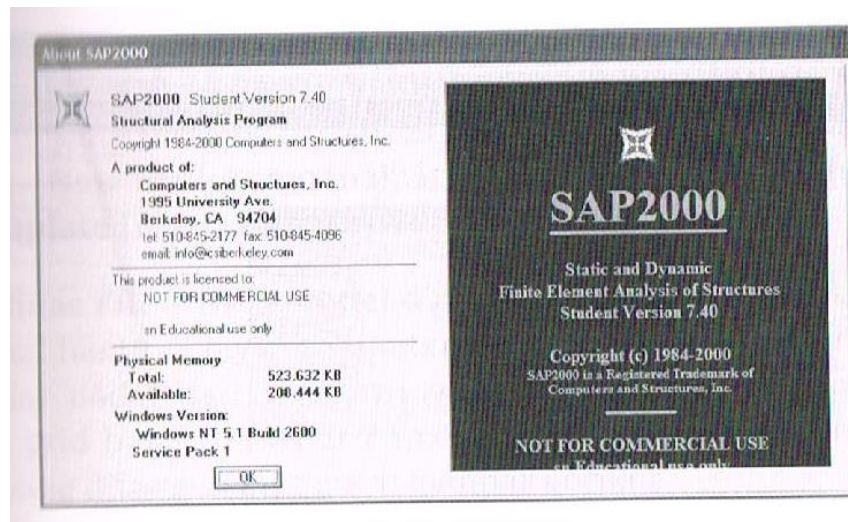
kelengkapannya bertambah atau ada diperbaiki, maka bisa saja cara operasi maupun hasilnya akan berbeda antara versi satu dengan versi lainnya. ini perlu disadari ketika mengaplikasikan materi – materi yang dibahas pada buku ini.

Pada satu sisi hal – hal yang terkini ada di versi terbaru SAP2000, sehingga untuk itu hanya versi SAP2000 terbaru yang pantas dibahas. Tetapi disadari bahwa fungsi utama program tidak berubah, yaitu analisa struktur, yang mayoritas elastis-linier. Oleh sebab itu memakai versi lama dan versi baru tentunya tidak berbeda. Selain itu jika digunakan versi program yang terbaru, umumnya mensyaratkan piranti keras yang lebih tinggi, sehingga bisa menjadi kendala. Adapun tujuan dari modul adalah menunjukkan prinsip – prinsip dasar bagaimana melakukan analisa struktur berbasis komputer secara benar. Oleh sebab itu, materi yang ditulis tidak berfokus pada versi program terbarunya, tetapi lebih pada prinsip – prinsip rekayasa yang disampaikan.

iii. Program SAP2000 Versi Student

Sebagai *software* rekayasa profesional bertaraf dunia, tidak heran jika versi orisinal mempunyai harga yang mahal. Jadi hanya dibeli peminat serius untuk keperluan profesional (konsultan rekayasa). Bagi mahasiswa yang baru tertarik untuk mempelajarinya, tentu cukuplah berat jika harus membelinya. Adapun solusi yang tepat adalah memakai program versi terbatas non-komersil, SAP2000 Student Version.

Menurut informasi yang diperoleh, mulai SAP2000 versi 8.3.3 tidak lagi mengeluarkan versi student tetapi diganti dengan versi research yang memerlukan persyaratan khusus memperolehnya dan masih harus membayar biaya lisensi tertentu (apalagi versi yang lebih baru). Jadi pembahasan diusahakan memakai versi 7.4. Walaupun bukan yang terbaru, tetapi fiturnya dianggap masih relevan untuk mempelajari perencanaan struktur secara umum.



Gambar 1.24 SAP2000 Student Version 7,40 (Sumber: Dewobroto 2013)

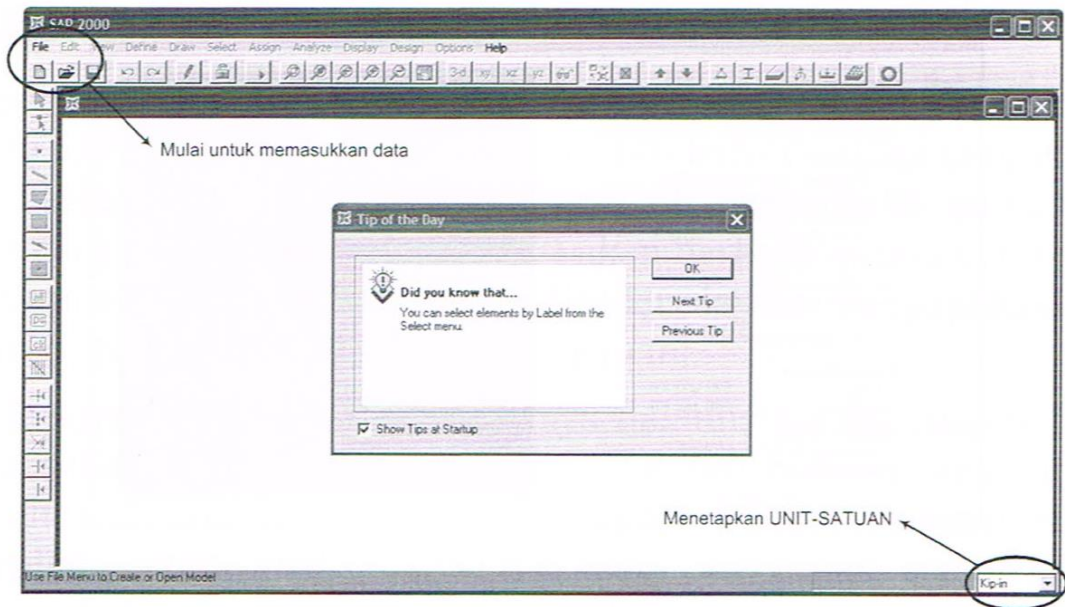
Program versi student kemampuannya sama dengan versi penuh, yaitu analisa struktur statik dan dinamik, juga desain penampang beton bertulang maupun desain struktur baja. Tersedia manual dalam bentuk file *PDF dan multimedia pembelajaran. Adapun yang berbeda adalah kapasitasnya, hanya terbatas untuk model struktur dengan jumlah titik nodal ≤ 100 , sudah mencukupi.

iv. Tampilan Awal Program

SAP2000 dibuat khusus untuk sistem operasi Windows sehingga operasinya juga berbasis grafis, mulai dari penyiapan Input data, menampilkan hasil bahkan desain penampangnya juga mengandalkan tampilan program yang sama. Meskipun demikian, Program masih mempunyai opsi khusus untuk memasukkan data secara manual melalui file. Bagi sebagian orang, cara seperti itu kadangkala lebih efektif saat mendefinisikan penomoran nodal dan elemen. Lebih – lebih untuk geometri struktur yang besar, yaitu dengan adanya opsi untuk pembuatan nodal dan elemen otomatis, yang berbeda dari versi grafts. Keduanya dapat saling melengkapi.

Pada program berbasis Windows, antarmuka atau interface-nya mempunyai kemiripan satu dengan yang lainnya. Demikian pula program SAP2000, di mana tersedia Menu dan Toolbar. Salah satu cara cerdas dari program untuk

mengurangi kesalahan pemakaian adalah bahwa tidak semua Menu atau Toolbar ditampilkan aktif, tetapi secukupnya saja sesuai dengan tahapannya.



Gambar 1.25 Tampilan Awal Program (Sumber: Dewobroto 2013)

Gambar 1.25 memperlihatkan tampilan awal program saat pertama kali aktif. Pada kondisi tersebut, yang dapat dilakukan hanyalah:

- Membaca Tip of the Day, kadang ada ide positif program yang belum diketahui, jika mengganggu maka ada opsi untuk menonaktifkan sehingga tidak ditampilkan pada sesi berikutnya.
- Pemilihan UNIT-SATUAN sebaiknya ditetapkan pada tahap ini. Jika tidak, data yang telah dimasukkan akan berubah sesuai unit satuan baru yang dimasukkan.
- Mulai membuat geometri melalui toolbar atau menu File.

v. Keterampilan Tingkat Dasar

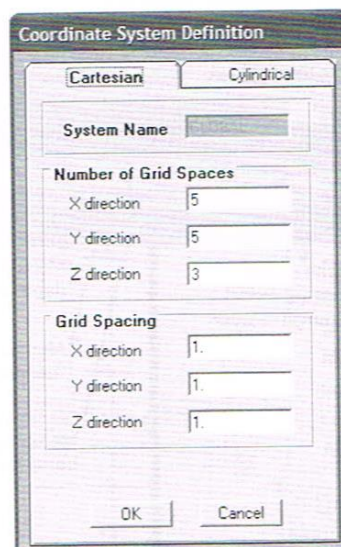
1. Data Geometri dan jenis Tumpuan

Setelah UNIT-SATUAN dipilih, selanjutnya dapat memasukkan data ke program untuk diproses. Data di sini dapat berupa:

- Data yang telah dibuat (hasil save pekerjaan sebelumnya di hardisk), caranya pilih File — Open atau toolbar

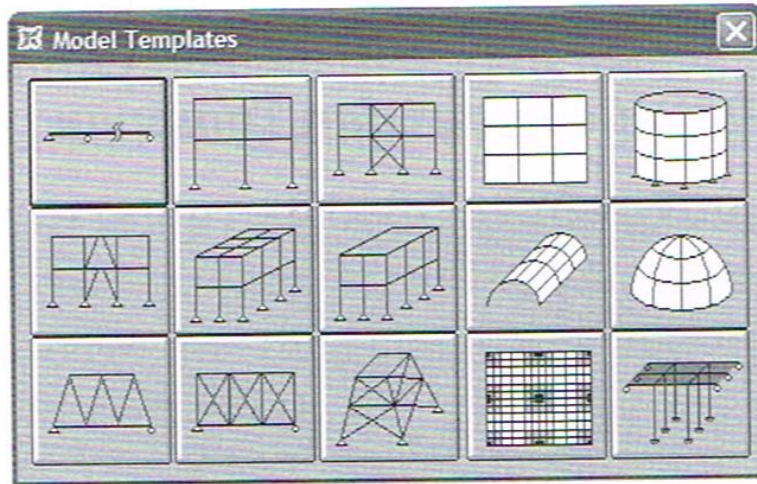
- Data dari file teks dengan ekstension *.s2k caranya pilih File — Import — SAP2000.s2k. Data ditulis dalam bentuk file teks mengikuti format pada buku manualnya2 yang ter-*installed* pada C://Computer and Structures/SAP2 000 Student/Manuals/
- Data sudah ada (misalnya sudah ada *sketch* tentang geometri struktur beserta dimensi-dimensinya serta beban – beban yang diberikan) tetapi belum dibuat dalam format yang dapat dibaca langsung oleh program dan baru akan dibuat dengan fasilitas grafis yang tersedia. Program menyediakan dua pilihan yaitu File — New Model atau toolbar , dan File - New Model from template (hanya dari menu saja).

Jika fasilitas File — New Model dipilih, maka akan disediakan grid koordinat bantu di layar komputer, untuk menempatkan titik – titik koordinat nodal dari geometri yang akan dibuat secara grafis. ukuran grid bantu tersebut dapat ditetapkan berdasarkan kotak dialog yang ditampilkan seperti gambar berikut.



Gambar 1.26 Menetapkan Ukuran Grid Bantu (Sumber: Dewobroto 2013)

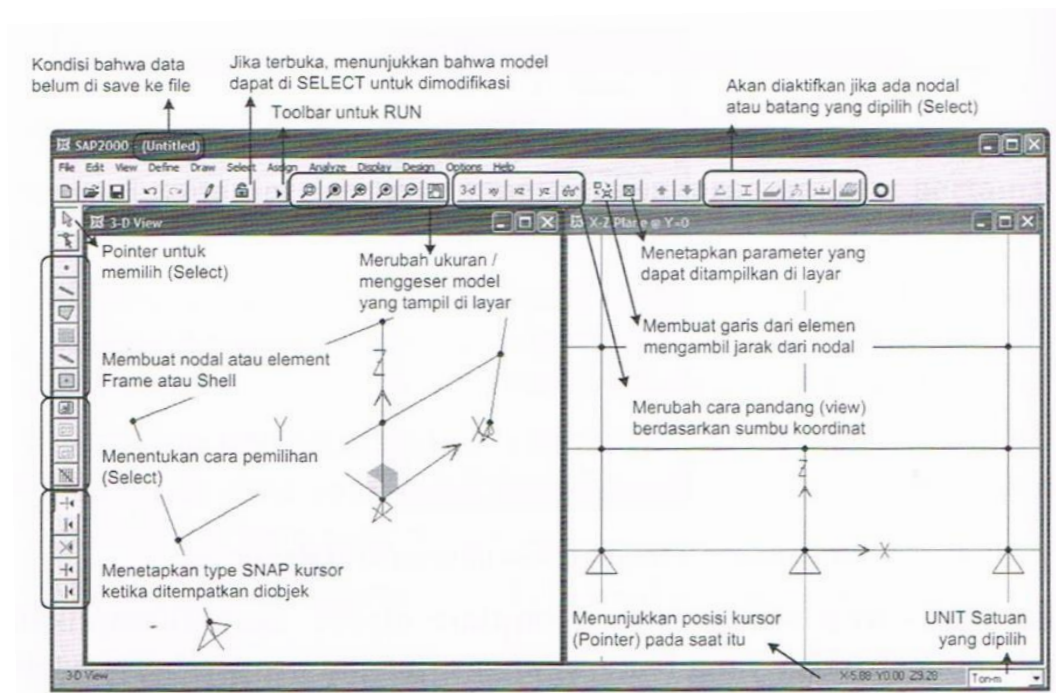
Jika File - New Model from Template dipilih, akan ditampilkan pola struktur yang baku sehingga dengan prinsip parametris dapat dibuat struktur lain dengan ukuran yang berbeda.



Gambar 1.27 Pola Bentuk Struktur yang Tersedia (Sumber: Dewobroto 2013)

Menurut pengalaman memulai input data dengan memanfaatkan pola bentuk yang tersedia adalah sangat membantu. Meskipun dalam praktek, jarang sekali struktur yang akan dianalisis persis sama dengan pola yang ada, tetapi dengan menetapkan pola garis besarnya, maka dengan sedikit modifikasi, dapat dengan mudah struktur – struktur tersebut dibuat. Meskipun demikian, sebenarnya sangat tergantung pada kebiasaan dan kesenangan masin masing orang sehingga langkah yang terbaik adalah mau mencoba keduanya untuk beberapa saat, dan memilih yang paling cocok.

Jika digunakan Model Templates (pada contoh di bawah, templates yang dipilih adalah Portal Frame). Jika template sesuai harapan selanjutnya data ukuran dimasukkan, sehingga dapat dihasilk struktur sesuai pola template tetapi dengan ukuran dari pemakai. Pada tahap pemasukan tersebut maka Menu / Toolbar yang dapat dipakai memanipulasi data, dimunculkan agar dapat diakses.



Gambar 1.28 Tampilan Jika Ada Data Geometri yang Dibuat (Sumber: Dewobroto 2013)

2. Modifikasi Data Geometri dan Tumpuan

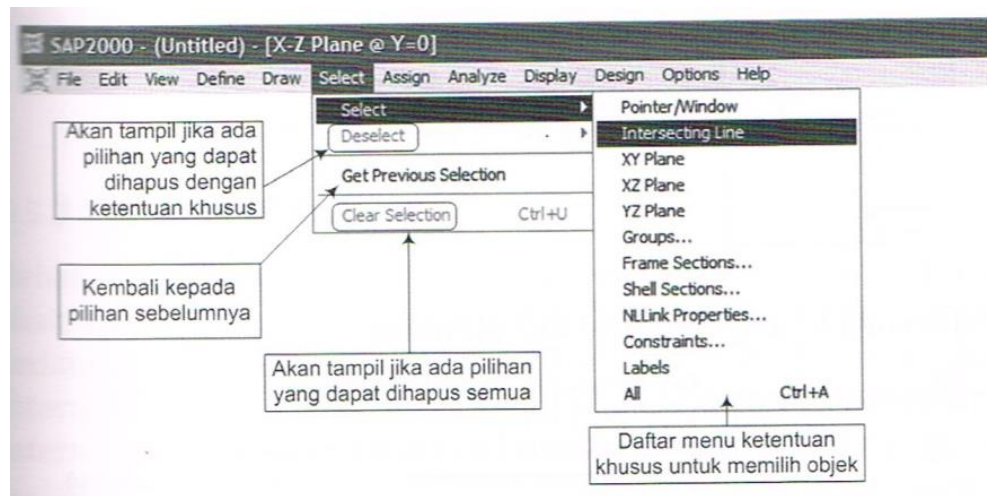
Sebagian besar bentuk geometri model struktur yang akan dianalisis, berbeda dari bentuk geometri pada template yang tersedia. Hal ini disadari pembuat program dengan cara: menyediakan menu – menu modifikasi yang akan aktif jika ada salah satu atau sebagian atau semua dari titik nodal atau element dipilih atau di-Select.

Cara memilihnya antara lain:

- Setelah toolbar Pointer ki di klik, mouse dapat dipakai untuk memilih element / nodal yang akan dimanipulasi dengan cara klik atau dengan klik & drag luasan yang melingkupi banyak item. Cara pointer memilih juga tergantung kondisi toolbar.

Toolbar	Fungsi	Keterangan
	Select All	Jika diklik, seluruh nodal atau element akan terpilih.
	Restore Previous Selection	Jika diklik, pilihan akan diganti dengan pilihan sebelumnya.
	Clear Selection	Semua pilihan akan hilang, kembali pada kondisi belum dipilih.
	Set Intersection Line Select Mode	Jika diklik, tindakan klik & drag akan menghasilkan garis dan setiap elemen yang dilewati garis tersebut akan menjadi terpilih.

- Menggunakan menu Select.



Gambar 1.29 Tampilan Menu Memilih (SELECT) Element / Nodal (Sumber: Dewobroto 2013)

Dengan menu perintah lengkap untuk memilih atau membatalkan pilihan objek (element atau nodal), maka dapat dilakukan pemilihan secara presisi objek yang akan dimanipulasi.

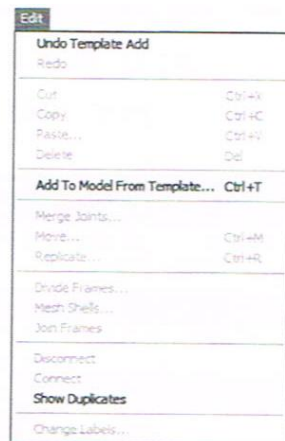
Objek yang dipilih akan menanggapi dengan berubah menjadi garis putus-putus (element) dan garis menyilang (nodal) seperti yang diperlihatkan pada gambar layar berikut.



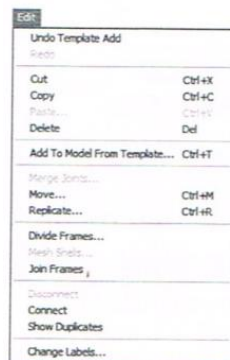
Gambar 1.30 Object yang Terpilih (Sumber: Dewobroto 2013)

Selanjutnya elemen atau nodal yang dipilih dapat dimanipulasi atau diberi atribut – atribut tertentu melalui menu Edit. Seperti sebelumnya, perintah – perintah pada menu Edit yang ditampilkan tergantung kondisinya, apakah 'ada' atau 'tidak adanya' objek atau element atau nodal yang dipilih. Sebagai gambaran, diperlihatkan tiga kondisi dari menu Edit, yaitu:

a) Jika tidak ada objek yang dipilih.



b) Jika objek yang dipilih adalah element.



Cut: menghapus element dan menyimpan ke memory

Copy: meng-copy element ke memory

Paste: menempatkan element yang ada di memory (perintah paste akan tampil jika ada element di memory)

Delete: menghapus element

Move: memindah element

Replicate: meng-copy element sekaligus dengan atributnya, jika ada (misal beban atau yang lainnya)

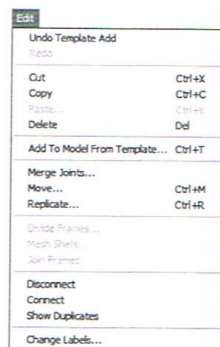
Divide Frames: membagi element (menambah nodal)

Joint Frame: menyatukan element (mengurangi nodal)

Show Duplicate: melihat element di tempat sama > 1

Change Labels: mengubah label default

c) Jika objek yang dipilih adalah nodal.



Cut: menghapus nodal dan menyimpan ke memory

Copy: meng-copy nodal ke memory

Paste: menempatkan nodal yang ada di memory

Delete: menghapus nodal

Merge Joints: menggabung nodal yang berdekatan

Move: memindah nodal

Replicate: meng-copy nodal sekaligus dengan atributnya, jika ada (misal beban atau yang lainnya)

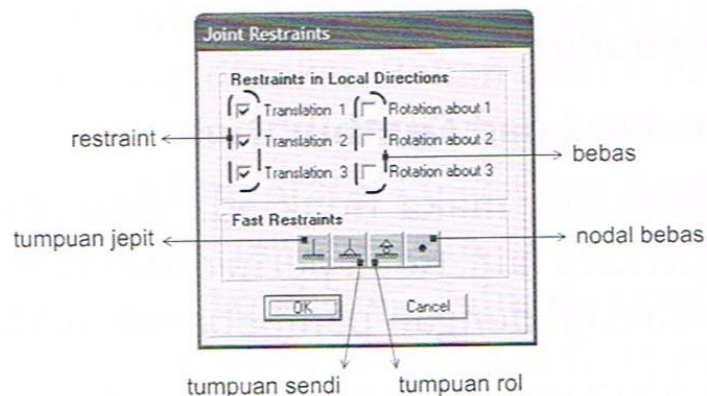
Disconnect: nodal yang sebelumnya digunakan sebagai titik ujung dari beberapa element menjadi dipisahkan

Connect: menggabungkan kembali nodal Disconnect

Show Duplicate: melihat nodal di tempat sama > 1

Change Labels: mengubah label default

Catatan: jika objek nodal dan element sekaligus dalam kondisi terpilih, menu untuk nodal dan element juga sekaligus diaktifkan. Khusus pada titik nodal yang dipilih, dapat ditentukan kondisi d.o.f-nya, apakah menjadi titik nodal bebas atau titik nodal yang tumpuan (restraint), yaitu melalui toolbar Assign Joint Restraint atau menggunakan menu Assign - Joint - Restraint sampai ke kotak dialog berikut.

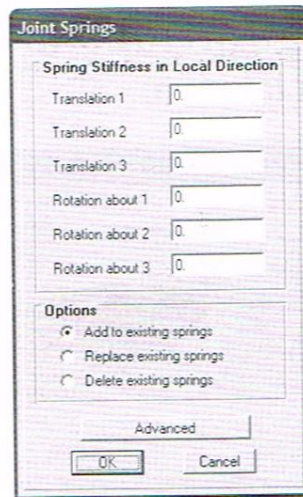


Gambar 1.31 Mengubah Kondisi d.o.f Nodal yang Terpilih (Sumber: Dewobroto 2013)

3. Tumpuan Elastik

Beban yang diberikan pada nodal bebas (bukan nodal tumpuan) akan menimbulkan pengaruh besar ke struktur yang ditinjau. Sedangkan pembebanan yang diberikan pada nodal tumpuan akan diteruskan ke tumpuan tanpa menimbulkan deformasi atau gaya internal pada struktur itu sendiri. Tentu saja hal tersebut perlu dibedakan dengan deformasi yang diberikan pada tumpuan, karena kondisi itu adalah untuk memodelkan adanya ketidak mampuan nodal tersebut bekerja sebagai tumpuan ideal ($\text{deformasi} = 0$) tetapi berupa tumpuan elastik (terjadi deformasi tetapi terbatas).

Pengaruh deformasi yang dipaksakan pada nodal tumpuan adalah mirip memberikan nodal tersebut suatu kekakuan pegas elastik sesuai d.o.f yang ditinjau (translasi atau rotasi). Biasanya cara ini dipakai jika sudah diketahui terlebih dahulu besarnya deformasi yang terjadi, jika belum diketahui dipakai saja opsi pegas elastik.



Gambar 1.32 Data Tumpuan Elastik (Sumber: Dewobroto 2013)

vi. Data Pembebanan

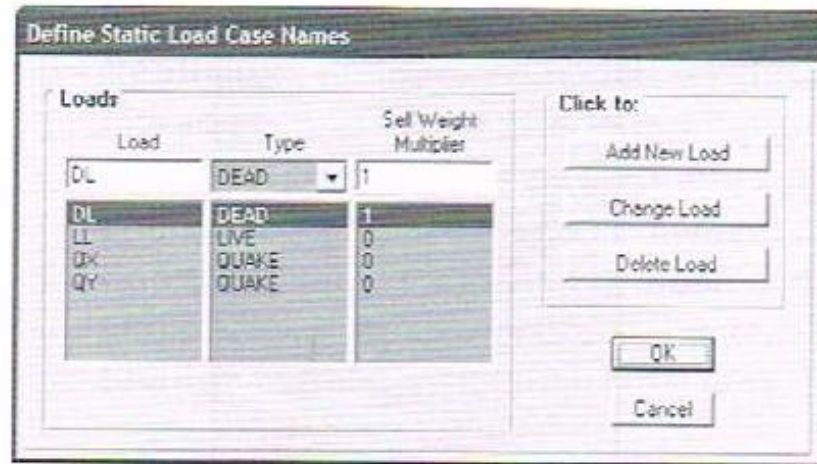
1. Static Load Case dan Load Combination

Tanpa ada pembebanan, maka tidak ada gaya – gaya internal yang dihasilkan. Dengan kata lain, tidak perlu dilakukan analisa struktur. Ada pun yang dimaksud dengan pembebanan adalah:

- Gaya : beban yang umum dijumpai, berupa gaya terpusat atau momen pada nodal atau element, dan beban merata pada batang.
- Deformasi: yaitu deformasi yang ditentukan yang dapat diberikan pada titik nodal tumpuan. Misalnya akibat penurunan pondasi dan akan berpengaruh pada struktur menerus atau statis tak tentu.
- Temperatur: akibat perbedaan suhu elemen akan mengalami deformasi, tetapi hanya signifikan untuk struktur statis tak tentu.
- Prategang: untuk mensimulasi adanya efek kabel prategang dan hanya dapat diberikan pada element dan tidak pada nodal.

Suatu struktur kadang memerlukan tinjauan berbagai kondisi pembebanan. Hal ini umum pada proses desain penampang untuk mencari kondisi kritis. Dalam hal demikian, perlu pengelompokan beban yang mempunyai type yang sama. Misalnya kelompok beban mati (berat sendiri, tembok, ...) atau beban hidup (beban orang, mobil, ...), atau beban lateral (angin, gempa).

Kelompok dalam pengertian tersebut adalah STATIC LOAD CASE yang akan dianalisis secara terpisah satu sama lainnya.



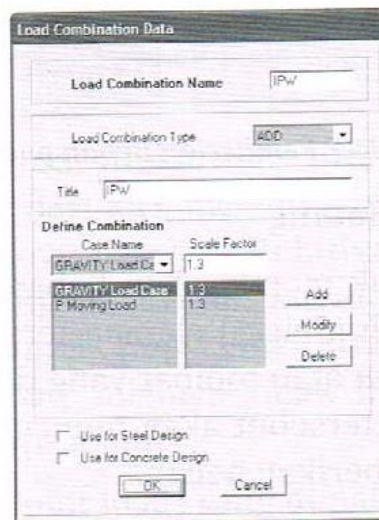
Gambar 1.33 Mengubah dan Membuat Static Load Case(Sumber: Dewobroto 2013)

Default program akan menetapkan LOAD 1 sebagai nama Static Load Case dan mengelompokkan beban-beban yang diberikan. selanjutnya nama tersebut dapat diganti atau ditambah yang baru melalui menu Define - Static Load Case. Lihat Gambar 1.33.

Perhatian, default program SAP2000 otomatis akan menghitung Berat sendiri berdasarkan info luas penampang element dan berat jenis material yang dipakai. Beban akibat berat sendiri akan dikelompokkan ke Static Load Case pertama. Jika tidak diinginkan, melalui kotak dialog Define Static Load Case Names gantilah Self Weight Multiplier = 0 (perhitungan berat sendiri juga dapat dimasukkan pada Static Load Case lain, dengan mendefinisikan item tersebut menjadi # 0 pada Static Load Case yang diinginkan).

Untuk mencari pengaruh antara Static Load Case satu dengan yang lainnya, pada setiap Static Load Case yang ada dilakukan kombinasi. Pada umumnya, yang diketahui dari suatu kombinasi adalah mengalikan Static Load Case dengan suatu Faktor beban, kemudian dijumlah dengan Static Load Case berikutnya yang juga dikalikan dengan Faktor beban yang sesuai. Seperti perencanaan beban rencana terfaktor pada perencanaan batas beton bertulang.

Selain cara di atas, program SAP2000 juga menyediakan alternatif kombinasi untuk mendapatkan nilai-nilai puncak dari berbagai Static Load Case yang telah didefinisikan. Dalam hal ini, kombinasi sebelumnya juga dapat dianggap sebagai Static Load Case baru. Dengan cara ini, maka pada satu penampang dimungkinkan untuk menerima momen negatif dan momen positif secara sekaligus. Hal tersebut tentunya sangat berguna untuk mencari momen rencana pada perencanaan beton bertulang, untuk memastikan bahwa tulangan yang diberikan telah memberikan keamanan cukup.



Gambar 1.34 Mengubah dan Membuat Data Kombinasi Beban (Sumber: Dewobroto 2013)

Type – type kombinasi di atas, berturut – turut disebut sebagai Load Combination Type ADD dan Load Combination Type ENVE. Untuk membuat kombinasi perintahnya Define — Load Combinations — Add New Combo (buat baru) atau Define — Load Combinations — Modify/Show Combo (yang ada untuk melihat / memodifikasi), Selanjutnya muncul menu Load Combination Data (Gambar 1.34).

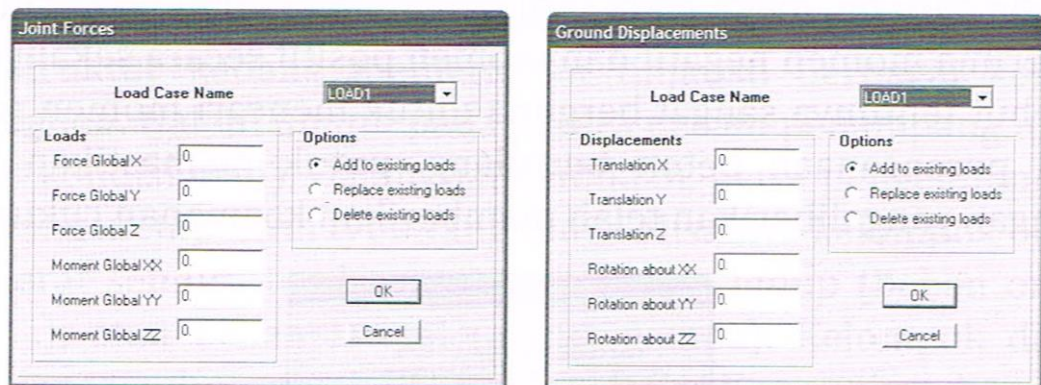
2. Beban Nodal

Untuk memberikan beban pada titik nodal, yang pertama perlu dilakukan adalah memilih (Select) titik nodal itu terlebih dahulu sehingga menu –

menu atau toolbar yang dapat digunakan untuk memanipulasi nodal akan muncul atau aktif, termasuk juga untuk memberikan beban.

Gaya atau momen yang arahnya mengikuti koordinat sumbu global dapat diberikan pada nodal melalui menu Assign — Joint Static Loads — Forces, hingga ditampilkan kotak dialog Joint Forces.

Deformasi (translasi atau rotasi) yang ditentukan dapat diberikan pada nodal yang diberikan restraint (nodal tumpuan), sedangkan nodal bebas tidak dapat (meskipun tidak ada pesan error untuk nodal bebas yang diberi beban deformasi). Untuk memberi beban berupa deformasi, menu yang digunakan adalah Assign — Joint Static Loads — Displacements, hingga ditampilkan kotak dialog Ground Displacement.

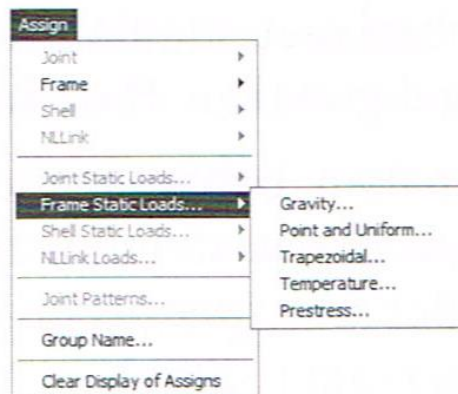


Gambar 1.35 Pemberian Beban pada Nodal (Sumber: Dewobroto 2013)

3. Beban pada Elemen Batang

Langkah pertama untuk memberikan beban pada elemen batang adalah dengan memilih (Select) elemen tersebut terlebih dahulu, selanjutnya menu-menu atau toolbar yang dapat digunakan untuk memanipulasi elemen tersebut akan muncul atau aktif, termasuk juga menu untuk memberikan beban.

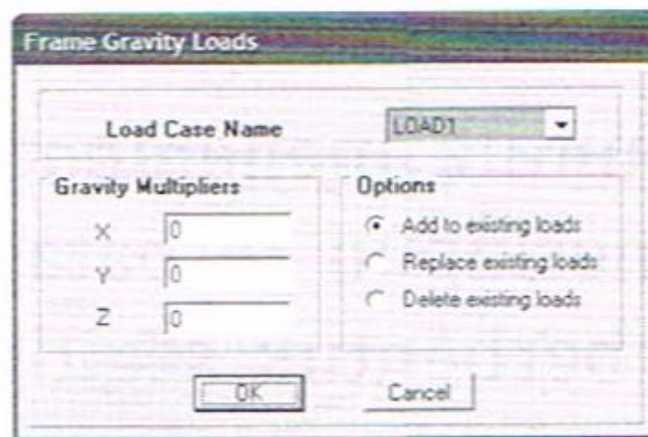
Menu aksesnya adalah Assign - Frame Static Loads. Selanjutnya ada pilihan memilih bentuk-bentuk pembebanan yang tersedia.



Gambar 1.36 Menu Pembebanan pada Element Batang (Sumber: Dewobroto 2013)

Adapun detail dan kegunaan setiap bentuk – bentuk pembebanan pada element batang akan dibahas sebagai berikut:

- a. Gravity, untuk element batang yang akan sendirinya, yaitu dengan mengalikannya dengan suatu skala untuk tiap-tiap arah sumbu global.



Catatan: berat sendiri element perlu didefinisikan dahulu dengan Define - Static Load Cases, yaitu dengan memberi harga pada variabel Self Weight Multiplier. Arahnya selalu sejajar dalam arah negatif dari sumbu Z (arah ke bawah).

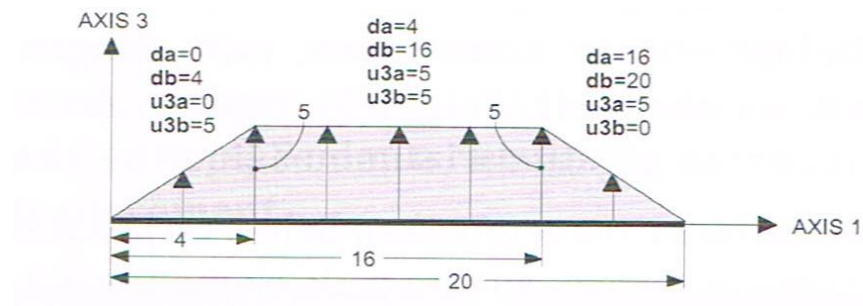
- b. Point and Uniform, menempatkan beban terpusat sebanyak 4 buah serta beban terbagi merata pada element batang.

Posisi beban terpusat diukur dari titik awal element (nodal I) dan tidak harus dari kiri, melalui perbandingan jarak relatif terhadap panjangnya, jika opsi Relative Distance from End-I aktif. Bisa juga dengan jarak absolut atau tertentu sesuai satuan yang digunakan, jika opsi Absolute Distance from End-I diaktifkan. Hati – hati nilainya tidak boleh lebih besar dan panjang element itu sendiri.

Beban terpusat (Point load) yang dimaksud dapat berupa gaya atau momen (tidak dapat diberikan sekaligus sehingga perlu diulang jika ada) Beban merata nilainya dipengaruhi oleh unit satuan panjang yang digunakan. Hati-hati!

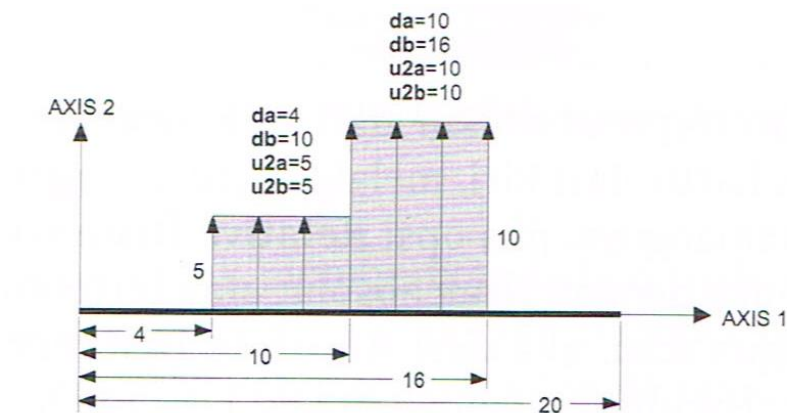
- c. Trapezoidal, merupakan beban menerus terbagi rata atau linier yang besarnya dapat didefinisikan dalam empat (4 titik yang berbeda. Beban dapat berupa gaya maupun momeni (tetapi tidak dapat bersama-sama).

Jenis ini berguna untuk menempatkan beban menerus yang bervariasi linier meskipun terbatas pada empat titik belok, misal beban yang berbentuk segitiga atau trapezium seperti pembebanan pada pelat lantai dua arah.



Gambar 1.37 Beban Merata Trapezium (Sumber: Dewobroto 2013)

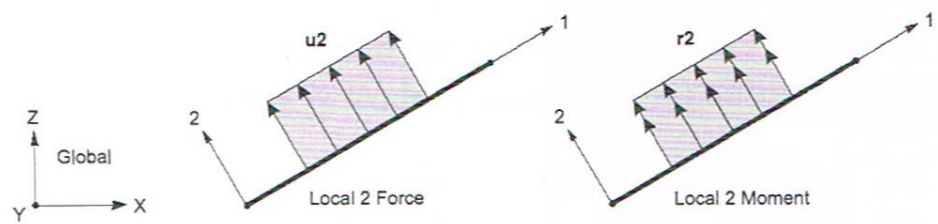
Selain itu, dapat juga dipakai untuk membuat beban merata yang terputus-putus atau tidak secara penuh di sepanjang bentang.



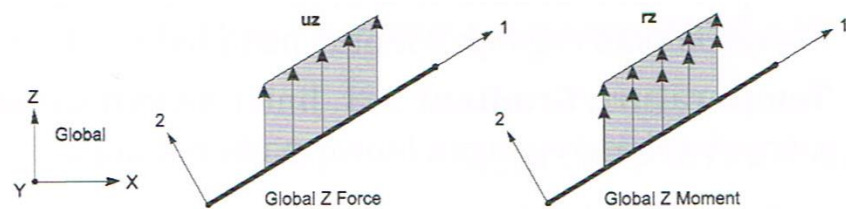
Gambar 1.38 Beban Merata Tidak Penuh (Sumber: Dewobroto 2013)

Arah Pembebanan: Beban-beban yang diberikan pada batang baik berupa beban terpusat, beban merata, maupun beban terpezoidal dapat ditempatkan pada arah yang tertentu dan disediakan beberapa kemungkinan cara penempatan arahnya, yaitu

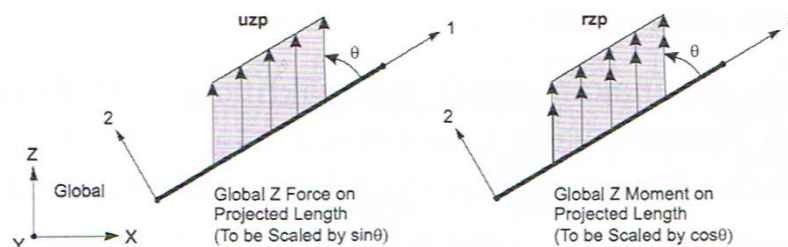
- Local 1: searah sumbu batang atau sumbu lokal 1
- Local 2: searah sumbu lokal 2



- Local 3: searah sumbu lokal 3
- Global X: searah sumbu global X
- Global Y: searah sumbu global Y
- Global Z: searah sumbu global Z = negatif Gravitasi



- Global X Projected
- Global Y Projected
- Global Z Projected

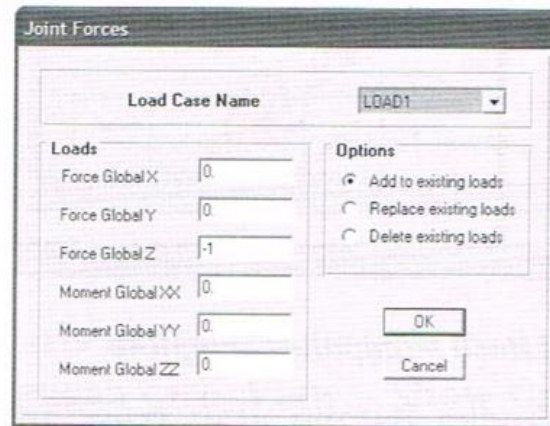


Catatan: beban merata arah vertikal, gaya per unit panjang horizontal, jika diproyeksikan akan menjadi lebih kecil.

- Gravity = negatif dari Global Z
- Gravity Projected = negatif Global Z Projected

d. Temperature, akan menghasilkan regangan akibat thermal pada element Frame yang merupakan produk dari koefisien ekspansi thermal material dan adanya perubahan temperatur element yang diukur dari temperatur acuan yang diambil nol.

Dengan demikian, perubahan temperatur yang menyebabkan regangan lentur adalah sama dengan perubahan temperature yang diberikan.

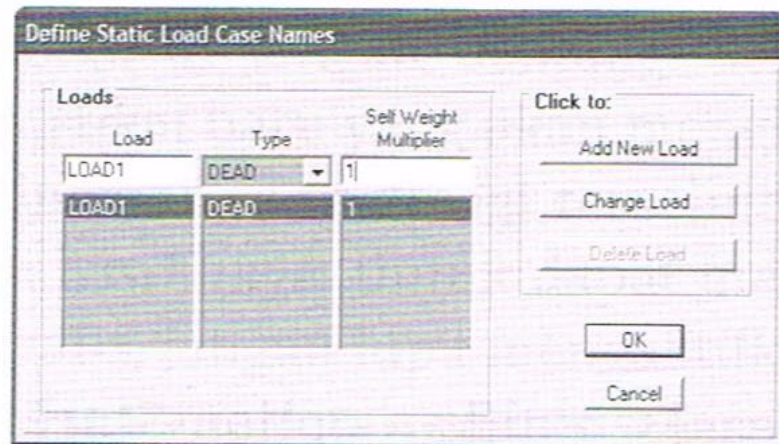


Ada tiga type pembebanan berupa temperatur, yaitu:

- Temperature nilainya konstan sepanjang penampang sehingga menyebabkan regangan aksial pada batang.
- Temperature Gradient 2-2, linier searah sumbu lokal 2 menyebabkan regangan lentur pada bidang 1-2 (lokal).
- Temperature Gradient 3-3, linier searah sumbu lokal 3 menyebabkan regangan lentur pada bidang 1-3 (lokal).

Temperature Gradient merupakan perubahan temperatur per unit panjang dan bernilai positif jika peningkatan temperatur linier dalam arah positif sumbu lokal. Temperature gradient bernilai nol pada sumbu netral sehingga tidak menyebabkan regangan aksial. Ketiga beban temperatur di atas bernilai konstan sepanjang batang atau diinterpolasi dari nilai yang ditetapkan pada nodal.

- e. Prestress, digunakan untuk mengaktifkan data Frame Prestressing Pattern yang sebelumnya telah diberikan terlebih dahulu pada element, yaitu mengalikannya dengan Scale Factor yang nilainya > 0 . Itu berarti perintah ini baru akan bekerja jika element yang dipilih telah diberi data profil geometri 10 I kabel prestressing terlebih dahulu, yaitu melalui menu Assign - Frame — Prestress



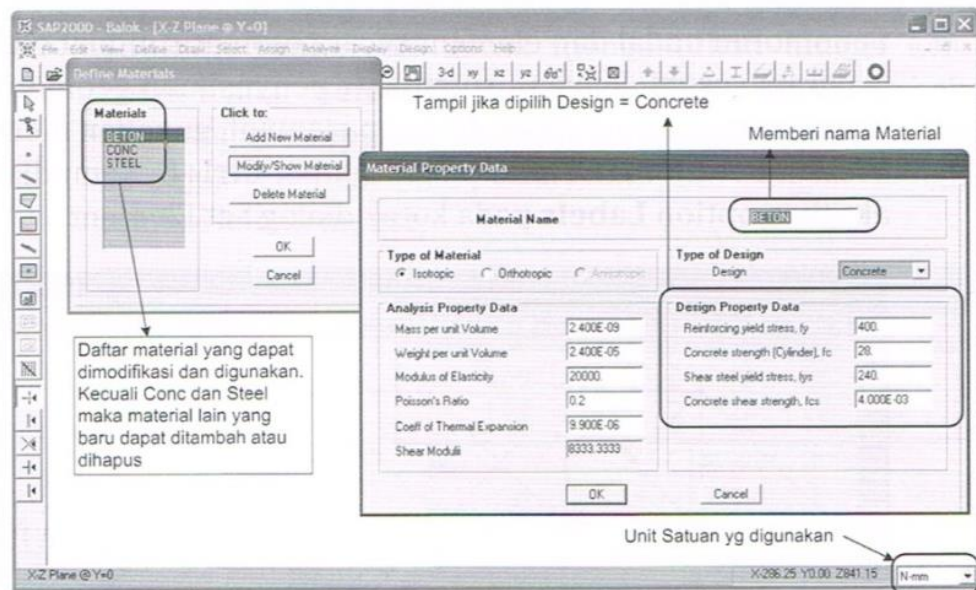
vii. Data Bahan Material

1. Properti Bahan Material

Data Materials digunakan untuk menyatakan sifat (properties) mekanik, thermal, massa, dan berat jenis (densitas) bahan yang akan dimodelkan dengan formulasi element Frame, Shell, Plane, Asolid, dan Solid pada program SAP2000.

Properti material selalu bersifat elastik linier, dapat dianggap material isotropik, orthotropik, atau anisotropik. Meskipun demikian, properti yang sesungguhnya bergantung pada formulasi type element yang digunakan. Tiap – tiap jenis material yang dinyatakan dapat digunakan lebih dari satu type element. Untuk element Frame, data properti material dinyatakan pada bagian Section properties.

Data Material secara default telah ditetapkan sebanyak 2 (dua) buah untuk keperluan Design, yaitu CONC (concrete) dan STEEL. Satu lagi data material default, yaitu OTHER digunakan untuk penampang yang tidak memerlukan Design (analisis saja), dan namanya dapat diubah ke nama lain. Untuk mengakses data material, digunakan menu Define - Materials sehingga muncul kotak dialog Define Materials sebagai berikut.



Gambar 1.39 Data Material (Sumber: Dewobroto 2013)

Properti Bahan Material

Bahan material untuk setiap penampang elemen ditetapkan dengan mengacu data material yang telah dibuat / ditetapkan sebelumnya. selanjutnya untuk element Frame selalu akan menganggap bahwa materialnya adalah *isotropik* meskipun option yang dipilih adalah *orthotropik* atau anisotropik (kondisi program SAP2 000 v7.4, pada program versi lebih baru, bisa saja telah dilakukan peningkatan).

perilaku material isotropik tidak bergantung arah pembebanan atau orientasi material pada batang struktur, dan umumnya digunakan untuk memodelkan material baja (*steel*) dan beton (*concrete*). Kayu termasuk jenis material orthotropik, karena tergantung arah serat.

seperti material yang digunakan untuk Section adalah:

- Modulus elastisitas, E, untuk kekakuan aksial dan lentur.
- Modulus geser, G, untuk kekakuan torsi dan geser transversal.
- Koefisien ekspansi thermal, α , untuk memperhitungkan ekspansi aksial dan regangan lentur akibat pengaruh thermal.
- Densitas massa, ρ , untuk memperhitungkan massa element yang diperlukan untuk analisa dinamik.

- Densitas berat, γ , diperlukan untuk menghitung Self-Weight (berat sendiri) dan Gravity Loads. Dengan mengubah nilainya menjadi nol (0), menu yang berkaitan dengan berat sendiri, yaitu Define - Static Load Case - Self Weight Multiplier maupun Assign - Frame Static Loads - Gravity tidak akan berfungsi lagi (tidak berpengaruh pada struktur).

2. Type Desain

Type of Design pada kotak dialog Material Property Data menunjukkan apakah material yang dinyatakan hanya digunakan untuk keperluan analisis atau sekaligus untuk keperluan desain penampang. Option ini dapat digunakan untuk menentukan elemen – elemen mana yang akan didesain dan mana yang tidak perlu pada lingkungan operasi berbasis grafis pada SAP2000.

Material yang telah disediakan oleh program (default, yaitu CONC dan STEEL, selain untuk analisis juga untuk desain (tidak dapat diubah), masing-masing untuk desain beton bertulang dan baja. Ada Juga material default lain yaitu OTHER yang dapat diubah. Perintah Add New Material dapat dipakai untuk membuat material baru lain yang ditetapkan dengan tiga kemungkinan, yaitu:

- Steel: material ini dipilih jika post-processor untuk mendesain penampang baja sesuai peraturan perencanaan baja atau code yang ada pada program, diperlukan.
- Concrete: material ini dipilih jika post-processor untuk mendesain beton bertulang sesuai peraturan atau code yang ada pada program, diperlukan.
- Other: material ini dipilih jika hanya proses analisis saja yang diperlukan, meskipun element dengan material lain didesain, Jika didefinisikan material baru, maka kondisi material adalah Other, hanya untuk analisis saja, tidak desain.

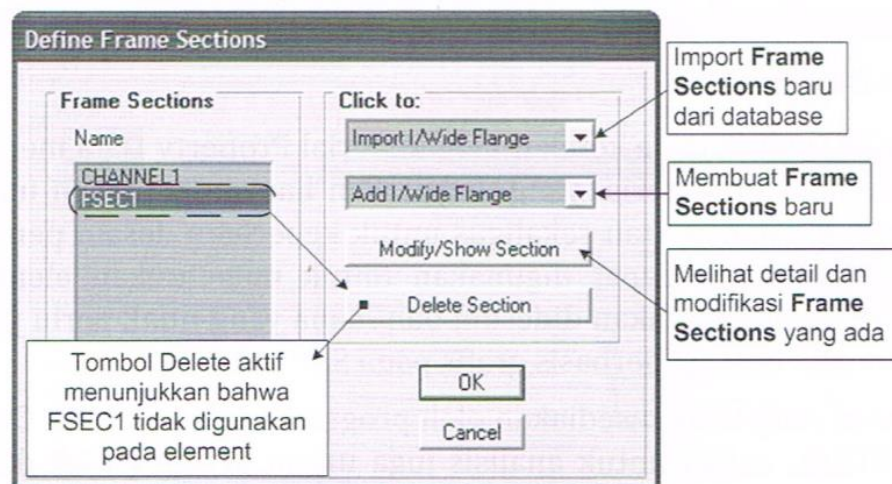
viii. Data Penampang Batang

1. Properti Penampang

Frame Sections adalah data material dan data geometri penampang batang yang akan digunakan oleh element Frame. Pada tiap penampang akan didefinisikan secara terpisah dan dikumpulkan membentuk suatu daftar penampang-penampang yang nantinya siap diaplikasikan pada element Frame.

Daftar tersebut ibarat gudang persediaan berbagai macam profil penampang dan selanjutnya dinyatakan atau didefinisikan pada element Frame tertentu yang ada.

Jika pada tabel tersebut berisi data Frame Sections yang belum didefinisikan pada element Frame, data tersebut dapat dihapus. Jika sudah terdefinisi, data Frame Section tidak dapat dihapus.



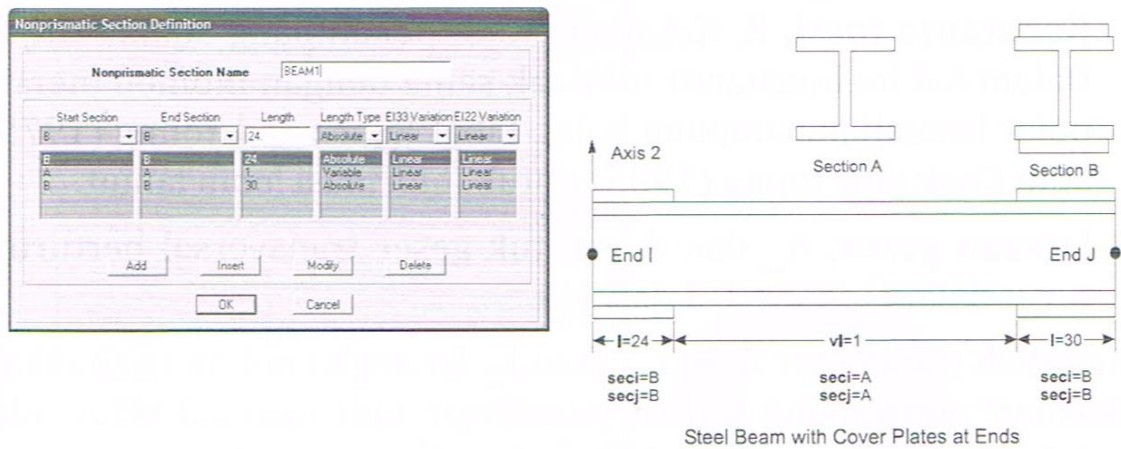
Gambar 1.40 Data Frame Sections (Sumber: Dewobroto 2013)

Kotak dialog pada menu diatas dapat diakses melauai Define – Frame Section.

untuk mengaplikasikan pada element Frame, ada dua cara:

- Prismatic - satu batang hanya punya satu penampang.
- Non-prismatic - satu batang terdiri dari beberapa penampang, clengan transisi bervariasi, bisa linier, parabolik, atau kubik.

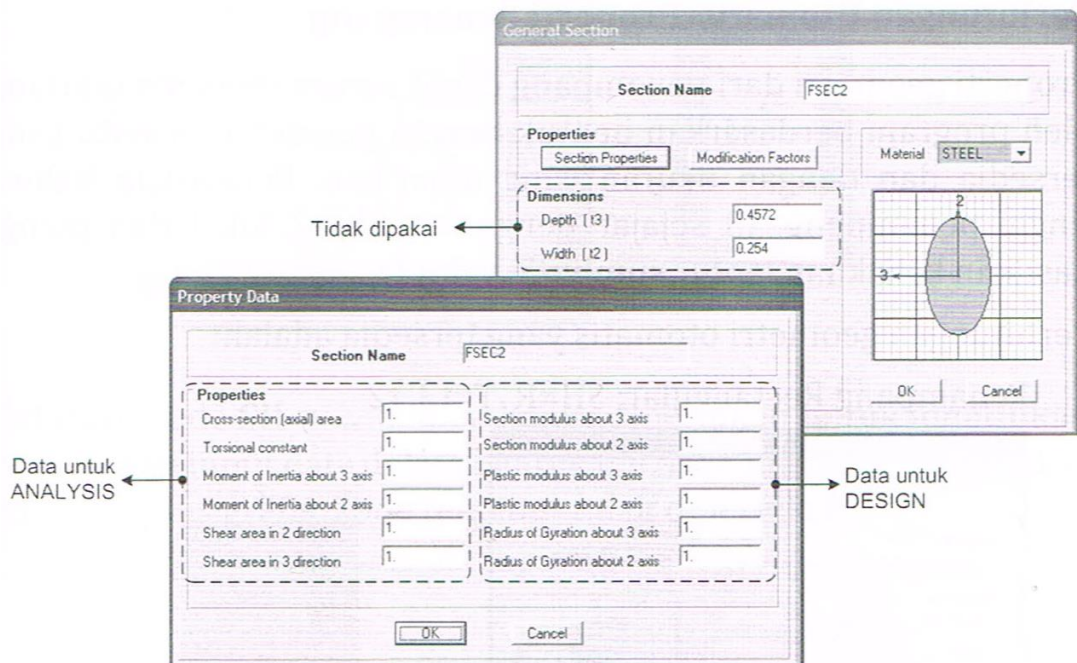
Penampang Non-prismatic didasarkan data penampang yang ada. Jadi minimal harus ada dua penampang Prismatic yang dibuat.



Gambar 1.41 Element Batang Non-Prismatik (Sumber: Dewobroto 2013)

2. Properti Geometri dan Kekakuan Penampang

Dari data penampang yang akan digunakan, diperlukan 6 (enam) properti data geometri dasar yang bersama-sama dengan properti data material akan menghasilkan kekakuan elemen itu sendiri.



Gambar 1.42 Data Type General Section (Sumber: Dewobroto 2013)

Ke-6 properti geometri dasar, ada dikotak dialog Property Data. Khususnya yang ada keterangan “ data untuk Analysis” yaitu :

- Cross-section (axial) area, A , adalah pendukung untuk menghasilkan kekakuan aksial batang, yaitu AE/L .
- Moment of Inertia about 3 axis, I_{33} , adalah moment inersia terhadap sumbu 3 untuk lentur pada bidang 1-2. Sedangkan Moment of Inertia about 2 axis, I_{22} , adalah moment inersia terhadap sumbu 2 untuk lentur pada bidang 1-3. Kekakuan lentur yang dihasilkan adalah EI_{33}/L dan EI_{22}/L .
- Konstanta torsi, K . Kekakuan torsi penampang adalah GK/L . Dalam hal ini konstanta torsi tak sama dengan momen inersia polar kecuali penampang bulat. Lihat Roark and Young (1975) atau Cook and Young (1985) untuk informasi lebih lanjut.
- Luasan geser, A_{v2} dan A_{v3} , untuk geser transversal berturut-turut dalam bidang 1-2 dan 1-3.

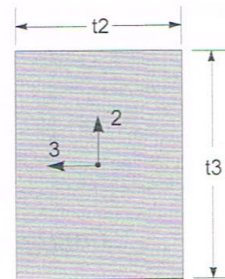
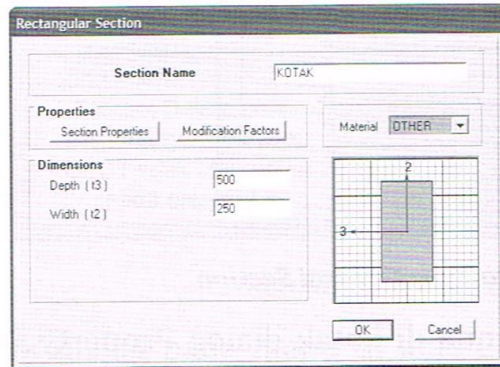
Mengubah parameter A , K , I_{33} , atau I_{22} ke angka nol menyebabkan kekakuan penampang terkait parameter tadi menjadi tidak ada. Contoh, element truss dimodelkan dengan menetapkan parameter $K = I_{33} = I_{22} = 0$ sedangkan frame (portal bidang) dengan elemen batang berorientasi pada bidang 1-2 dapat dimodelkan dengan mengubah setting $K = I_{22} = 0$. Menetapkan setting item A_{v2} atau A_{v3} ke angka nol menyebabkan deformasi geser arah 2 atau arah 3 lokal batang akan diabaikan.

3. Perhitungan Otomatis Properti Penampang

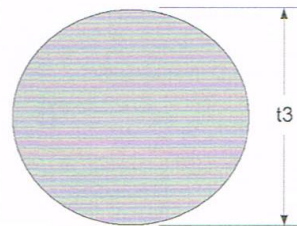
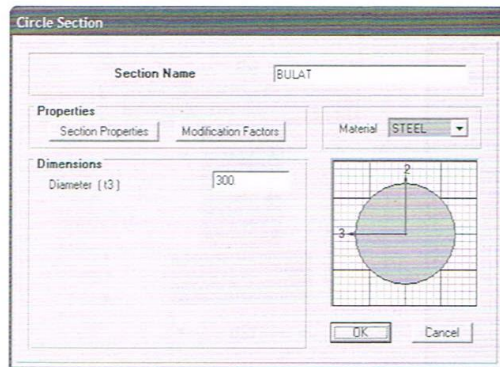
Properti geometri dari penampang dapat secara otomatis dihitung oleh program berdasarkan bentuk-bentuk geometri tertentu yang tersedia dan dengan ukuran yang diberikan. Perhatikan bahwa tinggi penampang, t_3 sejajar dengan sumbu-2 lokal C_{lan} menghasilkan kekakuan lentur sumbu-3, yaitu I_{33}

Perhitungan geometri otomatis yang tersedia adalah:

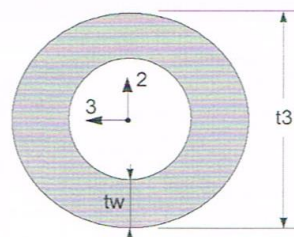
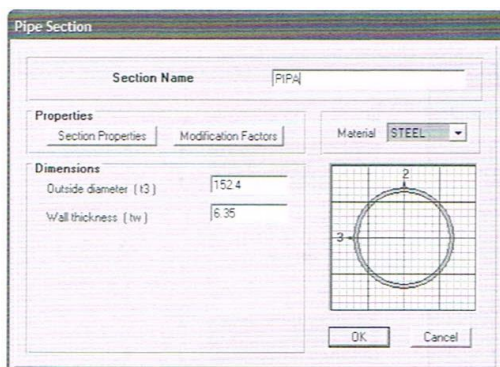
- Penampang Rectangular: $SH=R$ $T=t_3, t_2$



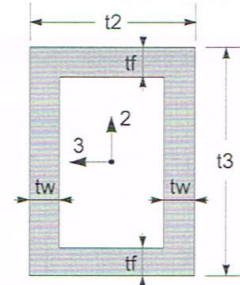
- Penampang Solid Circular: $SH=P$ $T=t_3$



- Penampang Pipa: $SH=P$ $T=t_3, tw$

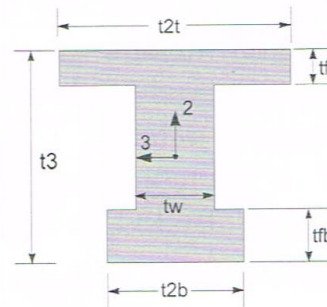
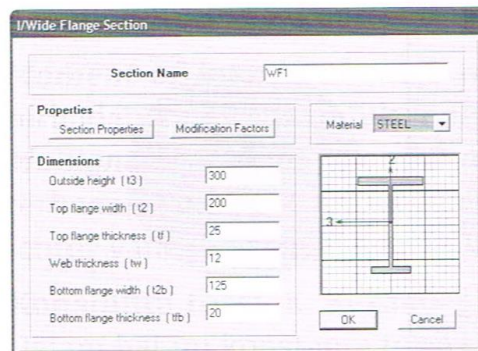


- Penampang Box: $SH=B$ $T=t_3, t_2, t_f, t_w$

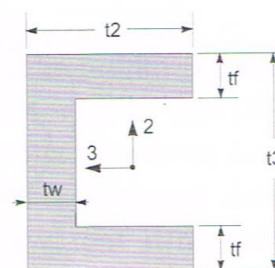
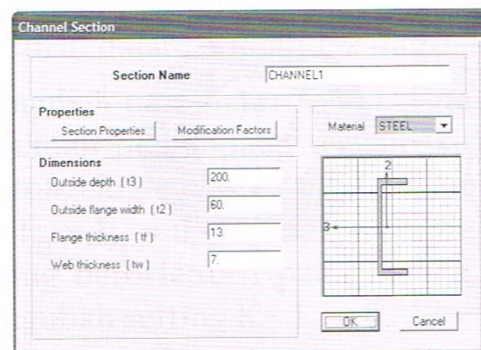


catatan: kode $SH = \dots T = \dots$ hanya diperlukan untuk identifikasi pemasukan input data dalam bentuk file teks (file *.s2k) Sedangkan dalam modus grafis, kode tersebut tidak diperlukan.

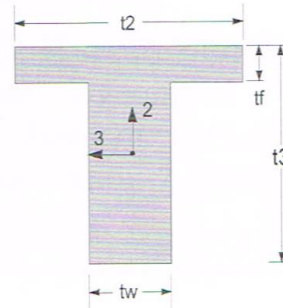
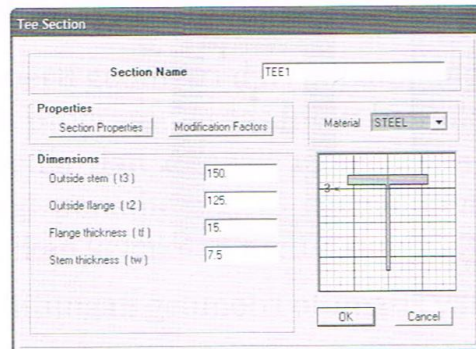
- Penampang I-WF: $SH=I$ $T=t_3, t_{2t}, t_{ft}, t_w, t_{2b}$,



- Penampang C/Kanal: $SH=C$ $T=t_3, t_2, t_f, t_w$ mpang Siku-Double:
 $SH=2L$ $T=t_3, t_2, t_f, t_w, dis$

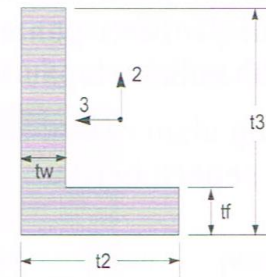


- Penampang Tee: $SH=T$ $T=t_3, t_2, t_f, t_w$

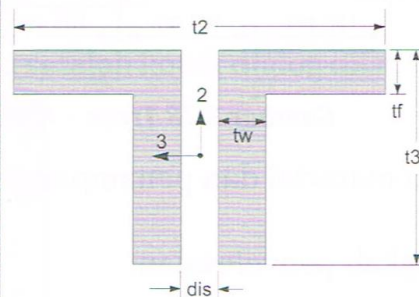
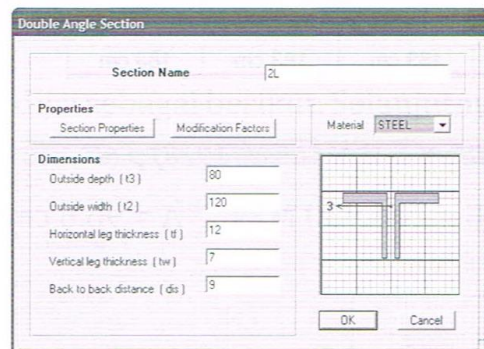


Catatan: kode $SH = \dots$ $T = \dots$ hanya dipergunakan untuk identifikasi pemasukan input data dalam bentuk file teks (file *.s2k). Sedangkan dalam modus grafis, kode tersebut tidak diperlukan.

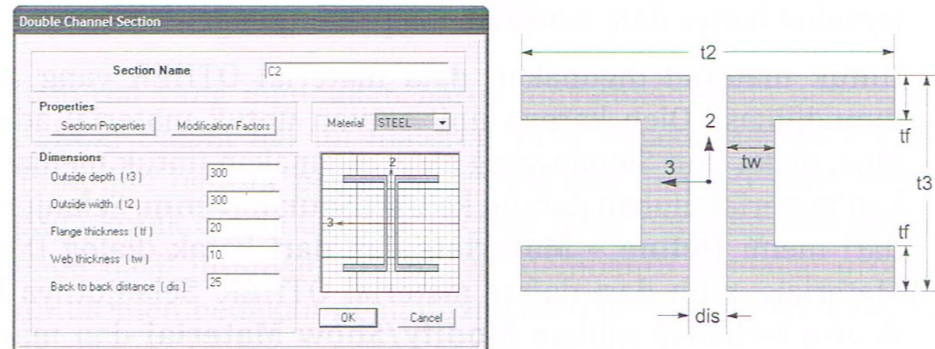
- Penampang siku : $SH=L$ $T=t_3, t_2, t_f, t_w$



- Penampang siku Double : $SH=2L$ $T=t_3, t_2, t_f, t_w, dis$



- Double-Channel



Catatan: perhitungan otomatis double channel tidak tersedia pada modus teks (petunjuk dari manual tidak ada), adanya pada modus grafis. Dapat didekati dengan $Sh=I$, yaitu penampang Wide Flange

ix. File yang Dihasilkan Program

1. Pendahuluan

Meskipun hasil analisa struktur yang utama, yaitu lendutan dan gaya – gaya batang, serta reaksi tumpuan, sudah dapat diperoleh. Tetapi ada baiknya dapat memahami isi file – file apa saja yang telah dihasilkan oleh program SAP2 000 selama proses perhitungannya berlangsung. Maklum, kadang – kadang tidak setiap proses dapat berlangsung secara mulus, mungkin akibat adanya input data yang kurang, yang tidak disadari oleh pemakai. Sehingga ketika program tersebut dijalankan akan gagal, dan dijumpai pesan yang menyatakan bahwa struktur tidak stabil, dan sebagainya.

Dengan mempelajari informasi yang terdapat pada file – file tersebut, maka kadang-kadang bisa diperoleh jawaban: mengapa struktur yang dianalisis mengalami kegagalan. Kalaupun tidak berkaitan dengan kegagalan dapat juga diperoleh optimasi bagi struktur yang sedang dianalisis.

Selama proses, program komputer SAP2000 menghasilkan tiga file keluaran sebagai berikut:

- File input echo, file dengan akhiran *.EKO merupakan tabulasi hasil pembacaan komputer dari input data yang dimasukkan (untuk checking).

- File analysis log, file dengan akhiran *.LOG berisi analisa statistik, warning, dan pesan error jika ada.
- File output, file dengan akhiran *.OUT berisi deformasi, gaya, tegangan, dan hasil analisa lain jika ada.

Catatan: Pada saat mengimpor file SAP90 atau SAP2000 input data teks file, maka hanya dihasilkan file input echo saja.

Untuk file input data bernama contoh.SDB atau contoh.S2K, file – file yang dihasilkan adalah contoh.EKO, contoh.LOG, dan contoh. Out File – file tersebut merupakan file teks dengan format lebar 80-an karakter, yang dapat dibuka dan dicetak dengan program teks editor standar Windows Notepad, atau program lain yang sejenis.

2. File Input Echo (*.EKO)

File ini dihasilkan selama proses pengecekan data oleh program dan berisi tabulasi dari data yang terbaca dan yang diinterpretasikan oleh program. Sangat berguna untuk membandingkan antara hitungan yang dikerjakan secara otomatis oleh program. misalnya pada section property penampang dan section property yang diharapkan, seperti anggapan bahwa penampang berorientasi Pada sumbu kuat ternyata yang dihitung sebagai sumbu lemah sehingga dapat dilakukan koreksi seperlunya.

3. File Analysis Log (*.LOG atau *.LOG)

File ini akan dihasilkan selama tahapan analisis dan akan menampilkan setiap proses yang dilakukan program, termasuk juga jika ada pesan – pesan warning atau error selama proses berlangsung.

Manual program menganjurkan untuk secara hati – hati memeriksa isi file ini dan memahami setiap warning, error yang diberikan, termasuk juga pada rangkuman hasil dan global force balance relative errors.

Informasi yang dapat diperoleh dari file *.log adalah:

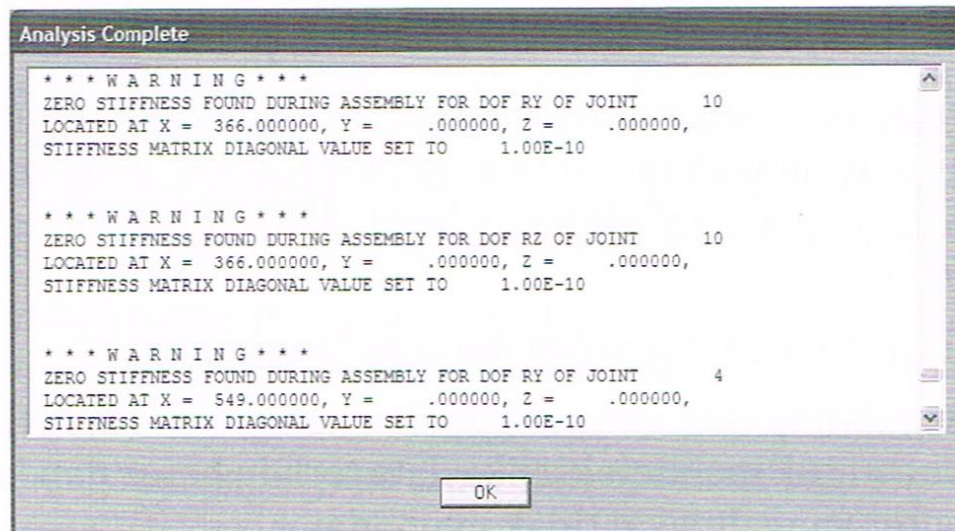
- Memory komputer yang digunakan program (bytes), sangat berguna untuk mendeteksi jika data terlalu besar dan kapasitas komputer yang dipakai tidak memadai.
- Jumlah elemen batang yang dianalisis, termasuk juga jumlah persamaan yang harus diselesaikan, ukuran matrik kekakuan, dan jumlah beban yang diproses.

- Berbagai informasi pada penyelesaian dinamik.

jika terdapat pesan error maka proses perhitungan di komputer dihentikan (program stop), pemakai dalam hal ini harus memeriksa Input data secara manual, menemukan kesalahan dan membetulkan terlebih dahulu penyebab sebelum dilakukan analisis ulang.

Jika hanya warning, analisis masih dapat dilanjutkan (program tidak stop). Meskipun demikian, pemakai sebaiknya memeriksa mengapa sampai keluar pesan warning tersebut. Pesan itu muncul jika program memberi kondisi tertentu pada input data yang diproses secara otomatis agar analisis dapat dilanjutkan. Kondisi tertentu tersebut harus dibaca oleh pemakai dan mengevaluasinya sehingga diketahui apakah tindakan program yang otomatis tadi, sesuai dengan maksud pemakai atau tidak.

Kondisi tertentu yang dimaksud akan dijelaskan dalam bentuk contoh sebagai berikut. SAP2000 secara otomatis telah disiapkan untuk menghitung struktur space frame (terdiri dari 12 d.o.f per batang). Pemakai menggunakannya untuk menghitung plane frame (portal bidang terdiri dari 6 d.o.f per batang), data yang diberikan hanya mengacu pada portal bidang saja, misalnya inersia hanya 133 saja, sedangkan data 122 dan K tidak diberi. Selain itu juga, option analisis tetap diaktifkan sebagai struktur 3D penuh. Kalau program matrik kekakuan lain tentu akan 'ngambek' tidak berjalan karena ada data yang kurang, atau arti yang lain struktur tidak stabil. Akan tetapi, program SAP2000 secara cerdas memahami bahwa program akan menganalisis struktur bidang sehingga d.o.f arah tegak lurus bidang tersebut akan di-restraint secara otomatis.



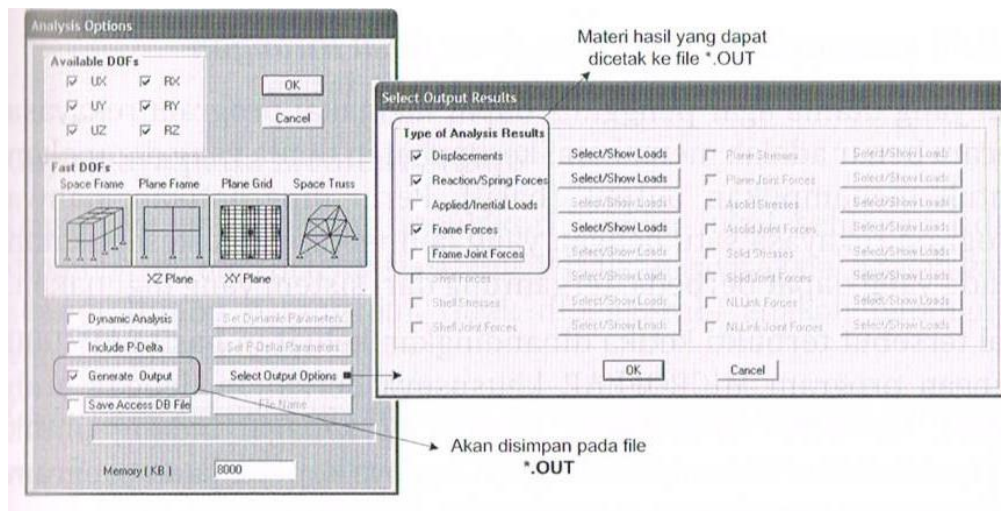
Gambar 1.43 Screen Warning yang Tercetak Juga pada File *LOG (.\$OG)
(Sumber: Dewobroto 2013)

Tindakan cerdas di atas tidak dilakukan diam – diam, tetapi program dengan sopan menyampaikannya dalam bentuk warning. Bentuk warning seperti ini tentu saja kita terima dengan senang hati, karena toh pada akhirnya program tersebut menampilkan hasilnya. Meskipun ada hasilnya, pemakai harus dapat dan mau membaca serta mengerti setiap warning yang diberikan oleh program. Bisa saja tindakan otomatis dari program mempengaruhi hasil analisis sehingga tak sesuai kondisi real.

Catatan : warning yang perlu disikapi hati-hati jika terkait pada penggunaan opsi non-linier, khususnya pada program versi baru.

4. File Output (*.OUT)

Output akan ditampilkan pada file ini jika option Generate Output pada kotak dialog Analysis Option aktif, yang mana dapat diakses melalui menu Analyze — Set Options. Jika tidak diaktifkan, tidak ada hasil yang dicetak pada file *.LOG atau *.SOG. Meskipun demikian, ditampilkan juga data Global Force Balance yang dapat dijadikan pegangan apakah hasil analisis cukup teliti, yaitu dengan melihat bangun struktur secara keseluruhan.



Gambar 1.44 Menetapkan Isi File *.OUT (Sumber: Dewobroto 2013)

Dalam suatu analisa struktur yang baik akan terjadi keseimbangan antara gaya yang bekerja dan gaya reaksi sehingga keduanya akan saling menghilangkan. Sebagaimana terlihat pada output berikut:

GLOBAL FORCE BALANCE							
TOTAL FORCE AND MOMENT AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES							
LOAD	LOAD1	-----					
		FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
APPLIED	.000000	.000000	-445.000000	.000000	.000000	.000000	.000000
REACTNS	3.13E-13	.000000	445.000000	.000000	-5.17E-11	.000000	.000000
TOTAL	3.13E-13	.000000	-1.25E-12	.000000	-5.17E-11	.000000	.000000

ada menjumpai suatu kasus, model yang ditinjau diperkirakan tidak stabil, tetapi ternyata program dapat berjalan dengan baik. jadi secara awam tidak dijumpai suatu kesalahan apa – apa (padahal data yang diberikan tidak cukup memberi kekakuan pada arah tertentu). Hal ini mungkin karena program dapat memberi restraint secara otomatis pada model (berbahaya?). Kesalahan tersebut terdeteksi dengan melihat kondisi Global Force Balance yang tidak mengalami keseimbangan sebagai berikut.

```

GLOBAL FORCE BALANCE
TOTAL FORCE AND MOMENT AT THE ORIGIN, IN GLOBAL COORDINATES
LOAD   LOAD1  -----
          FX      FY      FZ      MX      MY      MZ
APPLIED   .0000  1000.00  -445.000 -183000.000   .000   .000
REACTNS  3.13E-13   .00   445.000   .000 -5.17E-11   .000
TOTAL  3.13E-13  1000.00 -1.25E-12 -183000.000 -5.17E-11   .000

```

↑↑
 Tidak seimbang !!! Indikasi ada ERROR !!

Akhirnya, setelah dilakukan pemeriksaan secara seksama, dapat ditemukan sumber kesalahan, yang selanjutnya dapat dilakukan perbaikan pada model.

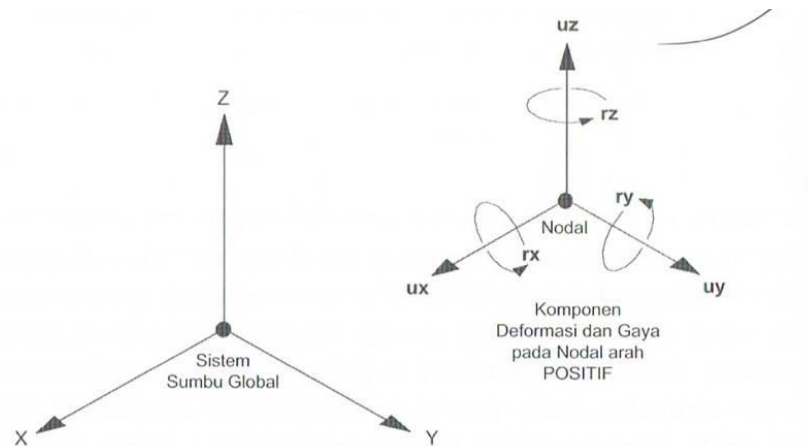
x. Kesepakatan Tanda dan Arah Hasil Hitungan

Hal yang utama agar pengguna dapat memakai program rekayasa secara benar adalah memahami kesepakatan tanda yang digunakan untuk menampilkan output (hasil). Perlu diperhatikan, bahwa program rekayasa satu dengan yang lain mempunyai kesepakatan tanda yang dapat berbeda, tergantung dari sistem yang digunakan.

Hal tersebut terbukti ketika dibandingkan keluaran hasil SAP2000 dengan program MICROFEAP, khususnya berkaitan dengan arah rotasi. SAP2000 menyatakan sumbu XZ sebagai bidang untuk pemodelan dua dimensi, sedangkan lainnya seperti pada program MICROFEAP menggunakan sumbu XY.

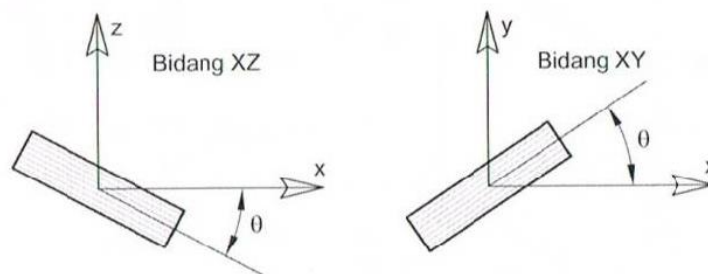
1. Deformasi dan Gaya – Gaya pada Nodal

Program SAP2000 menggunakan sistem koordinat tiga sumbu, yaitu XYZ (global) atau 123 (lokal) yang mengikuti kaidah tangan kanan (baca juga penjelasan Gambar 2.4 pada halaman 72).



Gambar 1.45 Vektor Positif Nodal pada Ruang (Sumber: Dewobroto 2013)

Sehingga jika ditinjau hanya pada bidang saja, maka arah perputaran sudutnya akan terlihat berbeda. Perputaran sudut di Gambar 1.46 semuanya berarah positif. Kelihatannya berbeda tetapi sebenarnya tidak, karena konsistensi program dalam memanfaatkan sistem tiga (3) sumbu tersebut, yaitu berputar pada sumbu arah positif dengan mengikuti kaidah tangan kanan.



Gambar 1.46 Vektor Positif pada Bidang (Sumber: Dewobroto 2013)

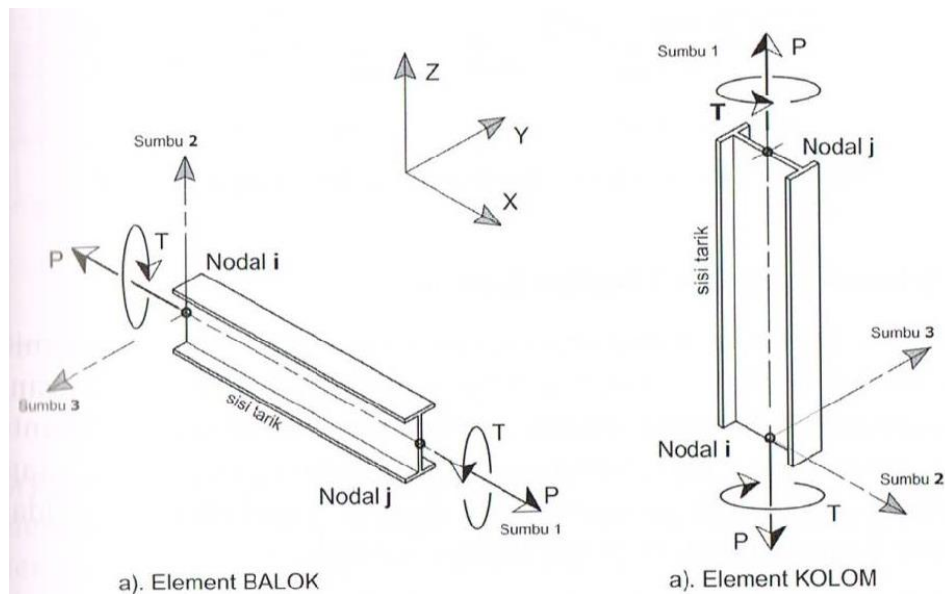
2. Gaya – Gaya pada Element Frame

Gaya-gaya pada batang mengikuti sumbu lokal sehingga tidak dipengaruhi oleh orientasi batang. Misalkan gaya aksial adalah gaya searah sumbu batang dan tidak dipengaruhi apakah batangnya vertikal atau bukan.

Gaya-gaya batang dan notasi pada output adalah sebagai berikut:

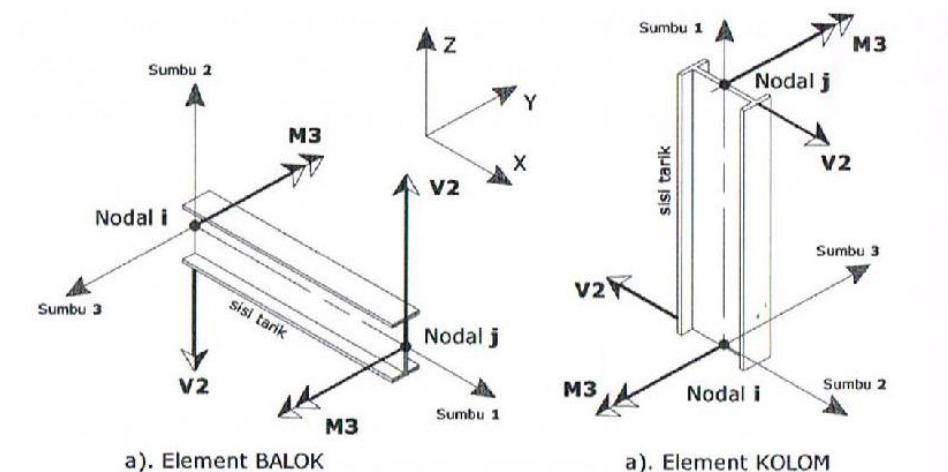
- P, gaya aksial yaitu gaya searah sumbu 1. Positif jika gaya aksial tersebut menyebabkan tegangan tarik pada batang, dan sebaliknya.

- T momen torsi yaitu momen yang berputar pada sumbu 1.



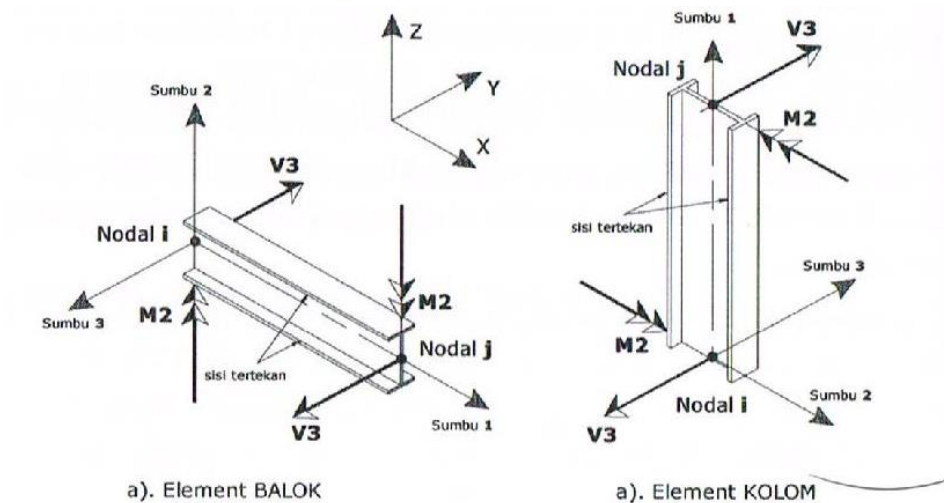
Gambar 1.47 Gaya Aksial dan Torsi Positif (Sumber: Dewobroto 2013)

- V2, gaya geser pada bidang 1-2 (sumbu kuat).
- M2, momen lentur pada bidang 1-3 (terhadap sumbu 2).



Gambar 1.48 Gaya Geser dan Momen pada Bidang 1-2 Positif (Sumber: Dewobroto 2013)

- V_3 , gaya geser pada bidang 1-3 (sumbu lemah).
- M_3 , momen lentur pada bidang 1-2 (terhadap sumbu 3).

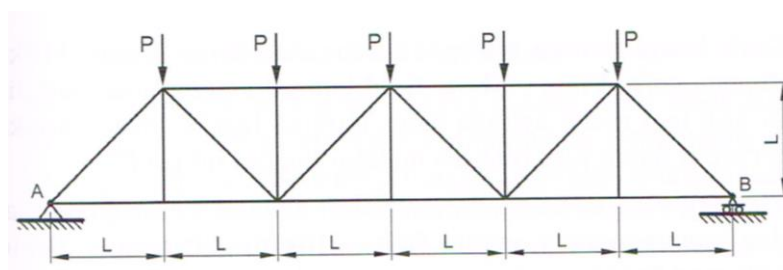


Gambar 1.49 Gaya Geser dan Momen pada Bidang 1-3 Positif (Sumber: Dewobroto 2013)

D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN

a. Contoh Aplikasi Sederhana Gaya V7.4

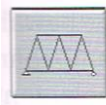
Seperti banyak kasus analisis dengan cara manual, umumnya yang menjadi perhatian adalah mencari gaya – gaya internal dan reaksi tumpuan dari struktur yang ditinjau. Sedangkan data penampang dan material dianggap konstan. Jika demikian, dengan data geometrid dan beban saja sudah dapat dilakukan perhitungan. Untuk menjelaskan hal tersebut dibuat contoh analisis struktur rangka dari buku N. Willems & W M. Lucas (1978) sebagai berikut.



Gambar 1.50 Truss - N. William & WM.Lucas (1978) p.54

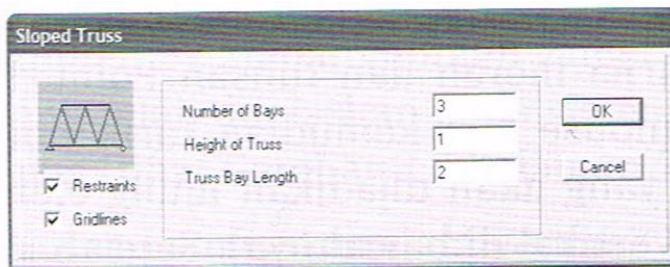
Langkah penyelesaian:

1. Ambil ketetapan $P=1$ dan $L=1$ dengan UNIT-SATUAN: Ton-m.
2. Memakai template yang mendekati pola bentuk di atas, yaitu

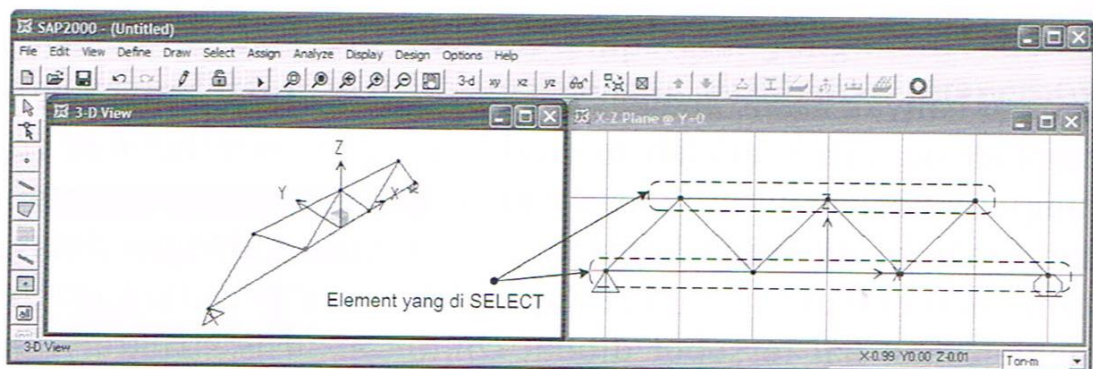


File - New Models from Template Kemudian dari kotak dialog yang menampilkan beberapa pilihan bentuk template, klik pada pola gambar di samping.

3. Menyesuaikan parameter yang dimasukkan antara struktur sebenarnya dengan template Sloped Truss yang tersedia di program sehingga Number of Bays = 3, sedangkan Height of Truss = L dan Truss Bay Length = $2 * L$. Dengan demikian parameter yang dimasukkan adalah:



4. Oleh karena pola bentuk yang disediakan tidak sama dengan model struktur rencana maka perlu modifikasi terlebih dulu. Dalam hal ini, batang atas dan batang bawah dibagi dua. Agar dapat dimodifikasi, batang atas dan batang bawah tersebut harus dipilih (kondisi Select) terlebih dahulu.



Gambar 1.51 Geometri dari Template untuk Dimanipulasi (Sumber: Dewobroto 2013)

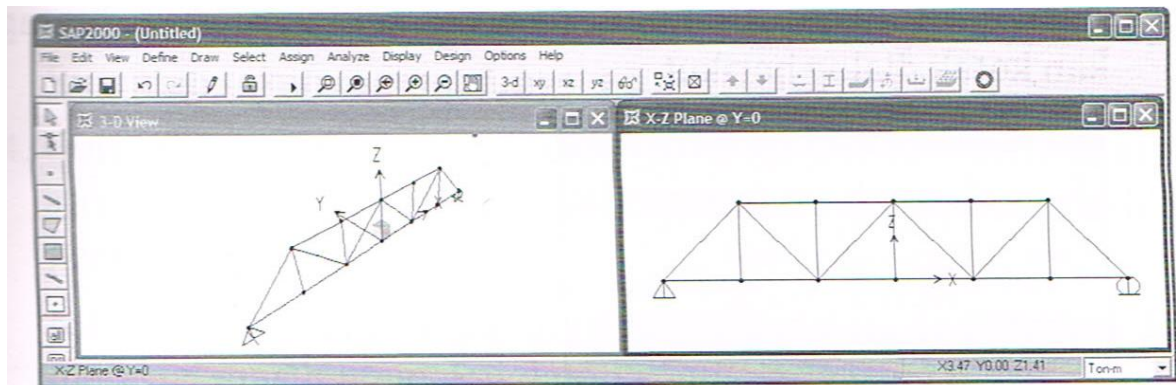
Garis bantu berupa grid pada layar atas dapat dinon-aktifkan dengan cara View — Show Grid kemudian klik non-aktif. Jika di klik lagi maka artinya

akan muncul lagi di layar. Langkah tersebut dapat juga diakses melalui tombol fungsi F7.

5. Element yang di-Select dimanipulasi dengan membagi menjadi dua menggunakan menu Edit — Divide Frames — Divide Selected Frames sehingga tampil dialog berikut.

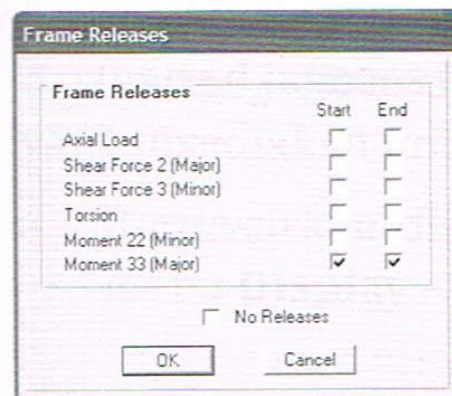


6. Dari langkah sebelumnya, element batang atas dan bawah menjadi terbagi dua yang ditandai dengan adanya tambahan nodal di tengah bentang. Selanjutnya dapat dibuat element vertikal baru yang akan menghubungkan titik nodal baru pada element yang dibagi tersebut dengan titik nodal di atas atau di bawahnya. Untuk dapat menempatkan element baru secara grafis, jangan lupa mengaktifkan toolbar Draw Frame Element yang terletak pada sisi kiri layar.
7. Dalam status Draw Frame Element, tempatkan pointer mouse ke titik nodal atas paling kiri sampai nodal tersebut bereaksi dengan menampilkan warna merah dan tulisan Point. Pada kondisi itu, klik tombol mouse kiri kemudian tank pointer mouse ke titik nodal lain yang akan dijadikan ujung element (dalam hal ini titik nodal vertikal di bawahnya). Setelah nodal tersebut bereaksi seperti sebelumnya, klik tombol mouse kiri lagi sehingga tercipta garis yang menghubungkan kedua nodal tersebut, yang selanjutnya disebut sebagai element.
8. Untuk beralih ke element lain yang tidak menerus, klik tombol mouse kanan atau klik tombol mouse kiri dua kali. Selanjutnya proses sama sampai semua element baru terbentuk.



Gambar 1.52 Geometri Final Hasil Manipulasi Template (Sumber: Dewobroto 2013)

9. Perlu diperhatikan, bahwa rangka batang atau truss adalah struktur yang dalam asumsinya mempunyai sambungan antar batang berupa sendi – sendi sehingga gaya – gaya internal batang hanya gaya aksial saja. Padahal formula element FRAME akan menganggap hubungan antar batang tersebut adalah menerus (full). Agar hubungan antar batang sebagai sambungan sendi – sendi, maka perlu digunakan option release. Caranya pilih dahulu batang melalui menu Select - Select — All, lalu release d.o.f ujung element yang terkait dengan Momen 33, kemudian pilih Assign — Frame — Releases sehingga tampil kotak dialog sebagai berikut.



Pada kotak dialog Frame Releases, aktifkan option Start dan End pada bans Moment 33 (Mayor). Dalam hal mi momen 33 adalah momen yang berputar pada sumbu 3 (lokal), adapun momen 22 adalah momen yang berputar pada sumbu 2 (lokal) yang telah dijelaskan pada sistem sumbu koordinat global dan jokal.

10. Proses pemasukan data geometri struktur telah selesai. Tahap selanjutnya adalah menempatkan beban titik nodal tepi atas. Langkah

pertama tentu saja memilih atau Select nodal – nodal tersebut, karena hanya sebagian saja maka mouse akan digunakan untuk memilih dengan cara grafis, tempatkan kursor sampai titik-titik nodal tersebut bereaksi dengan perubahan warna di layar. Selanjutnya beban ditempatkan dengan Assign — Joint Static Load — Forces sehingga akan dit kan kotak dialog berikut.

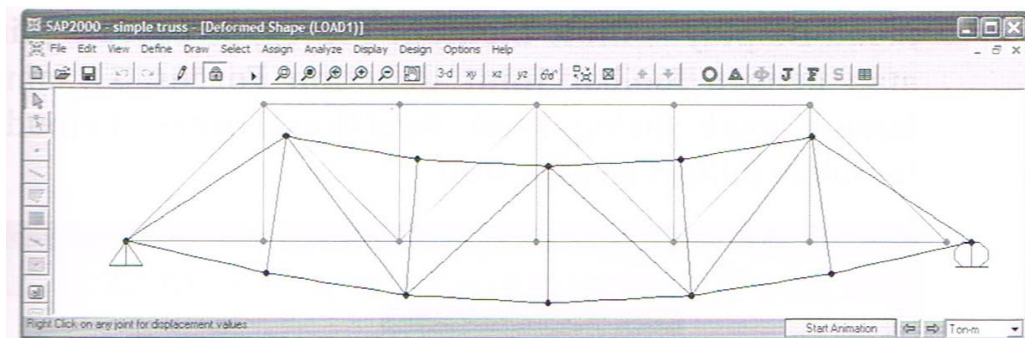
Catatan: ingat sumbu Z adalah sumbu vertikal struktur arah positif menuju ke atas, jadi untuk pembebanan nilainya negatif.

11. Akhirnya data geometri dan data pembebanan semua telah diberikan. Yang terakhir adalah membuat nonaktif parameter default program yang tidak sesuai, yaitu perhitungan otomatis berat sendiri struktur oleh program berdasarkan informasi luas penampang dan berat jenis material, padahal keduanya belum dimasukkan. Untuk membuat nonaktif, gunakan menu perintah Define — Static Load Case sehingga akan keluar kotak dialog Define Static Load Case Names sebagai berikut.

Load	Type	Self Weight Multiplier
LOAD1	DEAD	1

Pada kotak dialog, ubah Self Weight Multiplier = 0, kemudian klik Change Load dan selanjutnya klik OK, maka program tidak akan menghitung berat sendiri lagi sampai nilai tadi diubah lagi menjadi # 0.

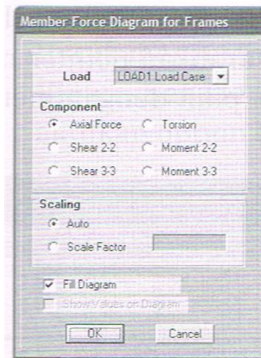
12. Akhirnya selesailah sudah tahap pemasukan data ke memory komputer. Sebelum dapat diproses, data perlu disimpan lebih dahulu ke bentuk file. Caranya pilih File - Save As, proses penyimpanan sama dan standar dengan program Windows yang lain sehingga tidak perlu dijelaskan lebih lanjut. Dalam hal tersebut, secara otomatis nama file yang diberikan akan berekstension *.sdb
13. Selanjutnya adalah proses perhitungan oleh komputer, caranya klik toolbar Run Analysis atau dari menu, yaitu Analyze — Run atau tekan tombol fungsi F5.
14. Output yang ditampilkan untuk pertama kali adalah deformasi struktur, yang secara kualitatif digunakan untuk memprediksi perilaku struktur. Nilai – nilainya tidak dapat dipakai, karena data penampang dan material masih memakai data default. Jadi, yang dapat digunakan hasilnya adalah gaya-gaya pada batang serta gaya reaksi pada tumpuan saja.



Gambar 1.53 Deformasi Struktur Akibat Pembebanan (Sumber: Dewobroto 2013)

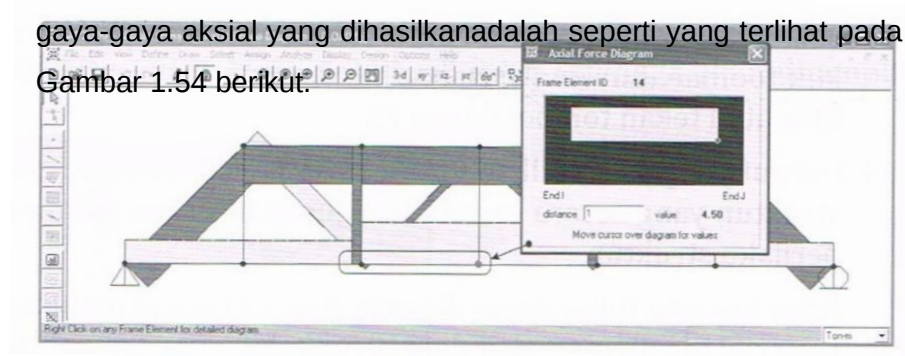
15. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk melihat output hasil analisis komputer. Masing – masing cara punya keunggulan, dan kadang sifatnya subyektif, tergantung kebiasaan. Cara-cara yang disediakan untuk melihat output adalah sebagai berikut:

- a. Berdasarkan diagram gaya-gaya element (batang) dengan menu Display — Show Element Forces / Stresses — Frames atau



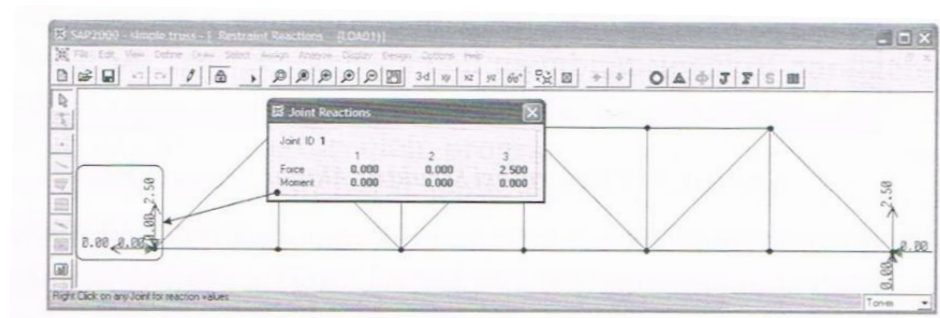
dengan toolbar Member Force Diagram for Frames ii hingga tampak kotak pilihan pada gambar di samping. Jika dipilih "Axial Forces" maka pada layar komputer akan ditampilkan gaya – gaya aksial sesuai opsi Component

pada kotak dialog yang diaktifkan. Jika pada layar, diagram gaya berwarna merah berarti adalah gaya tekan, dan warna kuning, berarti gaya tarik. Untuk melihat nilai numerik besarnya gaya – gaya, arahkan pointer mouse ke batang yang dipilih dan klik tombol mouse kanan. Untuk kasus yang ditinjau maka diagram gaya-gaya aksial yang dihasilkan adalah seperti yang terlihat pada Gambar 1.54 berikut.



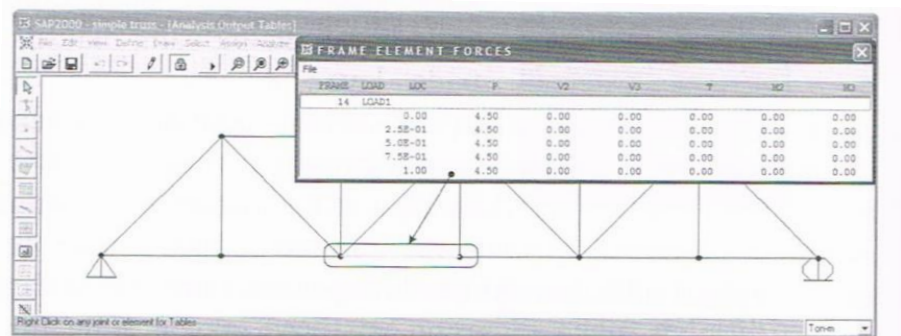
Gambar 1.54 Gaya Aksial Batang dan Nilainya (Sumber: Dewobroto 2013)

- b. Untuk melihat hasil berupa reaksi tumpuannya, digunakan menu Display - Show Element Forces/Stresses - Joints atau dengan toolbar Joint Reaction Forces .i sampai tampil kotak dialog Joint Reaction Forces. Kemudian tentukan pilihan ke Reaction.



Gambar 1.55 Gaya Reaksi Tumpuan dan Nilainya (Sumber: Dewobroto 2013)

- c. Ada pilihan lain, yaitu dalam bentuk tabulasi dari element atau nodal yang dipilih. Untuk itu klik toolbar Display Toolbar Tables untuk mengaktifkan hingga keluar kotak dialog Select Output. Kemudian pilih kasus beban apa yang ditampilkan. Selanjutnya arahkan pointer mouse ke objek (element atau nodal) dan pilih dengan mengklik tombol kanan mouse.



Gambar 1.57 Tampilan Output dalam Tabel (Sumber: Dewobroto 2013)

- d. Cara terakhir, kirim hasilnya ke printer atau file teks untuk dibaca program editor. Untuk itu aksesnya File - Print Output Tables atau tekan tombol Ctrl+B sampai muncul kotak dialog Print Output Tables. Pilih option hasil yang akan dicetak melalui option Reactions, Frame Forces, dan Print to File. Hasil akan dicetak ke file dengan nama yang sama dengan nama file input data, hanya saja nama belakangnya (ekstensionnya) diganti dengan
- Contoh hasilnya adalah:

SAP2000 v7.40 File: SIMPLE TRUSS Ton-m Units PAGE 1
6/11/04 14:30:15

JOINT REACTIONS

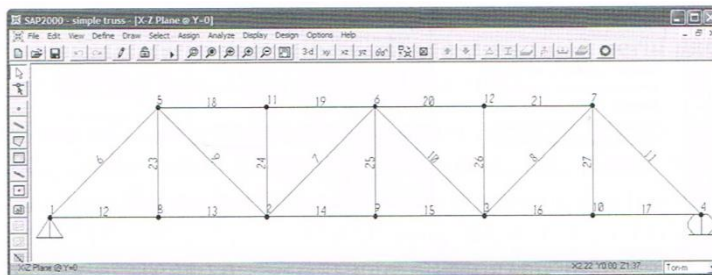
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
1	LOAD1	0.0000	0.0000	2.5000	0.0000	0.0000	0.0000
4	LOAD1	0.0000	0.0000	2.5000	0.0000	0.0000	0.0000

FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
6	LOAD1	0.00	-3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		7.1E-01	-3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.41	-3.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	LOAD1	0.00	-7.071E-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		7.1E-01	-7.071E-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.41	-7.071E-01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	LOAD1	0.00	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		7.1E-01	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.41	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	LOAD1	0.00	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		7.1E-01	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		1.41	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

dst ..

- e. Penomoran nodal dan element secara otomatis dibuat oleh program sesuai dengan urutan saat penyusunan geometri. Untuk mengetahui nomer dari tiap element, gunakan menu View - Set Element atau pakai tombol Ctrl+E. Kemudian aktifkan option Labels pada kotak dialog Set Element.



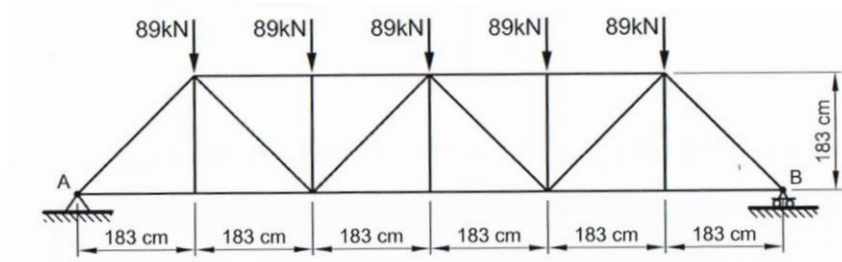
Gambar 1.58 Penomoran Nodal dan Element (Sumber: Dewobroto 2013)

Catatan: penomoran nodal atau penomoran batang tidak harus berurutan. Jika selama penyusunan model, ada penomoran yang terhapus, maka nomor tersebut juga akan hilang. Atasi dengan penomoran ulang, melalui Edit - Change Labels. Penting untuk diperhatikan, tidak boleh ada penomoran sama. Pasti akan error.

b. Contoh Aplikasi Lengkap Gaya dan Lendutan V7.4

Apabila struktur pada Aplikasi Sederhana di atas akan dilengkapi data parameter material dan properti penampangnya maka besarnya deformasi yang akan dihasilkan dapat dipakai sebagai rujukan analisis.

Struktur yang akan dianalisis secara lengkap (gaya dan lendutannya) adalah seperti berikut.



Gambar 1.59 Truss - N. William & WM.Lucas (1978) p.60 (Sumber: Dewobroto 2013)

Data material dan penampang: $E = 206,850 \text{ MPa}$ $A = 96.8 \text{ cm}^2$.

Langkah penyelesaian:

1. Ambil UNIT-SATUAN: kN-cm.
2. Penyusunan data geometri dan pembebanan telah diuraikan sebelumnya sehingga yang akan dijelaskan pada baris-baris tersebut hanya data material dan penampang.
3. Untuk material digunakan data material OTHER yang akan dimodifikasi. Oleh karena unit satuan untuk material adalah Mpa, maka Unit Satuan yang akan digunakan untuk memasukkan material diubah dahulu ke Unit Satuan N-mm. Selanjutnya dari menu Define — Materials dan dari kotak dialog Define Materials, pilih dari daftar material OTHER. Selanjutnya klik mouse terhadap pilihan Modify/Show Material dan masukkan parameter material sebagai berikut.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box. The 'Material Name' field is set to 'OTHER'. Under 'Type of Material', 'Isotropic' is selected. Under 'Type of Design', 'Other' is selected. The 'Analysis Property Data' section contains the following values: Mass per unit Volume: 0, Weight per unit Volume: 0, Modulus of Elasticity: 206850, Poisson's Ratio: 0.2, Coeff of Thermal Expansion: 0, and Shear Modulus: 66187.5. The 'Design Property Data' section is empty. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

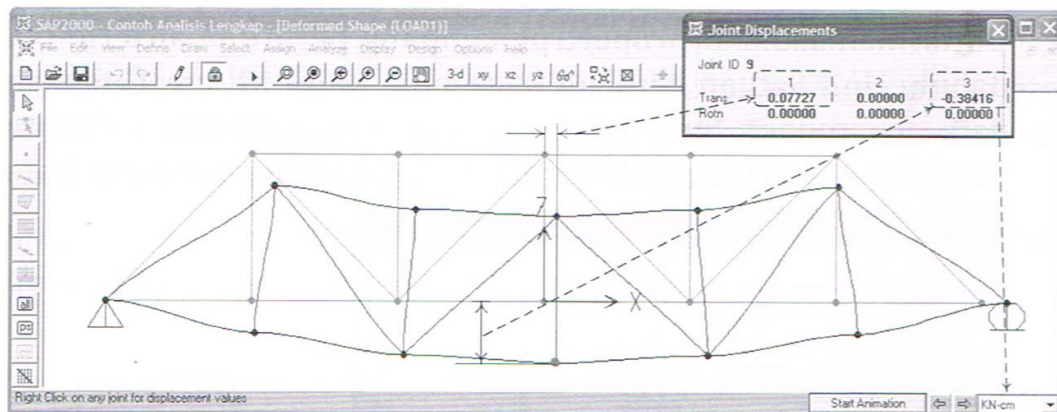
4. untuk memasukkan properti penampang, perlu diubah terlebih dahulu Unit Satuan kembali ke semula, yaitu kN-cm. Gunakan data penampang type General, caranya pilih Define — Frame sections — Add General, kemudian kotak dialog Property Data diisi sebagai berikut.

Selanjutnya setelah kotak dialog diisi, jenis material yang digunakan harus dinyatakan pada penampang FSEC2.

Dalam hal ini material yang dipakai adalah OTHER. Tampilan bentuk penampang oval dan dimensi yang terlihat pada kotak dialog General Section tidak berpengaruh apa-apa pada hasil hitungan. Itu hanya membantu pemakai program untuk membedakan penampang satu dengan penampang lain untuk type General Section secara visual.

5. Tahap terakhir, menyatakan material dan penampang ke model. Oleh karena semua data sama, gunakan menu Select — All kemudian Assign — Frame — Sections dan pilih FSEC2 dan daftar yang ada. Jika benar, truss dan nama penampang yang dipilih akan dimunculkan.

6. Semua data telah lengkap yang terdiri atas geometri, pembebanan, material, dan properti penampang. Selanjutnya dapat diproses melalui Analyze - Run atau tombol fungsi F5 atau toolbar RUN.



Gambar 1.60 Deformasi Struktur Truss yang benar (Sumber: Dewobroto 2013)

E.LATIHAN / KASUS / TUGAS

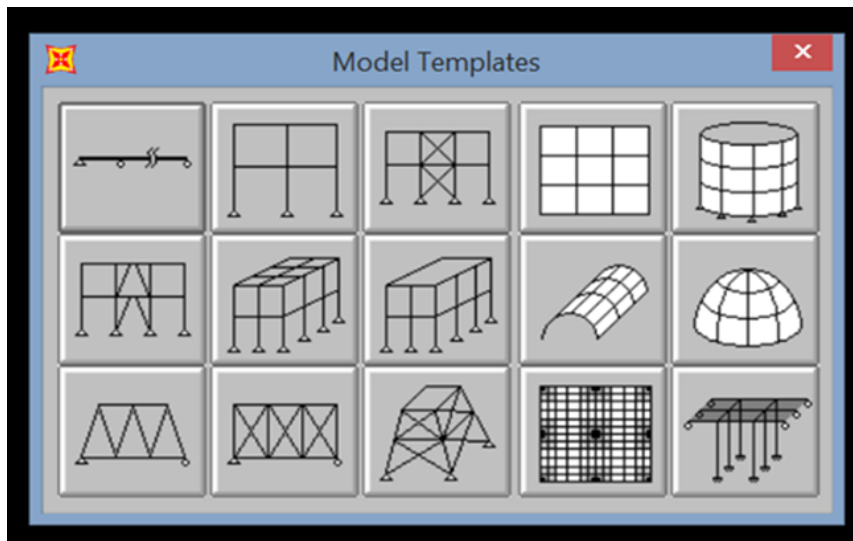
a. Soal Latihan 1

Sebutkan sistem koordinat yang dikenal pada program SAP2000

- Koordinat Global & Lokal
- Koordinat Global & Cartesian
- Koordinat Sferikal & Lokal

b. Soal Latihan 2

Pada program SAP2000, untuk dapat menampilkan gambar seperti di bawah ini, perintah yang dilakukan adalah :



- a. Klik File, lalu pilih New Model From Template
- b. Klik File, lalu pilih New Model lalu Enter
- c. Klik File, lalu pilih New Model From Template, lalu Enter

a. Soal Latihan 3

Hal – hal yang disebut di bawah ini merupakan type beban yang bekerja pada struktur, kecuali :

- a. Kekakuan
- b. Deformasi
- c. Temperatur

b. Soal Latihan 4

Langkah yang harus dilakukan untuk membuat Frame Section IWF pada program SAP2000 adalah :

- a. Klik Define, lalu pilih dan klik Frame Sections, pilih Click to: lalu pilih dan klik Import IWide Flange
- b. Klik Define, lalu pilih dan klik Frame Sections, pilih Click to: lalu pilih dan klik Add IWide Flange
- c. Kedua Langkah di atas benar

c. Soal Latihan 5

Pada pemodelan struktur baja rangka batang, secara default program akan menganggap hubungan antar batang adalah menerus. Untuk itu perlu

dilakukan modifikasi agar hubungan antar batang dihitung sebagai sendi – sendi. Langkah modifikasinya adalah :

- a. Klik Select, pilih Select All. Kemudian pilih Assign, pilih Frame, kemudian pilih dan klik Releases. Kemudian aktifkan option Start dan End pada Axial Load di kotak dialog Frame Releases.
- b. Klik Select, pilih Select All. Kemudian pilih Assign, pilih Frame, kemudian pilih dan klik Releases. Kemudian aktifkan option Start dan End pada Torsion di kotak dialog Frame Releases.
- c. Klik Select, pilih Select All. Kemudian pilih Assign, pilih Frame, kemudian pilih dan klik Releases. Kemudian aktifkan option Start dan End pada Moment 33 (Major) di kotak dialog Frame Releases.

F. RANGKUMAN

Kemajuan teknologi bidang komputer dan *software* menyebabkan perkembangan pada aplikasi komputer yang dapat dipakai untuk melakukan rekayasa struktur, dari yang pada awalnya hanya membantu menghitung, berkembang menjadi aplikasi yang membantu mulai dari membuat model perhitungan, sampai menggambarkan hasil dari perhitungan.

SAP2000 merupakan salah satu aplikasi rekayasa struktur yang dikembangkan oleh perusahaan Computer and Science Inc (CSI). Aplikasi ini merupakan *pioneer* di bidang ini sehingga sangat populer dan banyak digunakan. Pada awalnya bekerja pada sistem operasi DOS dan kemudian berkembang untuk sistem operasi Windows dengan kemampuan yang cukup canggih dalam menghitung dan *user friendly* dalam pemodelannya. Aplikasi ini mampu untuk melakukan analisa struktur dan juga melakukan desain elemen struktur sesuai dengan material struktur dan ukurannya berdasarkan *build in code* yang ada pada aplikasi.

Karena sifat dasar aplikasi yang merupakan mesin untuk membantu pekerjaan user atau engineer, maka kemampuan user atau engineer dalam melakukan pemodelan, melakukan assignment pada aplikasi,

melakukan modifikasi pada elemen struktur, serta membaca hasil keluaran dari program sangat penting. Kegagalan user atau engineer dalam melakukan hal – hal di atas dapat menyebabkan aplikasi mengeluarkan hasil dan perilaku yang berbeda dari struktur yang sebenarnya, yang dapat menyebabkan kejadian fatal ketika dilakukan pembangunan. Peranan user atau engineer bukan hanya sebagai operator aplikasi tetapi juga menguasai keluaran aplikasi dan melakukan verifikasi dari keluaran tersebut terhadap bidang ilmu keteknik sipil yang dikuasainya

G. KUNCI JAWABAN

e. Soal Latihan 1

Jawaban a. Koordinat Global & Lokal

f. Soal Latihan 2

Jawaban c. Klik File, lalu pilih New Model From Template, lalu Enter

g. Soal Latihan 3

Jawaban a. Kekakuan

h. Latihan 4

Jawaban b. Klik Define, lalu pilih dan klik Frame Sections, pilih Click to: lalu pilih dan klik Add I/Wide Flange

i. Soal Latihan 5

Jawaban c. Klik Select, pilih Select All. Kemudian pilih Assign, pilih Frame, kemudian pilih dan klik Releases. Kemudian aktifkan option Start dan End pada Moment 33 (Major) di kotak dialog Frame Releases.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

KONSTRUKSI BAJA BATANG TARIK

A. TUJUAN

Tujuan dari Kegiatan Pembelajaran 2 ini adalah agar Guru Mata Pelajaran mampu Merencanakan Konstruksi Baja dengan menggunakan Perangkat Lunak (*Software*)

B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI

Indikator Pencapaian Kompetensi dari kegiatan pembelajaran 2 ini adalah Merencanakan Konstruksi Baja khususnya Batang Tarik dengan menggunakan perangkat lunak (*software*),

C. URAIAN MATERI

a. Pendahuluan

Material baja mempunyai kemampuan sama dalam memikul gaya tarik atau gaya tekan. Mutu bahannya juga relatif tinggi, sehingga dimensi struktur cenderung langsing. Untuk struktur seperti itu, pemakaian material baja hanya efisien untuk batang tarik. Pada batang tekan kapasitasnya ditentukan oleh tekuk (*buckling*), suatu permasalahan stabilitas yang dipengaruhi konfigurasi geometri (struktur dan penampang), dan tidak hanya materialnya saja.

Oleh sebab itu, elemen struktur baja yang terlihat "relatif langsing" terhadap elemen lainnya dapat dipastikan akan berfungsi sebagai batang tarik.

b. Batas Kelangsingan

Karena mutu material baja relatif tinggi, dimensi batang tariknya bisa sangat langsing. Secara teoritis, kondisi kelangsingan hanya diperhitungkan untuk elemen tekan, untuk mengantisipasi tekuk. Batang tarik secara teoritis tidak mengalami tekuk, oleh karena itu AISC (2010) tidak membatasi

kelangsingan, hanya disarankan $L/r \leq 300$. Saran didasarkan pengalaman praktis segi ekonomis, kemudahan pembuatan, dan risiko rusak yang kecil selama konstruksi. Selain itu, elemen yang sangat langsing biasanya cenderung bergoyang atau bergetar, dan itu membuat tidak nyaman bagi penghuninya. Saran tidak berlaku jika batang tariknya struktur penggantung (*hanger*) atau jika memakai penampang pejal (*rod*).

Pada *hanger* (struktur gantung), kondisi pembebanan menyebabkan batangnya selalu mengalami prategang. Itu akan meningkatkan kekakuannya, fenomena seperti yang terjadi pada senar gitar yang dikencangkan. Oleh sebab itu *hanger* dapat bekerja efektif sebagai batang tarik, dan sekaligus mempertahankan geometrinya untuk tetap lurus.

Untuk batang pejal atau *rod* agak berbeda, konfigurasi beban tidak secara langsung menimbulkan gaya prategang (agar menambah kekakuan). Oleh sebab itu, perlu diberikan gaya prategang khusus melalui sistem yang didetailkan secara khusus pula, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Batang tarik struktur Museum di Louvre, Paris (sumber internet)

Jadi pemilihan batang tarik yang langsing, tidak secara otomatis membuat strukturnya lebih ekonomis. Adanya alat khusus untuk menghasilkan gaya prategang dapat membuat lebih mahal. Batang tarik dengan detail seperti Gambar 2.1 lebih ditujukan pada segi keindahan, agar struktur terlihat lebih transparan atau ringan.

Untuk struktur batang tarik dengan penampang pejal (*rod*) maka detail khusus yang dimaksud umumnya berbentuk semacam ulir (seperti pada baut), kemudian dipasang alat penghubung khusus, yang jika diputar dapat

membuat batang tarik menjadi tegang. Hal menyebabkan batangnya tidak lagi kendor, yang umumnya terjadi jika kelangsingan batangnya relatif tinggi. Jembatan lama, Lincoln di Nebraska, memperlihatkan konsep yang dimaksud. Gambar 2.2 *inset* memperlihatkan detail yang dapat menghasilkan prategang pada batang tank yang dikenal dengan sebutan *turn-buckle*.

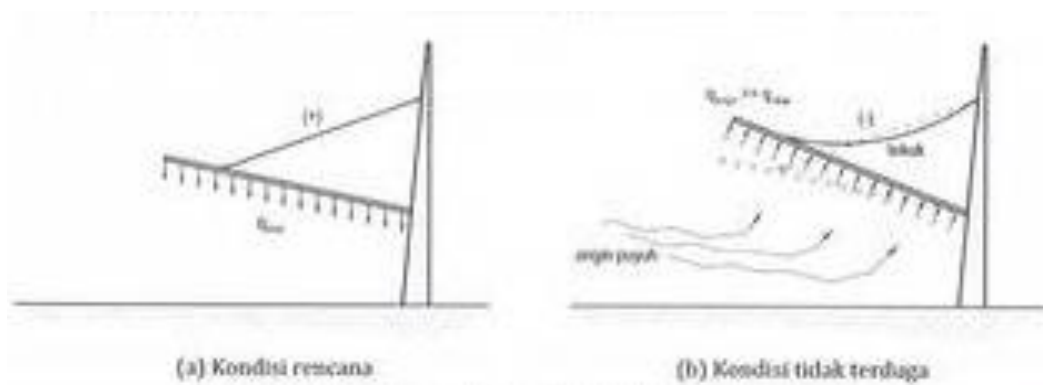


Gambar 2.2 Batang tarik dengan *turn - buckle* pada jembatan Lincoln, Nebraska
(Sumber ; <http://commons.wikipedia.org/>)

Melihat aplikasi batang tank dengan penampang pejal (*rod*) yang dilengkapi *turn-buckle*, maka kelangsingan batang tentunya tidak menjadi permasalahan lagi. Meskipun demikian, pilihan seperti itu hanya efektif jika elemen *rod* hanya menerima gaya tarik selama masa layannya saja.

Pada kondisi yang tertentu, tergantung tipe struktur dan kondisi tempatnya, bisa saja jika suatu saat timbul kondisi pembebanan yang berbeda dari rencana. Ini tentu terkait dengan kombinasi pembebanan pada saat perencanaannya. Untuk memprediksinya tentu tidak gampang, untuk itu seorang insinyur selain menguasai tata cara perencanaan yang baku, juga perlu mempunyai wawasan luas, imajinasi sekaligus intuisi yang terasah untuk memprediksi kondisi pemakaian struktur tersebut di masa mendatang. Bagaimanapun juga untuk elemen struktur yang terlalu langsing maka saat mendapat gaya tekan akan mengalami tekuk (*buckling*). Hal itu akan menyebabkan kekakuan struktur menjadi hilang atau tidak berfungsi. Untuk

membayangkan bagaimana risiko itu bisa terjadi maka dapat dilihat pada ilustrasi struktur berikut.



Gambar 2.3 Risiko pemakaian elemen yang terlalu langsing (Sumber ; Dewobroto 2103)

Konstruksi atap dari baja sering mengalami dilema sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3. Maklum, konstruksi atap umumnya di desain untuk menerima beban berupa air hujan, yang relatif kecil. Berat sendiri atapnya juga relatif ringan, misalnya yang terbuat dari atap pelat baja tipis mutu tinggi atau kaca, yang terakhir ini populer dipilih arsitek untuk mendapatkan kesan transparan dan ringan. Untuk itu biasanya insinyur perencana juga cenderung memilih elemen struktur yang berpenampilan langsing agar dapat menyesuaikan diri dengan permintaan arsitek.

Jika hanya didesain terhadap pembebanan tetap (gravitasi), atau beban angin yang biasa saja, maka elemen penggantung (*hanger*) untuk konstruksi atap kantilever pada Gambar 2.3 adalah sebagai batang tarik. Jadi jika sekedar mengikuti ketentuan minimum AISC (2010) tentu dapat dipilih penampang yang memenuhi kriteria kelangsingan kurang dari 300. Selama kondisinya sesuai rencana, maka tentu tidak ada permasalahan berarti. Padahal yang disebut bencana, umumnya adalah tidak terduga. Jadi ketika ada angin puyuh, yang besar sedemikian sehingga menghasilkan gaya tiup ke atas lebih besar dari berat sendirinya, maka elemen penggantung (*hanger*) tidak lagi menerima beban tarik tetapi menjadi berbalik tanda, yaitu gaya tekan. Nah pada kondisi itu permasalahan akan timbul. Itu alasannya perlu tinjauan berbagai kondisi beban.

Pertimbangan adanya kondisi seperti digambarkan pada paragraf di atas tentu tidak serta merta tercantum pada *code-design*. Hal itu adalah pertimbangan insinyur perencana yang sifatnya personal tergantung pengalaman dan wawasan yang dimilikinya.

c. Konsep Perencanaan

Produk massal yang baik tentunya telah dioptimasi agar bersaing. Jika produknya elemen struktur maka optimasinya tentu dari segi kekuatan dan biaya. Dengan mempelajari bentuk fisik batang tarik produk massal (Gambar 2.4) tentunya bisa mengetahui banyak hal yang penting agar produk tersebut dapat berfungsi optimal.



Gambar 2.4 Batang tarik produksi massal (Sumber ; www.triptyramid.com)

Hal yang mendominasi batang tarik produk massal di atas adalah bagian sambungan, yang terlihat lebih besar dari batang tank itu sendiri. Selain itu bahan material keduanya berbeda, sepintas material sambungan dipilih yang mutunya lebih tinggi dari batang pejal (*rod*) yang disambung. Itu menunjukkan bahwa sambungan adalah bagian penting, sehingga perlu diperbesar tanpa dianggap pemborosan. Hal itu tentu tidak disebabkan oleh faktor keindahan atau hal lain, bahkan diperkirakan bagian itulah yang menentukan kekuatan sistem. Hubungan antara bagian sambungan dan bagian batang pejal (*rod*) bersifat seri, seperti untaian kalung yang terdiri dari berbagai komponen kecil. Bagian paling lemah yang akan menentukan kekuatan sistem. Jadi dengan melihat batang tarik produk massal tersebut, dimana bagian sambungannya lebih besar dibanding bagian batang, maka kekuatannya pasti akan ditentukan oleh bagian batang pejal (*rod*) yang lebih kecil (lemah).



Gambar 2.5 Sambungan Batang Tarik (Sumber ; Tejo dan Mita)

Strategi pembesaran pada bagian sambungan tentu hanya dapat dilakukan pada batang tarik yang relatif kecil, misal batang pejal (*rod*). Untuk bentuk penampang lain, yang lebih besar (misalnya Gambar 2.5), maka strategi tersebut tentu tidak efektif. Pada sambungan baja biasanya diperlukan lubang untuk pemasangan baut. Hal itu tentu membuat lemah penampang. Apalagi sekitar lubang akan timbul konsentrasi tegangan, yang menyebabkan tegangan lebih tinggi dibanding bagian lain yang utuh. Adanya konsentrasi tegangan pada daerah sambungan menyebabkan kondisi inelastis akan lebih mungkin terjadi dibanding di bagian lainnya.

Adanya konsentrasi tegangan yang nilainya beberapa kali lebih besar dari tegangan rencana diatasi dengan material daktil (ada tegangan leleh F_y). Perilaku daktil menyebabkan konsentrasi tegangan tidak merusak lubang, hanya menyebabkan deformasi saat tegangan leleh tercapai. Hal itu menyebabkan redistribusi tegangan (gaya) ke bagian lubang baut yang belum leleh.

Konsep perencanaan batas menyebabkan elemen struktur dapat diberdayakan sampai kondisi tegangan maksimum. Maka adanya perilaku *strain-hardening* material sambungan menjadi penting. Jika tidak ada itu, maka dapat dipastikan kekuatan batang tarik ditentukan oleh bagian sambungan yang lebih lemah (lubang). Adanya *strain-hardening* material menyebabkan kekuatannya dapat ditingkatkan sebesar tegangan batas (F_u) atau kuat tariknya.

Perilaku keruntuhan F_y dan F_u tidak sama, oleh sebab itu diberikan faktor keamanan berbeda, yang tercermin pada faktor ketahanan tarik (ϕ) yang

diberikan. Itulah prinsip dasar perencanaan batang tarik yang diuraikan pada sub-bab berikut.

d. Kuat Tarik Nominal

Kuat tarik rencana $\phi_t P_n$, dengan ϕ_t sebagai faktor ketahanan tarik, dan P_n sebagai kuat aksial nominal, adalah nilai terkecil dari dua tinjauan batas keruntuhan yang terjadi pada [1] penampang utuh, dan [2] penampang berlubang (tempat sambungan).

Kuat tarik penampang utuh terhadap keruntuhan leleh (*yield*):

$$P_n = F_y \cdot A_g \dots\dots\dots (\text{AISCD2-1})$$

$$\phi_t = 0.9 \text{ terhadap keruntuhan leleh}$$

$$A_g = \text{luas penampang utuh (gross)}$$

Kuat tarik penampang berlubang (di tempat sambungan) akan memanfaatkan perilaku *strain-hardening* (peningkatan tegangan) pada kondisi regangan inelastis yang dipicu oleh lonjakan tegangan terkonsentrasi di sekitar lubang.

$$P = F_u \cdot A_e$$

$$= F_u \cdot A_n \cdot U \dots\dots\dots (\text{AISCD2-2})$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ terhadap keruntuhan fraktur}$$

$$A_n = \text{luas penampang bersih (netto), dikurangi lubang}$$

$$A_e = \text{luas penampang efektif}$$

$$U = \text{faktor shearlag}$$

Nilai F_y dan F_u tergantung dari mutu material, yaitu kuat leleh dan kuat tarik minimum (kuat batas) dari bahannya. Keruntuhan leleh (*yield*) tingkat daktilitasnya lebih tinggi dari keruntuhan fraktur, oleh sebab itu maka faktor

ketahanan tarik (ϕ_t) antara keduanya berbeda. Faktor keamanan untuk fraktur tentunya lebih tinggi.

e. Konsep Luas Penampang

i. Pengaruh lubang dan cara penyambungan

Parameter A_n dan A_e pada persamaan AISC D2-2 tergantung dan sistem sambungan. Untuk itu sebaiknya perencanaan batang tarik dan sambungannya harus bersama, sebab saling terkait.

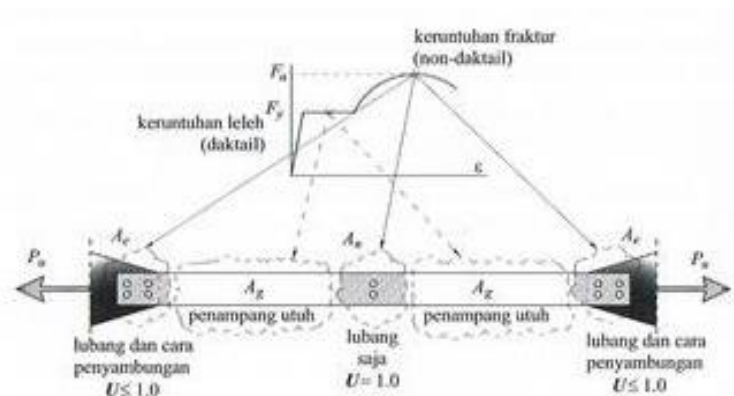
Maksud saling terkait antara perencanaan batang tank dan sambungan nya, dapat diungkapkan dalam uraian berikut:

- **Reduksi luas penampang** batang tarik akibat lubang untuk alat sambung. sehingga ada istilah luas penampang utuh atau *gross* (A_g), dan luas penampang *netto* (A_n), yaitu luasan setelah memperhitungkan pengaruh lubang. Oleh karena sambungan las tidak memerlukan lubang, maka secara teoritis sambungan las akan lebih baik dibanding sambungan baut, sebab $A_n=A_g$ atau tidak ada reduksi luasan.
- **Efektifitas sambungan.** Secara ideal, agar kontinuitas elemen tidak terganggu maka keseluruhan permukaan penampang harus tersambung secara menerus ke bagian elemen yang lain. Prakteknya, akibat keperluan untuk kemudahan pelaksanaan atau keterbatasan alat sambungnya, maka bidang permukaan penampang batang tarik tersebut tidak semuanya tersambung secara sempurna. Kondisi itu tentu akan menimbulkan aliran tegangan tidak merata yang disebut efek *shear-lag* dan harus diperhitungkan karena mempengaruhi kinerja batang tarik. Untuk menghitung efek *shear-lag* secara teliti, maka cukuplah rumit dan kompleks. Maklum, variasi sistem sambungan yang ada sangatlah banyak. Untuk itulah dipilih cara penyederhanaan berupa faktor *shear-lag* (U) yang nilainya mengacu Tabel D3.1 (AISC 2010). Adapun materi tentang *shear-lag* itu sendiri akan dibahas dalam sub-bab terpisah. Selanjutnya luas penampang batang tarik setelah memperhitungkan pengaruh *shear-lag* disebut luas penampang efektif, A_e yang merupakan fungsi luas penampang *netto* berikut.

$$A_e = A_n \cdot U \dots \dots \dots (\text{AISC D3-1})$$

Ketentuan di atas berlaku pada batang tarik, bukan sambungan. Karena sistem struktur keseluruhan akan tergantung pada bagian terlemah, maka sambungan harus mempunyai kekuatan lebih dibanding batang tarik. Itu mengapa perencanaannya batang tarik dan sambungan harus terintegrasi dan konsisten.

Konsep perencanaan batang tarik secara visual dapat diungkapkan sebagai berikut, lihat Gambar 2.6.

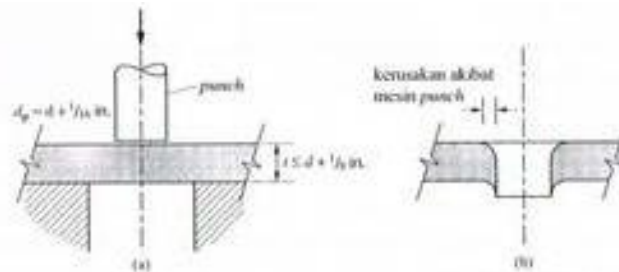


Gambar 2.6 Konsep visual perencanaan batang tarik (Sumber ; Dewobroto 2103)

Gambar 2.6 memperlihatkan bahwa kinerja batang tarik ditentukan oleh material baja (diagram tegangan – regangan) yang dalam hal ini adalah parameter F_y dan F_u . Adapun tanda panah menunjukkan dimana parameter tersebut digunakan. Bagian tengah ada lubang tapi semua elemennya tersambung ($U=1$) maka yang menentukan adalah luas penampang netto, A_n . Bagian ujung batang tarik adalah sambungan, jadi selain pelemahan akibat lubang juga cara penyambungan menentukan efisiensi tidaknya kinerja batang tarik. Parameter yang menentukan adalah A_n dan $U \leq 1$, keduanya adalah parameter luas penampang efektif, yaitu $A_e = A_n \cdot U$.

ii. Diameter lubang baut - real dan imajiner

Kekuatan batang tarik sangat dipengaruhi oleh lubang. Parameter yang mewakili hal tersebut dalam desain adalah luas penampang netto (A_n), atau luas penampang bersih setelah dikurangi lubang.



Gambar 2.7 Kerusakan akibat pembuatan lubang (Sumber ; Geschwinder 2012)

Bagaimana lubang dibuat juga berpengaruh. Pelat baja yang tebalnya kurang dari diameter lubang, umumnya dibuat dengan mesin *punch*. Pembuatan lubang dengan mesin tersebut akan mengalami kerusakan pada pinggirannya (lihat Gambar 2.7) sehingga bagian tersebut dianggap tidak efektif untuk memikul beban.

Untuk menghindari risiko pelemahan akibat pembuatan lubang, yang prosesnya terjadi pada tahap fabrikasi, sehingga akan terlalu rumit jika ditentukan di tahap perencanaan maka dipilih tindakan konservatif. Untuk perhitungan luas penampang *netto* A_n , maka diameter lubang baut ditambah 1/16 in (2 mm) lebih besar dan diameter lobang nominal (Chapter 134.3b - AISC 2010).

Jadi terkait lubang pada batang tarik, ada tiga parameter, yaitu [1] diameter baut, [2] diameter lubang nominal sesuai Tabel J3.3M (AISC 2010) untuk dibuat di bengkel, dan [3] diameter lubang imajiner untuk perhitungan dengan luas penampang *netto*.

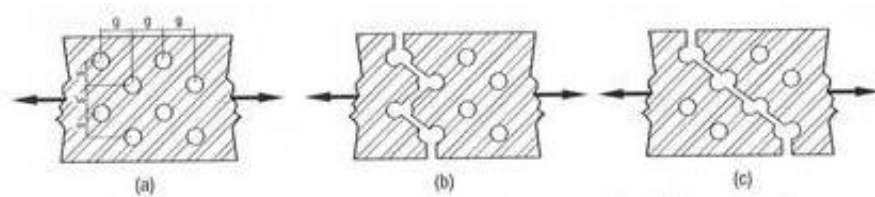
Diameter lubang nominal adalah diameter lubang real terpasang. Besarnya tergantung diameter baut (d), yang nilai maksimumnya sesuai Tabel J3.3 (AISC 2010) atau $d + 1/16$ (in) atau $d + 2$ (mm). Untuk menghitung luas penampang *netto* dipakai diameter lubang imajiner, yaitu $d + 1/16 + 1/16$ (in), untuk satuan SI adalah $d + 2 + 2$ (mm) atau $d + 4$ (mm).

iii. Lubang-lubang berpola *staggered*

Diameter lubang baut relatif kecil dibanding dimensi penampang, tetapi jika jumlahnya banyak dan berdekatan tentu berpengaruh. Lubang – lubang

segaris, tegak lurus arah gaya, maka A_n adalah luas penampang terkecil pada potongan dengan lubang terbanyak.

Pada kasus lain, jika jumlah baut – bautnya banyak, penempatan lubang dapat memakai pola *staggered* atau zigzag. Agar dengan luasan sama, dapat memuat lebih banyak baut.



Gambar 2.8 Kemungkinan keruntuhan pada lubang berpola *staggered* (Sumber ; Dewobroto 2013)

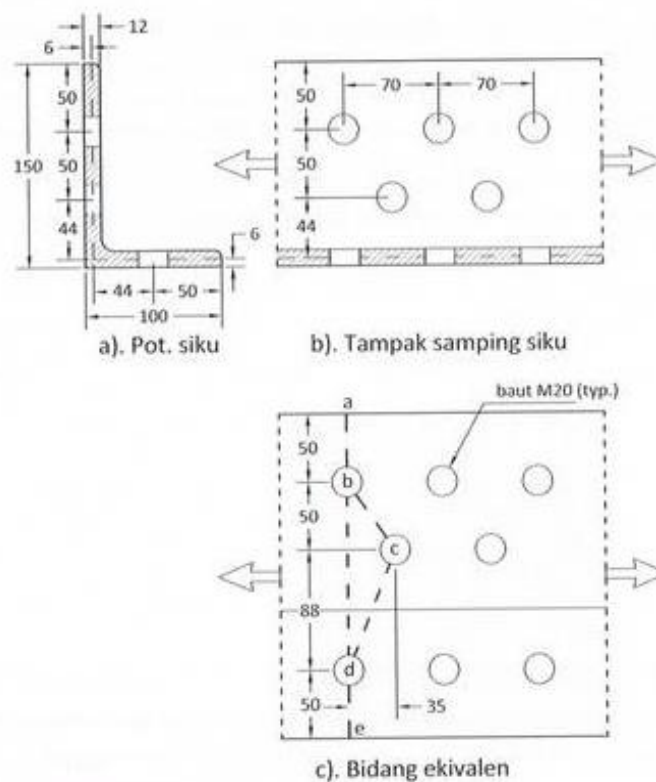
Untuk mencari penampang kritis lubang yang berpola *staggered*, perlu meninjau berbagai kemungkinan potongan penampang yang bisa terjadi (misal Gambar 2.8, tetapi bisa juga yang lain). Panjang bersih dihitung dari tinggi penampang dikurangi jumlah lubang (yang terdapat pada jalur potongan), ditambah pengaruh diagonal (jarak s dan g diagonal bisa berbeda tergantung detailnya) yang dihitung dengan pendekatan memakai rumus berikut:

$$s^2 / 4g \dots \dots \dots (\text{AISC B4.3b})$$

s adalah jarak lubang as-ke-as arah memanjang (searah gaya), dan g adalah jarak lubang as-ke-as arah transversal (tegak lurus gaya).

iv. Pola *staggered* tidak sebidang.

Batang tarik umumnya memakai baja berbentuk profil (bukan pelat datar). Pemasangan sambungan bautnya juga bisa berpola *staggered* tetapi tidak sebidang. Untuk perhitungan, perlu dibuat bidang ekuivalen berdasarkan pada garis berat elemen profil atau bidang di tengah tebal masing-masing elemen profilnya sebagai berikut.

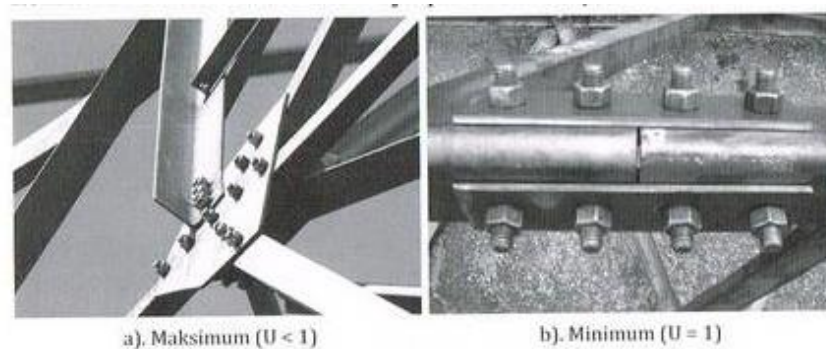


Gambar 2.9 Pola *staggered* pada profil tidak sebidang (Sumber ; Dewobroto 2013)

f. Shear lag dan efektivitas sambungan

Faktor *shear-lag* (U) dibuat untuk mengantisipasi adanya ketidaksempurnaan sambungan, yaitu jika ada elemen penampang yang tidak tersambung, sehingga distribusi tegangan jadi tidak merata dan ada konsentrasi tegangan. Itu tentu akan mengurangi kinerja. Faktor *shear-lag* (U) dalam hal ini adalah faktor reduksi yang memperhitungkan kondisi tersebut.

Ketidaksempurnaan sambungan batang tarik menimbulkan efek *shear-lag*, yang mengurangi kekuatan atau kinerja batang tarik. Besar atau kecilnya efek *shear-lag* tergantung konfigurasi bentuk sambungan, yang umumnya ditentukan oleh pertimbangan akan kemudahan konstruksi dan biaya pembuatannya.



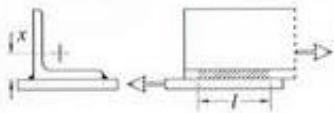
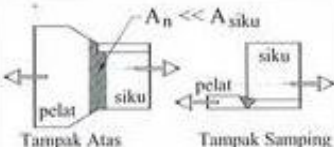
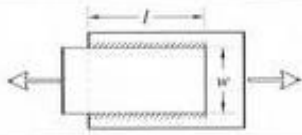
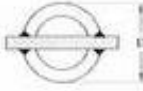
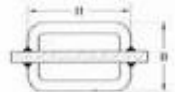
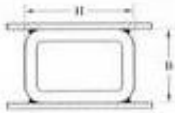
Gambar 2.10 Pengaruh shear-lag terhadap konfigurasi sambungan tarik(Sumber ; Dewobroto 2013)

Gambar 2.10a adalah sambungan profil baja siku pada satu sisi saja, sehingga efek shear-lag menjadi maksimum atau $U < 1$. Gambar 2.10b adalah sambungan profil baja siku yang tersambung penuh pada ke dua sisinya, akibatnya efek *shear-lag* jadi minimum atau bisa saja diabaikan sehingga $U \approx 1$.

Bentuk dan konfigurasi sambungan dapat sangat bervariasi, jika hal itu mempengaruhi besarnya efek shear-lag maka analisis yang tepat menjadi rumit. Meskipun demikian karena hal itu penting, yang menentukan keamanan serta efisien tidaknya batang tank, maka AISC mengadopsi konsep faktor *shear-lag* (U), yang kalibrasi ketepatannya mengandalkan data-data empiris secara statistik.

Tabel 2.1 memuat faktor *shear-lag* (U) dari berbagai bentuk dan konfigurasi sambungan batang tank. Rumusan terlihat sederhana meskipun demikian telah teruji pada ± 1000 sampel sambungan dengan baut dan paku keling. Kalaupun terjadi simpangan hanya sekitar 10% saja (Munse-Chesson 1963). Penelitian terkini masih mendukung pendekatan tersebut (Easterling - Gonzales 1993).

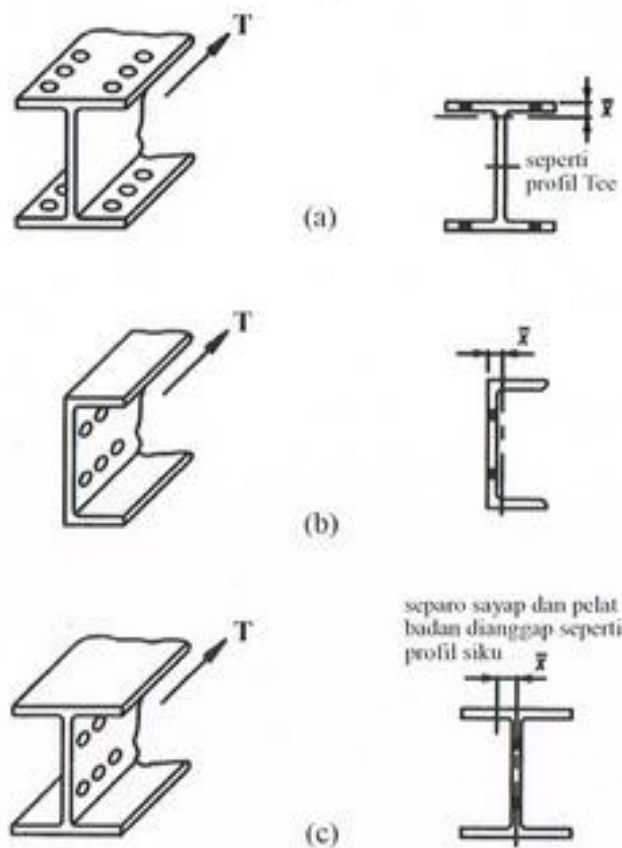
Tabel 2.1 Faktor Shear-Lag (U) batang tarik(AISC 2010)

No	Deskripsi	Faktor shear-lag, U	Catatan dan sketch
1	Batang tarik dengan baut atau las, transfer gaya dengan semua elemen penampang yang ada.	$U = 1.0$	lihat Gambar 4.13b
2	Batang tarik dengan baut atau las, transfer gaya dengan sebagian dari elemen penampang.	$U = 1 - x / l$	
3	Batang tarik dengan las melintang di sebagian elemen. Ada bagian yang tidak tersambung.	$U = 1.0$ dengan A_n = luas penampang yang tersambung saja	
4	Pelat sambungan las arah memanjang saja.	$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	
5	Pipa dengan pelat sambung tunggal konsentris.	$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - x / l$ dengan $x = D / \pi$	
6	Profil berongga persegi HSS dengan pelat sambung tunggal konsentris.	$l \geq H \dots U = 1 - x / l$ $x = (B^2 - BH) / (4(B+H))$	
	Profil berongga persegi HSS dengan pelat sambung ganda pada sisi luar penampang	$l \geq H \dots U = 1 - x / l$ $x = B^2 / 4(B+H)$	
7	Profil I atau T (jika rumus No.2 dipakai, pilih nilai U yang terbesar)	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$	sambungan di pelat sayap (flange) dengan minimal 3 baut atau lebih, ditempatkan segaris arah gaya
		$U = 0.7$	sambungan di pelat badan (web) dengan minimal 4 baut atau lebih ditempatkan segaris arah gaya
8	Profil siku tunggal atau ganda (jika rumus No.2 dipakai, pilih nilai U yang terbesar)	$U = 0.8$	pakai 4 baut atau lebih yang ditempatkan segaris arah gaya.
		$U = 0.6$	pakai 3 baut segaris arah gaya, jika jumlah kurang pakai rumus No.2

Catatan:

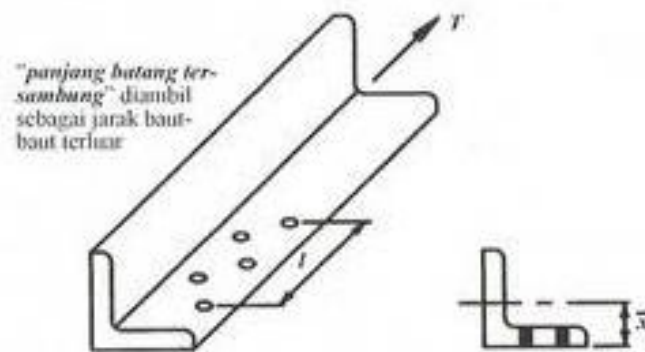
l = panjang bagian yang tersambung (mm); w = lebar pelat (mm); x = eksentrisitas elemen terhadap sambungan (mm); B = lebar profil berongga, diukur tegak lurus terhadap bidang sambungan (mm); H = tinggi keseluruhan profil berongga persegi (mm).

Untuk memahami parameter x atau l dalam menentukan faktor U , beberapa petunjuk bergambar dari AISC (2010) dapat dilihat.



Gambar 2.11 Jarak x pada profil H dan C untuk menghitung faktor U (Sumber ; AISC 2010)

Ternyata penampang perlu dievaluasi secara terpisah, khususnya elemen tidak tersambung. Semakin jauh jarak titik berat elemen tidak tersambung terhadap permukaan sambungannya, semakin besar nilai x yang perlu diambil untuk menghitung faktor U . Juga nilai l sebagai "jarak panjang batang tersambung", perlu dipahami jika ketemu konfigurasi baut dengan pola *staggered*.



Gambar 2.12 Jarak l sebagai panjang batang tersambung (Sumber ; AISC 2010)

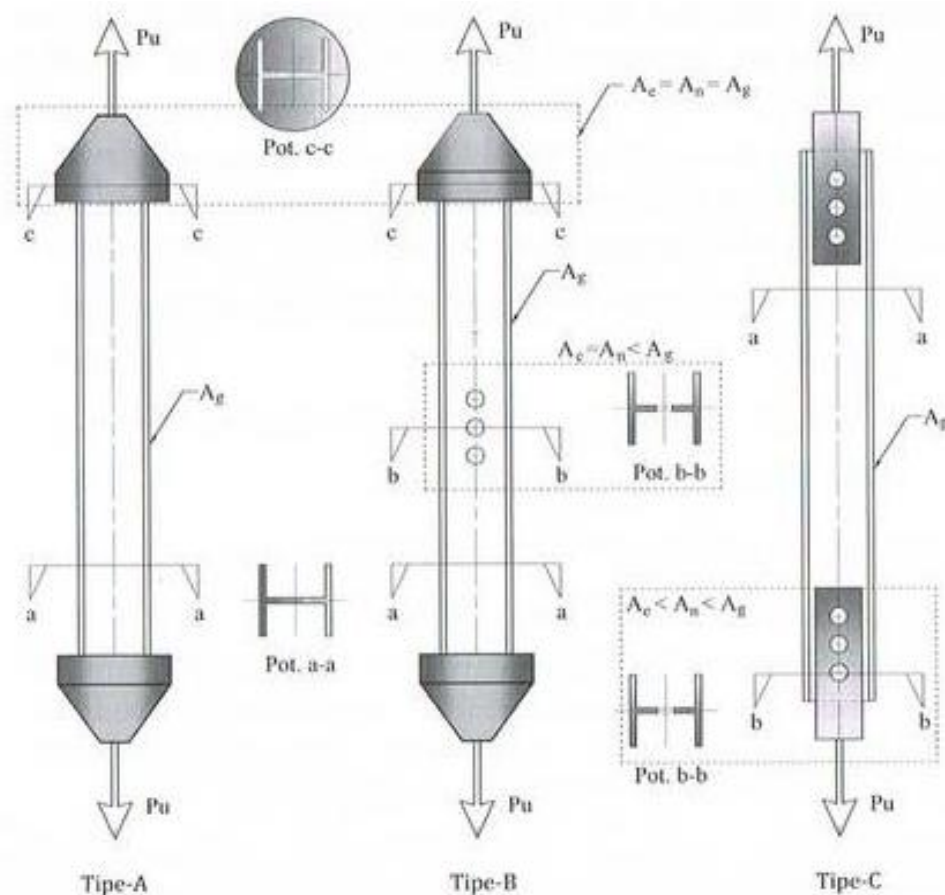
Dari dua contoh, terlihat bahwa parameter untuk faktor U relatif longgar. Juga adanya beberapa petunjuk untuk mendapatkan nilai U memungkinkan untuk diperoleh dua nilai berbeda. Jika seperti itu, maka dapat dipilih nilai U terbesar (Commentary AISC 2010).

g. Ilustrasi Perencanaan Batang Tarik

Kinerja batang tarik ditentukan oleh [1] efektifitas kuat penampang, yang diwakili oleh tiga kondisi luasan, yaitu A_g , A_n dan A_e serta [2] kinerja sistem sambungan yang digunakan.

Kedua parameter di atas saling terkait. Bagaimanapun juga, sistem sambungan yang dipilih akan menentukan luasan lubang untuk alat – alat sambungannya, juga bagaimana detail hubungan elemen – elemennya. Jika elemen penampang batang tarik tidak terhubung menyeluruh, maka faktor *shear-lag* menentukan. Jadi pada daerah sambungan perlu ditinjau parameter A_n (luas netto dikurangi lubang) dan A_e (pengaruh shear lag terhadap luas netto tersebut).

Sedari awal, insinyur dalam merencanakan batang tarik, sudah harus tahu sistem sambungan apa yang akan digunakan, minimal membayangkannya bagaimana bentuk dan detail sambungannya nanti. Maklum struktur dengan penampang yang sama, tetapi berbeda sistem sambungannya, maka kinerjanya juga berbeda. Untuk hal itu akan ditinjau tiga konfigurasi batang tarik sebagai berikut.



Gambar 2.13 Profil H sebagai batang tarik dalam tiga konfigurasi berbeda(Sumber ; Dewobroto 2013)

Gambar 2.13 memperlihatkan 3 konfigurasi batang tarik dengan profil H yang sama. Bedanya hanya pada kondisi sambungan dan keberadaan lubang. Ternyata itu menyebabkan kinerjanya beda. Dengan pengetahuan tentang konsep perencanaan batang tarik, maka sepintas kinerja ketiganya dapat dengan mudah dievaluasi dan diprediksi, konfigurasi mana yang paling kuat atau lemah.

Evaluasi yang dimaksud adalah sebagai berikut:

Struktur Tipe – A dan Tipe – B mempunyai sistem sambungan sama. Dari potongan c – c, terlihat bahwa keseluruhan penampang profil H dapat tersambung penuh, jadi faktor *shear-lag* atau $U=1$. Jadi tinjauan penampang pada bagian sambungan adalah $A_e = A_n = A_g$, yang sama antar keduanya. Perbedaannya hanya pada keberadaan lubang pada struktur Tipe – B,

sehingga nilai $A_e = A_n < A_g$. Faktor *shear-lag* dalam hal ini tidak berpengaruh atau $U = 1$ karena semua elemen profil tersambung penuh, hanya ada lubang saja.

Kuat tarik rencana struktur Tipe – A adalah $0.9 \cdot F_y \cdot A_g$, sedangkan Tipe – B adalah $0.9 \cdot F_y \cdot A_g$ atau $0.75 \cdot F_y \cdot A_g$, pilih yang terkecil. Tipe – A cenderung lebih kuat dari Tipe – B yang berlubang (lihat potongan b – b). Meskipun demikian, adanya lubang bisa tidak signifikan, tergantung mutu baja (F_y dan F_u) dan luasan lubang.

Material baja modern saat ini banyak mensyaratkan $F_y / F_u \leq 0.8$, berdasarkan hal itu, tentunya dapat diketahui seberapa besar lubang yang tidak mengganggu kinerja struktur tarik tersebut.

Beban tarik berdasarkan kriteria leleh (*yield*) penampang utuh.

$$P_u = 0.9 \cdot F_y \cdot A_g \dots\dots\dots(\text{AISC D2-1})$$

Beban tarik berdasarkan kriteria fraktur penampang berlubang.

$$P_u = 0.75 \cdot F_u \cdot A_e \dots\dots\dots(\text{AISC D2-1})$$

Karena $A_e = A_n$, juga $F_y = 0.8F_u$ dan $F_u = 0.8F_y$ maka

$$A_n = 0.9 \cdot F_y \cdot A_g / (0.75 \cdot 1.25F_y) = 0.96A_g$$

Jika luas lubangnya tidak lebih dan 4% luas penampang utuh (A_g) maka keberadaannya dapat diabaikan, atau tidak mempengaruhi kinerjanya dalam memikul beban tarik. Jika melebihi maka jelas bahwa struktur Tipe – A akan lebih kuat dari Tipe – B.

Struktur Tipe – B dan Tipe – C mempunyai kondisi lubang yang sama (potongan b – b) meskipun berbeda lokasinya. Karena yang dievaluasi hanya lubang pada penampang bukan lokasinya, maka parameter A_n untuk keduanya adalah sama.

Meskipun luas penampang bersih (A_n) struktur Tipe – B dan Tipe – C sama, tetapi keterkaitannya dengan kondisi sambungan itu yang menyebabkan terjadi perbedaan.

Lubang pada struktur Tipe – B tidak terkait dengan sambungan, atau dalam arti semua elemen penampang tersambung sempurna. Kondisi itu menyebabkan faktor shear-lag tidak berpengaruh atau $U=1$ berarti $A_e = A_n$. Oleh karena ada lubang maka $A_e = A_n < A_g$

Lubang pada struktur Tipe – C adalah untuk sambungan (lubang baut). Akibat detail sambungan yang dipilih, yaitu sambungan pelat pada badan profil H saja, sehingga tidak semua elemen penampang tersambung sempurna maka faktor *shear-lag* menentukan.

Jadi meskipun A_n di kedua penampang berlubang adalah sama, tetapi akibat detail sambungan struktur Tipe – C menyebabkan fenomena *shear-lag* menjadi menentukan kinerja. Akibat sambungan yang dipilih, yang hanya menyambung sebagian elemen tarik maka pada daerah sambungan tersebut akan terjadi perubahan aliran tegangan tarik yang tidak menerus, sehingga $U < 1$, yang berarti $A_e < A_n$.

Untuk menghitung faktor *shear-lag* secara teliti tentu memerlukan informasi sambungan yang detail. Tetapi untuk prediksi awal dapat digunakan Tabel 2.1, dimana diperoleh nilai $U = 0.6 \sim 0.7$.

Dengan cara sama, ambil $U = 0.7$, maka kekuatan struktur Tipe – C dibanding Tipe – A, berbeda pada kriteria frakturnya, sehingga:

$$\begin{aligned} P_u &= 0.75 \cdot F_u \cdot A_e \dots\dots\dots(\text{AISC D2-1}) \\ P &= 0.75 \cdot 1.25 \cdot F_y \cdot 0.7 \cdot A_g = 0.656 F_y \cdot A_g \end{aligned}$$

Kekuatan struktur Tipe – A pada dasarnya sama dengan kekuatan batang dengan penampang utuh, yaitu $P_u = 0.9 \cdot F_y \cdot A_g$ maka kinerja struktur Tipe – C hanya $0.656/0.9 \approx 0.73$ dari struktur Tipe – A.

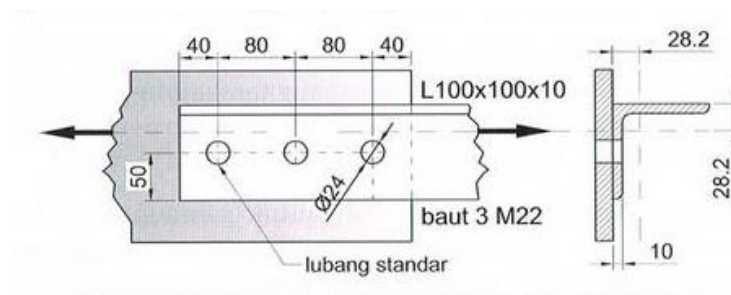
Dari ilustrasi yang diberikan, terlihat bahwa kinerja batang tarik tergantung dari sistem sambungan. Padahal tipe dan detail dan sambungan itu sendiri sangat bervariasi. Bahkan sambungan pada Gambar 2.11 saja masih diragukan, apakah jumlah dan diameter baut yang tergambar tersebut telah mencukupi atau tidak. Oleh karena itulah masih diperlukan evaluasi khusus pada sambungan.

Jadi mempelajari sistem sambungan yang digunakan pada batang tarik adalah sangat penting dan menjadi satu kesatuan dalam tahap perencanaannya.

D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN

a. Contoh Aplikasi Batang tarik profil L

Kapasitas batang tarik dengan siku L100 x 100 x 10 yang disambung dengan baut mutu tinggi seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sambungan baut tipe geser pada profil L100 x 100 x 10

Jawab :

Material baja BJ37 (F_y 240 MPa dan F_u 370 MPa). Profil L mengacu SNI 07-2054-2006, untuk L100x100x10, $A = 1900 \text{ mm}^2$, dan posisi titik berat $C_x = C_y = x = 28.2 \text{ mm}$

Kapasitas tarik dari kriteria leleh (*yield*) penampang utuh.

$$\phi P_n = 0.9 F_y A_g \dots\dots\dots(\text{AISC D2-1})$$

$$\phi P_n = 0.9 * 240 * 1900/1000 = 410.4 \text{ kN}$$

Kapasitas tarik dari kriteria fraktur penampang berlubang.

$$\phi P_n = 0.75 F_u A_e \dots\dots\dots(\text{AISC D2-1})$$

Dari detail sambungan (Gambar 2.14) diketahui $d_{\text{baut}} = 22 \text{ mm}$ dan $d_{\text{lubang}} = 24 \text{ mm}$ untuk hitungan $d_{\text{imaginer}} = 24 + 2 = 26 \text{ mm}$, ini perlu untuk mengantisipasi adanya pelemahan pada waktu pembuatan lubang. Penempatan baut dibuat seri berurutan pada garis yang sama, sehingga potongan kritis penampang hanya ditempati satu lubang saja, sehingga

$$A_n = 1900 - 26 * 10 = 1640 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - x/L = 1 - 28.2 * 160 = 0.824$$

$$A_e = UA_n = 0.824 * 1640 = 1351.4 \text{ mm}^2$$

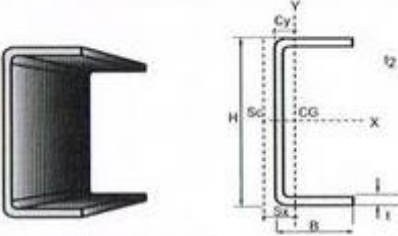
$$\phi P_n = 0.75 * 370 * 1351.4/1000 = 375.0 \text{ kN} < \text{terkecil}>$$

$$\text{Kuat batang tarik } \phi P_n = 375.0 \text{ kN.}$$

Catatan : tentu saja kekuatan sambungan harus lebih besar dan batang tarik yang disambung. Jadi kondisi sambungan perlu dievaluasi dengan seksama karena belum tentu tiga (3) baut sebagaimana tergambar, telah mencukupi.

b. Contoh Aplikasi Batang tarik profil U

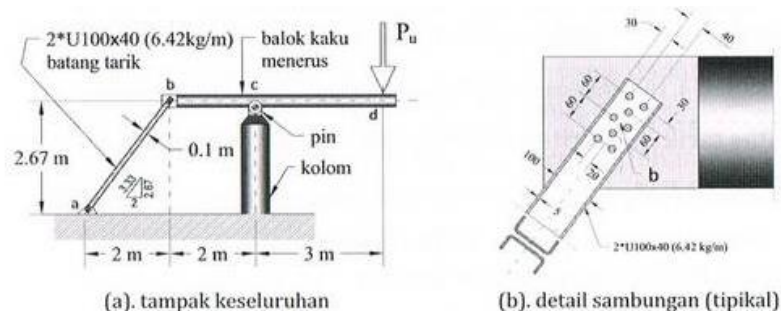
Data profil U mutu ASTM A36 $F_y = 250 \text{ MPa}$ dan $F_u = 400 \text{ MPa}$



METRIC SIZE

DIMENSION H x B	THICK NESS t ₁	UNIT WEIGHT	SECTION AREA	CENTER OF GRAVITY		CENTER OF SHEAR		GEOMETRICAL MOMENT OF INERTIA		RADIUS OF GYRATION		MODULUS OF SECTION	
			A	C _x	C _y	S _x	S _y	I _x	I _y	I _x	I _y	Z _x	Z _y
mm x mm	mm	kg/m	cm ²	cm	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
100 x 35	4.0	4.93	6.27	0.00	0.90	0.00	1.85	85.51	6.60	3.69	1.03	17.10	2.53
100 x 40	2.5	3.37	4.29	0.00	1.00	0.00	2.27	63.43	6.42	3.84	1.22	12.69	2.14
100 x 40	3.0	4.01	5.10	0.00	1.02	0.00	2.27	74.41	7.55	3.82	1.22	14.88	2.54
100 x 40	4.0	5.24	6.67	0.00	1.07	0.00	2.25	94.73	9.67	3.77	1.20	18.95	3.30
100 x 40	5.0	6.42	8.18	0.00	1.11	0.00	2.24	112.97	11.6	3.72	1.19	22.59	4.02

Gambar 2.15 memperlihatkan struktur ungkit dengan batang tarik sekaligus detail lobang baut pada salah satu sambungannya.



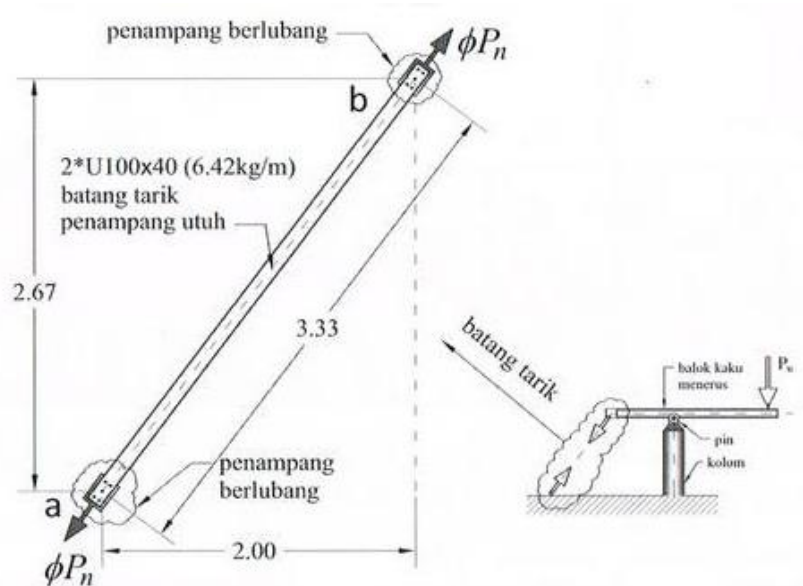
Gambar 2.15 Batang tarik pemikul

Sambungan memakai baut mutu tinggi A325 diameter M16, sesuai detail dipasang 8 baut secara selang-seling. Batang tarik memakai 2 profil U 100x40 (6.42 kg/m), dipasang saling beradu punggung. Data profil sesuai table di atas. Selanjutnya jawablah pertanyaan pertanyaan berikut.

1. Hitung ϕP_n dari batang tarik, yaitu kekuatan elemen tarik pada struktur di atas secara lokal.
2. Jika kekuatan batang adalah P dari ketentuan di atas, berapa beban terpusat P_u di titik d jika ditinjau struktur secara keseluruhan. Selanjutnya tentukan berapa kN maksimum yang dapat dipasang pada titik d tersebut. Jadi ada dua jawaban, yaitu P_u sebagai fungsi P_o dan satu lagi yang bernilai numerik.

Jawab:

Kapasitas Batang Tarik : Tinjau batang tarik a-b secara terpisah lepas (lihat Gambar 2.16). Cek kekuatan penampang utuh (A_g) terhadap kondisi batas **leleh** (F_y) dan penampang **berlubang** (A_e) terhadap kondisi batas **fraktur** (F_u).



Gambar 2.16 Mekanisme pengalihan gaya batang tarik terhadap struktur

Kapasitas tarik dari kriteria leleh (*yield*) penampang **utuh**.

$$\phi P_n = 0.9 F_y A_g \dots\dots\dots(\text{AISC D2-1})$$

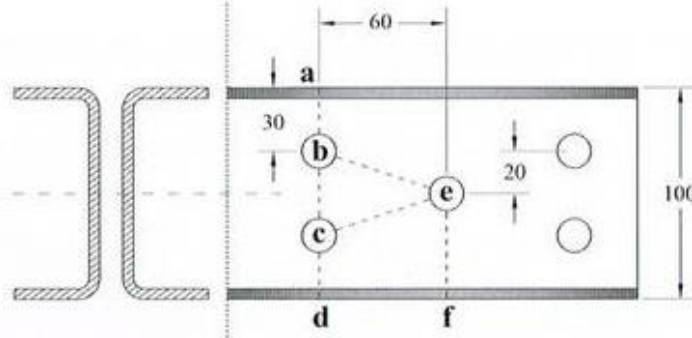
$$A_g = 8.18 \times 2 = 16.36 \text{ cm}^2 = 1636 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0.9 \times 250 \times 1636 / 1000 = 368 \text{ kN}$$

Kapasitas tarik dari kriteria fraktur penampang **berlubang**.

$$\phi P_n = 0.75 F_u A_g \dots\dots\dots (\text{AISC D2-1})$$

Sambungan (Gambar 4.18), $d_{\text{baut}} = 16 \text{ mm}$, $d_{\text{lubang}} = 18 \text{ mm}$, dan untuk hitungan $d_{\text{imaginer}} = 18 + 2 = 20 \text{ mm}$, pelemahan pembuatan lubang. Baut dibuat zig-zag, untuk itu perlu dicari potongan kritis.



Gambar 2. 17 Jalur kritis lubang dengan pola staggered

Tiga Pola staggered yang perlu ditinjau potongannya

$$\begin{aligned} \text{a-b-c-d} &: A_n = A_g - 2 * d_{\text{imaginer}} * \text{tebal} * 2 \\ &A_n = 1636 - 2*20*5*2 = 1236 \text{ mm}^2 <<\text{terkecil}>> \\ \text{a-b-e-c-d} &: A_n = A_g - 3 * d_{\text{imaginer}} * \text{tebal} * 2 - 2 s^2 / (4g) * \text{tebal} * 2 \\ &A_n = 1636 - 3*20*5*2 + 2*60^2 / (4*20) * 5 * 2 \\ &A_n = 1636 - 600 + 900 = 1936 \text{ mm}^2 \\ \text{a-d-e-f} &: A_n = A_g - (2*d_{\text{imaginer}} - s^2 / (4g)) * \text{tebal} * 2 \\ &A_n = 1636 - 2*20*5*2 + 30^2 / (4*20) * 5 * 2 \\ &A_n = 1636 - 400 + 112.5 = 1348.5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U &= 1 - x/L = 1 - 11.1/120 &= 0.9075 \\ A_e &= U A_n = 0.9075 * 1236 &= 1122 \text{ mm}^2 \\ \phi P_n &= 0.75 * 400 * 1122 / 1000 &= 337 \text{ kN} <<\text{terkecil}>> \\ &\approx \text{Kapasitas batang tarik a-c, adalah } \phi P_n = 337 \text{ kN.} \end{aligned}$$

Kapasitas dukung struktur : yang ditinjau menerima beban P_u di ujung kanan balok. Adapun ujung kiri balok ditahan pada kondisi seimbang oleh batang tarik a-c. Jika kekuatan struktur ditentukan oleh batang tarik, akan dihitung gaya P_u , yang dapat dibebankan pada titik **d**, atau ujung kanan balok tersebut.

Untuk itu, dianggap V_b komponen gaya vertikal di batang tarik a-b, pada kondisi kesetimbangan di titik C maka besarnya gaya P_u di titik d dapat dicari sebagai berikut.

$$\sum M \text{ di titik c maka: } V_b * 2 = P_u * 3 \rightarrow P_u = 2/3 V_b$$

$$\text{dimana } V_b = 2.67/3.33\phi P_n = 0.8\phi P_n \rightarrow P_u = 2/3 V_b = 0.5345\phi P_n$$

Jadi gaya batas terpusat di titik D maksimum $P_u \approx 180 \text{ kN} (\downarrow)$

c. Diskusi Lanjutan

Dari analisis dapat diketahui, daya dukung maksimum batang tarik a-b sebesar $\phi P_n = 337 \text{ kN}$. Jika itu dibuat batas kinerja struktur secara keseluruhan maka dapat diketahui beban batas di titik d, adalah sebesar $P_u = 180 \text{ kN} (\downarrow)$.

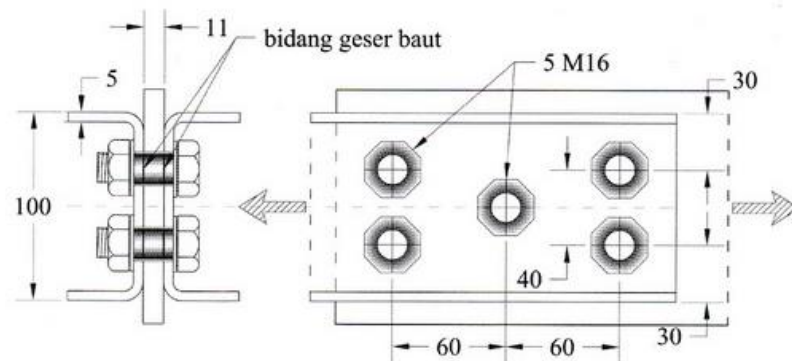
Pernyataan di atas sebenarnya belum bisa menggambarkan kinerja struktur secara keseluruhan, maklum sambungan batang tarik belum dibahas. Padahal batang tarik a-b tidak akan bisa dipakai tanpa tersedianya sistem sambungan yang memenuhi syarat dan kuat. Adapun hitungan yang dibuat, hanya membahas pengaruh lubang sambungan terhadap batang tarik, dan bukan pada sistem sambungannya itu sendiri.

Jadi agar perencanaan batang tarik lengkap, maka diperlukan juga perencanaan sistem sambungannya sekaligus. Minimal mengetahui apakah konfigurasi lubang yang diperhitungkan sebelumnya telah mencukupi, sehingga tidak akan ada lubang lagi yang dibuat.

Sistem akan dievaluasi sebagai sambungan baut tipe geser dengan mekanisme tumpu, dianggap memenuhi syarat jika kekuatannya lebih besar dari batang tarik (337 kN). Untuk itu ada tiga kondisi batas yang perlu dievaluasi, yaitu:

1. kuat geser baut
2. kuat tumpu profil
3. kuat geser blok

Jawab



Gambar 2.28 Evaluasi terhadap kuat geser baut

Kuat geser baut: lubang pada perencanaan batang tarik adalah untuk baut ukuran M16 ($A_b = 201 \text{ mm}^2$), mutu ASTM A-325.

$$R_n = F_{nv}, A_b \text{ (per baut)(AISC J3-1)}$$

$$R_n = 330 \times 201$$

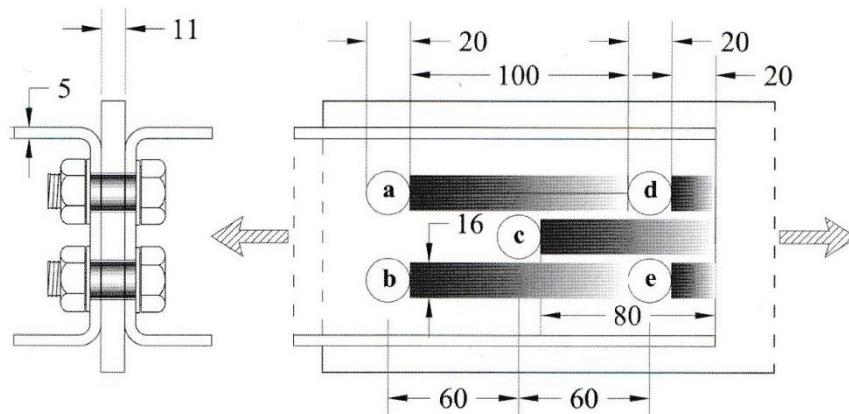
$$= 66330 \text{ N}$$

$$= 66.33 \text{ kN.}$$

Detail sambungan (Gambar 2.28) dua profil U digabung pada baut yang sama. Itu berarti pada satu baut ada dua bidang geser. Jadi untuk 5 baut (sesuai lubang tersedia) akan ada $n = 5 \times 2 = 10$.

$$n = 10 \rightarrow \phi R_n = 0.75 \times 10 \times 66.33 \approx 497 \text{ kN} > 337 \text{ kN (OK)}$$

Baut $\phi 16 \text{ mm}$, lubang baut standar $\phi 18 \text{ mm}$, untuk hitungan pakai lubang imajiner $\phi 20 \text{ mm}$ akibat pelemahan dari pelaksanaannya.



Gambar 2.29 Evaluasi terhadap kuat tumpu baut

Kuat tumpu didasarkan pada kondisi deformasi yang kecil maka

$$R_n = 1.2 l_c t F_u \leq 2.4 d t F_u \dots\dots\dots (\text{AISC J3-6a})$$

$$\text{baut a : } R_{na} = 1.2 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \leq 2.4 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \rightarrow R_{na} = 153.6 \text{ kN}$$

$$\text{baut b : } R_{nb} = 1.2 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \leq 2.4 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \rightarrow R_{na} = 153.6 \text{ kN}$$

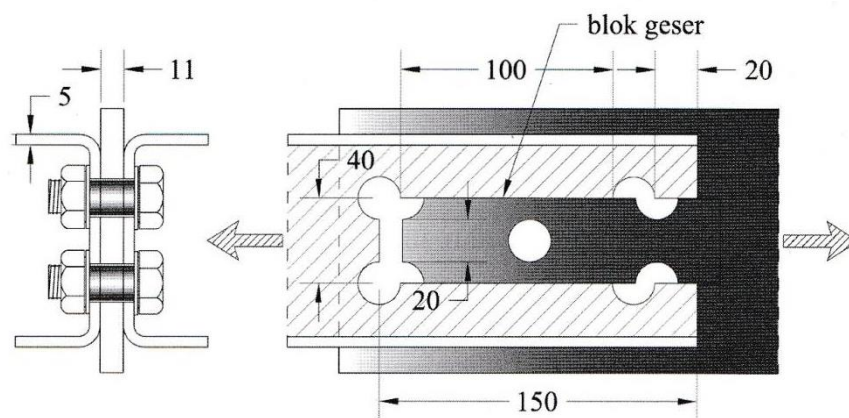
$$\text{baut c : } R_{nc} = 1.2 \cdot 80 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \leq 2.4 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \rightarrow R_{nc} = 153.6 \text{ kN}$$

$$\text{baut d : } R_{nd} = 1.2 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \leq 2.4 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \rightarrow R_{nd} = 96.0 \text{ kN}$$

$$\text{baut e : } R_{ne} = 1.2 \cdot 20 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \leq 2.4 \cdot 16 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 400 \rightarrow R_{ne} = 96.0 \text{ kN}$$

$$\text{maka } R_n = R_{na} + R_{nb} + R_{nc} + R_{nd} + R_{ne} = 653 \text{ kN} > 337 \text{ kN (OK)}$$

Check kuat sambungan terhadap keruntuhan geser blok



Gambar 2.30 Evaluasi terhadap kuat blok geser

$$R_n = \underbrace{0.6 F_u A_{nv}}_{\text{fraktur}} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq \underbrace{0.6 F_y A_{gv}}_{\text{leleh}} + U_{bs} F_u A_{nt} \dots\dots\dots (\text{AISC J4-5})$$

$$A_{nv} = (100 + 20) \cdot 2 \cdot 5 \cdot 2 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 20 \cdot 5 \cdot 2 = 200 \text{ mm}^2 \text{ dan } U_{bs} = 1.0$$

$$\text{fraktur} = (0.6 \cdot 400 \cdot 2400 + 1.0 \cdot 400 \cdot 200) / 1000 = 656 \text{ kN}$$

$$\text{leleh} = (0.6 \cdot 250 \cdot 150 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 2 + 1.0 \cdot 400 \cdot 200) / 1000 = 530 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0.75 \cdot 530 = 398 \text{ kN} \gg 337 \text{ kN (OK)}$$

Rangkuman hasil evaluasi terhadap berbagai kondisi batas sambungan, yaitu:

1. kuat geser baut : 497 kN
2. kuat tumpu profil : 653 kN
3. kuat geser blok : 398 kN << menentukan >>

Karena kuat sambungan (398 kN) >> kuat batang tarik (337 kN) maka estimasi bahwa struktur dapat memikul gaya batas terpusat di titik D maksimum $P = 180 \text{ kN}$ (1-) adalah valid.

E. LATIHAN / KASUS / TUGAS

a. Soal Latihan 1

Material baja sifatnya adalah isotropis, sehingga baja memiliki tahanan yang sama terhadap gaya ke segala arah. Namun pada kondisi real nya baja cenderung lebih mampu memikul beban tarik yang lebih besar dari beban tekan. Hal ini disebabkan oleh faktor :

- d. Beban
- e. Geser
- f. Tekuk**

b. Soal Latihan 2

Arti luas penampang netto pada perencanaan batang tarik adalah :

- a. Luasan penampang setelah memperhitungkan pengaruh lubang
- b. Luasan penampang penuh
- c. Luasan penampang alat penyambung

c. Soal Latihan 3

Ketidaksempurnaan sambungan batang tarik akan menimbulkan terjadinya :

- a. Shear Force
- b. Minor Shear
- c. Shear-lag

d. Soal Latihan 4

Manakah pernyataan di bawah ini yang menunjukkan hubungan antara A_g dan A_n :

- a. $A_g = A_n$
- b. $A_g > A_n$
- c. $A_g < A_n$

e. Soal Latihan 5

Menurut ketentuan lama dari SNI (SNI 03-1729-2002), pada perencanaan sambungan dengan baut, dalam satu potongan luas maksimum dari lubang adalah....dari penampang utuh :

- a. 5%
- b. 10%
- c. 15%

F. RANGKUMAN

Batang tarik adalah suatu sistem pada struktur baja yang paling efisien dalam memanfaatkan kekuatan material untuk memikul beban. Semakin tinggi mutu baja yang digunakan maka semakin kuat struktur batang tarik tersebut. Batang tarik tidak mengenal kelangsingan yang menyebabkan fenomena tekuk.

Meskipun batang tarik sangat optimal dan efisien namun kekuatannya ditentukan juga oleh sistem sambungan yang digunakan. Jika dipakai sambungan baut maka ada bagian dari batang tarik yang harus dilubangi dan itu mempengaruhi kekuatan batang tarik. Selain itu cara penyambungan batang tarik dapat menyebabkan efek *shear-lag* yang dapat mengurangi kapasitas batang tarik tersebut. Perencanaan batang tarik yang baik harus sekaligus dengan sistem sambungan yang digunakan.

G. KUNCI JAWABAN

a. Soal Latihan 1

Jawaban c. Tekuk

b. Soal Latihan 2

Jawaban a. Luasan penampang setelah memperhitungkan pengaruh lubang

c. Soal Latihan 3

Jawaban c. Shear-lag

d. Soal Latihan 4

Jawaban b. $A_g > A_n$

e. Soal Latihan 5

Jawaban c. 15%

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

KONSTRUKSI BAJA BATANG TEKAN

A. TUJUAN

Tujuan dari Kegiatan Pembelajaran 3 ini adalah agar Guru Mata Pelajaran mampu Merencanakan Konstruksi Baja dengan menggunakan Perangkat Lunak (*Software*)

B. INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI

Indikator Pencapaian Kompetensi dari kegiatan pembelajaran 3 ini adalah Merencanakan Konstruksi Baja khususnya Batang Tekan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*),

C. URAIAN MATERI

Batang tekan ditujukan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial saja. ini tentu anggapan ideal, karena umumnya pastilah terdapat eksentrisitas, oleh ketidak-lurusan batang, atau oleh ketidak-tepatan pembebanan, juga kekangan dari tumpuannya yang menimbulkan momen. Tetapi jika momen relatif kecil sehingga dapat diabaikan, maka prosedur desain berikut dapat digunakan.

Umumnya batang tekan ditempatkan pada konfigurasi geometri berbentuk pola segitiga, agar tetap stabil. Jenis struktur yang secara keseluruhan tersusun dalam pola segitiga disebut *truss* atau rangka batang.

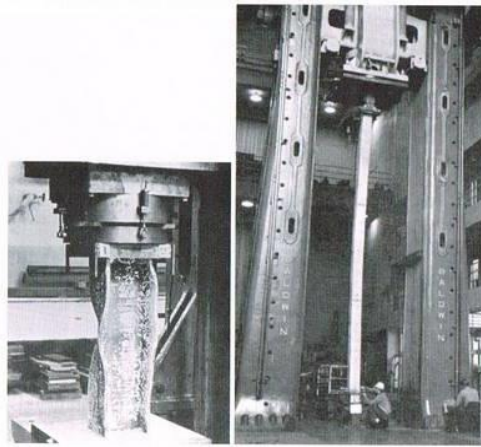
a. Tekuk dan Parameter Penting Batang Tekan

Parameter material, F_y dan F_u akan menentukan kuat batang tarik, tetapi pada batang tekan hanya F_y yang penting, F_u tidak pernah tercapai. Selain material, maka batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain, yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri.

Parameter geometri, terdiri [1] luas penampang (A); [2] pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur (I_{min}); [3] panjang batang dan kondisi

pertambahan atau tumpuan, yang diwakili oleh panjang efektif (KL). Ketiganya dapat diringkas lagi menjadi satu parameter tunggal, yaitu rasio kelangsingan batang (KL/r_{min}), dimana $r_{min} = \sqrt{I_{min}/A}$ adalah radius girasi pada arah tekuk.

Rasio kelangsingan batang menjadi parameter penting perencanaan, dan menjadi indikator batas kinerja sekaligus perilakunya. Contoh, kolom pendek (tidak langsing) kekuatannya ditentukan material. Adapun kolom langsing, kekuatan ditentukan oleh beban kritis yang menyebabkan tekuk (*buckling*), tidak tergantung mutu material. Jadi kolom dengan bahan material bermutu tinggi maka rasio kelangsingannya perlu diperhatikan, agar efisien.



(a) Elemen penampang (lokal) (b) Elemen struktur (global)

Gambar 3.1 Fenomena tekuk (White et.al 1976)

Gambar 3.1 memperlihatkan tekuk atau *buckling* (Inggris) atau *knick* (Jerman) atau *knik* (Belanda) pada kolom langsing. Keruntuhan tekuk umumnya terjadi pada kondisi tegangan yang relatif rendah, di bawah tegangan leleh. Itu berarti keruntuhannya masih dalam kondisi elastis. Fenomena tekuk tidak terdeteksi oleh analisa struktur elastis-linier, diperlukan analisa struktur non-linier. Keruntuhan tekuk bersifat mendadak, khususnya jenis *bifurcation*, tanpa didahului oleh lendutan yang besar. Jadi perlu dihindari.

Secara visual, tekuk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu [1] tekuk lokal pada elemen penampang, dan [2] tekuk global pada kolom atau batang tekan secara menyeluruh.

Jika elemen – elemen profil penampang relatif langsing dan panjang kolomnya relatif pendek, dapat terjadi tekuk lokal (Gambar 3.1a). Sebaliknya, jika elemen – elemen profil penampang relatif tebal dan batang kolomnya langsing maka akan terjadi tekuk global yang sifatnya menyeluruh (Gambar 3.1b).

b. Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal

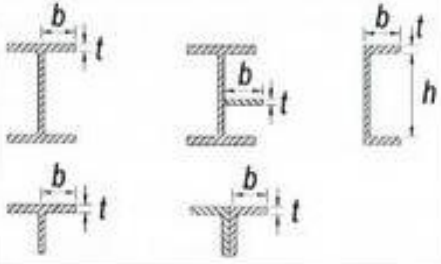
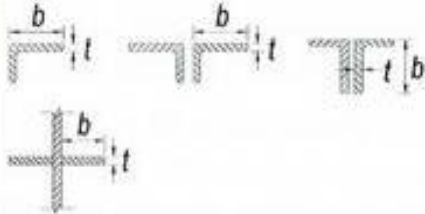
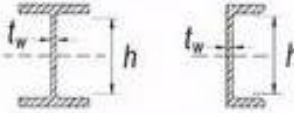
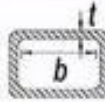
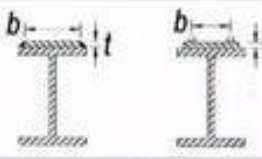
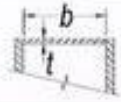
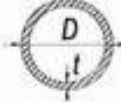
Perilaku tekuk dibedakan, yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Itu terjadi karena tempat terjadinya tekuk dan solusi penyelesaian untuk kedua fenomena itu ternyata berbeda (lihat Gambar 3.1).

Penyelesaian masalah tekuk lokal lebih kompleks dibanding tekuk global, yang terakhir ini sudah dirumuskan oleh Euler (1757), dan menjadi pengetahuan dasar perancangan kolom untuk berbagai *design-code* di dunia. Jika terjadi tekuk lokal, selain penyelesaiannya tidak sederhana, maka pemakaian penampangnya akan tidak efisien karena terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh).

Agar strukturnya optimal, maka risiko tekuk lokal harus dihindari. Untuk itu dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang tidak langsing dan langsing. Itu dilakukan dengan cara mengevaluasi rasio lebar – tebal (b/t) tiap – tiap elemen dari penampang. Elemen – elemen dipilih berdasarkan kondisi kekangannya, apakah ke dua sisinya tersambung kepada elemen lain; atau masih ada sisi bebas. Nilai b/t setiap elemen profil penampang selanjutnya dibandingkan dengan nilai batas rasio b/t dari Table 134.1a (AISC 2010), yang ditampilkan ulang sebagai Tabel 3.1.

Masing-masing elemen penampang perlu ditinjau, jika semua elemen tidak melebihi nilai batas rasio b/t di Tabel 3.1, maka penampang diklasifikasikan sebagai penampang tidak langsing (ideal) dan sebaliknya sebagai penampang langsing.

Tabel 3.1 Klasifikasi elemen pada batang tekan aksial (Table 84.1a AISC 2010)

No	Elemen	rasio lebar tebal	λ_c batas tidak langsing	Deskripsi penampang
1	sayap profil gilas IWF, UNP dan Tee, atau siku ganda tanpa spasi, juga pelat pengaku pada profil gilas	$\frac{b}{t}$	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
2	sayap profil built-up IWF simetri ganda dan pelat pengakunya	$\frac{b}{t}$	$0.64 \sqrt{\frac{[a] E}{k_c F_y}}$	
3	lengan profil siku tunggal atau ganda dengan pemisah, atau pelat pengaku bebas yang lain	$\frac{b}{t}$	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
4	lengan profil Tee	$\frac{d}{t}$	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
5	badan profil I simetri ganda dan UNP	$\frac{h}{t_w}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
6	sayap profil kotak ketebalan sama	$\frac{h}{t}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
7	cover-plate / pelat diaphragm antar alat sambung	$\frac{b}{t}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
8	elemen profil yang tertahan secara umum	$\frac{b}{t}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
9	pipa	$\frac{D}{t}$	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

Catatan : $k_c = 4 \sqrt{h/t_w}$ tetapi $0.35 \leq k_c \leq 0.76$

Tabel 3.1 mengklasifikasikan profil penampang batang sebagai tidak langsing atau langsing. Struktur efisien jika penampangnya tidak langsing, karena tidak ada risiko tekuk lokal. Penyelesaian AISC (2010) untuk batang tekan dengan klasifikasi langsing, juga sekedar memberikan faktor reduksi,

sehingga beban kritis terhadap tekuk lokal tidak tercapai terlebih dahulu. Jadi pada dasarnya strategi perencanaan batang tekan AISC (2010) adalah didasarkan pada tekuk global.

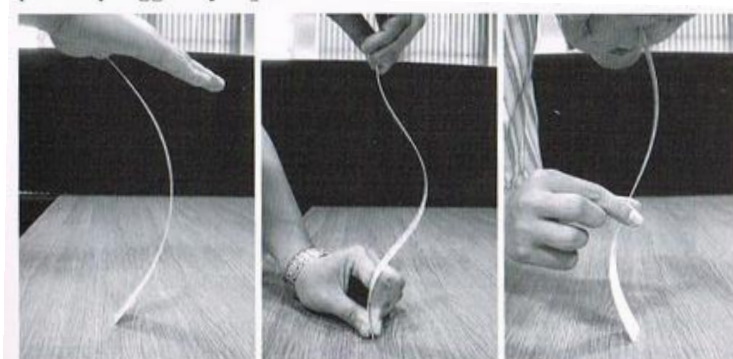
c. Teori Tekuk (Buckling)

i. Umum

Perilaku tekuk perlu dipelajari karena menjadi salah satu penyebab keruntuhan batang tekan. Meskipun umumnya telah belajar banyak tentang analisa struktur (Clayperon, Cross dan lainnya), sehingga dapat menghitung gaya atau momen internal batang, serta reaksi struktur yang dibebani, tetapi itu tidak menjamin memahami perilaku tekuk tersebut. Analisa struktur yang diberikan pada level sarjana umumnya analisis berbasis elastis-linier, yang belum bisa memperhitungkan masalah tekuk.

Tekuk sendiri hanya terjadi pada elemen langsing dan menerima gaya tekan. Pada material beton yang relatif lemah dibanding bahan baja menyebabkan dimensi komponen strukturnya relatif besar (tidak langsing). Oleh sebab itu pada perencanaan kolom beton, jarang yang memperhitungkan tekuk, cukup diatasi dengan diagram interaksi penampang berdasarkan prinsip kompatibilitas tegangan regangan pada material penampangnya.

Untuk mengenal tentang tekuk, ada baiknya melihat foto perilaku plastik penggaris yang ditekan sebagai berikut (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Perilaku tekuk elemen langsing (li-Bell 2008)

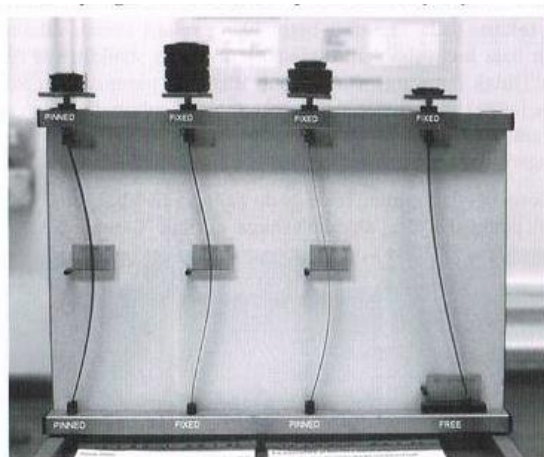
Gambar 3.2 memperlihatkan penggaris plastik yang ditekan untuk mengungkapkan perilaku tekuk. Tentu saja ini tidak terjadi pada struktur sebenarnya, karena jika sampai seperti itu deformasinya maka strukturnya sendiri pasti telah runtuh. Maklum deformasi struktur relatif kecil dan tidak seperti penggaris plastik tersebut.

Gambar 3.2 (kiri) : jika penggaris ditekan, pada kondisi deformasi tertentu seperti terjadi kehilangan kekakuan. Itu yang dimaksud dengan tekuk (*buckling*) yang menyeluruh (tekuk global).

Gambar 3.2 (tengah) jika kondisi tumpuannya dapat menahan rotasi batang (*restraint*), akan terjadi peningkatan kekakuan dan sekaligus juga daya dukung batang tekan.

Gambar 3.2 (kanan) : ternyata tidak hanya tumpuan saja, jika pada tengah bentang juga dapat disediakan pertambatan, sedemikian sehingga tidak dapat berdeformasi secara lateral, maka akan ada peningkatan kekakuan dan sekaligus daya dukung batang tekan.

Untuk mendapat gambaran bagaimana perilaku batang tekan dalam memikul beban, maka percobaan model berikut membantu memahami pengaruh kondisi tumpuan terhadap daya dukung.

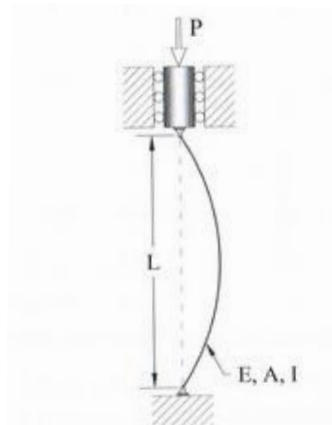


Gambar 3.3 Percobaan daya dukung kolom model (li-Bell 2008)

Kolom *pinned – pinned* di Gambar 3.3 kiri dianggap sebagai kolom acuan, perhatikan kelengkungan pada sekitar tumpuan. Di sebelah kanannya, kolom *fixed – fixed* dapat memikul beban lebih besar, jika tumpuan bawah dikembalikan lagi jadi *pinned*, beban berkurang. Perilaku ekstrim, adalah kolom paling kanan, dimana di bagian atas dianggap *fixed* (tidak bisa berotasi) dan di bagian bawah ujungnya bisa bertranslasi. Beban yang dipikul turun drastis, paling kecil dibanding kolom lain. Daya dukung kolom di sini adalah kemampuan menerima beban sebelum kehilangan kekuatan akibat tekuk. Jumlah besi pemberat terpasang pada model kolom,

menunjukkan besarnya daya dukung tersebut. Kolom *fixed – fixed* daya dukung terbesar, dan yang terkecil adalah kolom *fixed – free*.

Selanjutnya ditinjau kolom langsing dengan tumpuan sendi – sendi, yaitu kolom kiri Gambar 3.3. Dalam hal ini ditinjau kolom ideal, batangnya lurus sempurna, berat sendiri diabaikan kecuali beban aksial P yang dipikul, panjang kolom L , modulus elastis bahan E , penampang dengan luas A dan momen inersia I . Semua parameter tersebut dapat terwakili pada model struktur sebagai berikut.



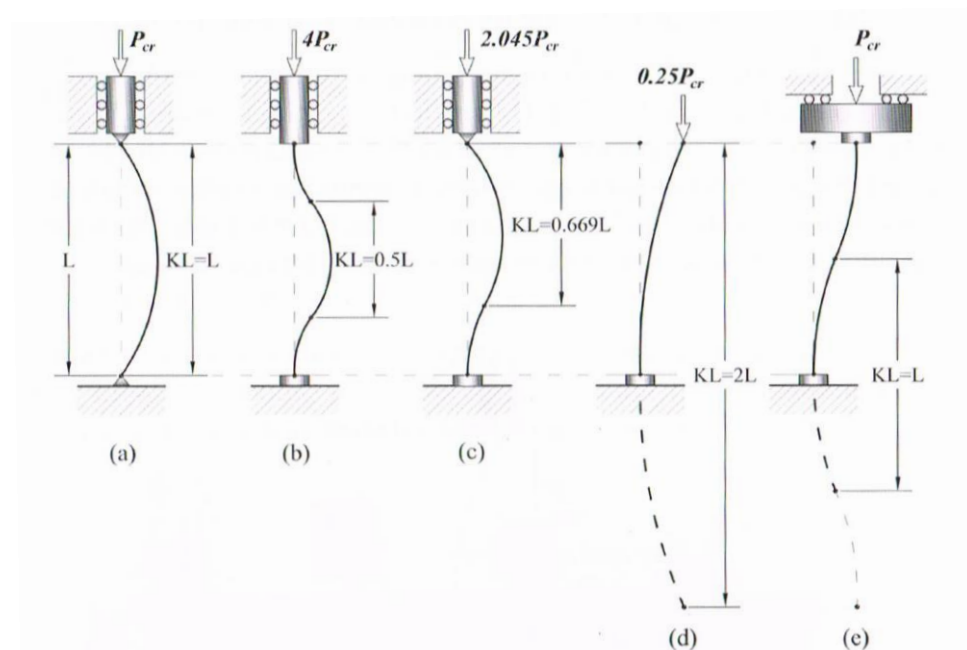
Gambar 3.4 Model kolom ideal dari Euler (Sumber : Dewobroto 2013)

Teori kolom ideal pada model di atas, dirumuskan oleh Leonhard Euler tahun 1744. Rumus Euler menghubungkan parameter geometri (L , A , I); material (E), dan beban aksial tekan P sesaat sebelum tekuk (P_{cr}). Rumus tekuk kolom yang terkenal itu adalah:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \dots \dots \dots (3.1)$$

ii. Panjang Efektif

Panjang kolom, L pada model kolom ideal dari Euler (Gambar 3.4) dapat dipakai sebagai acuan mengevaluasi kolom dengan kondisi tumpuan lain. Caranya : membuat konversi panjang kolom real (U) menjadi panjang kolom efektif (KL), dengan K sebagai faktor konversinya. Untuk menjelaskan apa itu faktor K dan bagaimana pengaruhnya terhadap beban tekan kritis kolom menjelang tekuk, maka ilustrasi pada Gambar 3.5 berikut dapat menjelaskannya.



Gambar 3.5 Konsep panjang efektif dan daya dukung kolom (Sumber ; Dewobroto 2013)

Dengan cara "panjang efektif kolom" maka rumus tekuk Euler dapat dipakai untuk berbagai kondisi kolom, dengan format berikut.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \dots \dots \dots (3.2)$$

Karena rumus (3.2) hanya valid digunakan untuk memprediksi kolom pada kondisi elastis, yaitu kondisi tegangan sebelum mencapai batas proporsionalnya, maka setiap kali dipakai perlu dievaluasi terlebih dahulu terhadap kondisi tegangannya. Oleh sebab itu bentuk rumus dalam format tegangan kritis memudahkan melihat validitas pemakaiannya. Format yang dimaksud adalah.

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{A(KL)^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \dots \dots \dots (3.3)$$

dimana $r = \sqrt{I/A}$ atau "radius girasi penampang", tergantung sumbu penampang yang ditinjau. Pada format tegangan kritis muncul parameter KL/r atau "rasio kelangsingan kolom". ini parameter penting bagi insinyur karena berkorelasi langsung dengan daya dukung kolom. Sejak itu, untuk

menjelaskan perilaku kuat tekan kolom maka digunakan variabel rasio kelangsingan KL/r .

iii. Rangka tidak-bergoyang dan rangka bergoyang

Panjang efektif kolom atau KL adalah cara sederhana tetapi efektif dalam memprediksi kekuatan kolom, yaitu dengan mencari korelasi bentuk tekuk yang berkesesuaian dengan rumus Euler. Penjelasan sederhananya dapat dilihat Gambar 5.6. Oleh sebab itu AISC (2010) mengadopsinya sebagai panduan nilai K di bawah ini.

Tabel 3.2 Panduan memprediksi nilai K (AISC 2010)

Bentuk tekuk kolom diperlihatkan sebagai garis putus-putus	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Rekomendasi nilai K untuk desain jika kondisi ideal hanya berupa pendekatan	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
Notasi kondisi ujung	 Rotasi dan translasi tertahan (jepit)  Rotasi bebas translasi tertahan (sendi)  Rotasi tertahan translasi bebas  Rotasi dan translasi bebas					

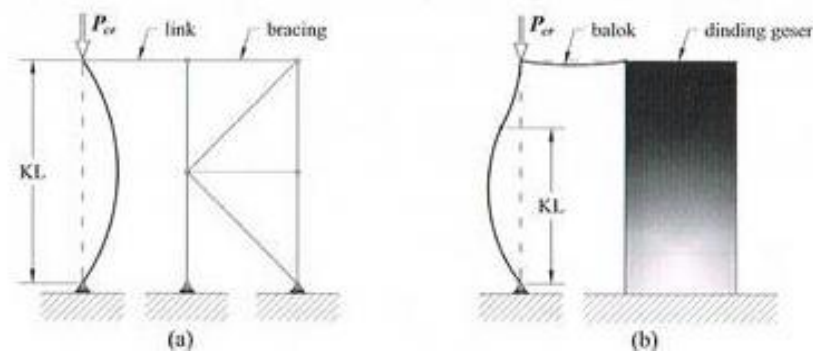
Kondisi ideal tumpuan tidak mudah dievaluasi di lapangan, untuk itu rekomendasinya nilai K diperbesar. Meskipun akurat, tetapi karena petunjuknya hanya memuat satu elemen saja, maka implementasinya tidak mudah, diperlukan proses penyederhanaan dari struktur real yang kompleks terlebih dulu.

Terkait proses penyederhanaan struktur real yang kompleks jadi struktur dengan kolom tunggal, ada petunjuk membantu. Untuk itu perlu dilihat kolom-kolom pada Tabel 3.2, bandingkan perilaku (bentuk tekuk) kolom a-b-

d dan kolom c-e-f. Ternyata itu berlaku umum juga. Dalam hal ini struktur cukup diklasifikasikan menjadi dua kategori dengan nilai K yang berbeda, yaitu:

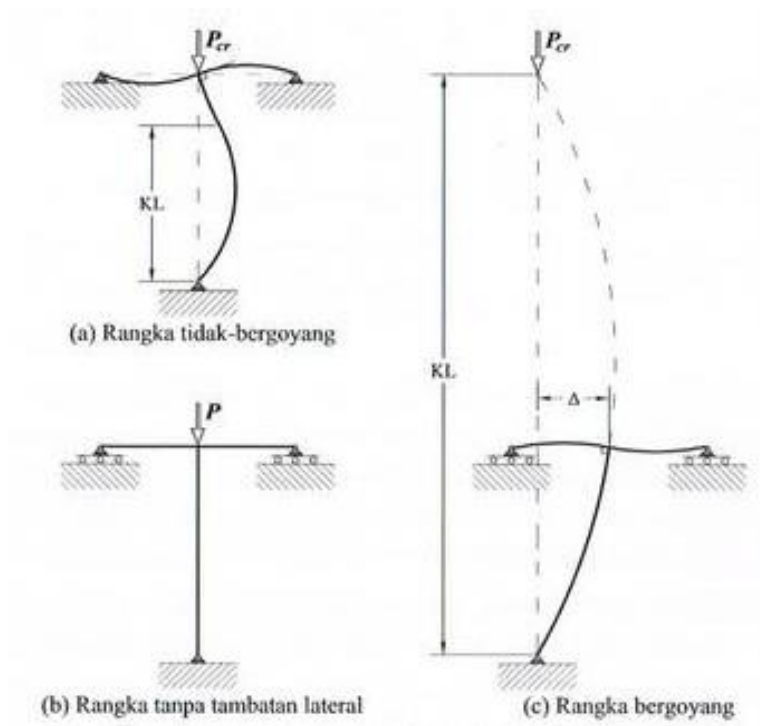
- rangka tidak-bergoyang: $0.5 \leq K \leq 1.0$
- rangka bergoyang: $1.0 \leq K \leq \infty$

Rangka tidak bergoyang, jika titik nodal ujung – ujung kolom, tidak berpindah saat dibebani. Itu terjadi jika ada tambatan dari sistem penahan lateral khusus, misal *bracing (truss)* atau dinding geser. Untuk struktur rangka tidak bergoyang dapat diambil nilai $K \leq 1.0$. Kalaupun diambil nilai $K=1$ hasilnya cukup konservatif (aman).



Gambar 3.6 Rangka tidak bergoyang ($0.5 \leq K \leq 1.0$) (Sumber ; Dewobroto 2013)

Rangka bergoyang tentu saja lawan dari rangka tidak – bergoyang, yaitu ketika dibebani maka titik nodalnya mengalami perpindahan sebagaimana terlihat pada Gambar 5.7 berikut.

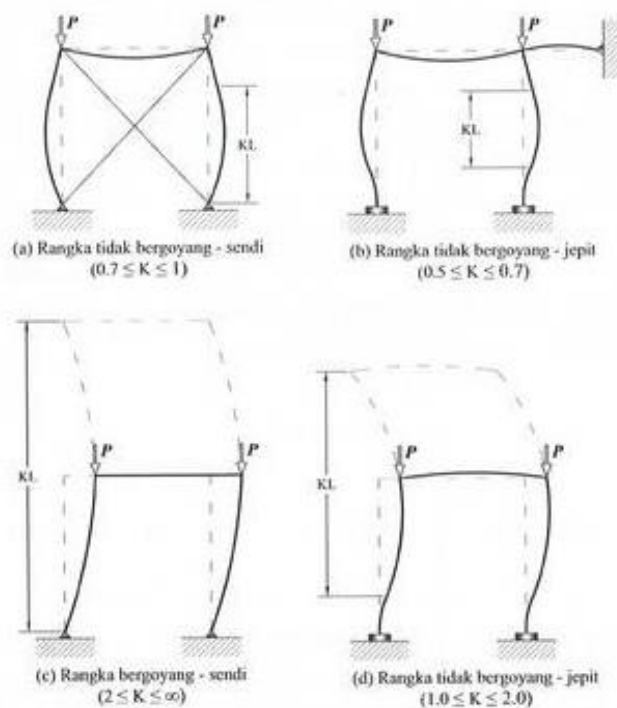


Gambar 3.7 Rangka bergoyang ($2.0 \leq K \leq$) (Sumber ; Dewobroto 2013)

Gambar 3.7b dan 3.7c adalah rangka sebelum dan sesudah tekuk.

Berbekal pengetahuan **rangka bergoyang** dan **rangka tidak bergoyang** serta pedoman nilai K terhadap tumpuannya, maka pada konfigurasi rangka berikut dapat dicari besaran nilai K -nya.

Sistem rangka-bergoyang dan tidak-bergoyang dibahas terpisah untuk kemudahan pemahaman. Prakteknya tentu tidak seperti itu, bisa terjadi sistemnya dibuat kombinasi, seperti misalnya struktur pada Gambar 3.9. Agar dapat dipilah mana yang bergoyang dan tidak bergoyang maka diperlukan pemahaman tentang perilaku struktur atau bentuk deformasi khususnya ketika terjadi tekuk.



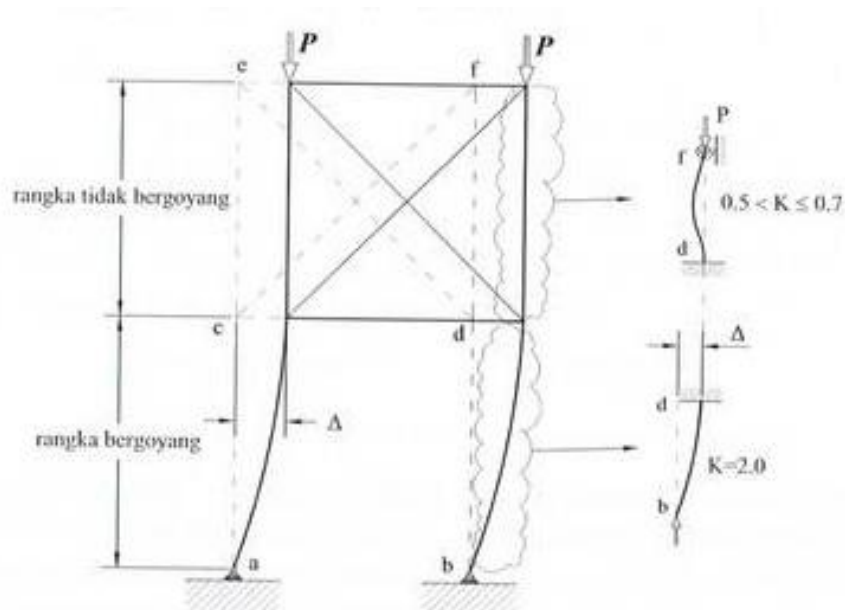
Gambar 3.8 Pengaruh tumpuan dan kategori rangka terhadap nilai K (Sumber ; Dewobroto 2013)

Struktur rangka di Gambar 3.9 terdiri dari dua kolom **a-c-e** dan **b-d-f** menerus. Untuk stabilitas diberikan dua balok **c-d** dan **e-f** serta dua bracing **c-f** dan **d-e**. Oleh sebab itu segmen kolom **c-e** dan **d-f** akan bekerja sebagai sistem rangka-tidak-bergoyang. Segmen kolom yang tidak terhubung bracing, menjadi sistem rangka-bergoyang. Karena posisi di bawah saat terjadi tekuk, titik-titik nodal **c-d-e-f** akan bergoyang. Adanya *bracing* yang mengikat menyebabkan besarnya goyangan ke-4 titik nodal tersebut adalah sama besar. Itu berarti ke-4 titik nodal tadi pada dasarnya tidak mengalami perpindahan relatif satu dengan lainnya. Itu juga berarti kolom pada ke-4 titik nodal tadi relatif tidak bergoyang.

"Panjang efektif kolom" pada dasarnya adalah cara interpretasi perilaku elemen dari suatu struktur yang kompleks jadi perilaku kolom tunggal sederhana untuk dikaitkan dengan rumus Euler.

Dengan mempelajari deformasi struktur saat terjadi tekuk, dapat diketahui bahwa bracing dan balok membuat titik **c-e** dan titik **d-f** akan mengikat kolom **a-c-e** dan **b-d-f** sedemikian hingga segmen **c-d-e-f** seakan-akan menjadi blok yang sangat kaku. Karena bagian tumpuannya adalah sendi,

bisa berotasi, maka kolom **a-c** atau **b-d** jadi berperilaku seperti kolom kantilever. Akibatnya kolom **c-e** dan **d-f** berperilaku seperti jepit (bawah) dan jepit elastis (nilai kekakuannya antara sendi dan jepit). Dengan argumentasi seperti itu maka besarnya K untuk masing-masing kolom dapat diprediksi sebagai berikut, lihat Gambar 3.9 kanan.



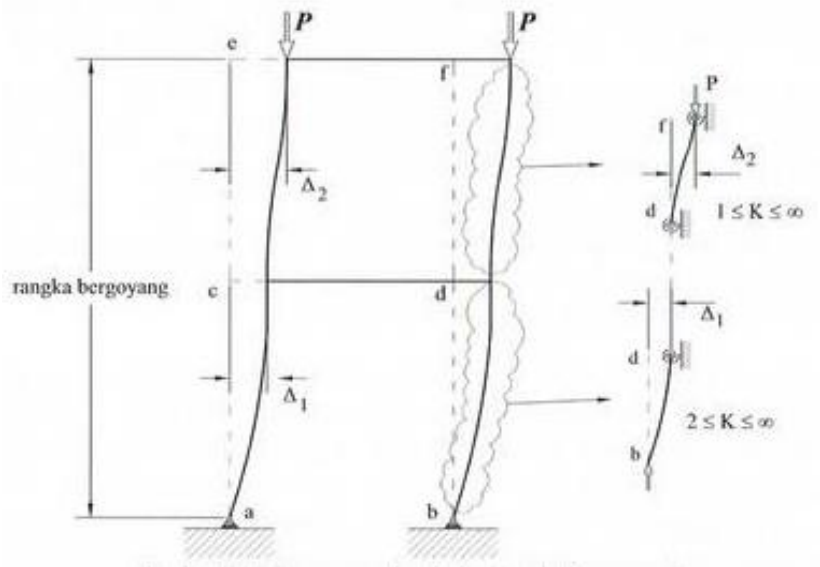
Gambar 3.9 Sistem rangka kombinasi (Rangka batang - Portal) (Sumber ; Dewobroto 2013)

Sistem struktur Gambar 3.9 jika dimodifikasi bentuknya, yaitu tidak lagi dapat dipasang bracing, perilakunya berubah secara signifikan. *Bracing* atau sistem rangka yang terdiri dari pola – pola segitiga menyebabkan struktur akan bekerja sebagai sistem *truss* yang kaku, karena mengandalkan kekakuan aksial. Jika bracing dihilangkan, sistem berubah dari struktur *truss* (rangka batang) menjadi struktur *frame* (portal). Itu berarti ada perubahan dan sistem dengan kekakuan aksial menjadi sistem dengan kekakuan lentur, yang tentu saja relatif tidak kaku.

Kekakuan struktur portal dipengaruhi oleh [1] **kekakuan balok** (EI_b/L_b); [2] **kekakuan kolom** (EI_c/L_c); dan [3] **kondisi sambungan** balok dan kolomnya itu sendiri.

Untuk membayangkan betapa signifikan pengaruh perubahan geometri struktur terhadap kapasitas dukung kolomnya (diwakili oleh nilai K), maka

dapat dibandingkan sistem struktur sebelumnya dengan sistem struktur portal pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Sistem portal terbuka (rangka bergoyang) (Sumber ; Dewobroto 2013)

Pada sistem rangka batang (*truss*) yang merupakan rangka tidak bergoyang, maka nilai $0.5 \leq K \leq 1.0$. Itu berarti panjang efektif kolom atau KL tidak melebihi dari panjang kolom yang sebenarnya. Jika kemudian dilakukan modifikasi menjadi sistem portal (*frame*) yang merupakan rangka-bergoyang, maka kekakuan sistem strukturnya berubah drastis dari kekakuan aksial menjadi ke-kakuan lentur yang relatif tidak terlalu kaku. Sebagai akibatnya adalah pada nilai $K \geq 1$, bahkan pada kondisi tertentu bisa saja menjadi $K = \infty$, jika kekakuan sistem tidak cukup (tidak stabil).

Dapat memprediksi nilai K yang tepat untuk rangka bergoyang adalah penting karena menentukan kekuatan kolom. Sekarang ini cara manual perhitungan nilai K untuk portal, yang umum dipakai adalah **Alignment chart**, yang ada di **Commentary Appendix 7: Alternative Methods of Design for Stability** (AISC 2010). Meskipun sudah lama dikenal, cara ini hanya pendekatan, karena banyak keterbatasan yang mungkin tidak cocok dengan kondisi yang ada. Adapun persyaratannya adalah: [1] kolom kondisi **elastis**; [2] penampang **konstan**; [3] sambungan balok-kolom **rigid**; [4] pada **rangka tidak bergoyang**, rotasi momen pada kedua ujung kolom sama besar dan arah berlawanan agar kelengkungannya **tunggal**; [5] pada

rangka bergoyang, rotasi momen kedua ujung kolom harus sama besar dan arah yang bersamaan agar kelengkungannya **ganda**; [6] parameter kekakuan $L(P/EI)^{1/2}$ kolom-kolomnya harus sama. ; [7] titik tambatan didistribusikan pada kolom atas dan bawah dari titik nodal secara proporsional dengan EI/L-nya untuk kedua kolom; [8] semua kolom, **tekuk secara bersamaan**; [9] balok-balok harus didominasi oleh lentur bukan gaya aksial.

Adanya banyak persyaratan untuk memakai *Alignment chart* tentu tidak mudah terpenuhi, jika dipaksakan hasilnya jadi tidak akurat lagi. Itulah mengapa AISC (2010) tidak lagi mengandalkannya, dan telah memindahkannya ke Appendix, jadi cara alternatif dengan nama **Elective Length Method** (ELM). Cara baru yang digunakan untuk menggantikannya adalah **Direct Analysis Method** (DAM) yang terdapat pada Chapter C - AISC (2010).

Meskipun ELM tidak lagi diandalkan oleh AISC (2010), tetapi tetap dipilih untuk dijelaskan lagi karena untuk itu tidak diperlukan komputer. Meskipun demikian jika dipakai dengan tepat dapat juga memprediksi kekuatan kolom struktur dengan baik. Bagaimanapun juga metode ELM telah terbukti sukses untuk dipakai bertahun-tahun sebelumnya, tentu sebelum dikenal metode DAM.

Dengan menguasai ELM maka insinyur mempunyai pembanding jika nantinya memaka DAM yang relatif otomatis karena disyaratkan harus memakal komputer untuk implementasinya.

Alignment chart ada dua, yaitu:

1. rangka tidak bergoyang ($0.5 \leq K \leq 1.0$), dengan rumus

$$\frac{G_A G_B}{4} \left(\frac{\pi}{K} \right)^2 + \left(\frac{G_A + G_B}{2} \right) \left(1 - \frac{\pi/K}{\tan(\pi/K)} \right) + \frac{2 \tan(\pi/K)}{(\pi/K)} - 1 = 0 \quad \text{..... (AISC C-A-7-1)}$$

2. rangka bergoyang (untuk $1.0 \leq K \leq \infty$), dengan rumus

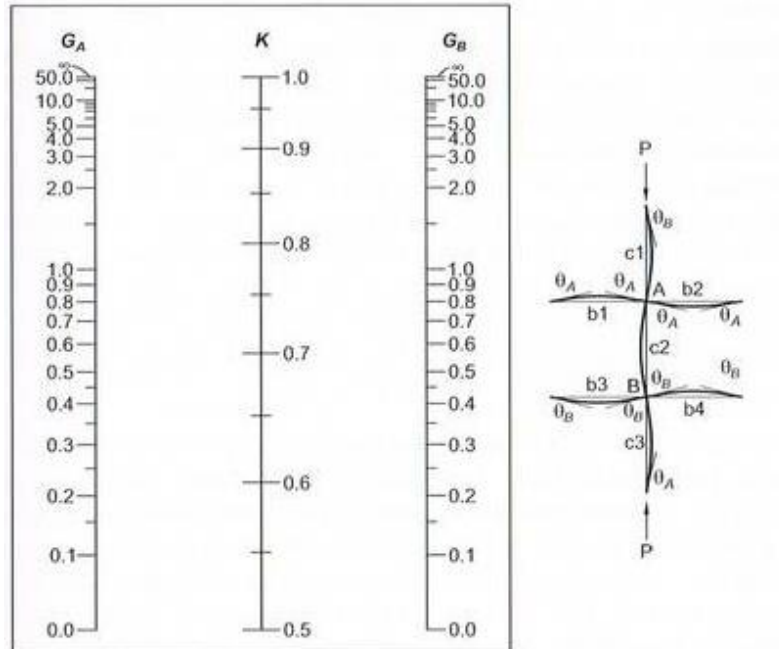
$$\frac{G_A G_B (\pi/K)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} - \left(1 - \frac{\pi/K}{\tan(\pi/K)} \right) = 0 \quad \text{..... (AISC C-A-7-2)}$$

dimana

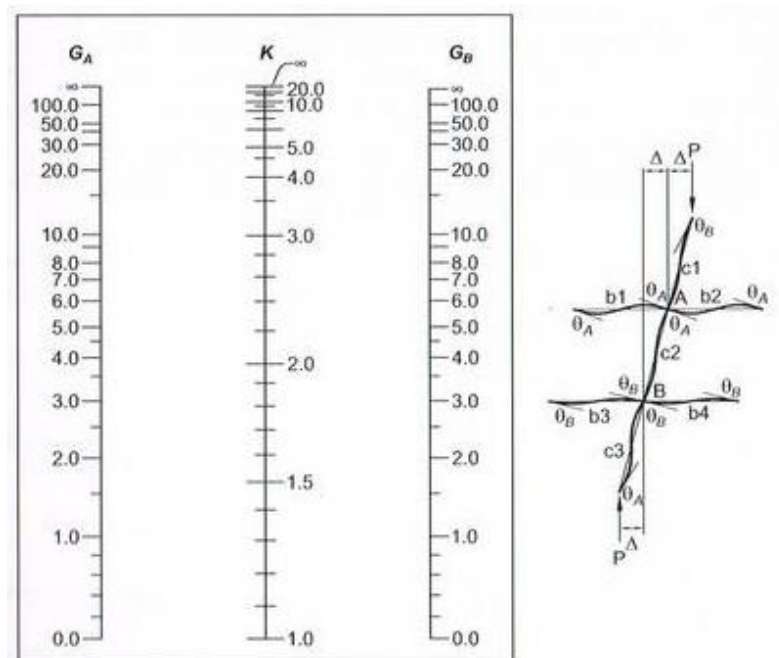
$$G_A = \frac{\sum (EI/L)_t}{\sum (EI/L)_g} \text{ di ujung kolom Atas} \quad \text{..... (AISC C-A-7-3)}$$

$$G_B = \frac{\sum (EI/L)_t}{\sum (EI/L)_g} \text{ di ujung kolom Bawah}$$

Rumus di atas jika digunakan langsung tentu cukup kompleks. Hal itu dapat diatasi dengan *Alignment chart*. Masalahnya tinggal mencari nilai G_A dan G_B dari titik nodal ujung kolom yang ditinjau.



Gambar 3.11 Alignment chart - rangka tidak bergoyang (AIS 2010)



Gambar 3.12 Alignment chart - rangka bergoyang (AIS 2010)

Ketika G_A dan G_B telah dihitung dari kolom suatu portal, juga telah dievaluasi kondisi pertambatannya, apakah tersedia *bracing* atau *shear-wall*, tentunya dapat dipilih *Alignment chart* yang sesuai, yaitu untuk rangka tidak bergoyang atau untuk rangka bergoyang. Selanjutnya tempatkan titik G_A pada garis skala Alignment Chart sebelah kiri, juga titik G_B pada garis skala di sebelah kanan. Dan dua titik G_A dan G_B tersebut kemudian ditarik garis lurus sampai memotong garis skala nilai K di tengah. Nilai K yang terbaca itulah yang dicari. Sebagai contoh, untuk kolom dari rangka bergoyang diketahui $G_A = 10$ dan $G_B = 1.5$ maka akan diperoleh nilai $K = 2.0$. Untuk kolom dari rangka tidak bergoyang dan diketahui $G_A = 1.0$ dan $G_B = 0.35$ maka akan diperoleh nilai $K = 0.7$.

Catatan : jika kolom langsing tersambung menerus pada elemen balok yang sangat kaku, bisa juga struktur rangka batang (*truss*), maka $G \approx 0.0$ sehingga nilai K -nya menjadi kecil. Kondisi lain, bisa juga baloknya yang kecil (tidak kaku) terhubung pada kolom kaku maka $G \approx \infty$: sehingga nilai K menjadi besar. Untuk kasus-kasus seperti itu nilai $K = 2.0$ atau $K = 3.0$ adalah umum, bahkan sering dijumpai nilai K yang lebih besar lagi (Vinnakota 2006).

Jika tumpuan kolom berupa pondasi dangkal, perlu pertimbangan tersendiri untuk menentukan nilai G . Jika tumpuan kolom berupa sendi, yang berarti $I_g \rightarrow 0.0$, maka secara teoritis nilai $G \rightarrow \infty$. Kecuali jika tumpuan kolom benar-benar engsel, *code* memberi saran untuk memakai nilai $G = 10$. Jika kolom tertanam pada pondasi kuat, maka dapat dianggap nilai $I_g \rightarrow \infty$. sehingga nilai $G = 0$. Tentu itu kondisi ideal teoritis, *code* menyarankan untuk memakai nilai $G = 1.0$. Info lebih lanjut bacalah *Appendix 7* (AISC 2010).

Jika Alignment chart adalah dan AISC (2010), ternyata ada cara lain yang mirip (masih memakai G_A dan G_B) tetapi tidak memakai chart, yaitu dari Dumoteil (1992) sebagai berikut.

- rangka tidak bergoyang ($0.5 \leq K \leq 1.0$), dengan rumus

$$K = \frac{3G_A G_B + 1.4(G_A + G_B) + 0.64}{3G_A G_B + 2.0(G_A + G_B) + 1.28} \dots \dots \dots (\text{Vinnakota 2006})$$

- rangka bergoyang (untuk $1.0 \leq K \leq \infty$), dengan rumus

$$K = \sqrt{\frac{G_A(1.6G_B + 4.0) + (4G_B + 7.5)}{G_A + G_B + 7.5}} \dots\dots\dots (\text{Vinnakota 2006})$$

Kedua rumus jika dapat diprogramkan tentu akan lebih praktis.

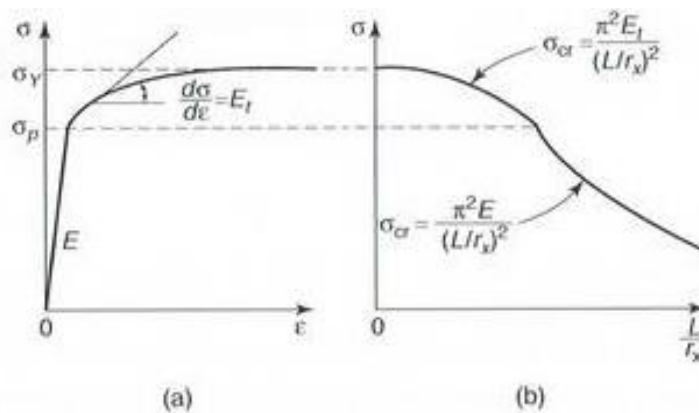
iv. Kurva kapasitas tekan kolom

Rumus tekuk Euler, cukup baik digunakan untuk memprediksi tekuk kolom elastis, khususnya sebelum era bangunan konstruksi baja. Jadi ketika rumus itu tetap juga dipakai untuk perencanaan konstruksi baja, yang umumnya terdiri dari kolom tidak langsing (yang berperilaku tekuk inelastis), tentu saja rumus Euler menjadi tidak sesuai lagi. Hal itu disadari oleh Enggesser yang pada tahun 1889 memodifikasi rumus tekuk Euler di daerah tekuk inelastis.

Rumusan baru Enggesser sempat menimbulkan dilematis, dianggap ada hal yang tidak konsisten dalam memasukkan pengaruh loading-unloading, tetapi meskipun ada perdebatan tentang hal itu ketika dibandingkan dengan hasil uji empiris ternyata hasilnya memuaskan. Akhirnya masalah ini terklarifikasi oleh penelitian Shanely (1947). Beban kritis dari Enggesser yang disebut tegangan modulus tangent mempunyai perincian sebagai berikut.

$$\sigma_{cr} = \sigma_t = \frac{\pi^2 E_t}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \dots\dots\dots (5.4)$$

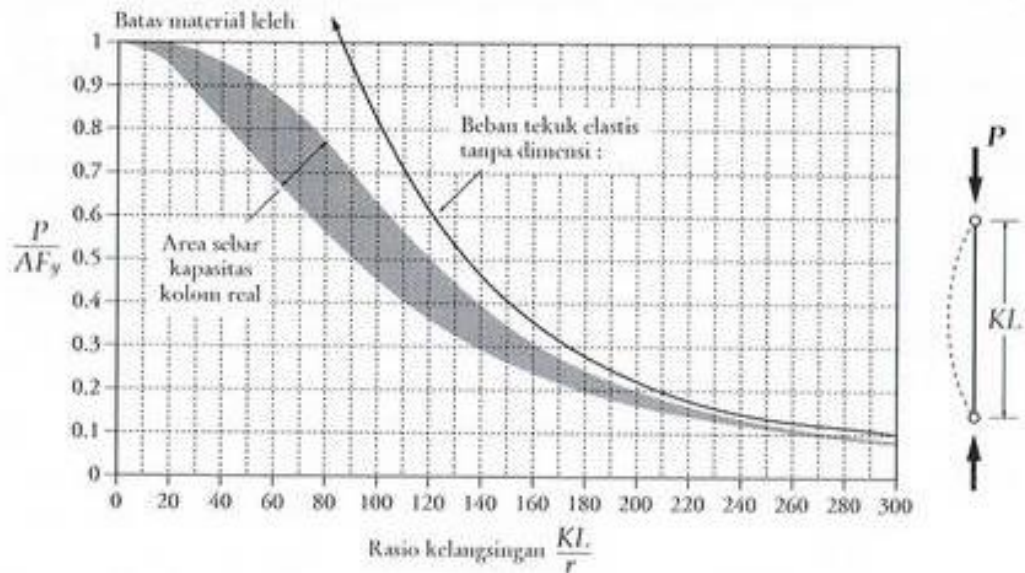
E_t adalah modulus tangent material, sebagai sudut tangent terhadap kurva tegangan regangan pada titik tegangan inelastis terjadi, yaitu dari σ_p (tegangan proporsional) sampai σ_y (tegangan leleh), lihat Gambar 3.13a. Selanjutnya berdasarkan ke dua rumus tersebut (Enggesser-Shanely dan Euler) dapat disusun kurva tegangan kritis kolom secara lengkap untuk berbagai kondisi kelangsingan sebagaimana terlihat pada Gambar 3.13b. Karena parameter luas penampang kolom konstan maka kurva tegangan kritis kolom tersebut juga sekaligus "kurva kapasitas kolom tekan" itu sendiri.



Gambar 3.13 Kurva perilaku elastis-inelastis Mom (Galambos dan Surovek 2008)

Kurva kapasitas tekan kolom (Gambar 3.13b) memberi gambaran sederhana bagaimana perilaku kolom ideal dalam memikul beban tekan aksial. Bentuk kurva yang tidak linier, tetapi menukik tajam seiring besarnya kelangsingan kolom (L/r) menunjukkan bahwa ada daerah kelangsingan kolom yang efektif untuk dipilih dan ada yang sebaiknya dihindari. Pengetahuan tentang kurva kolom sangat membantu perencana memahami betapa besarnya pengaruh kelangsingan terhadap kekuatan kolom khususnya ketika memilih ukuran penampang kolom yang akan digunakan. Pada waktu rumus Euler diciptakan (1744) tidak secara khusus ditujukan untuk perencanaan kolom baja. Pada masa tersebut yang memungkinkan dapat dibuat kolom langsing adalah kayu, hasilnya relatif memuaskan karena umumnya masih pada kondisi elastis (tegangan rendah). Selanjutnya ketika era konstruksi baja mulai berkembang, dimana dalam rangka optimasi banyak dibuat riset empiris, mulai diketahui bahwa kurva kapasitas kolom yang didasarkan rumus Euler memberikan hasil tidak konservatif. Kapasitas kolom baja secara real ternyata lebih kecil dari prediksi yang didasarkan pada rumus tersebut. Untuk menggambarkan hal itu ada baiknya dipelajari Gambar 3.14 berikut.

Area sebar kapasitas kolom real yang relatif luas, menunjukkan bahwa tidak bisa dipakai kurva tunggal untuk merepresentasikan kurva kapasitas kolom. Kalaupun bisa, itu mengandalkan tinjauan **statistik**, yaitu kurva kapasitas yang mewakili nilai dengan **risiko** tertentu. Itu yang terjadi pada kurva kapasitas kolom AISC (2010).



Gambar 3.14 Kurva kapasitas kolom real dan Euler (Gorenc et. al. 2005)

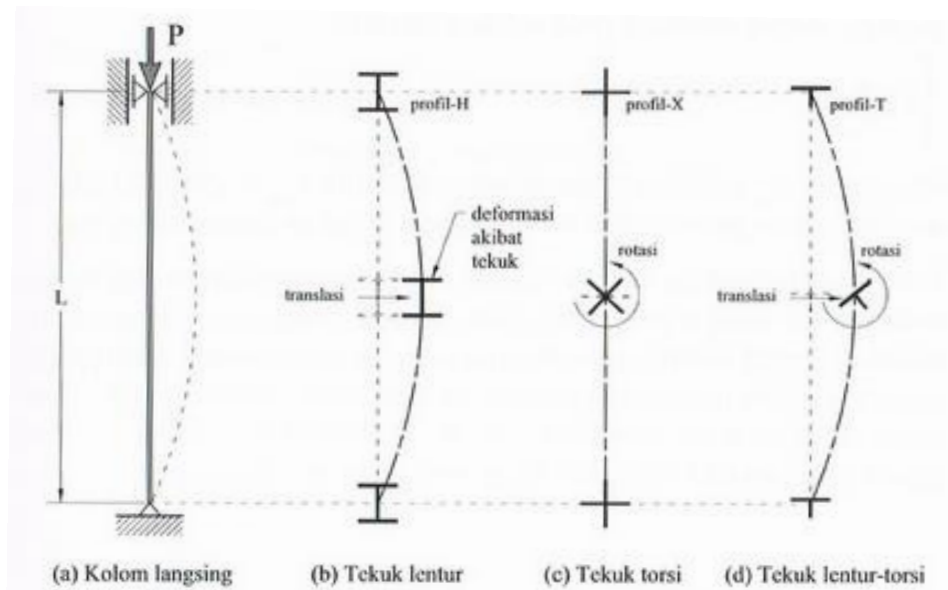
vi. Pengaruh bentuk penampang terhadap tekuk

batang tekan pendek tidak mengalami tekuk, jika dibebani aksial tekan tanpa eksentrisitas, tegangan bertambah dan dapat mencapai kondisi leleh, batang memendek. Perilakunya seperti batang tarik, kekuatannya tergantung luas penampangnya, bentuk tidak berpengaruh. Beda dengan batang tekan langsing, jika dibebani yang sama, sebelum leleh bisa mengalami tekuk (*buckling*), yaitu adanya perpindahan lateral, seperti efek lentur balok, yang besar pada kondisi beban konstan. Terhadap tekuk, yang berpengaruh adalah luas dan momen inersia penampang. Keduanya bersama panjang batang disebut faktor kelangsingan batang, atau $KL/r_{\min}$ yang diperoleh dari $KL/\sqrt{I_{\min}/A}$.

Konstruksi baja beda dengan beton, bentuk penampangnya lebih bervariasi. Tidak hanya parameter momen inersia saja yang berpengaruh, parameter geometri terkait torsi juga menentukan.

Bentuk penampang mempengaruhi perilaku tekuk yang berbeda. Ada tiga fenomena tekuk yang dijumpai, yaitu [1] **tekuk lentur**; [2] **tekuk torsi** dan [3] **tekuk lentur-torsi**, lihat Gambar 5.16.

Parameter kelangsingan penampang, yaitu radius girasi atau $r_{\min} = \sqrt{I_{\min}/A}$ adalah tinjauan terhadap tekuk lentur. Memang, tekuk jenis ini yang umum dijumpai, dan hampir semua penampang kolom bisa mengalaminya. Meskipun demikian, jika kekakuan torsi penampang relatif kecil, tekuk torsi akan terjadi terlebih dahulu.



Gambar 3.15 Bentuk penampang dan perilaku tekuk kolom

Parameter kelangsingan terhadap tekuk lentur, yaitu radius girasi $r_{\min}$ merupakan cara mudah membayangkan kapasitas tekuk. Cara yang sama dapat digunakan juga dengan menghitung **radius girasi ekuivalen terhadap tekuk torsi**, yaitu r_t sebagai berikut.

$$r_t = \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{ps}}} \dots\dots\dots (\text{Gaylord - Gaylord 1972})$$

I_{ps} adalah momen inersia polar terhadap pusat geser (c.s). Pada penampang simetri ganda, pusat berat (c.g) berhimpit dengan pusat geser, sehingga $I_{ps} = I_{PG} = I_x + I_y$. Dengan membandingkan nilai r_t terhadap r_x atau r_y maka r yang terkecil akan menunjukkan fenomena tekuk mana yang terjadi lebih dahulu, tekuk torsi atau tekuk lentur, jika dipakai penampang kolom simetri ganda.

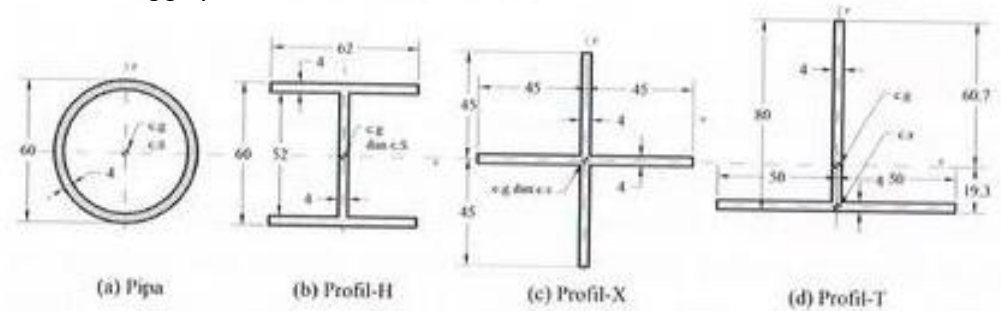
Penampang kolom simetri tunggal, pusat berat (c.g) dan pusat geser (c.s) tidak berhimpit sehingga ada dua fenomena tekuk yang mungkin terjadi pada sumbu berbeda, yaitu [1] tekuk lentur terhadap sumbu non-simetri,

atau [2] tekuk lentur-torsi terhadap sumbu simetri penampangnya. Dengan konsep sama seperti sebelumnya, maka radius girasi ekuivalen terhadap tekuk lentur-torsi atau r_{tb} dapat dihitung pula sebagai berikut.

$$\left(1 - \frac{y_o^2}{r_{ps}^2}\right)r_{tb}^2 - (r_y^2 + r_t^2) + r_y r_t = 0 \dots\dots\dots(\text{Gaylord - Gaylord 1972})$$

Parameter r_{ps} adalah radius girasi polar atau $r_{min} = \sqrt{(I_{ps}/A)}$ dan r_t adalah radius girasi tekuk torsi, adapun y_o jarak **c.g** terhadap **c.s**.

Untuk menjelaskan secara sederhana tentang adanya tiga fenomena tekuk yang dipengaruhi oleh bentuk penampang. Maka akan ditinjau empat bentuk penampang yang biasa dijumpai, yaitu **pipa** yang mewakili penampang dengan elemen tipis tertutup, dan juga yang terbuka yaitu **profil-H** dan **X** (penampang terbuka simetri ganda), dan **profil-T** (penampang terbuka simetri tunggal).



Gambar 3.16 Perilaku penampang terhadap variasi bentuk pada luas yang sama

Kolom jepit-jepit $L = 24$ m, maka $KL = 0.5 * 24 = 12$ m = 1200 cm. Dari penampang kolom, akan dihitung parameter geometri terkait perilakunya terhadap aksial (**A**), lentur (I_x dan I_y), dan torsi (**J** dan C_w), sekaligus radius girasi sesuai tekuknya.

**** Kolom Pipa ****

$$A = \frac{1}{4}\pi(60^2 - 52^2) = 703.72 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{1}{4}\pi(30^4 - 26^4) = 277,264.40 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \frac{1}{2}\sqrt{(30^2 + 26^2)} = 19.85 \text{ cm}$$

$$J = \frac{\pi}{2}(30^4 - 26^4) = 554,528.8 \text{ cm}^4$$

husus penampang pipa atau bentuk penampang dengan elemen tipis tertutup, maka $J = I_p$ atau momen inersia polar $I_p = I_x + I_y$.

$$I_p = I_x + I_y = 277,266.2 * 2 = 554,528.8 \text{ cm}^4$$

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{1200}{19.85} = 60.45 \dots\dots\dots(\text{tekuk lentur})$$

Nilai I_x (kekakuan lentur) yang hanya setengah I_p , (kekakuan torsi) maka jelas yang menentukan adalah tekuk lentur, dimana:

****Kolom Profil-H****

$$A = (2 \cdot 62 + 52) \cdot 4 = 704 \text{ cm}^2$$

$$I_x = \frac{2 \cdot 62 \cdot 4^3 + 4 \cdot 52^3}{12} + 2 \cdot 4 \cdot 62 \cdot 28^2 = 436,394.67 \text{ cm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 24.9 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{2 \cdot 4 \cdot 62^3 + 52 \cdot 4^3}{12} = 159,162.67 \text{ cm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 15 \text{ cm}$$

$$J = \frac{(62 \cdot 2 + 52) 4^3}{3} = 3,754.67 \text{ cm}^4$$

$$C_w = \frac{56^2}{4} \cdot 159,162.67 = 124,783,533.3 \text{ cm}^6 \dots\dots\dots(\text{Gaylord et. al 1992})$$

$$I_{pS} = I_x + I_y = 595,557.34 \text{ cm}^4$$

$$r_t = \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{pS}}} = \sqrt{\frac{124,783,533.3 + \overbrace{0.04 \cdot 3,754.67 (1200)^2}^{216,268,992.0}}{595,557.34}} = 23.93$$

karena $r_t > r_y$ maka $r_{\min} = r_y$ sehingga

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{1200}{15} = 80 \dots\dots\dots(\text{tekuk lentur})$$

Profil H di atas masih menunjukkan perilaku tekuk lentur, karena bentuk tersebut dimungkinkan juga terjadi tekuk torsi maka akan ditinjau panjang kolom yang lebih pendek, yaitu $KL = 200 \text{ cm}$.

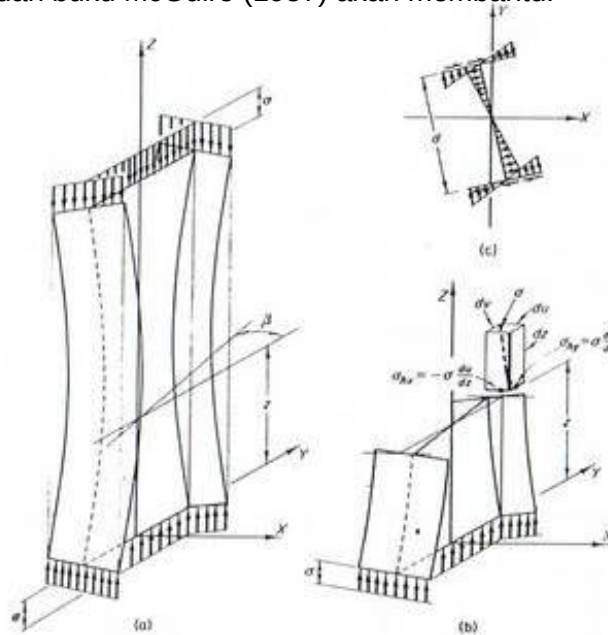
$$r_t = \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{pS}}} = \sqrt{\frac{124,783,533.3 + \overbrace{0.04 \cdot 3,754.67 (200)^2}^{6,007,472.0}}{595,557.34}} = 14.82$$

karena $r_t < r_y$ maka $r_{\min} = r_t$ sehingga

$$\frac{KL}{r_{\min}} = \frac{200}{14.82} = 13.5 \dots\dots\dots(\text{tekuk torsi})$$

Dari hitungan terlihat bahwa tekuk torsi dipengaruhi oleh panjang kolom, untuk kolom pendek yang menentukan adalah tekuk torsi, dan untuk kolom langsing adalah tekuk lentur.

Untuk membayangkan bagaimana tekuk torsi terjadi pada profil H maka ilustrasi tekuk dari buku McGuire (1957) akan membantu.



Gambar 3.17 Tekuk torsi pada profil H

Gambar 3.17c memperlihatkan selain komponen torsi uniform (**J**) ada juga komponen torsi warping (**C_w**) yang cukup besar dan terlihat sebagai vektor – vektor gaya yang membentuk kopel gaya sejajar elemen sayap. Bandingkan nanti dengan profil X yang didominasi oleh komponen torsi uniform (**J**) saja.

****Kolom Profi-X****

$$\begin{aligned}
 A &= (90 + 86) \cdot 4 = 704 \text{ cm}^2 \\
 I_x = I_y &= \frac{4 \cdot 90^3 + 86 \cdot 4^3}{12} = 243,458.67 \text{ cm}^4 \\
 r_x = r_y &= \sqrt{\frac{I}{A}} = 18.6 \text{ cm} \\
 J &= \frac{(90 + 86) 4^3}{3} = 3,754.67 \text{ cm}^4 \\
 C_w &= \frac{45^3 \cdot 4^3}{9} = 648,000.0 \text{ cm}^6 \dots\dots\dots (\text{Gaylord et. al 1992}) \\
 I_{pS} &= I_x + I_y = 486,917.3 \text{ cm}^4 \\
 r_t &= \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{pS}}} = \sqrt{\frac{648,000.0 + 0.04 \cdot 3,754.67 (1200)^2}{486,917.3}} \\
 r_t &= \sqrt{\frac{\overbrace{648,000.0}^{1.33}}{\underbrace{486,917.3}_{C_w}} + \frac{\overbrace{216,268,992.0}^{444.16}}{\underbrace{486,917.3}_{J \text{ dan } KL}}} = 21.1
 \end{aligned}$$

karena $r_t > r_y$ maka $r_{min} = r_y$ sehingga

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{1200}{18.6} = 64.5 \dots\dots\dots(\text{tekuk lentur})$$

untuk tinjauan profil kolom dengan luasan penampang sama, maka Profil-X mempunyai radius girasi tekuk torsi (r_t) yang le-bih besar dibandingkan Profil-H. Itu juga berarti tidak ada bukti adanya risiko tekuk torsi sebagaimana terlihat di Gambar 3.15. Hal ini mungkin sebagai salah satu kemungkinan saja, karena jika diamati secara seksama, khususnya dalam penyusunan nilai r_t (radius girasi tekuk torsi). Nilai r_t ditentukan oleh dua parameter, yaitu konstanta torsi (J) dan panjang tekuk (KL). Parameter terakhir sangat menentukan karena fungsi pangkat dua. Jika nilai KL diperkecil, menjadi separo, 12 m $\rightarrow$ 6 m, maka pengaruhnya adalah sebagai berikut:

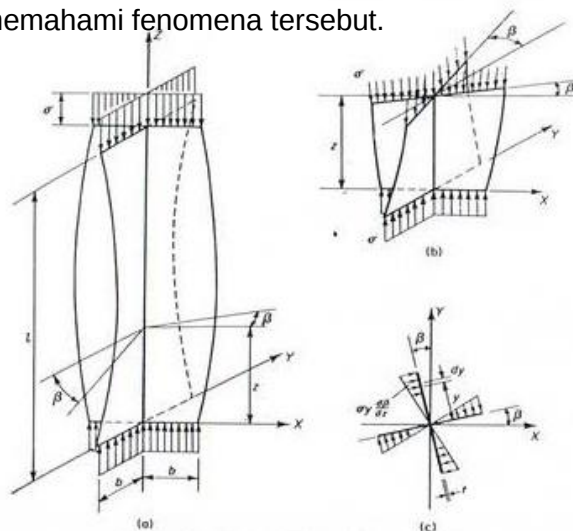
$$r_t = \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{ps}}} = \sqrt{\frac{648,000.0 + 0.04 * 3,754.67 (600)^2}{486,917.3}}$$

$$r_t = \sqrt{\frac{\overbrace{648,000.0}^{1.33}}{\underbrace{486,917.3}_{C_w}} + \frac{\overbrace{54,067,248.}_{111.04}}{\underbrace{486,917.3}_{J \text{ dan } KL}}} = 10.6$$

karena $r_t < r_y$ maka $r_{min} = r_t$ sehingga

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{600}{10.6} = 56.6 \dots\dots\dots(\text{tekuk puntir})$$

Sebagaimana digunakan pada profil H, maka illustrasi yang diambil dari bukunya McGuire (1967) mengenai deformasi tekuk torsi profil X dapat membantu memahami fenomena tersebut.



Gambar 3.18 Perilaku tekuk torsi pada profil X

Profil H dan X yang ditinjau untuk kolom di atas mempunyai luas penampang sama, tetapi karena kekakuan torsinya berbeda maka profil H lebih kuat dari profil X terhadap gaya tekan.

Karena ketebalan elemen pelat keduanya sama, maka besarnya komponen torsi *uniform* (**J**) adalah sama. Perbedaan timbul akibat komponen torsi warping (**C_w**) yang lebih besar pada profil H, itu bisa terjadi karena adanya elemen sayap yang saling paralel.

Untuk mendapatkan perbandingan perbedaan karakter torsi dan kedua profil maka besaran nilai yang terkait akan ditabulasikan.

Tabel 3. 3 Perbandingan karakter torsi profil H dan X (Sumber ; Dewobroto 2013)

Penampang	$I_y (\text{cm}^4)$	$C_w (\text{cm}^6)$	%	$J (\text{cm}^4)$
Profil H	159,162.7	124,783,533.3	100.0%	3,754.7
Profil X	243,458.7	648,000.0	0.5%	3,754.7

Jika I_y mewakili tekuk-lentur dan C_w tekuk-puntir, maka terhadap gaya tekan profil **H** akan mengalami **tekuk lentur** adapun profil **X** akan cenderung mengalami **tekuk puntir**.

****Kolom Profil-T****

$$\begin{aligned}
 A &= (100 + 76) \cdot 4 = 704 \text{ cm}^2 \\
 I_x &= \frac{4^3 \cdot 96 + 4 \cdot 80^3}{12} + 4 \cdot 96 \cdot 17.3^2 + 4 \cdot 80 \cdot 20.7^2 = 423,222.83 \text{ cm}^4 \\
 r_x &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 24.5 \text{ cm} \\
 I_y &= \frac{4^3 \cdot 76 + 4 \cdot 100^3}{12} = 333,738.67 \text{ cm}^4 \\
 r_y &= \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 21.8 \text{ cm} \\
 J &= \frac{(100 + 76)^3}{3} = 3,754.67 \text{ cm}^4 \\
 C_w &= \frac{(100 \cdot 4)^3}{144} + \frac{(76 \cdot 4)^3}{36} = 1,288,092.4 \text{ cm}^6 \quad \dots\dots\dots (\text{Gaylord et. al 1992}) \\
 y_o &= 19.3 - 2 = 17.3 \text{ cm} \\
 I_{pS} &= I_x + I_y = 756,961.5 \text{ cm}^4 \\
 r_t &= \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{pS}}} = \sqrt{\frac{1,288,092.4 + 0.04 \cdot 3,754.67 (1200)^2}{756,961.5}} \\
 r_t &= \sqrt{\frac{1.7}{\frac{1,288,092.4}{756,961.5}} + \frac{285.7}{\frac{216,268,992}{756,961.5}}} = 16.95 \text{ cm} \quad \dots\dots\dots (r_t < r_y)
 \end{aligned}$$

Pada kolom dengan penampang simetri tunggal, **c.g** dan **c.s** tidak berhimpit sehingga dapat terjadi tekuk lentur-torsi. Oleh sebab itu pengaruhnya akan diperhitungkan sebagai berikut.

$$\left(1 - \frac{y_o^2}{r_{ps}^2}\right)r_{tb}^2 - (r_y^2 + r_t^2)r_{tb}^2 + r_y r_t^2 = 0 \quad \dots\dots\dots \text{(Gaylord - Gaylord 1972)}$$

$$r_{ps} = \sqrt{\frac{I_{ps}}{A}} = \sqrt{\frac{756,961.5}{704}} = 32.8 \text{ cm}$$

$$\left(1 - \frac{17.3^2}{32.8^2}\right)r_{tb}^2 - (21.8^2 + 16.95^2)r_{tb}^2 + 21.8 * 16.95^2 = 0$$

$$0.721r_{tb}^2 - 762.5r_{tb}^2 + 6,263.2 = 0 \rightarrow r_{tb} = 2.87 \text{ cm}$$

karena $r_{tb} < r_t < r_y < r_x$ maka $r_{min} = r_{tb}$ sehingga

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{1200}{2.87} = 418 \quad \dots\dots\dots \text{(tekuk lentur-puntir)}$$

Jika panjang tekuk ekuivalen diperpendek, atau $KL = 600 \text{ cm}$, maka

$$r_t = \sqrt{\frac{C_w + 0.04 J (KL)^2}{I_{ps}}} = \sqrt{\frac{1,288,092.4 + 0.04 * 3,754.67 (600)^2}{756,961.5}}$$

$$r_t = \sqrt{\frac{1,288,092.4}{756,961.5} + \frac{54,067,248}{756,961.5}} = 8.55 \text{ cm} \quad \dots\dots\dots (r_t < r_y)$$

$\frac{1,288,092.4}{756,961.5}$ $\frac{54,067,248}{756,961.5}$
 C_w $J \text{ dan } KL$

Untuk memperhitungkan tekuk lentur-torsi maka.

$$\left(1 - \frac{y_o^2}{r_{ps}^2}\right)r_{tb}^2 - (r_y^2 + r_t^2)r_{tb}^2 + r_y r_t^2 = 0 \quad \dots\dots\dots \text{(Gaylord - Gaylord 1972)}$$

$$\left(1 - \frac{17.3^2}{32.8^2}\right)r_{tb}^2 - (21.8^2 + 8.55^2)r_{tb}^2 + 21.8 * 8.55^2 = 0$$

$$0.721r_{tb}^2 - 548.3r_{tb}^2 + 1593.6 = 0 \rightarrow r_{tb} = 1.7 \text{ cm}$$

Karena $r_{tb} < r_t < r_y < r_x$ maka $r_{min} = r_{tb}$ sehingga

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{600}{1.7} = 352 \dots\dots\dots \text{(tekuk lentur-puntir)}$$

Tabel 3.4 Pengaruh bentuk penampang terhadap kelangsingan kolom (Sumber ; Dewobroto 2013)

Penampang	Pipa	Profil-H	Profil-X	Profil-T	KL
KL / r_{min}	30	40	57	352	6 m
perilaku tekuk	lentur	Lentur	puntir	lentur-puntir	
KL / r_{min}	60	80	65	418	12 m
perilaku tekuk	lentur	Lentur	lentur	lentur-puntir	

Dari hitungan kolom, penampang pipa adalah yang terbaik karena profil tertutup. Kolom profil-X yang panjang lebih baik dari profil-H, tetapi untuk panjang tekuk dan ketebalan profil tertentu profil-X rentan mengalami tekuk torsi sehingga kapasitasnya menurun. Kolom profil-T kinerjanya paling buruk sehingga harus dihindari.

Kinerja kolom tekan aksial, ditentukan oleh luasan dan bentuk penampang. Parameter yang penting adalah kekakuan lentur (E , I_x atau I_y); dan kekakuan torsi (G , J dan C_w). Parameter torsi dibahas secara lengkap bersama uraian tentang balok pada Bab 6 berikut.

Selanjutnya akan ditinjau kapasitas kolom berdasarkan perilaku tekuknya berdasarkan konsep LRFD dari AISC (2010).

d. Kuat Tekan Nominal

i. Peta petunjuk pemakaian rumus AISC

Tekuk global ditentukan oleh **kelangsingan** elemen penampang dan **bentuknya**. Ada tiga perilaku tekuk, yaitu [1] **tekuk lentur**; [2] **tekuk torsi** dan [3] **tekuk lentur-torsi** (lihat Gambar 3.15). Adapun tekuk global atau lokal tergantung klasifikasi penampang, jika penampangnya tidak-langsing maka tidak terjadi tekuk lokal, dan sebaliknya penampang langsing berisiko tekuk lokal terlebih dahulu. Karena tekuk terjadi pada kondisi elastis, sebelum leleh maka agar efisien perlu dipilih kolom penampang tidak langsing.

Berdasarkan bentuk dan klasifikasi penampang kolom, dapatlah disusun peta pemakaian rumus AISC (2010) untuk perencanaan batang tekan aksial, sebagai berikut.

Tabel 3.5 Peta petunjuk pemakaian rumus perencanaan batang tekan (Sumber ; Dewobroto 2013)

Bentuk geometri penampang	Penampang tidak langsing		Penampang langsing	
	Rumus AISC	Kondisi batas	Rumus AISC	Kondisi batas
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E6 E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E5		E5	
	E3	FB	N/A	N/A
	E4	FTB	E7	LB FTB

Catatan : FB tekuk lentur (Flexural Buckling)
 TB tekuk torsi (Torsional Buckling)
 FTB tekuk lentur-torsi (Flexural-Torsional Buckling)
 LB tekuk lokal (Local Buckling)
 N/A tidak ada ketentuan yang dimaksud (NotApplicable)

ii. Tekuk lentur (AISC - E3)

Tekuk lentur yang dimaksud adalah fenomena tekuk global pada penampang dengan klasifikasi elemen tidak langsing. Beban kritis yang menyebabkan tekuk tersebut telah dirumuskan oleh Euler. Sampai saat ini rumus tersebut tetap dijadikan dasar menentukan kuat nominal batang tekan (P_a). Agar berkesesuaian dengan cara perencanaan batang tarik, maka luas penampang utuh atau *gross* (A_g) dijadikan konstanta tetap, adapun variabelnya adalah tegangan kritis (F_{cr}), yang dituliskan dalam format berikut.

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots (AISC E3-1)$$

Tegangan kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut, jika

(a) $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$, tekuk inelastis, maka:

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \dots\dots\dots (AISC E3-2)$$

Catatan: Tegangan kritis kolom pada daerah kelangsingan ini banyak dipengaruhi oleh: [1] **tegangan residu**; dan [2] **kondisi imperfection** atau ketidak-kelurusan dari batang. Fenomena keruntuhannya disebut tekuk inelastis. Rumus Euler tidak bisa memprediksi tekuk jenis ini, sehingga dikembangkan teori Double Modulus (Considere) dan Modulus Tangent (Engesser) tahun 1889 secara terpisah. Itupun hasilnya masih perlu dikoreksi lagi berdasarkan data hasil uji empiris yang diolah secara statistik.

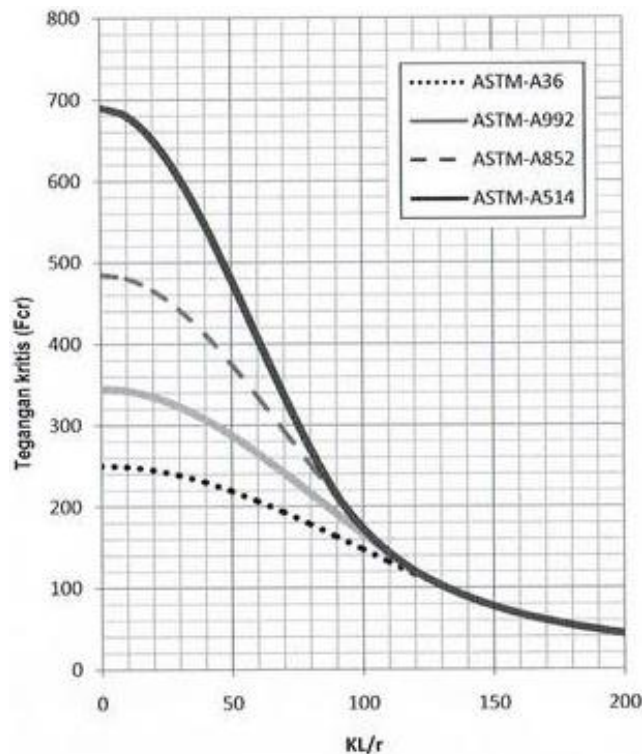
(b) $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$ atau $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$, tekuk elastis, maka:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \dots\dots\dots (AISC E3-3)$$

dimana F_e = tegangan tekuk Euler (elastis) sebagai berikut

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots\dots (AISC E3-4)$$

Catatan : Tegangan kritis di daerah kelangsingan ini disebut tekuk elastis. Rumus Euler tidak bisa dipakai secara langsung karena belum memperhitungkan *imperfection*. Koreksi yang diberikan (rumus AISC E3-3) didasarkan hasil kalibrasi dengan data uji kolom secara empiris. Adanya kondisi batas tekuk inelastis atau elastis mempengaruhi efisien tidaknya pemakaian mutu baja. Jika kelangsingan kolom lebih besar dari $4.71 \sqrt{E/F_y}$ maka mutu baja tidak berpengaruh. Hal itu bisa dilihat dari perbandingan kurva tegangan kritis (F_{cr}) dari berbagai mutu baja ASTM terhadap kelangsingan kolom.



Gambar 3.19 Perbandingan kurva F_{cr} berbagai mutu baja ASTM terhadap KL/r
(Sumber ; Dewobroto 2013)

iii. Tekuk Torsi dan Tekuk Lentur-Torsi (AISC - E4)

Fenomena tekuk, selain lentur ada lagi yaitu puntir (tekuk torsi), atau gabungan keduanya yaitu tekuk lentur-torsi. Biasa terjadi pada penampang dengan kekakuan torsi yang relatif kecil, atau pusat geser dan pusat benatnya tidak berhimpit.

Penampang dengan kekakuan torsi relatif kecil, yaitu profil built-up simetri ganda bentuk I atau X, atau penampang simetri tunggal dengan pusat geser dan pusat benat tidak berhimpit, misal profil siku atau tee, harus dihitung kapasitasnya terhadap **tekuk torsi** atau **tekuk lentur-torsi**. Jika kapasitasnya lebih kecil dibanding kapasitas tekuk lentur, maka perilaku tekuk torsi atau lentur-torsi yang akan terjadi lebih dahulu (menentukan).

Kapasitas tekan nominal penampang kolom tidak-langsing terhadap tekuk torsi dan lentur-torsi adalah berikut

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \dots\dots\dots (AISC E4-1)$$

Tegangan kritis, F_{cr} dihitung berdasarkan syarat berikut, jika

(a) Penampang **siku ganda** atau **tee**

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \dots\dots\dots (\text{AISC E4-2})$$

Nilai F_{cry} diambil sama seperti nilai F_{cr} kondisi tekuk lentur, yaitu memakai persamaan E3-2 atau E3-3 (AISC 2010). Tekuk yang ditinjau adalah arah sumbu y atau sumbu simetri profil. Kelangsingan batang tekan $KL/r = KL_y / r_y$ untuk profil tee, dan $KL/r = (KL/r)_m$ untuk kelangsingan batang tekan tersusun yang terpengaruh oleh jenis alat sambung penyusunnya.

Parameter yang terkait:

$$F_{crz} = GJ / (A_g \bar{r}_o^2) \dots\dots\dots (\text{AISC E4-3})$$

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \dots\dots\dots (\text{AISC E4-10})$$

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + (I_x + I_y) / A_g \dots\dots\dots (\text{AISC E4-11})$$

$\bar{r}_o$ radius girasi polar terhadap pusat geser, mm

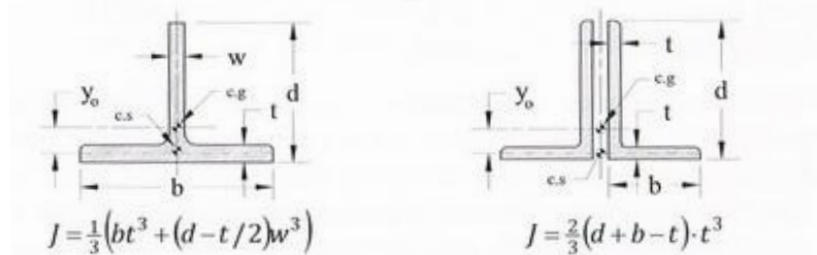
x_o, y_o koordinat pusat geser terhadap pusat berat, mm

E modulus elastis = 200,000. MPa.

I_x, I_y momen inersia terhadap sumbu utama, mm⁴

G modulus geser = 77,200. MPa.

J konstanta torsi, profil tee atau siku ganda, mm⁴.



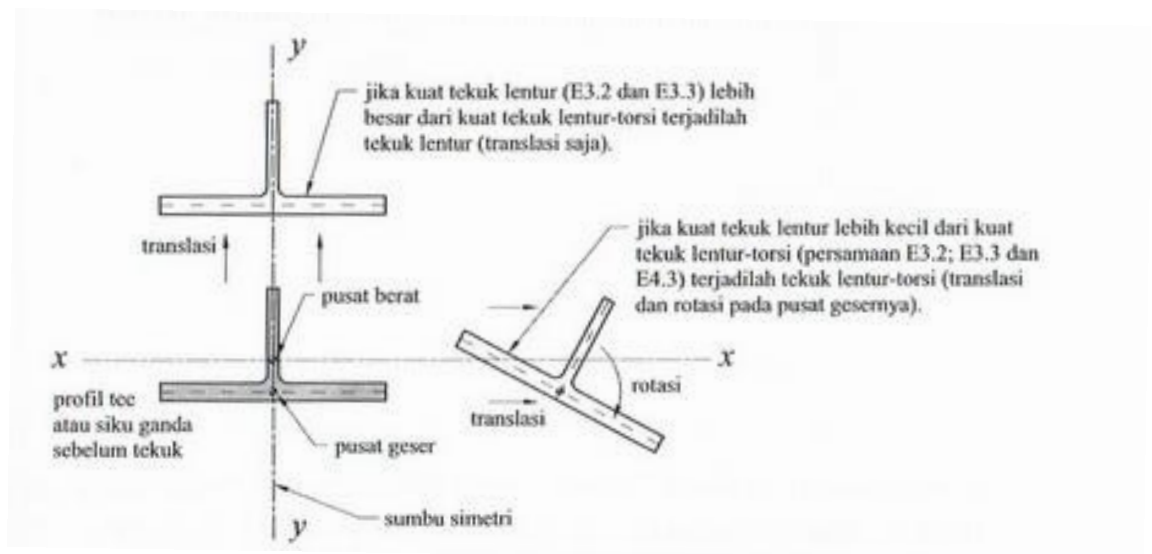
Gambar 3.20 Parameter torsi profil tee dan siku ganda (Sumber ; Dewobroto 2013)

c.s adalah pusat geser dan c.g pusat berat.

Perilaku tekuk pada profil tee atau siku ganda (Gambar 3.20) pada sumbu x-x adalah lentur dan sumbu y-y (simetri) adalah lentur-torsi. Salah satu akan terjadi terlebih dahulu.

Tekuk lentur terjadi pada arah tegak lurus sumbu x, dimana pusat berat dan pusat geser terletak pada bidang sama atau satu garis lurus sehingga hanya ada perpindahan translasi.

Tetapi pada tekuk arah tegak lurus terhadap sumbu y atau sumbu simetri penampang maka pusat geser dan pusat berat tidak terletak pada bidang yang sama, atau tidak berhimpit sehingga akibat tekuk, selain terjadi translasi juga mengalami puntir terhadap pusat gesernya, terjadilah tekuk lentur-torsi.



Gambar 3.21 Deformasi akibat tekuk lentur atau tekuk lentur torsi (Sumber ; Dewobroto 2013)

(b) Untuk penampang lain, F_{cr} tetap dengan rumus tekuk lentur, persamaan E3.2 dan E3.3 (AISC 2010), tetapi tegangan tekuk F dihitung dengan memasukkan pengaruh kekakuan torsi batangnya sebagai berikut.

(i) profil dengan **sumbu simetri ganda**, maka

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \dots \dots \dots (\text{AISCE4-4})$$

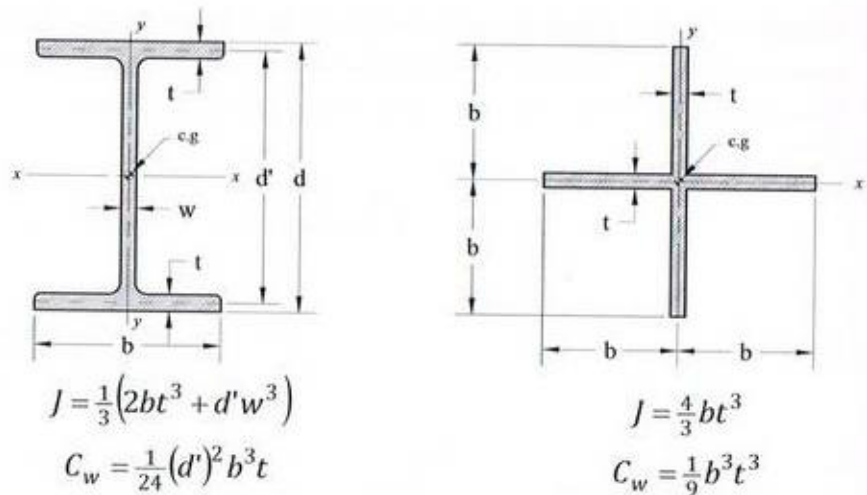
dimana

E modulus elastis = 200,000. MPa

C_w konstanta warping, penampang terbuka mm⁴

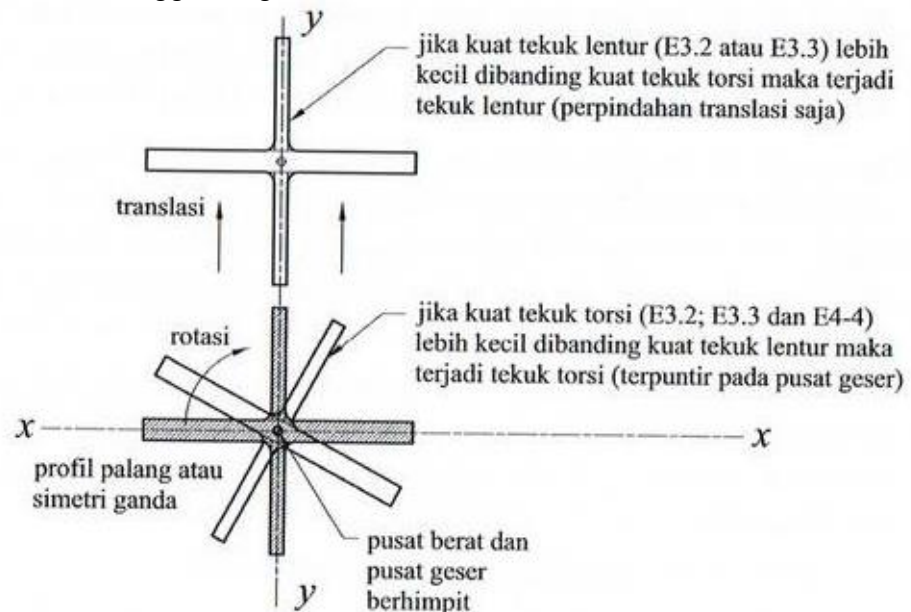
$K_z L$ panjang tekuk efektif terhadap torsi, mm

G modulus geser = 77,200. MPa
 J konstanta torsi, penampang terbuka, mm^4
 $I_x I_y$ momen inersia terhadap sumbu utama, mm^4



Gambar 3.22 Parameter torsi profil simetri ganda (Gaylord-Gaylord 1972).

Kekakuan torsi profil-X lebih kecil dibanding profil-I, bahkan nilai C_w dapat diabaikan (Gaylor-Gaylord 1972). Jadi profil-X umumnya yang berisiko tinggi mengalami tekuk torsi.



Gambar 3.23 Deformasi penampang palang akibat tekuk lentur atau tekuk torsi (Sumber ; Dewobroto 2013)

(ii) profil dengan sumbu simetri tunggal maka

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \dots\dots\dots(\text{AISCE4-5})$$

dimana

x_0, y_0 koordinat pusat geser terhadap pusat berat, mm

r_0 radius girasi polar terhadap pusat geser, mm

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL_y}{r_y} \right)^2} \dots\dots\dots(\text{AISC E4-8})$$

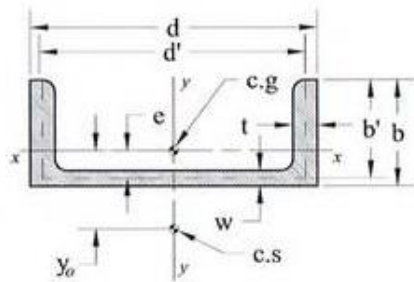
8)

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} \right) \frac{1}{A_g r_0^{-2}} \dots\dots\dots(\text{AISC E4-9})$$

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{r_0^{-2}} \dots\dots\dots(\text{AISC E4-10})$$

$$r_0^{-2} = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \dots\dots\dots(\text{AISC E4-11})$$

Ketentuan AISC4-4 lebih teliti dari AISC E4.2 karena memperhitungkan *warping*, tetapi hanya efektif untuk profil yang elemennya saling paralel (profil **U** atau **I** simetri tunggal) dimana nilai **C_w** relatif besar. Adapun profil T dan profil siku ganda mempunyai nilai **C_w** yang relatif kecil, dapat diabaikan (Gaylord-Gaylord 1972). Oleh sebab itu rumus AISC E4-4 jadi tidak efektif dibanding rumus AISC E4-2 yang lebih pendek.

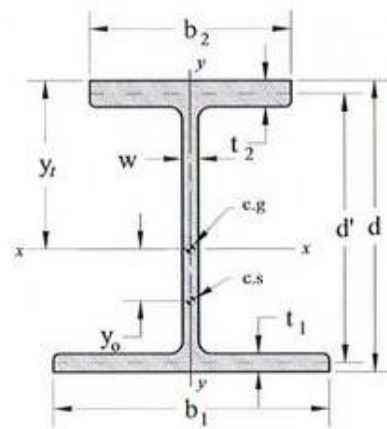


$$J = \frac{1}{3}(2b't^3 + d'w^3)$$

$$\alpha = \frac{1}{2 + \frac{d'w}{3b't}}$$

$$y_o = e + b'\alpha$$

$$C_w = (d')^2 b^3 t \left[\frac{1-3\alpha}{6} + \frac{\alpha^2}{2} \left(1 + \frac{d'w}{6b't} \right) \right]$$



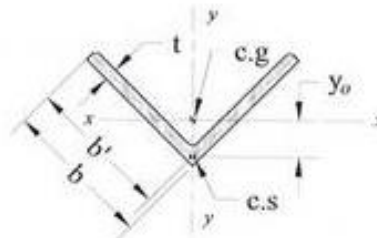
$$J = \frac{1}{3}(b_1 t_1^3 + d'w^3 + b_2 t_2^3)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^3 \left(\frac{t_1}{t_2} \right)}$$

$$y_o = y_t - \frac{t_1}{2} - d'\alpha$$

$$C_w = \frac{1}{12}(d')^2 b_1^3 t_1 \alpha$$

Gambar 3.24 Parameter torsi profil simetri tunggal (CISC 2002)



$$J = \frac{2}{3}b't^3$$

$$C_w = \frac{1}{18}(b')^3 t^3$$

Gambar 3.24 Parameter torsi profil simetri tunggal (CISC 2002) – lanjutan

- (iii) profil penampang yang tidak mempunyai sumbu simetri maka nilai F_e dihitung berdasarkan nilai akar terkecil dari persamaan berikut

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 \left(F_e - F_{ey} \right) \left(\frac{x_o}{\bar{r}_o} \right)^2 - F_e^2 \left(F_e - F_{ex} \right) \left(\frac{y_o}{\bar{r}_o} \right)^2 = 0$$

..... (AISC E4-6)

dimana

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(KL_x/r_x)^2} \dots\dots\dots (AISC E4-7)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(KL_y/r_y)^2} \dots\dots\dots (AISC E4-8)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2} \dots\dots\dots (AISC E4-9)$$

x_o, y_o = koordinat pusat geser terhadap pusat berat, mm

$\bar{r}_o$ = radius girasi polar terhadap pusat geser, mm

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \dots\dots\dots (AISC E4-11)$$

I_x, I_y = momen inersia terhadap sumbu utama, mm⁴

A_g = luas penampang batang tekan, mm²

Note : Tekuk torsi atau tekuk lentur-torsi **tidak perlu ditinjau** untuk **kolom** dengan **profil hot-rolled**. Jenis tekuk tersebut hanya perlu untuk kolom profil *built-up* tipis (Commentary AISC 2010).

g. Profil Siku Tunggal (AISC - E5)

iv. Umum

Profil siku tunggal yang tersambung pada salah satu kakinya saja ternyata banyak dipakai pada struktur rangka batang (plane truss atau space truss), misalnya struktur tower radio (Gambar 3.25). Untuk menyederhanakan prosedur hitungan, AISC (2010) menyediakan ketentuan ES, khusus untuk profil siku tunggal tersebut.



Gambar 3.25 Elemen siku tunggal pada tower radio (www.transmitter-tower.cn)

Batang tekan dikhususkan untuk gaya aksial tekan melalui titik berat penampang, tanpa timbul momen. Batang tersebut dijumpai pada struktur rangka batang (*truss*), dan dibebani pada titik nodal. Kenyataannya, meskipun struktur rangka batang tetapi jika detail sambungan menghasilkan eksentrisitas, maka pengaruhnya perlu diperhitungkan. Tidak bisa lagi dianggap sebagai batang tekan murni, tetapi telah menjadi elemen "balok-kolom", yang memerlukan evaluasi terhadap kombinasi gaya aksial dan momen lentur. Cara ini tentunya akan lebih "panjang" prosedurnya. Untuk menghindarinya dapat menggunakan ketentuan E5 (AISC 2010).

Dengan ketentuan E5 (AISC 2010) maka batang profil siku tunggal yang tersambung pada satu sisi, dapat diabaikan eksentrisitasnya dan dianggap sebagai batang tekan aksial biasa. Cara perencanaan ini tentu menjadi lebih sederhana dan cepat. Itulah esensi utama dari adanya ketentuan E5 (AISC 2010).

v. Kuat tekan profil siku tunggal

Batang tekan dengan profil siku tunggal yang tersambung pada satu kakinya saja, tetapi memenuhi persyaratan ketentuan E5 ini, maka eksentrisitasnya dapat diabaikan. Selanjutnya cukup direncanakan seperti batang tekan

biasa mengikuti ketentuan E3 (AISC 2010), yaitu **tekuk lentur**. Jika elemen profil siku tunggal tersebut langsing, rasio $b/t > 20$ maka harus dievaluasi juga terhadap puntir memakai ketentuan E4 (AISC 2010), yaitu tekuk lentur-torsi. Untuk perencanaan diambil nilainya yang terkecil.

Agar dapat memanfaatkan ketentuan sebagai batang tekan, perlu dilakukan "modifikasi kelangsingan". Untuk itu kondisi profil siku tunggal yang direncanakan harus memenuhi persyaratan berikut.

1. Beban aksial diberikan dari ujung batang, disambungkan pada satu kaki dengan sisi yang sama pada kedua ujungnya,
2. Sambungan bisa memakai las atau baut (minimum 2),
3. Tidak ada pembebanan transversal di sepanjang batang.

Semua ketentuan di atas tentunya dapat terpenuhi karena itu juga syarat dari struktur rangka batang atau truss pada umumnya.

vi. Modifikasi kelangsingan profil siku tunggal

Modifikasi kelangsingan ditentukan oleh kondisi sambungannya. Jika tidak memenuhi ketentuan berikut, maka profil siku tunggal tersebut harus tetap didesain sebagai elemen "balok-kolom".

Persyaratan kondisi sambungan yang diperlukan adalah:

1. Profil siku sama-kaki, atau siku tidak-sama-kaki tersambung pada kaki panjang, baik sebagai elemen **individu** atau elemen **badan** (web) struktur rangka bidang, dimana elemen badan lainnya juga tersambung pada sisi pelat buhul yang sama.

(a) Jika $\frac{L}{r_x} \leq 80$ maka

$$\frac{KL}{r} = 72 + 0.75 \frac{L}{r_x} \dots\dots\dots (\text{AISCE5-1})$$

(b) jika $\frac{L}{r_x} > 80$ maka

$$\frac{KL}{r} = 32 + 1.25 \frac{L}{r_x} \leq 200 \dots\dots\dots (\text{AISCE5-1})$$

1)

Catatan: Untuk profil tunggal siku tidak sama kaki, yang rasio panjang-pendek kakinya kurang dari 1.7 dan tersambung pada kaki pendek, maka hasil ketentuan E5-1 dan E5-2 (AISC 2010) perlu ditambah dengan

$4[(b_1/b_s)^2 - 1]$. Tetapi L/r dari batang siku tunggal tersebut tidak boleh kurang dari $0.95 L/r_z$.

2. Profil siku sama-kaki atau tidak sama-kaki, tersambung pada bagian kaki yang panjang saja dari elemen badan (*web*) struktur *box* atau rangka ruang (*space truss*), yang elemen badan lainnya juga tersambung pada sisi pelat buhul yang sama.

(a) Jika $\frac{L}{r_x} \leq 75$ maka

$$\frac{KL}{r} = 60 + 0.8 \frac{L}{r_x} \dots\dots\dots (\text{AISCE5-3})$$

(b) jika $\frac{L}{r_x} > 75$ maka

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} \leq 200 \dots\dots\dots (\text{AISCE5-4})$$

Catatan: Untuk profil tunggal siku tidak sama kaki, yang rasio panjang-pendek kakinya kurang dari 1.7 dan tersambung pada kaki pendek, maka hasil ketentuan E5-3 dan E5-4 (AISC 2010) perlu ditambah dengan $6[(b_1/b_s)^2 - 1]$. Tetapi L/r dari batang tersebut tidak boleh kurang dari $0.82 L/r_z$.

Notasi:

L ... panjang profil siku tunggal, diukur dari titik potong garis berat elemen rangka atau Working Point (WP), atau jarak antar titik nodal rangka batang.

r_x ... radius girasi profil siku tunggal terhadap sumbunya yang sejajar dengan sisi yang tersambung.

r_z ... radius girasi terkecil terhadap sumbu utama

b_1 ... sisi panjang (long) profil siku tunggal (mm)

b_s ... sisi pendek (short) profil siku tunggal (mm)

D. AKTIVITAS PEMBELAJARAN

a. Contoh Aplikasi Rancangan Kolom Baja Profil O

Untuk itu ditinjau kolom dengan kondisi tumpuan jepit-jepit yang dibebani aksial, panjang real sebenarnya $L = 24$ m. Karena dianggap jepit-jepit maka

pajang efektifnya $KL = 0.5 * 24 = 12$ m. Mutu baja ASTM A36 (F_y 250 MPa).
Diminta untuk menghitung berapa kuat tekan batas ϕP_n dari kolom tersebut.

Kolom baja profil-O

Profil-O atau pipa ϕ 600 mm dan $t = 40$ mm properti geometrinya:

$$A = \frac{1}{4} \pi (600^2 - 520^2) = 70,371.68 \text{ mm}^2$$

$$r_x = \frac{1}{2} \sqrt{(300^2 + 260^2)} = 198.5 \text{ mm}$$

Jawab:

Dari peta rumus AISC (Tabel 5.5) untuk penampang kolom pipa, keruntuhannya hanya tekuk lentur, sebagai berikut:

1. Klasifikasi elemen penampang berdasarkan Tabel 5.1

$$\frac{D}{t} = \frac{600}{40} = 15 << 0.11 \frac{E}{F_y} = 0.11 * \frac{200,000}{250} = 88$$

Klasifikasi pipa adalah penampang tidak-langsing maka tekuk lentur didasarkan pada ketentuan AISC - E3.

2. Kuat tekan nominal terhadap tekuk lentur (AISC E3).

$$\frac{KL}{r} = \frac{12,000}{198.5} = 60.5 << 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 134$$

berarti tekuk **inelastis**, sehingga

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(KL_x/r_y)^2} \dots \dots \dots \text{(AISCE3-4)}$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(KL_x/r_y)^2} \dots \dots \dots \text{(AISC E3-2)}$$

$$P_n = F_{cr} A = 0.82 * 250 * 70,371.68 * \frac{1}{1000} = 14,426.2 \text{ kN}$$

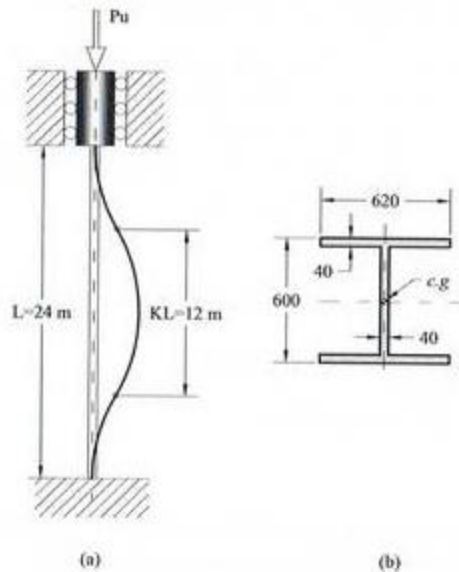
$$P_u = \phi P_n = 0.9 * 14,426.2 = 12,983.6 \text{ kN}$$

b. Contoh Aplikasi Rancangan Kolom Baja Profil H

Untuk itu ditinjau kolom dengan kondisi tumpuan jepit-jepit yang dibebani aksial, panjang real sebenarnya $L = 24$ m. Karena dianggap jepit-jepit maka pajang efektifnya $KL = 0.5 * 24 = 12$ m. Mutu baja ASTM A36 (F_y 250 MPa).
Diminta untuk menghitung berapa kuat tekan batas ϕP_n dari kolom tersebut.

Kolom baja profil-H

Kolom baja profil-H didesain terhadap beban tekan aksial saja. Sebagai kolom dengan penampang simetri ganda perlu ditinjau perilaku tekuk-lentur atau tekuk-puntir yang mungkin dapat terjadi. Keduanya dihitung, nilai terkecil adalah menentukan



Gambar 3.26 Konfigurasi kolom profil-H yang ditinjau

Jawab:

1. Hitung properti geometri penampang profil-H.

$$A = (2 * 620 + 520) * 40 = 70,400. \text{ mm}^2$$

$$I_x = \frac{2 * 620 * 40^3 + 40 * 520^3}{12} + 2 * 40 * 620 * 280^2$$

$$I_x = 4,363,946,667. \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 249 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{2 * 40 * 620^3 + 520 * 40^3}{12} = 1,591,626,667. \text{ mm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 150 \text{ mm}$$

$$J = \frac{(620 * 2 + 520) 40^3}{3} = 37,546,666.67 \text{ mm}^4$$

$$C_w = \frac{1}{4} (d')^2 I_y = \frac{560^2}{4} * 1,591,626,667 \dots\dots\dots \text{ (Gaylord 1992)}$$

$$C_w = 1.248 \times 10^{14} \text{ mm}^6$$

$$I_x + I_y = 5,955,573,334. \text{ mm}^4$$

2. Menentukan klasifikasi penampang berdasarkan Tabel 5.1.

$$\text{Sayap} : \frac{b}{t} = \frac{620 \times 0.5}{40} = 7.8 << 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 15.8 \rightarrow \text{tidak langsing.}$$

$$\text{Badan} : \frac{b}{t} = \frac{600 - 2 \times 40}{40} = 13 << 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42 \rightarrow \text{tidak langsing}$$

Klasifikasi profil-H adalah penampang tidak langsing, ditinjau tekuk-lentur (AISC - E3) dan tekuk-puntir (AISC - E4).

3. Tegangan kritis tekuk - lentur (AISC - E3).

$$\frac{Kl}{r_{min}} = \frac{2.000}{150} = 13.33 << 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 134 \text{ tekuk } \mathbf{inelastis} \text{ sehingga}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL_x/r_y)^2} = \frac{\pi^2 200.000}{13.33^2} = 11.108.9 \text{ MPa..... (AISCE3-4)}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{250}{11.108.9}} \right) \cdot F_y = 0.9906 F_y \text{ (AISC E3-2)}$$

4. Tegangan kritis tekuk - puntir (AISC - E4).

Untuk tekuk puntir profil simetri ganda, F_{cr} dan rumus tekuk lentur (AISC-E3), tapi F_e dicari dari rumus (AISC E4-4) berikut.

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \text{ (AISCE4-4)}$$

Kolom jepit-jepit maka dapat dianggap $K_z L = KL$ sehingga

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E \cdot 1.247835 \times 10^{12}}{12.000^2} + G \cdot 37,546,666.67 \right] \frac{1}{5,955,573,334} = 774 \text{ Mpa}$$

dimana $E = 200,000 \text{ MPa}$ dan $G = 77,200 \text{ MPa}$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{773.9} = 0.32 <<< 2.25 \text{ berarti tekuk } \mathbf{inelastis}, \text{ sehingga}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{250}{11.108.9}} \right) \cdot F_y = 0.9904 \cdot F_y \text{ (AISCE3-2)}$$

5. Kuat tekan nominal kolom profil H.

F_{cr} tekuk-puntir $>> F_{cr}$ tekuk lentur (sb. y-y), maka tekuk yang terjadi adalah **lentur**. Kuat tekan nominalnya adalah:

$$P_n = F_{cr} A = 0.71 \cdot 250 \cdot 70,400 \cdot \frac{1}{1000} = 12,496 \text{ kN}$$

$$P_u = \phi P_n = 0.9 \cdot 12,496 = 11,246.4 \text{ kN}$$

Berdasarkan ketentuan AISC perencanaan kolom profil H perlu dicek terhadap ketentuan E3 (tekuk lentur) dan sekaligus juga E4 (tekuk torsi). Dari contoh sebelumnya terlihat yang menentukan adalah akibat tekuk lentur

saja. Untuk itu akan dicoba $KL = 200$ cm agar fenomena tekuk torsi pada kolom H juga dapat diamati. Karena yang berbeda adalah KL saja maka tahapan perhitungan langsung melompat pada tahap No.3, yaitu sebagai berikut:

3. Tegangan kritis tekuk - lentur (AISC - E3).

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{2.000}{150} = 13.33 << 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 134 \text{ tekuk } \mathbf{inelastis} \text{ sehingga}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL_x/r_y)^2} = \frac{\pi^2 200.000}{13.33^2} = 11.108.9 \text{ MPa..... (AISCE3-4)}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{250}{11.108.9}}\right) \cdot F_y = 0.9906 F_y \text{ (AISC E3-2)}$$

4. Tegangan kritis tekuk - puntir (AISC - E4).

Untuk tekuk puntir profil simetri ganda, F_{cr} dan rumus tekuk lentur (AISC-E3), tapi F_e dicari dari rumus (AISC E4-4) berikut.

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \text{ (AISCE4-4)}$$

kolom jepit-jepit maka dapat dianggap $K = KL$ sehingga

$$F_e = \left[\frac{0.6158 \times 10^{12}}{\frac{\pi^2 E * 1.247835 \times 10^{14}}{2.000^2}} + \frac{2.8986 \times 10^{12}}{G * 37,546,666.67} \right] \frac{1}{5,955,573,334} = 10,826.3 \text{ MPa}$$

dimana $E = 200,000$. MPa dan $G = 77,200$. Mpa

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{250}{10,826.3} = 0.023 <<< 2.25, \text{ berarti tekuk } \mathbf{inelastis}, \text{ sehingga}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{250}{10.826.3}}\right) \cdot F_y = 0.9904 \cdot F_y \text{ (AISCE3-2)}$$

5. Kuat tekan nominal kolom profil H.

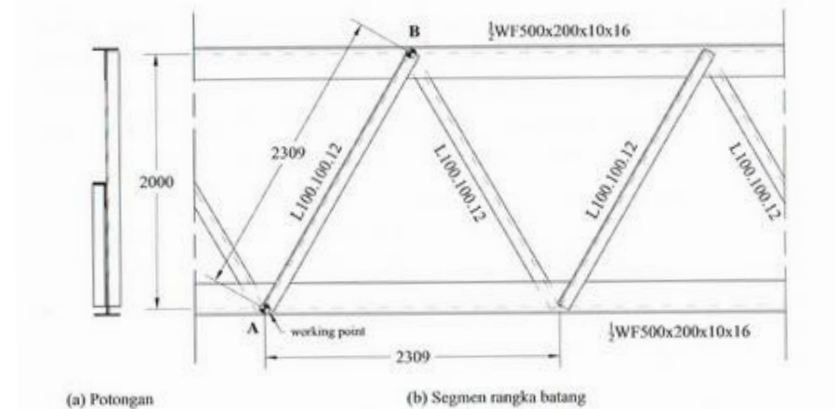
F_{cr} tekuk-puntir $< F_{cr}$ tekuk lentur (sb. y-y), maka tekuk yang terjadi adalah **puntir**. Kuat tekan nominalnya adalah:

$$P_n = F_{cr} A = \overbrace{0.904}^{\text{tekuk-puntir}} * 250 * 70,400 * \frac{1}{1000} = 17,431. \text{ kN}$$

Jadi walaupun ada tekuk puntir, tetapi perbedaan antara tekuk lentur dan tekuk puntir yang terjadi sangat kecil, itu mengapa profil H umumnya cukup dicek terhadap lentur saja.

c. Contoh Aplikasi Rancang Kolom Siku Tunggal

Tinjau batang tekan dari bagian badan struktur truss, yang terdiri dari profil siku tunggal L100x100x12 (17.7 kg/m). Ujung atas dan bawah profil siku disambung ke profil T (½WF500x200x10x16) secara selang-seling dengan konfigurasi seperti Gambar 3.27.



Gambar 3.27 Profil siku tunggal pada struktur truss

Struktur *truss* dengan profil siku tunggal relatif ekonomis karena tidak perlu pelat buhul, langsung disambung dengan las pada profil ½WF500 x 200x 10x 14. Sambungan akan dihitung tersendiri. Jika mutu baja $F_y = 250$ MPa hitung daya dukung batas profil siku tunggal sesuai ketentuan F5 (AISC 2010).

Jawab:

Properti penampang profil siku tunggal sebagai berikut.

Notasi	q	A	sumbu x-y				sumbu j-k				J
			I_x	I_y	r_x	r_y	I_j	I_k	r_j	r_k	
mm	kg/m	mm ²	10 ⁶ mm ⁴	10 ⁶ mm ⁴	mm	mm	10 ⁶ mm ⁴	10 ⁶ mm ⁴	mm	mm	10 ³ mm ⁴
L100x100x12	17.7	2260	2.08	2.08	30.3	30.3	3.29	0.857	38.2	19.5	110

Pemasangan profil siku tunggal bersifat tipikal, sehingga cukup ditinjau batang tekan di antara titik A dan B dari Gambar 5.30.

Karena $\frac{L}{r_x} = \frac{2309}{30.3} = 76.2 \leq 80$ maka $\frac{KL}{r} = 72 + 0.75 \frac{L}{r_x}$ (AlscE5-1)

$\frac{KL}{r} = 72 + 0.75 * 76.2 = 129$ selanjutnya diproses sesuai ketentuan E3.

$$\frac{KL}{r_{min}} = \frac{KL}{r} = 129 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 133 \text{ (tekuk inelastis), sehingga}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} = \frac{\pi^2 200.000}{(129)^2} = 119 \text{ MPa} \dots\dots\dots (\text{AISC E3-4})$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{250}{119}} \right) \cdot F_y = 0.415 F_y \dots\dots\dots (\text{AISC 83-2})$$

Kuat tekan nominalnya adalah:

$$P_n = F_{cr} A = 0.415 \cdot 250 \cdot 2260 \cdot \frac{1}{1000} = 234.5 \text{ kN}$$

$$P_u = \phi P_n = 0.9 \cdot 234.5 = 211 \text{ kN} = 21 \text{ ton}$$

E. LATIHAN / KASUS / TUGAS

a. Soal Latihan 1

Rumus untuk menghitung rasio kelangsingan batang adalah :

- g. KL/I_{min}
- h. KL/r_{min}
- i. KL/A_{min}

b. Soal Latihan 2

Tekuk terjadi pada elemen / batang yang :

- d. Langsing dan menerima gaya tekan
- e. Menerima momen dan gaya tekan
- f. Langsing dan menerima gaya tarik

c. Soal Latihan 3

Untuk memprediksi nilai K dengan cara manual pada portal rangka bergoyang digunakan :

- a. Alignment Chart yang ada di Commentary Appendix 7 : Alternative Methods of Design for Stability (AISC 2010)
- b. Peta Petunjuk Pemakaian rumus AISC (2010) untuk perencanaan batang tekan aksial
- c. a dan b dipakai keduanya

d. Soal Latihan 4

Pada saat menghitung dan merencanakan sebuah kolom yang terbuat dari profil baja, dengan mempertimbangkan semua beban rencana yang mungkin terjadi pada struktur tersebut sehingga diperoleh beban yang dipikul oleh kolom (N_u). Dengan mempergunakan rumus tegangan dapat ditentukan luas penampang profil (A) dengan ketentuan :

- a. $A_{hitung} \leq A_{profil\ dipilih}$
- b. $A_{hitung} < A_{profil\ dipilih}$
- c. $A_{hitung} \geq A_{profil\ dipilih}$

e. Soal Latihan 5

Untuk menyederhanakan prosedur perhitungan batang profil siku tunggal yang tersambung pada satu sisi, AISC mengeluarkan ketentuan :

- a. A5 (AISC 2010)
- b. C5 (AISC 2010)
- c. E5 (AISC 2010)

F. RANGKUMAN

Batang tekan ditujukan untuk komponen struktur yang memikul beban tekan sentris tepat pada titik berat penampang, atau kolom dengan gaya aksial saja. Selain material, batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain, yaitu konfigurasi bentuk fisik atau geometri. Rasio kelangsingan menjadi parameter penting perencanaan, dan menjadi indikator batas kerja sekaligus perilakunya. Kolom pendek kekuatannya ditentukan oleh material, sedangkan kolom langsing kekuatannya ditentukan oleh beban kritis yang menyebabkan tekuk (*buckling*), tidak tergantung mutu material.

G. KUNCI JAWABAN

a. Soal Latihan 1

Jawaban b KL/r_{min}

b. Soal Latihan 2

Jawaban a Langsing dan menerima gaya tekan

c. Soal Latihan 3

Jawaban a Alignment Chart yang ada di Commentary Appendix 7 :
Alternative Methods of Design for Stability (AISC 2010)

d. Soal Latihan 4

Jawaban a $A_{hitung} \leq A_{profil}$ pilih

e. Soal Latihan 5

Jawaban c E5 (AISC 2010)

BAB IV

PENUTUP

Modul diklat GP Guru Teknik Konstruksi Baja Level 9 telah memuat perencanaan konstruksi baja dengan metode perencanaan terbaru. Modelling konstruksi baja dengan aplikasi SAP2000, analisa struktur baja dengan aplikasi, perencanaan batang tekan dan juga batang tarik telah terangkum didalam modul ini. Diharapkan modul ini dapat membantu guru – guru untuk lebih mengerti dan memahami analisa struktur terutama struktur baja serta perencanaan elemen struktur yang ada pada struktur baja tersebut, khususnya struktur rangka baja yang terdiri atas batang tarik dan batang tekan beserta perilakunya.

Penulis menyadari bahwa modul ini masih jauh dari sempurna. Masih terdapat banyak kekurangan dan kekhilafan penulisan di dalam modul ini. Oleh karena itu penulis meminta maaf terhadap kekurangan dan kekhilafan tersebut serta meminta masukan dan saran untuk perbaikan modul ini di masa depan. Penulis juga mengucapkan terma kasih kepada Bapak Ir. Syahrizal, MT dari Universitas Sumatera Utara sebagai reviewer modul ini atas masukan – masukan dan reviewnya.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2005). "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications - SI Unit 31 Ed.", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington DC
- ACI. (2011). "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318M-11) An ACI Standard and Commentary", ACI, Farmington Hills, U.S.A
- AISC. (1978). "Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings", American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill.
- AISC. (1992). "Manual of Steel Construction - Volume II Connections ASD 9th Ed./ LRFD 1st Ed.", American Institute of Steel Construction, Chicago
- AISC. (1993). "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois
- AISC. (1994). "Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design ' 2nd Edition, Volume 2, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago
- AISC. (1999). "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings", American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago, Illinois
- AISC. (2005). "Specification for Structural Steel Building (ANSI/AISC 360-05)", American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, March 2005
- AISC.(2010). " Specification for Structural Steel Building (ANSI/AISC 360-10)", American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, June 2010
- AISC.(2010a), "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (ANSI/A JSC 34110)", American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, June 2010
- Armenakas, A. E., *Classical Structural Analysis: A Modern Approach*, McGraw-Hill, Inc., 1988
- Anil K. Chopra, *Dynamic of Structures: Theory and Application to Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- Barker, R. M. and Puckett, J. A., *Design of Highway Bridges: Based on AASHTO LRFD, Bridge Design Specifications*, John Wiley, 1997.
- Beaufait, F. W., et.al, *Computer Methods of Structural Analysis*, Prentice-Hall In Englewood Cliffs, N.J., 1970.
- Brockenbrough, R.L. dan ES. Merritt .(2011). "*Structural Steel Designers Handbook*", McGraw-Hill, Inc
- BSN. (2002). "SNI 03 - 1729 -2002: Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung", Dept. PU

- Chen, WF., dan EM. Lui.(2005). "*Handbook of Structural Engineering 2nd*", CRC Press
- CISC.(2002). "*Torsional Section Properties of Steel Shapes*", Canadian Institute of Steel Construction
- Cook, Malkus, Plesha and Witt, *Concept and Applications of Finite Element Analysis 4th Ed.*, John Wiley & Sons. Inc., 2002
- Cook, R. D., *Finite Element Modeling for Stress Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., 1995
- CSI. (2007). "*Steel Frame Design Manual AISC 360-05/1BC2006 -for SAP2000 & ETABS*", CSI, Berkeley
- CSI. (2011). "*CSI Analysis Reference Manual - For SAP2000®, ETABS®, SAFE®, and CSiBridge*", Computers and Structures, Inc., Berkeley, California
- Darkov, A., *Structural Mechanic*, Mir Publishers, Moscow, 1979.
- Dewobroto, W. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000 - EDISI BARU*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2007
- Dewobroto, W. *Komputer Rekayasa Struktur dengan SAP2000*, Lumina Pers, Jakarta, 2013
- Easterling dan Gonzales. (1993). "*Shear Lag Effects in Steel Tension Members*", Engineering Journal, AISC, Vol. 30, No. 3 311 Quarter 1993, pp. 77-89.
- E.L Wilson and A. Habibullah, *Geometric Stiffness and P-Delta Effects*, <http://www.csiberkeley.com/Tech-Info/11.pdf>
- E.L Wilson and A. Habibullah, *Static and Dynamic Analysis of Multi-Story Buildings Including P-delta Effects*, Earthquake Spectra Vol.3/2, May 1987, <http://www.csiberkeley.com/Tech-Info/s2.pdf>
- Gaylord dan Gaylord.(1972). "*Design of Steel Structures 2nd* ", McGraw-Hill Kogakusha Ltd.
- Ghali, A. and Neville, A. M., *Structural Analysis: A Unified Classical and Matrix Approach*, 4th Ed., E & FN SPON, London, 1997.
- Gilbert, R. I., and Mickleborough, N. C., *Design of Prestressed Concrete*, Unwin Hyman Ltd., 1990.
- Gorenc, B.E., R. Tinyou and A.A. Syam. (2005). "*Steel designers' handbook, 7th Ed.*" UNSW Press book
- Harry H. West, *Fundamentals of Structural Analysis*, John Wiley, 1993.
- Harrison, H. B., *Computer Methods in Structural Analysis*, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
- Hibbeler, R. C., *Structural Analysis 3rd Ed.*, Prentice Hall, 1997. Fleming, J. E, *Analysis of Structural Systems*, Prentice Hall, 1997.

- Iain A. MacLeod, *Analytical Modelling of Structural Systems - An entirely new approach with emphasis on the behaviour of building structures*, Ellis Horwood Limited, England, 1990
- Kuchenbecker, G.H., White, D.W. dan Surovek-Maleck, A.E. (2004), "Simplified Design of Building Frames Using First-Order Analysis and $K = 1$ ", Proceedings of the Annual Technical Session and Meeting, Long Beach, CA, March 24-27, 2004, Structural Stability Research Council, Rolla, MO, pp. 119-138.
- Kulak, G.L. dan Gronding, G.Y. (2002). *"Limit States Design in Structural Steel"*, Canadian Institute of Steel Construction
- Marc Hoit, *Computer-Assisted Structural Analysis and Modeling*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1995.
- Manual Program, *SAP2000® Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures: ANALYSIS REFERENCE*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, Version 7.0, October 1998
- Mario Paz, *Structural Dynamic: Theory and Computation* 4th Ed., Chapman & H 1997.
- McCormac, J. (2008). *"Structural Steel Design 4th Ed."*, Pearson International Edition, USA.
- Smith, B.S., and Coull, A., *Tall Building Structures: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., 1991
- Timoshenko, *Strength of Materials: Part I Elementary* 3rd Ed., Van Nostrand Reinhold, 1955
- P. Domone and J. Illston, *Construction Materials - Their nature and behaviour*, 4th Ed., by Spon Press, Oxon, 2010
- Puskim. (2011). *"RSNI 03-1729.1-201X: Spesifikasi Umum untuk Gedung Baja Struktur"*, Badan Standarisasi Nasional, 307 halaman. <<draft internal dipublikasikan secara terbatas>>
- Salmon, C.G., John E. Johnson dan Faris A. Malhas. (2009). *"Steel Structures: Design and Behavior - Emphasizing Load and Resistance Factor Design 5th Ed."*, Pearson Education, Inc.
- Sennett, R. E., *Matrix Analysis of Structures*, Prentice-Hall, 1994.
- Segerlind, L. J., *Applied Finite Element Analysis* 2nd, John Wiley, 1984.
- SNI 03-1729-2000 (Standar Nasional Indonesia): *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung*, Publikasi Internal Jurusan Teknik Sipil - FTSP - ITB, Bandung, Juli 2000.
- Trahair, Bradford, Nethercot, dan Gardner. (2008). *"The Behaviour and Design of Steel Structures to EC3, 4th Ed."*, Taylor & Francis

- Vinnakota, S. (2006). *"Steel Structures: Behavior and LRFD"*, McGraw-Hill Int. Ed.
- Warren C. Young, *Roark's Formulas for Stress and Strain 6th Ed.*, McGraw-Hill, Singapore, 1989
- White, RN., Peter Gergely dan Robert G. Sexsmith. (1976). *"Structural Engineering - Volume 1: Introduction to Design Concepts and Analysis 2nd "*, John Wiley & Sons, Inc. New York
- Willems, N., and Lucas, WM., Jr., *Structural Analysis for Engineers*, McGraw-Hill Kogakusha, 1978
- William McGuire.(1967). *"Steel structure"*, Prentice Hall, Inc.
- Yura (1971). *"The Effective Length of Columns in Unbraced Frames"*, AISC Engineering Journal