



BMP.UKI: SPT-02-SBJ-1-TS-V-2021

BUKU MATERI PEMBELAJARAN STRUKTUR BAJA-1

Disusun oleh:

Sudarno P Tampubolon, S.T., M. Sc

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2021**

KATA PENGANTAR

Buku Materi Pembelajaran (BMP) ini merupakan buku pembelajaran bagi para mahasiswa semester lima Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia. Nama buku materi pembelajaran ini adalah Struktur **Baja 1**, yaitu modul mata kuliah yang membahas material penyusun baja, klasifikasi baja, sifat baja, dan analisa perhitungan balok serta analisa sambungan pada penampang baja.

Pelajaran dalam BMP ini menekankan pemahaman mengenai pengertian Baja dan desain perencanaannya. Buku modul ini disusun dalam tujuh modul yang secara keseluruhan memiliki bobot 2 sks di mana masing-masing modul akan memperlihatkan pokok-pokok penting yang harus dipahami mahasiswa dalam setiap pembelajaran yang di ikuti.

Jakarta, 14 Juni 2021

Penyusun,



Sudarno P. Tampubolon, S.T.,M.Sc

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU MATERI PEMBELAJARAN	xii
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER	xv
ATURAN PERKULIAHAN DAN EVALUASI	xxviii
MODUL 1	1
TEORI PEMBUATAN DAN KLASIFIKASI BAJA, SIFAT DAN BENTUK PROFIL, DAN PEMELIHARAAN BAJA	1
A. Pendahuluan	1
B. Kegiatan Pembelajaran 1: Teori Pembuatan dan Klasifikasi Baja	1
1. Kemampuan akhir	1
2. Uraian Materi	1
2.1 Material Baja Sebagai Bahan Struktur.....	1
2.2 Klasifikasi Baja Berdasarkan Komposisi Bahan Kimia	2
2.3 Contoh-Contoh Struktur Baja	5
C. Kegiatan Pembelajaran 2: Sifat-Sifat Baja, Bentuk Profil Baja, dan Pemeliharaan Baja	9
1. Kemampuan akhir	9
2. Uraian Materi	9
2.1 Sifat-sifat Baja	9
2.2 Keuntungan/ Kelebihan Struktur Baja	12
2.3 Kelemahan Struktur Baja.....	13
2.4 Tipe Keruntuhan Batang Tekan:	13
2.5 Keruntuhan Getas.....	13
2.6 Sobekan Lamelar	14
2.7 Keruntuhan Lelah.....	16
2.8 Sifat-sifat penting bahan struktur baja	16
D. Kegiatan Pembelajaran 3: Hubungan Tegangan dan Regangan Baja.	17
1. Kemampuan akhir	17

2.	Uraian Materi	17
2.1	Hubungan Tegangan - Regangan untuk Uji Tarik pada Baja	17
2.2	Bentuk Baja Profil.....	26
2.3	Pemeliharaan Baja	27
2.4	Pengaruh Suhu Udara	29
2.5	Pengaruh Kelembaban Relatif Udara.....	29
2.6	Pengaruh Arah Kecepatan Angin.....	30
2.7	Pengaruh Curah Hujan.....	30
2.8	Derajat Polusi Udara	30
2.9	Pencegahan Korosi Pada Jembatan Baja	30
2.10	Korosi Pada Fondasi Tiang.....	31
2.11	Korosi Pada Bangunan Lepas Pantai	32
2.12	Perlindungan Terhadap Api	34
2.13	Contoh Soal Latihan	36
2.14	Latihan	37
E.	Daftar Pustaka	38
MODUL 2		39
	Pengenalan Berbagai Metode Perancangan Struktur Baja	
	<i>ALLOWABLE STRESS DESIGN (ASD), LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN</i>	
	<i>(LRFD), DAN KOMBINASI PEMBEBANAN MENURUT SNI.....</i>	39
A.	Pendahuluan	39
B.	Kegiatan Pembelajaran 1: Pengenalan Metode Perancangan Struktur Baja ASD	
	Dan Kombinasi Beban Menurut SNI	39
1.	Kemampuan akhir	39
2.	Uraian Materi	39
2.1	Stabilitas Struktur.....	39
2.2	Kekuatan ultimit dan kekuatan nominal	39
2.3	Perancangan kekuatan baja	41
2.4	Metode Perencanaan Struktur Baja Dengan Menggunakan Metode <i>Allowable Stress Design/</i> Desain Dengan Kekuatan Izin (ASD).	41
2.5	Kombinasi Pembebanan (Muatan).....	42
2.6	Model Struktur	43
2.7	Pembebanan/ Loading.....	43
2.8	Metoda Perancangan Elastis dan Plastis	46

2.9 Soal Latihan	47
2.10 Latihan	49
C. Kegiatan Pembelajaran 2: Pengenalan Metode Perancangan Struktur Baja dengan menggunakan metode LRFD Pembebanan Dan Kombinasi Beban Menurut SNI.....	49
1. Kemampuan akhir.....	49
2. Uraian Materi.....	49
2.1 Metode perancangan struktur baja dengan menggunakan metode LRFD (<i>Load and Resistance Factor Design</i>).....	50
2.2 Besar Beban dan Faktor Resistansi.....	52
2.3 Keadaan Kemampuan layan batas	54
2.4 Kelebihan <i>Load and Resistance Factor Design</i> (LRFD).....	55
2.5 Contoh Soal.....	55
2.6 Latihan	58
D. Daftar Pustaka	59
MODUL 3	60
PERHITUNGAN DAN TEORI LUAS EFEKTIF PENAMPANG.....	60
A. Pendahuluan	60
B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perhitungan dan Teori Luas Efektif Penampang.....	60
1. Kemampuan akhir.....	60
2. Uraian Materi.....	60
2.1 Tahanan Nominal.....	60
2.2 Kondisi Leleh dari Luas Penampang Kotor.....	61
2.3 Kondisi Fraktur dari Luas Penampang Efektif pada Sambungan.....	61
2.4 Luas Netto.....	61
2.5 Kondisi Fraktur dari Luas Penampang Efektif Pada Sambungan.....	63
2.6 Diameter Baut dan Diameter Lubang	63
2.7 Efek Lubang Berselang-seling Pada Luas Netto	64
2.8 Pengaruh Lubang Selang-seling	67
2.9 Luas Penampang Netto Efektif.....	67
2.10 Contoh Soal.....	69
2.11 Latihan	74
C. Daftar Pustaka.....	75
MODUL 4 PERENCANAAN BATANG TARIK DAN BATANG TEKAN).....	76

A. Pendahuluan	76
B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perhitungan Batang Tarik	76
1. Kemampuan akhir	76
2. Uraian Materi	76
2.1 Elemen Batang Tarik	76
2.2 Luas Penampang Netto Efektif	77
2.3 Kuat Tarik Rencana	79
2.4 Geser Blok (Block Shear)	79
2.5 Contoh Soal.....	81
2.6 Latihan	87
C. Kegiatan Pembelajaran 2: Perhitungan Batang Tekan	88
1. Kemampuan akhir	88
2. Uraian Materi	88
2.1 Batang Tekan	88
2.2 Tipe Keruntuhan Batang Tekan	89
2.3 Profil Baja untuk Batang Tekan.....	90
2.4 Tegangan Residual.....	92
2.5 Tahanan Tekan Nominal.....	93
2.6 Kelangsingan Batang Profil Tersusun	93
2.7 Batas Kelangsingan Batang Tekan	94
2.8 Faktor Tekuk Batang Tekan.....	94
2.9 Batang Tekan	95
2.10 Panjang Tekuk	96
2.11 Mendimensi Batang Tekan	98
2.12 Contoh Soal.....	99
2.13 Latihan	100
D. Daftar Pustaka	101
MODUL 5 PERENCANAAN BATANG TUNGGAL DAN BATANG RANGKAP ...	102
A. Pendahuluan	102
B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perencanaan Batang Tunggal	102
1. Kemampuan akhir	102
2. Uraian Materi	102
2.1 Batang Tekan	102

2.2 Sifat Dari Batang Tekan.....	104
2.3 Stabilitas Batang Tekan	104
2.4 Batas Kelangsingan Batang Tekan	105
2.5 Tegangan Tekuk Ijin	105
2.6 Contoh Soal.....	106
2.7 Latihan	115
C. Kegiatan Pembelajaran 2: Perencanaan Batang Rangkap.....	115
1. Kemampuan akhir	115
2. Uraian Materi	115
2.1 Profil Gabungan (Profil Tersusun).....	116
2.2 Jenis Profil Tersusun.....	116
2.3 Ketentuan Pada Profil Tersusun.....	117
2.4 Syarat / Ketentuan Profil Tersusun	119
2.5 Contoh Soal.....	120
2.6 Latihan	124
D. Daftar Pustaka	125
MODUL 6 PERENCANAAN BALOK LENTUR SATU ARAH DAN DUA ARAH....	126
A. Pendahuluan	126
B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perencanaan Balok Lentur Satu Arah dan Dua Arah 126	
1. Kemampuan akhir	126
2. Uraian Materi	126
2.1 Balok Terlentur	126
2.2 Lentur Sederhana Profil Simetris.....	127
2.3 Perilaku Balok Terkekang Lateral	127
2.4 Desain Balok Terkekang Lateral	128
2.5 Penampang Kompak	129
2.6 Penampang Tak Kompak.....	129
2.7 Contoh Soal.....	129
2.8 Latihan	133
C. Daftar Pustaka	133
MODUL 7	135
PERENCANAAN SAMBUNGAN	135
A. Pendahuluan	135

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perencanaan Sambungan Baut	135
1. Kemampuan akhir	135
2. Uraian Materi	135
2.1 Alat Sambung.....	135
2.2 Sambungan Baut	135
2.3 Baut Mutu Tinggi.....	138
2.4 Klasifikasi Sambungan	141
2.5 Transfer Beban dan Tipe Sambungan.....	142
2.6 Keruntuhan Sambungan Baut	145
2.7 Ukuran Lubang Baut.....	146
2.8 Jarak Antara dan Jarak Sisi Baut	147
2.9 Tahanan Nominal Baut	150
2.10 Tahanan Geser Baut.....	150
2.11 Tahanan Tarik Baut.....	150
2.12 Tahanan Tumpu Baut.....	151
2.13 Tahanan Nominal Baut	151
2.14 Contoh Soal.....	151
2.15 Latihan	154
C. Kegiatan Pembelajaran 2: Perencanaan Sambungan Las	154
1. Kemampuan akhir	154
2. Uraian Materi	154
2.1 Alat Sambung Las.....	154
2.2 Jenis-jenis Sambungan Las	155
2.3 Jenis-jenis Las	156
2.4 Pembatasan Ukuran Las Sudut	157
2.5 Luas Efektif Las	158
2.6 Tahanan Nominal Sambungan Las	159
2.7 Soal Latihan	160
2.8 Latihan	163
D. Daftar Pustaka	164
BIODATA PENULIS	165

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Tabel Faktor-faktor yang potensial menimbulkan keruntuhan getas.....	14
Tabel 1. 2 Tabel Tegangan Leleh Baja	21
Tabel 1. 3 Tabel Nilai Kekuatan Tegangan Baja	23
Tabel 2. 1 Tabel Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung.	44
Tabel 2. 2 Tabel Beban Hidup Pada Lantai Gedung.	44
Tabel 2. 3 Tabel Tegangan Tarik dan Tegangan leleh Baja.	46
Tabel 2. 4 Tabel Hubungan Kombinasi.	52
Tabel 2. 5 Tabel Perbedaan Metode ASD dan LRFD.	54
Tabel 2. 6 Tabel Batas Lendutan Maksimum	55
Tabel 4. 1 Tabel Faktor panjang tekuk (k).....	97
Tabel 5. 1 Kekakuan elemen balok dan kolom.....	108
Tabel 5. 2 Kekakuan elemen balok dan kolom.....	108
Tabel 5. 3 Faktor panjang tekuk “k”.	108
Tabel 7. 1 Tabel Dimensi Lubang Nominal.....	146
Tabel 7. 2 Tabel Nilai Pertambahan Jarak antara C_1 Untuk Menentukan Jarak Antara Minimum dari Lubang yang diperbesar	148
Tabel 7. 3 Tabel Jarak Sisi Minimum ^[a] ,in. (Pusat Lubang Standar ^[b] ke sisi elemen yang Disambung.	149
Tabel 7. 4 Tabel Nilai Pertambahan Jarak Sisi C_2 , in.	150
Tabel 7. 5 Tabel Ukuran Minimum Las Sudut.	158

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Gambar tipe material baja dan besi.....	1
Gambar 1. 2 Tegangan dan Regangan pada Baja A36.	3
Gambar 1. 3 Kurva Regangan dan Tegangan.	5
Gambar 1. 4 Jembatan Kereta Api di Sebuah Sungai di Amerika Serikat (awal abad ke-20)...	5
Gambar 1. 5 Jembatan Kereta Api di sebuah sungai di Amerika (tahun 1970-an)	6
Gambar 1. 6 Jembatan Baja di Sumatera.	6
Gambar 1. 7 Empire State Building Empire State Building adalah sebuah pencakar langit berlantai 102 yang terletak di Midtown Manhattan, New York City.....	7
Gambar 1. 8 Menara Eiffel (Eiffel Tower).	7
Gambar 1. 9 Burj khalifa dubai adalah sebuah gedung pencakar langit di Dubai, Uni Emirat Arab.....	8
Gambar 1. 10 Pembangunan Gudang dengan menggunakan material Baja.	8
Gambar 1. 11 Beijing National Stadium.....	9
Gambar 1. 12 Kurva Tegangan dan Regangan sampai dengan $\pm 2\%$	10
Gambar 1. 13 Gambar Arah Gilas Transversal dan Arah Ketebalan.....	15
Gambar 1. 14 Gambar Sobekan Lamelar pada Sambungan T dari las Sudut.....	15
Gambar 1. 15 Gambar Sobekan Lamelar Akibat Susut Sambungan Las.	15
Gambar 1. 16 Gambar Pengerjaan Las untuk Menghindari Sobekan Lamelar.	16
Gambar 1. 17 Gambar Spesimen Baja Uji Tarik.	18
Gambar 1. 18 Tipikal Diagram Tegangan-Regangan Baja Struktur.....	19
Gambar 1. 19 Tipikal Diagram Tegangan-Regangan Baja Getas.....	20
Gambar 1. 20 Regangan dan Tegangan Baja pada posisi Plastis dan Elastis.	22
Gambar 1. 21 Hubungan Tegangan-Regangan untuk Uji Tarik Baja.....	23
Gambar 1. 22 beberapa bentuk profil baja.	26
Gambar 1. 23 Bentuk Baja Profil Hot rolled shapes.....	27
Gambar 1. 24 Bentuk Baja Profil Cold formed shapes.....	27
Gambar 1. 25 Laju Korosi Tiang Pancang.....	31
Gambar 1. 26 Pembagian zone dan tebal korosi relatif (Kure, NC)	33
Gambar 1. 27 Kolom dan balok dilindungi beton ringan	34
Gambar 1. 28 Kolom dan balok diselubungi mortel ringan.....	34
Gambar 1. 29 Perlindungan dengan papan.	35
Gambar 1. 30 Perlindungan dengan bahan semprotan.....	35
Gambar 2. 1 Probabilitas daya tahanan dan efek beban.	41
Gambar 2. 2 Struktur portal baja gedung bertingkat.....	43
Gambar 3. 1 Distribusi Tegangan Akibat Adanya Lubang pada Penampang	61
Gambar 3. 2 Diameter nominal baut dan lubang	63
Gambar 3. 3 Efek Lubang berselang-seling Pada Luas Netto.	64
Gambar 3. 4 Lubang Baut Sejajar.....	64

Gambar 3. 5 Lubang baut berselang-seling pada profil siku.	65
Gambar 3. 6 Lubang baut berselang-seling pada profil UNP dan IWF.	66
Gambar 3. 7 Pengaruh Lobang pada Batang Tarik.	67
Gambar 3. 8 nilai x Untuk Profil Siku.	68
Gambar 3. 9 Gambar Sambungan las	68
Gambar 3. 10 Letak Eksentrisitas sambungan pada profil siku, canal, dan profil WF.	69
Gambar 4. 1 Jenis bentuk batang Tarik.	77
Gambar 4. 2 Gambar Geser Blok (Block Shear) pada penampang Baja.	80
Gambar 4. 3 Geser blok kombinasi keruntuhan antara geser dan tarik	80
Gambar 4. 4 Keruntuhan geser blok, penampang tarik netto.	80
Gambar 4. 5 Gambar Kolom yang di bebani gaya Axial dan mengalami buckling.	90
Gambar 4. 6 Gambar Profil baja untuk batang tekan.	91
Gambar 4. 7 Gambar Kurva Hubungan λ_c dan f_y batang tekan (SNI 03-1729-2002).	92
Gambar 4. 8 Gambar Profil tersusun dengan nilai m SNI 03-1729-2002.	94
Gambar 4. 9 Gambar Nomogram faktor panjang tekuk kolom portal.	95
Gambar 4. 10 Gambar Batang Tekan Profil Tersusun.	96
Gambar 4. 11 Garis lentur akibat tekuk berdasarkan jenis perletakan.	97
Gambar 4. 12 Gambar Kolom dan Balok Portal.	98
Gambar 5. 1 Gambar Struktur atap terhadap gaya tekan.	103
Gambar 5. 2 Gambar Batang Tekan Kolom Struktural Portal.	103
Gambar 5. 3 Gambar diagram $\sigma_k - \lambda$ Untuk Bj-37.	106
Gambar 5. 4 Gambar Profil Tersusun Baja Kanal dengan nilai $m = 2$	116
Gambar 5. 5 Gambar Profil Tersusun Baja I dan baja siku dengan nilai $m = 2$	116
Gambar 5. 6 Gambar Profil Tersusun Baja I dengan nilai $m = 3$ dan profil baja siku dengan nilai $m = 4$	117
Gambar 6. 1 Gambar Balok Lentur pada Baja.	126
Gambar 6. 2 Gambar Modulus Penampang dengan Berbagai Tipe Profil Simetri.	127
Gambar 6. 3 Gambar Distribusi Tegangan Pada Level Beban yang Berbeda.	127
Gambar 6. 4 Gambar Tegangan-Regangan Material Baja.	128
Gambar 7. 1 Gambar Sambungan Sendi Balok- Kolom.	140
Gambar 7. 2 Gambar Tipe Baut.	140
Gambar 7. 3 Gambar Sambungan Kaku.	141
Gambar 7. 4 Gambar Sambungan Semi Kaku.	142
Gambar 7. 5 Sambungan Sendi.	142
Gambar 7. 6 Sambungan Lap dan Butt.	143
Gambar 7. 7 (a) Sambungan Penggantung. (b) Baut Menerima Geser Lebih dari Dua Bidang	144
Gambar 7. 8 Gambar Keruntuhan Geser Tunggal Dalam Baut.	145
Gambar 7. 9 Gambar Keruntuhan Tarik Dalam Pelat.	145
Gambar 7. 10 Gambar Keruntuhan Pelat.	145

Gambar 7. 11 Gambar Keruntuhan Geser Pelat Dibelakang Baut.....	146
Gambar 7. 12 Gambar Keruntuhan Geser Ganda dari Sambungan Baut	146
Gambar 7. 13 Gambar Notasi Dalam Sambungan Baut.	147
Gambar 7. 14 Gambar Detail jarak sambungan.....	151
Gambar 7. 15 Gambar sambungan sebidang (butt joint).	155
Gambar 7. 16 Gambar sambungan lewatan (lap joint).	155
Gambar 7. 17 Gambar sambungan tegak (tee joint).	155
Gambar 7. 18 Gambar sambungan sudut (corner joint).....	156
Gambar 7. 19 Gambar sambungan sisi (edge joint).....	156
Gambar 7. 20 Gambar las tumpul (groove welds).....	156
Gambar 7. 21 Gambar las sudut (fillet welds).	157
Gambar 7. 22 Gambar las baji dan pasak (slot and plug wels).....	157
Gambar 7. 23 Gambar Ukuran Las Sudut.....	157
Gambar 7. 24 Gambar Ukuran Maksimum Las.	158
Gambar 7. 25 Gambar Tebal Efektif Las Tumpul	159
Gambar 7. 26 Gambar Tebal Efektif Las Sudut	159

PETUNJUK PENGGUNAAN BUKU MATERI PEMBELAJARAN

Buku Materi Pembelajaran ini akan membantu dan memudahkan para mahasiswa untuk memahami dan menganalisis baja, serta memampukan mereka untuk menjawab permasalahan baja dan perencanaannya yang sedang berlangsung pada saat ini, dan menolong agar mereka mampu memberikan pemahaman desain struktur baja saat mereka terjun kedalam duni pekerjaan.

Buku ini terdiri dari tujuh modul di mana para mahasiswa dapat mempelajari modul ini dengan cara yang berurutan. Setiap mahasiswa diharapkan dapat menguasai dan mengembangkan setiap materi dalam setiap modul, dan kemudian mewujudkannya dalam bentuk kegiatan pengabdian kepada masyarakat.

Setelah mempelajari setiap modul dalam buku ini. Setiap kegiatan belajar disertai dengan tes kompetensi sebagai alat ukur untuk mengetahui tingkat penguasaan para mahasiswa akan materi dalam setiap modul. Modul-modul ini perlu dicermati dan dipelajari dengan seksama agar mahasiswa dapat memahami secara mendalam mengenai tahapan-tahapan desain dan perencanaan beton bertulang pada balok dan pelat.

CAPAIAN PEMBELAJARAN LULUSAN: SIKAP, PENGETAHUAN, KETERAMPILAN UMUM, DAN KETERAMPILAN KHUSUS

Capaian pembelajaran lulusan yang dibebankan pada mata kuliah Struktur Beton 1 adalah:

Sikap:

- S6: Menghargai keanekaragaman budaya, **pandangan**, agama, dan kepercayaan, serta **pendapat** atau **temuan orisinal** orang lain.
- S7: **Bekerja sama** dan memiliki kepekaan sosial serta kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan
- S8: Menginternalisasi nilai, norma, dan **etika akademik**
- S9: Menunjukkan **sikap bertanggungjawab** atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri.
- S10: Memiliki tata nilai UKI: Rendah Hati, Berbagi dan Peduli, Profesional, Bertanggung Jawab, Disiplin, Berintegritas.

Keterampilan Umum:

- KU7: Mampu menerapkan pemikiran *logis, kritis, sistematis*, dan *inovatif* dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang sesuai dengan bidang keahliannya;
- KU8: Mampu menunjukkan *kinerja mandiri, bermutu*, dan *terukur*;
- KU9: Mampu *mengambil keputusan secara tepat* dalam konteks penyelesaian masalah di bidang keahliannya, berdasarkan hasil *analisis informasi* dan data;
- KU10: Mampu melakukan proses *evaluasi diri* terhadap kelompok kerja yang berada dibawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri;
- KU11: Mampu memelihara dan mengembangkan jaringan kerja dengan pembimbing, kolega, sejawat baik di dalam maupun di luar lembaganya.
- KU12: Mampu melakukan proses evaluasi diri terhadap kelompok kerja yang berada di bawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri.

Keterampilan Khusus:

- KK7: Mampu menerapkan prinsip-prinsip matematika dan sains alam, serta prinsip rekayasa (*engineering principles*) untuk menyelesaikan masalah rekayasa kompleks (*complex engineering problem*) bidang teknik sipil.
- KK8: Mampu menemukan sumber masalah rekayasa melalui proses penyelidikan, analisis, interpretasi data dan informasi berdasarkan prinsip-prinsip rekayasa teknik sipil.
- KK9: Mampu melakukan riset yang mencakup identifikasi, formulasi dan analisis masalah rekayasa teknik sipil.
- KK10: Mampu merumuskan alternatif solusi untuk menyelesaikan masalah rekayasa kompleks bidang teknik sipil dengan memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan.

- KK11: Mampu merancang sistem, proses, dan komponen bidang teknik sipil dengan pendekatan analitis dan mempertimbangkan standar teknis, aspek kinerja, keandalan, kemudahan penerapan, keberlanjutan, serta memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan.
- KK12: Mampu memilih sumberdaya dan memanfaatkan perangkat perancangan dan analisis rekayasa berbasis teknologi informasi dan komputasi yang sesuai untuk melakukan aktivitas rekayasa teknik sipil.

Pengetahuan:

- P3: Menguasai prinsip dan teknik perancangan sistem, proses, atau komponen.
- P3: Menguasai prinsip dan issue terkini dalam ekonomi, sosial, ekologi secara umum.
- P3: Menguasai pengetahuan tentang teknik komunikasi dan perkembangan teknologi terbaru dan terkini.
- P5: Menguasai konsep teoretis sains alam, aplikasi matematika rekayasa; prinsip-prinsip rekayasa (*engineering fundamentals*), sains rekayasa dan perancangan rekayasa yang diperlukan untuk analisis dan perancangan sistem, proses, produk atau komponen.
- P5: Menguasai prinsip-prinsip peraturan, norma, standar, pedoman dan manual baik secara nasional dan/atau internasional yang berlaku pada bidang teknik sipil.



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER

MATA KULIAH	KODE	Rumpun MK	BOBOT (sks)	SEMESTER	Tgl Penyusunan
Struktur Baja I	53014128	Ilmu Rekayasa Konstruksi	2	V	16 Mei 2020
	Pengembang RPS		Koordinator RMK		Ka. PRODI
	Sudarno P. Tampubolon, S.T.,M.Sc		Sudarno P. Tampubolon, S.T.,M.Sc		Ir. Risma M. Simanjuntak, M.Eng
Capaian Pembelajaran (CP)	CPL				
		<p>Sikap Menghargai keanekaragaman budaya, pandangan, agama, dan kepercayaan, serta pendapat atau temuan orisinal orang lain Bekerja sama dan memiliki kepekaan sosial serta kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan Menginternalisasi nilai, norma, dan etika akademik Menunjukkan sikap bertanggungjawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri. Memiliki tata nilai UKI: Rendah Hati, Berbagi dan Peduli, Profesional, Bertanggung Jawab, Disiplin, Berintegritas.</p> <p>Keterampilan Umum</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menerapkan pemikiran <i>logis, kritis, sistematis</i>, dan <i>inovatif</i> dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang sesuai dengan bidang keahliannya; 			

		<ol style="list-style-type: none"> 2. Mampu menunjukkan <i>kinerja mandiri, bermutu, dan terukur</i>; 3. Mampu <i>mengambil keputusan secara tepat</i> dalam konteks penyelesaian masalah di bidang keahliannya, berdasarkan hasil <i>analisis informasi</i> dan data; 4. Mampu melakukan proses <i>evaluasi diri</i> terhadap kelompok kerja yang berada dibawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri; 5. Mampu memelihara dan mengembangkan jaringan kerja dengan pembimbing, kolega, sejawat baik di dalam maupun di luar lembaganya. 6. Mampu melakukan proses evaluasi diri terhadap kelompok kerja yang berada di bawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri. <p>Keterampilan Khusus</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menerapkan prinsip-prinsip matematika dan sains alam, serta prinsip rekayasa (<i>engineering principles</i>) untuk menyelesaikan masalah rekayasa kompleks (<i>complex engineering problem</i>) bidang teknik sipil. 2. Mampu menemukan sumber masalah rekayasa melalui proses penyelidikan, analisis, interpretasi data dan informasi berdasarkan prinsip-prinsip rekayasa teknik sipil. 3. Mampu melakukan riset yang mencakup identifikasi, formulasi dan analisis masalah rekayasa teknik sipil. 4. Mampu merumuskan alternatif solusi untuk menyelesaikan masalah rekayasa kompleks bidang teknik sipil dengan memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan. 5. Mampu merancang sistem, proses, dan komponen bidang teknik sipil dengan pendekatan analitis dan mempertimbangkan standar teknis, aspek kinerja, keandalan, kemudahan penerapan, keberlanjutan, serta memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan. 6. Mampu memilih sumberdaya dan memanfaatkan perangkat perancangan dan analisis rekayasa berbasis teknologi informasi dan komputasi yang sesuai untuk melakukan aktivitas rekayasa teknik sipil. <p>Pengetahuan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Menguasai konsep teoretis sains alam, aplikasi matematika rekayasa; prinsip-prinsip
--	--	--

		<p>rekayasa (<i>engineering fundamentals</i>), sains rekayasa dan perancangan rekayasa yang diperlukan untuk analisis dan perancangan sistem, proses, produk atau komponen</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. Menguasai prinsip dan teknik perancangan sistem, proses, atau komponen. 3. Menguasai prinsip dan issue terkini dalam ekonomi, sosial, ekologi secara umum. 4. Menguasai pengetahuan tentang teknik komunikasi dan perkembangan teknologi terbaru dan terkini. 5. Menguasai prinsip-prinsip peraturan, norma, standar, pedoman dan manual baik secara nasional dan/atau internasional yang berlaku pada bidang teknik sipil.
CPMK		
		<p>Sikap:</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Menghargai keanekaragaman budaya, pandangan, agama, dan kepercayaan, serta pendapat atau temuan orisinal orang lain b. Bekerja sama dan memiliki kepekaan sosial serta kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan c. Menginternalisasi nilai, norma, dan etika akademik d. Menunjukkan sikap bertanggungjawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri. e. Memiliki tata nilai UKI: Rendah Hati, Berbagi dan Peduli, Profesional, Bertanggung Jawab, Disiplin, Berintegritas. <p>Keterampilan Umum</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Mampu menerapkan pemikiran <i>logis, kritis, sistematis</i>, dan <i>inovatif</i> dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang sesuai dengan bidang keahliannya; b. Mampu menunjukkan <i>kinerja mandiri, bermutu</i>, dan <i>terukur</i>; c. Mampu <i>mengambil keputusan secara tepat</i> dalam konteks penyelesaian masalah di bidang keahliannya, berdasarkan hasil <i>analisis informasi</i> dan data; d. Mampu melakukan proses <i>evaluasi diri</i> terhadap kelompok kerja yang berada dibawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri; e. Mampu memelihara dan mengembangkan jaringan kerja dengan pembimbing, kolega, sejawat baik di dalam maupun di luar lembaganya.

		<p>f. Mampu melakukan proses evaluasi diri terhadap kelompok kerja yang berada di bawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri.</p> <p>Keterampilan Khusus</p> <ol style="list-style-type: none"> a. Mampu menerapkan prinsip-prinsip matematika serta prinsip rekayasa (<i>engineering principles</i>) untuk menyelesaikan masalah dalam perencanaan struktur beton. b. Mampu menemukan sumber masalah dalam perencanaan baja melalui proses penyelidikan, analisis, interpretasi data dan informasi berdasarkan prinsip-prinsip rekayasa teknik sipil/ SNI. c. Mampu melakukan riset yang mencakup identifikasi, formulasi dan analisis masalah dalam perencanaan struktur baja. d. Mampu merumuskan alternatif solusi untuk menyelesaikan masalah perencanaan struktur baja dengan memperhatikan faktor-faktor ekonomi, keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan. e. Mampu merencanakan struktur beton bertulang dengan pendekatan analitis dan mempertimbangkan standar teknis, aspek kinerja, keandalan, kemudahan penerapan, keberlanjutan, serta memperhatikan faktor-faktor ekonomi, keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan. f. Mampu memilih sumberdaya dan memanfaatkan perangkat/ software SAP 2000 dalam analisis perencanaan struktur baja pada balok dan kolom. <p>Pengetahuan</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Memahami tentang unsur penyusun baja (sifat dan perilaku baja, diagram tegangan dan regangan baja, mutu baja, profil baja, dan kekuatan ijin). 2. Memahami dasar-dasar perhitungan perhitungan konstruksi baja seperti balok menerus, kolom, pelat tumpuan dan kuda-kuda berdasarkan peraturan-peraturan yang harus diikuti dalam perencanaan struktur baja (SNI). 3. Memahami tentang konsep Memahami tentang konsep desain ASD dan LRFD, pembebanan dan kombinasi beban menurut SNI. 4. Memahami perhitungan/ anallisa batang tarik, tekan, perencanaan batang tunggal, rangkap, balok lentur dengan SAP 2000, sesuai dengan peraturan SNI. 5. Memahami tentang konsep dan perencanaan sambungan yang baik dan benar dengan
--	--	---

		menggunakan sambungan baut, paku.
Deskripsi Singkat MK	Pada mata kuliah ini mahasiswa belajar tentang karakteristik baja, sifat baja, profil baja, tegangan dan regangan yang nantinya digunakan dalam dasar perencanaan pembebanan (DL, LL, WL) sesuai dengan konsep ASD dan LRFD untuk perencanaan batang tarik, tekan, perencanaan batang tunggal, rangkap, dan perencanaan sambungan baut dan paku sesuai dengan SNI.	
Bahan Kajian	<ol style="list-style-type: none"> 1. Unsur penyusun baja, untung rugi penggunaan struktur baja, dan profil baja. 2. Dasar-dasar perhitungan konstruksi baja pada balok menerus, kolom, pelat tumpuan dan kuda-kuda berdasarkan peraturan-peraturan yang harus diikuti dalam perencanaan struktur baja. 3. Konsep desain ASD dan LRFD, pembebanan dan kombinasi beban menurut SNI. 4. Perencanaan batang tarik, batang tekan, batang tunggal, rangkap, dan perencanaan balok lentur dengan SAP 2000 sesuai dengan SNI 5. Konsep dan perencanaan sambungan yang baik dan benar dengan menggunakan sambungan baut dan paku. 	
Pustaka	Utama:	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’. 2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”. 3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’. 4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’. 5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’. 6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’ 7. AISE “Manual of Steel Construction” 8. SNI Baja, ‘2002’ 9. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’ 	
	Pendukung:	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. PPIUG, DPMB 2. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II” 	
Media Pembelajaran	Perangkat lunak:	Perangkat keras:
	<ul style="list-style-type: none"> - MS Windows. - MS Office Power Point. - Internet Explorer /Firefox/Chrome. - Microsoft Teams. - Google Classroom. 	<ul style="list-style-type: none"> - Laptop. - Spidol board marker. - Whiteboard. - LCD.

		- SAP 2000						
Team Teaching		SUDARNO P. TAMPUBOLON, S.T.,M.Sc						
Matakuliah syarat		Analisis Struktur						
Mg Ke-	Sub-CP-MK (Kemampuan Akhir yang Direncanakan)	Bahan Kajian (Materi Pembelajaran)	Bentuk dan Metode Pembelajaran (Media & Sumber Belajar)	Estimasi Waktu	Pengalaman Belajar Mahasiswa	Penilaian		
						Kriteria & Bentuk	Indikator	Bobot
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1-2	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa mengetahui materi kuliah yang akan di ikuti dalam satu semester. • Mahasiswa mampu mendefinisikan tentang bahan dasar penyusun baja, proses pembuatan, dan sifat baja. • Mampu memahami karakteristik/perilaku baja sebagai bahan struktur. • Mampu mengetahui 	<ul style="list-style-type: none"> • RPS • Teori pembuatan baja dan macam-macamnya. • Teori sifat-sifat baja. • Hubungan tegangan-regangan tarik baja. • Pembagian Tugas Besar dan penjelasan pengerjaan Tugas Besar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Direct learning (ceramah dan tanya jawab). • Cooperative learning (diskusi kelompok) 	TM: 2x(2x50) PT: 2x(2x60) BM: 2x(2x60)	<ul style="list-style-type: none"> • Memperhatikan dan menyimak. • Diskusi & persentasi (1) • Menyimak penjelasan pengerjaan Tugas besar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian untuk ujian tertulis/ lisan. • Rubrik penilaian diskusi/ persentasi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian ujian tertulis/ lisan. • Indikator dalam rubrik penilaian ujian diskusi/ persentasi. 	5%

	berbagai tipe struktur baja.							
3-4	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa memahami metode perancangan struktur baja dan kombinasi pembebanan dalam perencanaan struktur baja. • Mahasiswa mengetahui beban-beban yang bekerja pada perencanaan struktur baja sesuai dengan SNI. • Mahasiswa mengetahui perhitungan dan teori luas efektif penampang. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengenalan berbagai metode perancangan/ desain struktur baja (ASD dan LRFD). • Perhitungan luas efektif penampang. • Tugas Besar survey bangunan lantai 2 dengan struktur menggunakan material baja. 	<ul style="list-style-type: none"> - Google Classroom/ Microsoft Teams. - Direct learning (ceramah dan tanya jawab). - Asistensi tugas Besar. 	<p>TM: 2x(2x50)</p> <p>PT: 2x(2x60)</p> <p>BM: 2x(2x60)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menyimak dan menjawab pertanyaan. • Mengerjakan dan membahas soal-soal. • Pengenalan SAP 2000. • Tugas besar upload di google classroom. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian untuk ujian tertulis/ lisan. • Rubrik penilaian tugas besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian ujian tertulis/ lisan. • Indikator dalam rubrik penilaian tugas besar. 	5%
5-7	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa mengetahui perencanaan batang tarik dan tekan sesuai dengan 	<ul style="list-style-type: none"> • Perhitungan dan teori luas efektif • Perhitungan batang tarik dan batang tekan • Hukum Euler dan 	<ul style="list-style-type: none"> - Direct learning (ceramah dan tanya jawab). - Cooperative 	<p>TM: 3x(2x50)</p> <p>PT: 3x(2x60)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menyimak dan menjawab pertanyaan. • Mengerjakan dan 	<ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian untuk ujian tertulis/ lisan. • Rubrik 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian ujian tertulis/ lisan. • Indikator dalam penilaian diskusi/ persentasi. 	10%

	<p>peraturan yang di gunakan (SNI)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa dapat menjelaskan tentang kelangsingan batang. 	<p>aplikasi .pada baja</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tugas Besar gambar detail survey/ gambar profil baja, kolom, pelat, pondasi, dan pola sambungan dari hasil survey dan desain pembebanan (DL, LL, WL). 	<p>learning (diskusi kelompok).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Asistensi tugas. 	<p>BM: 3x(2x60)</p>	<p>mema-has soal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tugas besar upload di googleclass room. • Diskusi dan persentasi (2). 	<p>penilaian diskusi/ persentasi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian tugas besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian tugas besar. 	
8	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiwa mampu menjawab ujian dengan materi dan praktikum perkuliahan 1-7 	<p>Ujian Tengah Semester (UTS)</p>	<p>Ujian Formatif</p>	<p>100</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menjawab pertanyaan tertulis. 	<p>Kriteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan, penguasaan materi dan menjawab soal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Kebenaran jawaban • Ketepatan hitungan dan analisis 	<p>30%</p>
9-10	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa mengetahui tipe/ jenis batang tunggal dan rangkap dalam perencanaan strukt baja. • Mahasiswa dapat merencanakan batang tekan tunggal dan batang tekan 	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis/ tipe batang tunggal dan rangkap • Perencanaan batang tunggal • Perencanaan batang rangkap • Tugas besar Desain Pembebanan Dengan menggunakan konsep <i>Load Resistance Factor</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Direct learning (ceramah dan tanya jawab). - Cooperative learning (diskusi kelompok). - Asistensi tugas. 	<p>TM: 2x(2x50)</p> <p>PT: 2x(2x60)</p> <p>BM: 2x(2x60)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menyimak dan menjawab pertanyaan. • Mengerjaka n dan memba-has soal. • Diskusi/ persentasi (3). • Upload 	<ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian untuk ujian tertulis/ lisan. • Rubrik penilaian diskusi/ persentasi. • Rubrik penilaian tugas besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian ujian tertulis/ lisan. • Indikator dalam penilaian diskusi/ persentasi. • Indikator dalam rubrik penilaian tugas besar. 	<p>5%</p>

	rangkap terhadap gaya axial dan lentur.	<i>Design (LRFD).</i>			tugas besar di google classroom.			
11-12	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa dapat merencanakan balok lentur satu arah dan dua arah pada pembebanan aksial, momen, dan geser serta kombinasinya. 	<ul style="list-style-type: none"> • Perencanaan balok lentur satu arah. • Perencanaan balok lentur dua arah. • Tugas Besar Analisis Struktur dengan cross dan SAP 2000 	<ul style="list-style-type: none"> - Google Classroom/ Microsoft Teams. - Direct learning (ceramah dan tanya jawab). - Asistensi tugas. 	<p>TM: 2x(2x50)</p> <p>PT: 2x(2x60)</p> <p>BM: 2x(2x60)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menyimak dan menjawab pertanyaan. • Mengerjakan dan membahas soal. • Simulasi struktur SAP 2000. • Tugas besar upload di google classroom. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian untuk ujian tertulis/ lisan. • Rubrik penilaian tugas besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian ujian tertulis/ lisan. • Indikator dalam rubrik penilaian tugas besar. 	5%
13-15	<ul style="list-style-type: none"> • Mahasiswa mengetahui jenis-jenis sambungan. • Mahasiswa mengetahui tipe dan perilaku sambungan pada balok-kolom. • Mahasiswa dapat 	<ul style="list-style-type: none"> • Jenis-jenis sambungan dan perilaku sambungan. • Perencanaan sambungan baut dan paku • Tugas Besar desain perhitungan balok-kolom dan sambungan 	<ul style="list-style-type: none"> - Presentasi. - Latihan soal. - Cooperative learning (diskusi kelompok). - Asistensi tugas 	<p>TM: 3x(2x50)</p> <p>PT: 3x(2x60)</p> <p>BM: 3x(2x60)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menyimak dan menjawab pertanyaan. • Mengerjakan dan membahas soal • Diskusi/ persentasi (4). • Tugas besar upload di 	<ul style="list-style-type: none"> • Rubrik penilaian untuk ujian tertulis/ lisan. • Rubrik penilaian diskusi/ persentasi. • Rubrik penilaian tugas besar 	<ul style="list-style-type: none"> • Indikator dalam rubrik penilaian ujian tertulis/ lisan. • Indikator dalam penilaian diskusi/ persentasi. • Indikator dalam rubrik penilaian tugas besar. 	10%

	merencanakan sambungan terhadap momen dan geser dengan menggunakan baut dan paku.				google classroom.			
16	<ul style="list-style-type: none"> Mahasiswa mampu menjawab ujian dengan materi dan praktikum perkuliahan 9-15 	Ujian Akhir Semester (UAS)	Ujian Formatif	100	<ul style="list-style-type: none"> Menjawab pertanyaan tertulis. 	<ul style="list-style-type: none"> Ketepatan, penguasaan materi dan menjawab soal. 	<ul style="list-style-type: none"> Kebenaran jawaban Ketepatan hitungan dan analisis 	30%

KRITERIA PENILAIAN

A. Rubrik Penilaian Diskusi & Presentasi

Aspek/Dimensi yang Dinilai	Kurang	Cukup	Baik	Baik sekali
	≤ 49	(50 – 64)	(65 – 79)	>80
- Kerjasama Kelompok (30%)	- Pasif	- Memberikan masukan namun tdk benar.	- Memberikan masukan yang benar.	- Memberikan masukan yang benar namun lebih inovatif.
- Kemampuan melakukan presentasi dan pembuatan slide persentase(30%)	- Tdk dapat melakukan presentasi	- Melakukan presentasi namun tidak sesuai topik.	- Melakukan presentasi sesuai topik namun tdk	- Melakukan presentasi sesuai topik dan tepat

			tepat sasaran.	sasaran.
- Kemampuan menjawab pertanyaan, penguasaan materi, dan kesesuaian dengan topik (40%)	- Tidak dapat menjawab pertanyaan. - Bahasan tidak sesuai topik.	- Menjawab namun salah. - Bahasan kurang sesuai topik.	- Menjawab namun kurang tepat - Bahasan sesuai topik namun kurang tajam.	- Menjawab dengan tepat. - Bahasan sesuai topik dan sangat tajam.

B. Rubrik Penilaian Tugas Besar

Aspek/Dimensi yang Dinilai	Kurang	Cukup	Baik	Baik sekali
	≤ 49	(50 – 64)	(65 – 79)	>80
Pemahaman dan konsep penyelesaian tugas besar (10%)	Tidak paham	Kurang paham	Paham	Paham sekali
Banyaknya asistensi tugas besar (20%)	<3 kali	4-6 kali	7-11	>12
Kemampuan mendesain dan menyelesaikan soal dalam tugas besar dengan kombinasi analisa SAP 2000. (30%)	Tidak menjawab	Menjawab tapi tidak tepat	Menjawab tapi Kurang tepat	Menjawab dengan tepat
Kerapian dalam format penulisan tugas besar (10%)	Kurang rapi	Cukup rapi	Rapi	Sangat rapi
Kelengkapan laporan (30)	Mengerjakan hanya 1 dari 4 topik bahasan	Mengerjakan hanya 2 dari 4 topik bahasan	Mengerjakan hanya 3 dari 4 topik bahasan	Mengerjakan seluruh 4 topik bahasan

C. Rubrik Penilaian Quiz /Ujian Tertulis/Lisan

Aspek/Dimensi yang Dinilai	Kurang	Cukup	Baik	Baik sekali
	≤ 49	(50 – 64)	(65 – 79)	>80

Kebenaran jawaban (50%)	Tdk menjawab atau menjawab tapi tdk benar	Menjawab tapi kurang benar dan tdk logis	Menjawab kurang benar namun logis	Menjawab dengan benar sesuai dengan konsep pengajaran.
Ketepatan hitungan dan analisis (50%)	Hitungan dan analisis salah	Hitungan hampir benar, analisis salah	Hitungan benar, analisis salah	Hitungan dan analisis benar

Catatan: Nilai akhir berdasarkan bobot soal

1. NORMA AKADEMIK YANG HARUS DIPATUHI

- a. Pelaksanaan perkuliahan minimal 80% jumlah tatap muka .
- b. Presensi mahasiswa minimal 75% tatap muka
- c. Berpakaian rapi dan tidak menggunakan sandal jepit dalam perkuliahan.
- d. Keterlambatan maksimal 15 menit.
- e. Memberitahukan jikalau tidak bisa menghadiri perkuliahan (disertai surat dokter bila sakit, disertai surat ijin dari orang tua/wali/pemberi tugas, bagi yang tidak masuk karena ijin).
- f. Tidak melakukan kegiatan mencontek dan plagiasi.
- g. Membawa buku ajar saat perkuliahan dan mempelajari modul yang sudah di upload di Google Classroom/ Microsoft Teams.
- h. Silent telepon genggam dan menjaga tata tertib selama perkuliahan berlangsung.

A. DAFTAR REFERENSI

1. J. Thambah sembiring Gurki “Beton Bertulang”: ‘2010’
2. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’.
3. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
4. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
5. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
6. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
7. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
8. AISE “Manual of Steel Construction”
9. SNI Baja, ‘2002’
10. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’
11. PPIUG, DPMB
12. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

ATURAN PERKULIAHAN DAN EVALUASI

Aturan Perkuliahan

A. Kehadiran

1. Jumlah kehadiran dalam pertemuan tatap muka dan online minimal 75% dari 16 kali pertemuan.
2. Kriteria ketidakhadiran mahasiswa/i adalah: S (sakit) ditandai dengan surat keterangan dokter, I (Ijin) ditandai dengan surat ijin resmi, dan A (Alpa), maksimal 4x pertemuan kelas (baik tatap muka maupun online).
3. Toleransi keterlambatan perkuliahan (dosen + mahasiswa/i) setiap pertemuan tatap muka dan online adalah 15 menit. Jika setelah 15 menit dosen + mahasiswa/i tidak hadir, maka perkuliahan dibatalkan (kecuali ada persetujuan atau ada masalah tertentu).

B. Perkuliahan

1. Tidak diperkenankan meninggalkan kelas selama perkuliahan tanpa ijin dosen.
2. Mahasiswa memakai busana yang sopan.
3. Tidak melakukan tindakan plagiarisme.

Kejahatan akademik: plagiarisme Menurut Peraturan Menteri Pendidikan RI Nomor 17 Tahun 2010:

“Plagiat adalah perbuatan **sengaja** atau **tidak sengaja** dalam memperoleh atau mencoba memperoleh kredit atau nilai untuk suatu karya ilmiah, dengan mengutip sebagian atau seluruh karya dan atau karya ilmiah pihak lain yang diakui sebagai karya ilmiahnya, tanpa menyatakan sumber secara tepat dan memadai.” (Permendiknas No 17 Tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi).

Sanksi sesuai Permendiknas No 17 Tahun 2010 Pasal 12:

1. teguran;
2. peringatan tertulis;
3. penundaan pemberian sebagian hak mahasiswa;
4. pembatalan nilai satu atau beberapa mata kuliah yang diperoleh mahasiswa;
5. pemberhentian dengan hormat dari status sebagai mahasiswa;
6. pemberhentian tidak dengan hormat dari status sebagai mahasiswa; atau

C. Kriteria Penilaian

D. Rubrik Penilaian Diskusi & Presentasi

Aspek/Dimensi yang Dinilai	Kurang	Cukup	Baik	Baik sekali
	≤ 49	(50 – 64)	(65 – 79)	>80
- Kerjasama Kelompok (30%)	- Pasif	- Memberikan masukan namun tdk benar.	- Memberikan masukan yang benar.	- Memberikan masukan yang benar namun lebih

				inovatif.
- Kemampuan melakukan presentasi dan pembuatan slide persentase(30%)	- Tdk dapat melakukan presentasi	- Melakukan presentasi namun tidak sesuai topik.	- Melakukan presentasi sesuai topik namun tdk tepat sasaran.	- Melakukan presentasi sesuai topik dan tepat sasaran.
- Kemampuan menjawab pertanyaan, penguasaan materi, dan kesesuaian dengan topik (40%)	- Tidak dapat menjawab pertanyaan. - Bahasan tidak sesuai topik.	- Menjawab namun salah. - Bahasan kurang sesuai topik.	- Menjawab namun kurang tepat - Bahasan sesuai topik namun kurang tajam.	- Menjawab dengan tepat. - Bahasan sesuai topik dan sangat tajam.

E. Rubrik Penilaian Tugas Besar

Aspek/Dimensi yang Dinilai	Kurang	Cukup	Baik	Baik sekali
	≤ 49	(50 – 64)	(65 – 79)	>80
Pemahaman dan konsep penyelesaian tugas besar (10%)	Tidak paham	Kurang paham	Paham	Paham sekali
Banyaknya asistensi tugas besar (20%)	<3 kali	4-6 kali	7-11	>12
Kemampuan mendesain dan menyelesaikan soal dalam tugas besar dengan kombinasi analisa SAP 2000. (30%)	Tidak menjawab	Menjawab tapi tidak tepat	Menjawab tapi Kurang tepat	Menjawab dengan tepat
Kerapian dalam format penulisan tugas besar (10%)	Kurang rapi	Cukup rapi	Rapi	Sangat rapi
Kelengkapan laporan (30)	Mengerjakan hanya 1 dari 4 topik bahasan	Mengerjakan hanya 2 dari 4 topik bahasan	Mengerjakan hanya 3 dari 4 topik bahasan	Mengerjakan seluruh 4 topik bahasan

F. Rubrik Penilaian Quiz /Ujian Tertulis/Lisan

Aspek/Dimensi yang Dinilai	Kurang	Cukup	Baik	Baik sekali
	≤ 49	(50 – 64)	(65 – 79)	>80
Kebenaran jawaban (50%)	Tdk menjawab atau menjawab tapi tdk benar	Menjawab tapi kurang benar dan tdk logis	Menjawab kurang benar namun logis	Menjawab dengan benar sesuai dengan konsep pengajaran.

Ketepatan hitungan dan analisis (50%)	Hitungan dan analisis salah	Hitungan hampir benar, analisis salah	Hitungan benar, analisis salah	Hitungan dan analisis benar
---------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------

Catatan: Nilai akhir berdasarkan bobot soal

Nilai Huruf	Nilai Angka	Nilai Mutu
A	85 – 100	4,0
A -	80 – 84,9	3,7
B+	75 – 79,9	3,3
B	70-74,9	3,0
B-	65 – 69,9	2,7
C+	60 – 64,9	2,3
C	55 – 59,9	2,0
D	50 < 54,9	1,0
E	< 50	0

MODUL 1

TEORI PEMBUATAN DAN KLASIFIKASI BAJA, SIFAT DAN BENTUK PROFIL, DAN PEMELIHARAAN BAJA

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran teori pembuatan dan klasifikasi baja, sifat dan bentuk profil, dan pemeliharaan baja dibahas tentang klasifikasi baja menurut komposisi kimianya, klasifikasi, sifat dari baja, bentuk profil baja yang digunakan dalam struktur, dan pemeliharaan baja. Dalam perencanaan struktur sangatlah diperlukan sifat, klasifikasi, dan bentuk profil baja yang digunakan, karena hal ini sangat mempengaruhi perencanaan struktur yang akan direncanakan.

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Teori Pembuatan dan Klasifikasi Baja

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari teori pembuatan dan klasifikasi baja adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan teori dan klasifikasi baja sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan teori pembuatan baja dan klasifikasi baja yang digunakan dalam pembangunan struktur.

2.1 Material Baja Sebagai Bahan Struktur

Baja adalah logam campuran yang terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C). Besi dan Baja merupakan material yang berbeda akan tetapi besi dan baja mempunyai kandungan unsur utama yang sama yaitu Fe, hanya kadar karbonlah yang membedakan besi dan baja.



Besi Ulir



Besi Polos



Baja WF



Baja Kanal

Gambar 1. 1 Gambar tipe material baja dan besi.

Berikut ini disajikan klasifikasi baja menurut komposisi kimianya:

2.2 Klasifikasi Baja Berdasarkan Komposisi Bahan Kimia

Sifat baja dapat berubah drastis dengan mengubah kadar karbon dan menambah elemen lain seperti silikon, nikel, mangan, dan tembaga. Kadar karbon biasanya sangat rendah yaitu sekitar 0,2-0,3% berdasarkan berat dan tidak lebih dari 0,5%. Sifat kimiawi dari baja sangat penting karena berpengaruh pada kemudahan untuk dilas, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap keruntuhan getas, dll. *American Standard for Testing Material* (ASTM) telah mensyaratkan persentase maksimum dari karbon, mangan, silikon, dll, yang diijinkan untuk baja struktur. Meskipun sifat fisik dan mekanik dari baja banyak ditentukan oleh komposisi kimia, sifat baja juga dipengaruhi oleh proses pembuatan dan riwayat pembebanan serta proses pemanasan. Di Amerika Serikat sebelum tahun 1995, banyak digunakan baja karbon dengan notasi A36 dan mempunyai tegangan leleh 36 ksi (248 MPa). Tetapi setelah tahun 1995, baja dengan tegangan leleh 50 ksi (345 MPa) telah dapat diproduksi dengan harga yang hampir sama dengan baja A36.

Baja bertegangan leleh 50 ksi (345 MPa) ini dihasilkan dari peleburan kembali baja mobil tua dengan proses *electric furnace*. Sekarang ini banyak permintaan dari pihak perencana dan pelaksana konstruksi untuk baja yang lebih kuat, lebih tahan korosi, lebih mudah untuk dilas, dll. Penelitian oleh industri baja telah menghasilkan baja yang dapat memenuhi permintaan tersebut. Baja struktur dikelompokkan dalam: baja karbon multi-fungsi (A36), baja karbon struktur (A529), baja karbon kekuatan tinggi dengan bahan tambahan rendah (A572), baja struktur tahan korosi kekuatan tinggi dengan bahan tambahan rendah (A242 dan A588), dan pelat baja dengan pendinginan dan penempaan (A514 dan A852).

Berdasarkan komposisi bahan kimia yang dikandung, berikut ini disajikan klasifikasi baja menurut komposisi kimianya diantaranya:

A. Baja Karbon (*Carbon Steel*)

adalah baja yang terdiri dari elemen-elemen yang presentase maksimum selain bajanya sebagai berikut:

- **1.7 % carbon**
- **1.65% Manganese**
- **0.60% Silicon**
- **0.60% Copper**

Carbon dan manganese adalah bahan pokok untuk meninggikan tegangan (strength) dari baja murni. **Baja karbon (*Carbon Steel*)** dapat diklasifikasikan menjadi 4 kategori (berdasarkan karbon yang di kandung):

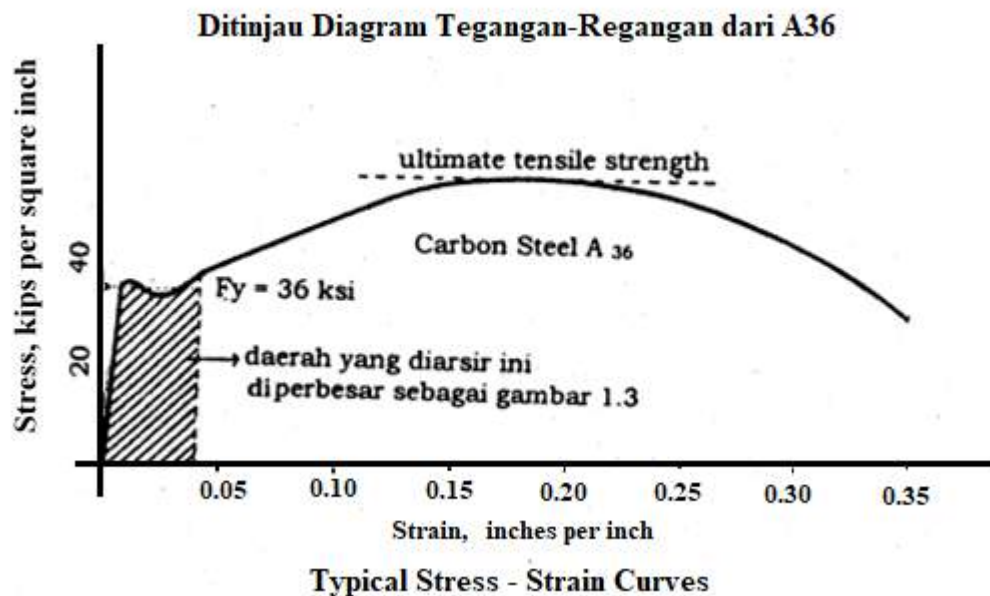
1. **Baja Karbon rendah (low carbon steel)** mengandung Carbon kurang dari 0.15% dan sifatnya mudah di tempa dan mudah di mesin. Contoh : rantai paku keling, pipes, sekrup, dan paku.
2. **Baja Karbon menengah (medium carbon steel)** mengandung karbon 0.30%-0.59% memiliki kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah sifatnya sulit untuk di bengkokkan, di las, dipotong contoh: rel, obeng.

3. **Baja karbon tinggi (high carbon steel)** mengandung karbon 0.60%-1.70% sifatnya sulit dibengkokkan, dilas, dan di potong contoh: screw drivers, blacksmiths hammers, tables knives, wire drawing dies.

Sebutan baja karbon berlaku untuk baja yang mengandung unsur bukan hanya besi (Fe) dengan persentase maksimum karbon (C) 1.7 %, mangan (Mn) 1.65 %, Silikon (Si) 0.6 % dan tembaga (Cu) 0.6%. Baja karbon umumnya memiliki tegangan leleh (f_y) antara 210-250 MPa.

Contoh:

Baja Karbon A36 mengandung karbon maksimum antara 0.25%-0.29% tergantung kepada tebalnya. Baja ini memiliki titik leleh 36 ksi (250 Mpa). Umumnya penambahan persentase carbon akan meningkatkan tegangan leleh (yield stress) dan mengurangi daktilitasnya (ductility) akibatnya akan lebih sulit untuk pengelasan.



Gambar 1. 2 Tegangan dan Regangan pada Baja A36.

B. Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi (Hight strength Low Alloy Steel)

adalah baja yang diperoleh dengan menambah unsur paduan seperti chrom, colombium, tembaga, mangan molybdenum, nikel, fosfor, vanadium atau zat zirconimumagar bebe rapa sifat mekanisnya lebih baik. Yang termasuk kedalam katego ro baja paduan rendah mutu tinggi (*Hight strength Low Alloy Steel/ HSLA*) mempunyai tegangan leleh berkisar antara 290-550 Mpa dengan nilai dari tegangan putusnya (f_u) antara 415-700 MPa. Yang termasuk Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi (Hight strength Low Alloy Steel) adalah A242, A441, A572, A558, A606, A618, dan A709. Tujuan penambahan unsur pada **Baja Paduan Rendah Kekuatan Tinggi (Hight strength Low Alloy Steel)** adalah:

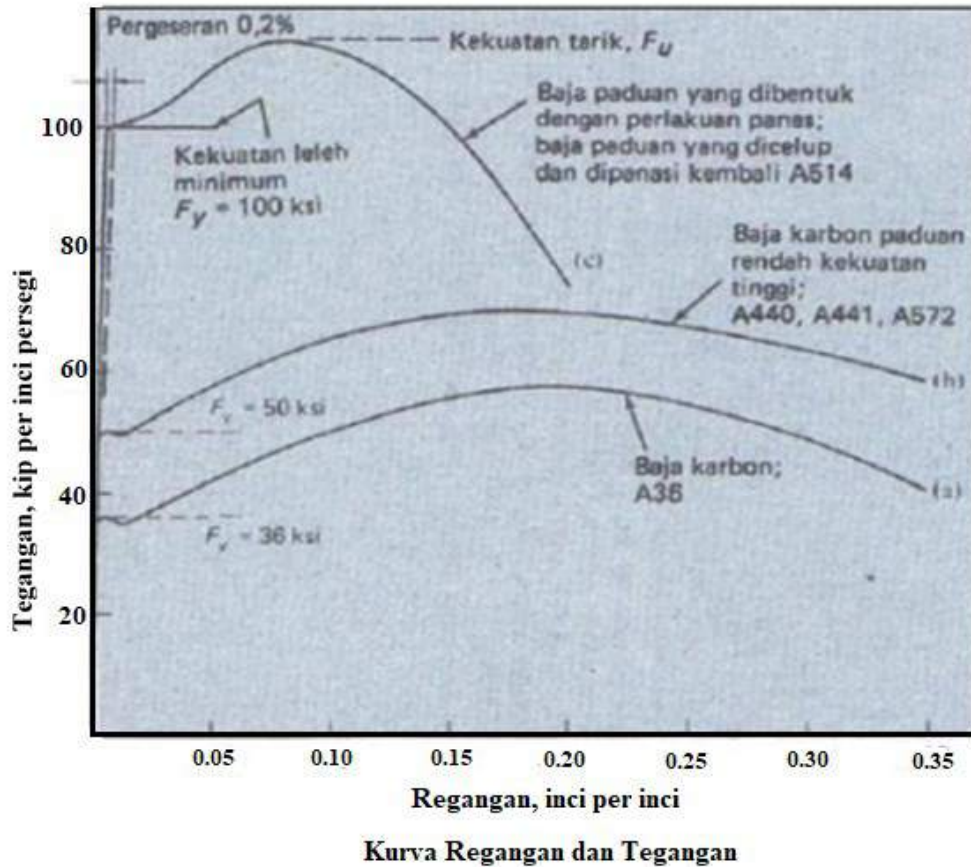
1. Untuk menaikkan sifat mekanik baja (kekerasan, kekuatan tarik).
2. Untuk menaikkan sifat mekanik pada temperatur rendah.
3. Untuk meningkatkan daya tahan terhadap reaksi kimia (oksidasi dan reduksi).

C. Baja Paduan

Baja paduan rendah dapat didinginkan dalam air (*quenched*) dan dapat dipanaskan kembali (*tempered*) untuk mendapatkan tegangan leleh sebesar 80 ksi sampai 110 ksi (550 Mpa sampai 760 Mpa). Tegangan leleh biasanya didefinisikan sebagai tegangan dengan regangan tetap sebesar 0.2% atau dapat ditentukan pula sebagai tegangan pada saat regangan mencapai 0,5%. Baja ini dapat dilas dengan prosedur yang sesuai dan biasanya tidak membutuhkan perlakuan panas (*heat treatment*) setelah dilas. Untuk keperluan khusus, pengurangan tegangan (*stress relieving*) kadang-kadang dibutuhkan. Beberapa baja karbon seperti beberapa baja tangki tekanan, dapat didinginkan dalam air dan dipanasi kembali untuk mendapatkan kekuatan leleh sebesar 80 ksi (550 Mpa), tetapi kebanyakan baja dengan kekuatan ini adalah baja paduan rendah. Baja paduan rendah ini umumnya mengandung karbon maksimal sebesar 0,20% untuk membatasi kekerasan mikrostruktur kasar (*martensit*) yang dapat terbentuk selama perlakuan panas atau pengelasan, sehingga bahaya retak akan diperkecil.

Perlakuan panas terdiri dari pencelupan (pendinginan yang cepat dengan air atau minyak dengan suhu antara 900 °C sampai dengan 250 °C kemudian baja dipanasi kembali kesuhu minimal 620 °C dan dibiarkan dingin. Pemanasan ulang, walaupun mengurangi kekuatan dan kekerasan bahan yang telah dicelup, sangat bermanfaat untuk menaikkan ketahanan (*toughness*) dan daktilitas. Pengurangan kekuatan dan kekerasan akibat kenaikan suhu diperkecil dengan pengerasan (*hardening*) kedua akibat pengendapan senyawa karbon dan columbium, titanium, atau vanadium yang halus. Pengendapan dimulai pada suhu kira-kira 510 °C dan dipercepat hingga 680 °C. Pemanasan ulang sampai atau dekat 1250 °F untuk mendapatkan manfaat maksimum dari pengendapan senyawa karbon dapat menyebabkan baja berada dalam zone transformasi. Akibatnya, mikrostruktur baja menjadi lebih lemah seperti yang diperoleh tanpa pencelupan dan pemanasan ulang.

Ringkasannya dimana pencelupan akan menghasilkan martensit yaitu mikrostruktur yang sangat keras, kuat, dan getas. Pemanasan kembali mengurangi sedikit kekuatan dan kekerasan tetapi menaikkan daktilitas.



Gambar 1. 3 Kurva Regangan dan Tegangan.

2.3 Contoh-Contoh Struktur Baja

Berikut ini merupakan gambar dari berbagai struktur bangunan yang menggunakan struktur baja.



Gambar 1. 4 Jembatan Kereta Api di Sebuah Sungai di Amerika Serikat (awal abad ke-20)



Gambar 1. 5 Jembatan Kereta Api di sebuah sungai di Amerika (tahun 1970-an)

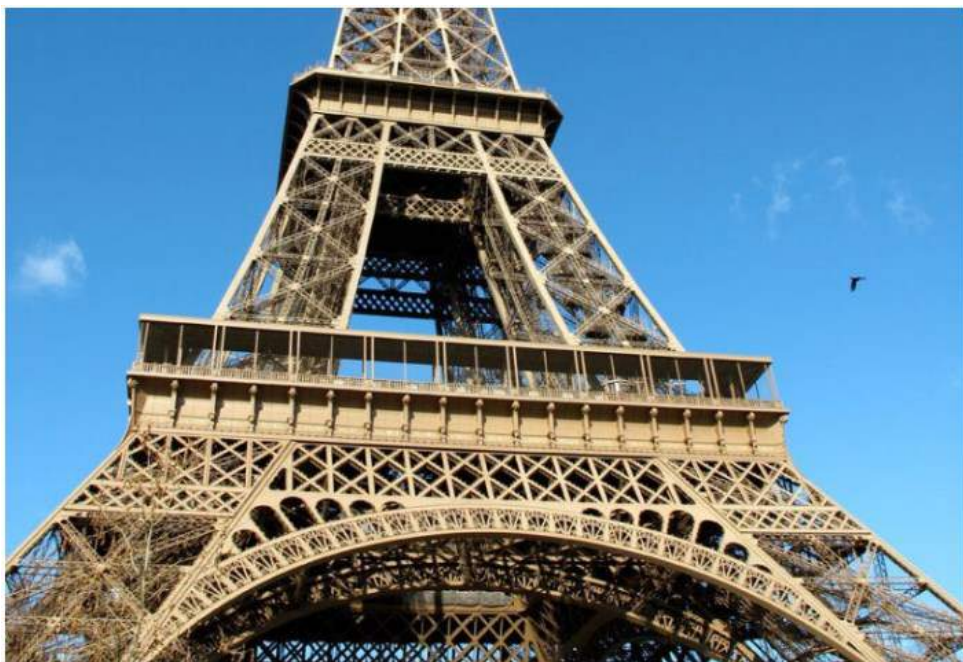


Gambar 1. 6 Jembatan Baja di Sumatera.



Gambar 1. 7 Empire State Building Empire State Building adalah sebuah pencakar langit berlantai 102 yang terletak di Midtown Manhattan, New York City.

Menara Eiffel yang dibangun pada tahun 1889 dengan tinggi 985 ft dibuat dari *wrought iron* dan dilengkapi dengan elevator mekanik. Penggabungan konsep mesin elevator dan ide dari Jenny membuat perkembangan konstruksi gedung tinggi meningkat hingga sekarang.



Gambar 1. 8 Menara Eiffel (Eiffel Tower).



Gambar 1. 9 Burj khalifa dubai adalah sebuah gedung pencakar langit di Dubai, Uni Emirat Arab.



Gambar 1. 10 Pembangunan Gudang dengan menggunakan material Baja.



Gambar 1. 11 Beijing National Stadium.

C. Kegiatan Pembelajaran 2: Sifat-Sifat Baja, Bentuk Profil Baja, dan Pemeliharaan Baja.

1. Kemampuan akhir

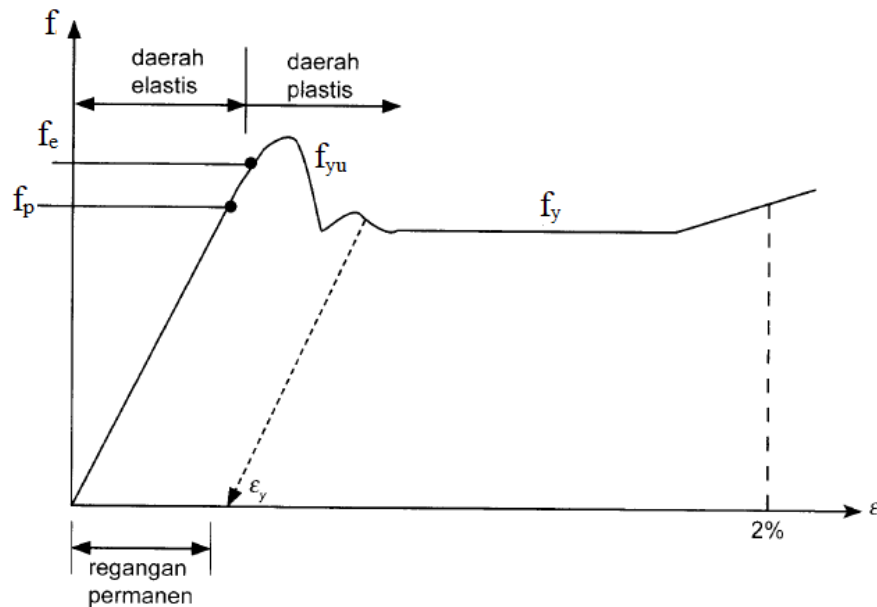
Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari **Sifat-Sifat Baja, Bentuk Profil Baja, dan Pemeliharaan Baja**. Mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan sifat, bentuk profil baja, dan pemeliharaan material baja.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan Sifat-Sifat dari material Baja, Bentuk Profil Baja yang di gunakan dalam disain perencanaan struktur, dan Pemeliharaan Baja dari pengaruh lingkungan maupun alam sekitar.

2.1 Sifat-sifat Baja

Untuk dapat mengetahui perilaku dari struktur baja yang digunakan, maka seorang ahli struktur harus mengetahui dan memahami sifat mekanik dari baja yang akan digunakan. Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik dari material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja, sedangkan uji tekan tidak akan dapat memberikan data yang akurat di dalam mengetahui sifat-sifat mekanik dari material baja, dikarenakan adanya potensi tekuk pada benda uji yang mengakibatkan ketidakstabilan dari benda uji tersebut selain itu perhitungan tegangan yang terjadi di dalam benda uji lebih mudah dilakukan untuk uji tarik daripada uji tekan. Gambar di bawah ini menunjukkan gambar yang lebih detail dari perilaku benda uji hingga mencapai regangan sebesar $\pm 2\%$.



Gambar 1. 12 Kurva Tegangan dan Regangan sampai dengan $\pm 2\%$.

Titik-titik penting dalam kurva tegangan-regangan antara lain adalah:

- f_p : Batas proporsional
- f_e : Batas elastis
- f_{yu}, f_y : Tegangan leleh atas dan bawah
- f_u : Tegangan putus.

Baja mempunyai sejumlah sifat yang membuatnya menjadi bahan bangunan yang sangat berharga dan banyak digunakan dalam struktur bangunan. Adapun sifat baja tersebut adalah:

- **Kekuatan**
- **Kelenturan,**
- **Kealotan**
- **Kekerasan, dan**
- **Ketahanan terhadap korosi.**
- **Liat (*Toughness*)**

1. Kekuatan

Sifat penting pada baja adalah *kuat tarik*. Pada saat baja diberi beban, maka baja akan cenderung mengalami deformasi/perubahan bentuk. Perubahan bentuk ini akan menimbulkan regangan/strain, yaitu sebesar terjadinya deformasi tiap satuan panjangnya. Akibat regangan tersebut, didalam baja terjadi tegangan/stress sebesar P. Perbandingan antara tegangan dengan regangan dalam keadaan elastis disebut dengan Modulus Elastisitas.

Ada 3 jenis tegangan yang terjadi pada baja, yaitu:

1. Tegangan, dimana baja masih dalam keadaan elastis;
2. Tegangan leleh, dimana baja mulai rusak/leleh; dan
3. Tegangan plastis, tegangan maksimum baja, dimana baja mencapai kekuatan maksimum.

2. Kelenturan (Ductility)

Daktilitas didefinisikan sebagai sifat material untuk menahan deformasi yang besar tanpa keruntuhan terhadap beban tarik. Suatu elemen baja yang diuji terhadap tarik akan mengalami pengurangan luas penampang dan akan terjadi perpanjangan sebelum terjadi keruntuhan. Sebaliknya pada material keras dan getas (brittle) akan hancur terhadap beban kejut. SNI 03-1729-2002 mendefinisikan daktilitas sebagai kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis bolak-balik berulang (siklis) di luar batas titik leleh pertama, sambil mempertahankan sejumlah besar kemampuan daya dukung bebannya. Beban normal yang bekerja pada suatu elemen struktur akan mengakibatkan konsentrasi tegangan yang tinggi pada beberapa titik. Sifat daktil baja memungkinkan terjadinya leleh lokal pada titik-titik tersebut sehingga dapat mencegah keruntuhan prematur. Keuntungan lain dari material daktil adalah jika elemen struktur baja mendapat beban cukup maka akan terjadi defleksi yang cukup jelas sehingga dapat digunakan sebagai tanda keruntuhan. Baja bukan saja kuat tetapi juga lentur, dimana baja memiliki kemampuan untuk berdeformasi sebelum baja putus. Keuletan ini berhubungan dengan besarnya regangan/strain yang permanen sebelum baja putus. Keuletan ini juga berhubungan dengan sifat dapat dikerjakan pada baja. Cara ujinya berupa uji tarik.

3. Kealotan

Pada umumnya baja bersifat sangat alot, sehingga tidak cepat patah. Baja berperilaku mendekati asumsi perancang teknik dibandingkan dengan material lain karena baja mengikuti hukum Hooke hingga mencapai tegangan yang cukup tinggi. Momen inersia untuk penampang baja dapat ditentukan dengan pasti dibandingkan dengan penampang beton bertulang.

4. Kekerasan

Baja itu sangat keras sekali sehingga sebagai bahan konstruksi, baja mungkin saja untuk digunakan berbagai tujuan. Kekerasan baja adalah ketahanan baja terhadap besarnya gaya yang dapat menembus permukaan baja. Cara ujinya dengan kekerasan Brinell, Rockwell, ultrasonic, dll.

5. Ketahanan terhadap Korosi

Tanpa perlindungan, baja sangat cepat berkarat. Untung saja baja diberikan perlindungan yang sangat efektif dengan berbagai cara.

6. Liat (*Toughness*)

Baja struktur merupakan material yang liat artinya memiliki kekuatan dan daktilitas. Suatu elemen baja masih dapat terus memikul beban dengan deformasi yang cukup besar. Ini merupakan sifat material yang penting karena dengan sifat ini elemen baja bisa menerima deformasi yang besar selama pabrikan, pengangkutan, dan pelaksanaan tanpa menimbulkan kehancuran. Dengan demikian pada baja struktur dapat diberikan lenturan, diberikan beban kejut, geser, dan dilubangi tanpa

memperlihatkan kerusakan. Kemampuan material untuk menyerap energi dalam jumlah yang cukup besar disebut *toughness*.

2.2 Keuntungan/ Kelebihan Struktur Baja

Di samping itu keuntungan-keuntungan lain dari struktur baja, antara lain adalah:

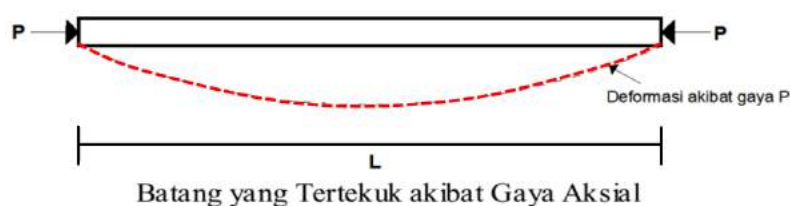
1. Proses pemasangan di lapangan berlangsung dengan cepat. Semua bagian-bagian dari konstruksi baja bisa dipersiapkan di workshop sesuai dengan desain perencanaan yang sudah dihitung dan di analisa, sehingga setiap material yang perlu bisa dipersiapkan di workshop sehingga nantinya dilapangan hanya kegiatan pemasangan bagian-bagian konstruksi yang telah dipersiapkan. Sebagian besar dari komponen-komponen konstruksi mempunyai bentuk standar yang siap digunakan bisa diperoleh di toko-toko baja, sehingga waktu yang diperlukan untuk membuat bagian-bagian konstruksi baja lebih efisien dan pemasangan akan lebih mudah karena komponen-komponen baja biasanya mempunyai bentuk standar dan sifat-sifat yang tertentu, serta mudah diperoleh di mana-mana.
2. Dapat di las;
3. Mempunyai kekuatan yang tinggi, sehingga dapat mengurangi ukuran struktur serta mengurangi berat sendiri dari struktur. Hal ini cukup menguntungkan bagi struktur jembatan yang panjang, gedung yang tinggi, atau juga pada bangunan-bangunan yang berada pada kondisi tanah yang buruk.
4. Keseragaman dan keawetan yang tinggi, tidak seperti halnya material beton bertulang yang terdiri dari berbagai macam bahan penyusun, material baja jauh lebih seragam/ homogeny serta mempunyai tingkat keawetan yang jauh lebih tinggi jika prosedur perawatan dilakukan secara semestinya.
5. Sifat Elastis baja mempunyai perilaku yang cukup dekat dengan asumsi-asumsi yang digunakan untuk melakukan analisa, sebab baja dapat berperilaku elastis hingga tegangan yang cukup tinggi mengikuti Hukum Hooke. Momen Inersia dari suatu profil baja juga dapat dihitung dengan pasti sehingga memudahkan dalam melakukan proses analisa struktur.
6. Daktilitas baja cukup tinggi, karena suatu batang baja yang menerima tegangan tarik yang tinggi akan mengalami regangan tarik cukup besar sebelum terjadi keruntuhan.
7. Komponen-komponen strukturnya bisa digunakan lagi untuk keperluan lainnya;
8. Komponen-komponen yang sudah tidak dapat digunakan lagi masih mempunyai nilai sebagai besi tua; dan
9. Struktur yang dihasilkan bersifat permanen dengan cara pemeliharaan yang tidak terlalu sukar;
10. Kemudahan penyambungan antarelemen yang satu dengan yang lainnya menggunakan alat sambung las atau baut. Pembuatan baja melalui proses gilas panas mengakibatkan baja menjadi mudah dibentuk menjadi penampang-penampang yang diinginkan. Kecepatan pelaksanaan konstruksi baja juga menjadi suatu keunggulan material baja.

2.3 Kelemahan Struktur Baja

Di samping keuntungan struktur baja, baja juga memiliki kelemahan antara lain adalah:

1. Komponen-komponen struktur yang dibuat dari bahan baja perlu diusahakan supaya tahan api sesuai dengan peraturan yang berlaku untuk bahaya kebakaran. Meskipun baja tidak mudah terbakar tetapi kekuatannya menurun drastis jika terjadi kebakaran. Selain itu baja juga merupakan konduktor panas yang baik sehingga dapat menjadi pemicu kebakaran pada komponen lain. Akibatnya, portal dengan kemungkinan kebakaran tinggi perlu diberi pelindung. Ketahanan material baja terhadap api dipersyaratkan dalam Pasal 14 SNI 03-1729-2002.
2. Biaya pemeliharaan untuk mencegah baja dari bahaya karat sangat besar; dan.
3. Rentan terhadap *buckling* (tekuk) pada batang tekan: Semakin besar gaya tekan yang disalurkan maka akan semakin besar pula bahaya terhadap *buckling* (tekuk). Sebagaimana telah disebutkan bahwa baja mempunyai kekuatan yang tinggi per satuan berat dan jika digunakan sebagai kolom seringkali tidak ekonomis karena banyak material yang perlu digunakan untuk memperkuat kolom terhadap *buckling*.
4. Lemah terhadap gaya tekan.

Buckling (tekuk)



2.4 Tipe Keruntuhan Batang Tekan:

Kehancuran akibat tekan terjadi diantara keruntuhan akibat kelelahan bahan akibat tekuk elastis, setelah bagian penampang melintang meleleh, keadaan ini disebut tekuk inelastis (*inelastic buckling*). Ada tiga jenis keruntuhan batang tekan, yaitu:

1. Keruntuhan akibat tegangan yang terjadi pada penampang telah melalui materialnya.
2. Keruntuhan akibat batang tertekuk elastis (*elastic buckling*). Keadaan ini terjadi pada bagian konstruksi yang langsing. Disini hukum Hooke masih berlaku bagi serat penampang dan tegangan yang terjadi tidak melebihi batas proporsional.
3. Keruntuhan akibat melelehnya sebagian serat disebut *tekuk inelastis (inelastic buckling)*.

2.5 Keruntuhan Getas

Pada umumnya keruntuhan yang terjadi pada struktur baja adalah keruntuhan daktail, namun di dalam bermacam variasi kondisi keruntuhan baja dapat merupakan keruntuhan getas. Keruntuhan getas merupakan keruntuhan yang terjadi secara tiba-tiba tanpa didahului deformasi plastis, terjadi dengan kecepatan yang sangat tinggi. Keruntuhan ini dipengaruhi oleh temperature, kecepatan pembebanan, tingkat regangan, tebal pelat, dan

sistem pengerjaan. Secara garis besar, faktor-faktor yang dapat menimbulkan keruntuhan getas pada suatu elemen struktur di tampilkan dalam Tabel berikut ini.

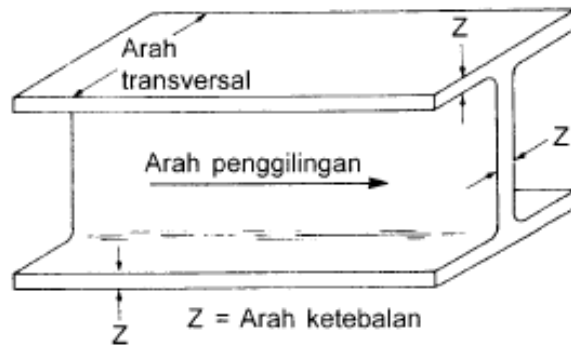
Tabel 1. 1 Tabel Faktor-faktor yang potensial menimbulkan keruntuhan getas.

No	Faktor Pengaruh	Efek
1	Temperatur	Makin tinggi temperature makin besar peluang terjadinya keruntuhan getas.
2	Tegangan Tarik	Keruntuhan getas hanya dapat terjadi di bawah tegangan tarik.
3	Ketebalan material	Makin tebal material baj, makin besar peluang terjadinya keruntuhan getas.
4	Kontinuitas 3 dimensi	Menimbulkan efek tegangan multiaksial yang cenderung mengekang proses leleh baja dan meningkatkan kecenderungan terjadinya keruntuhan getas.
5	Takikan	Adanya takikan akan meningkatkan potensi keruntuhan getas
6	Kecepatan pembebanan	Makin cepat kelajuan pembebanan, makin besar pula peluang terjadinya keruntuhan getas.
7	Perubahan laju tegangan	Naiknya kelajuan tegangan akan meningkatkan potensi keruntuhan getas
8	Las	Retakan pada las akan dapat beraksi sebagai suatu takikan.

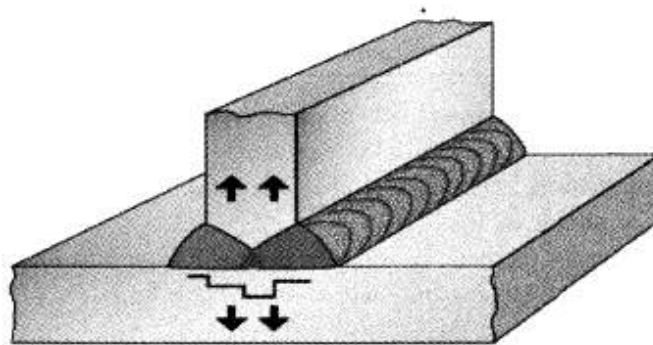
2.6 Sobekan Lamelar

Pembuatan profil baja umumnya dilakukan dengan proses gilas panas. Proses ini mengakibatkan profil mempunyai sifat yang berbeda dalam arah gilas, arah transversal, dan arah ketebalan. Dalam daerah elastis sifat-sifat baja dalam arah gilas dan transversal hampir sama. Namun daktilitas dalam arah ketebalan jauh lebih kecil daripada daktilitas dalam arah gilasnya.

Sobekan lamelar merupakan keruntuhan getas yang terjadi pada bidang gilas akibat gaya tarik besar yang bekerja tegak lurus ketebalan elemen pelat profil. Karena regangan yang diakibatkan oleh beban layan biasanya lebih kecil dari regangan leleh, maka beban-beban layan tak diperhatikan sebagai penyebab sobekan lamellar. Pada sambungan las dengan kekangan tinggi, sobekan lamelar disebabkan oleh penyusutan las yang mengakibatkan timbulnya regangan yang beberapa kali lebih besar daripada regangan lelehnya. Keruntuhan akibat sobekan lamelar dikategorikan sebagai keruntuhan getas. Sobekan lamelar umumnya dijumpai pada sambungan-sambungan las berbentuk T seperti pada gambar di bawah ini. Disamping itu ukuran las juga mempengaruhi terjadinya sobekan lamelar, sebaiknya ukuran las digunakan tidak lebih dari 20mm untuk menghindari terjadinya sobekan lamelar.



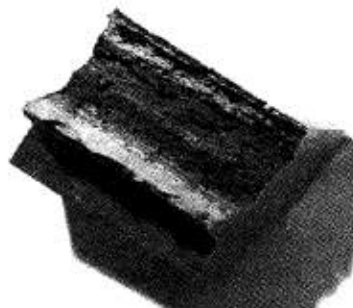
Gambar 1. 13 Gambar Arah Gilas Transversal dan Arah Ketebalan.



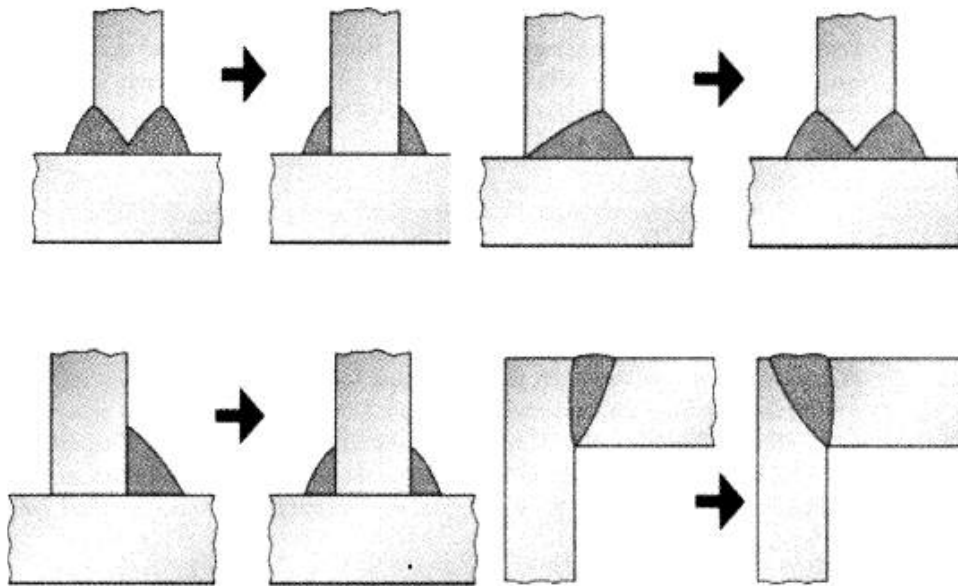
Gambar 1. 14 Gambar Sobekan Lamelar pada Sambungan T dari las Sudut.

Bagian pelat baja yang mengalami sobekan lamelar akan menjadi berserabut seperti gambar di bawah ini, hal ini mengindikasikan bahwa pelat tersebut memiliki daktilitas yang rendah dalam arah ketebalan.

Salah satu cara mencegah terjadinya sobekan lamelar adalah dengan memperbaiki setiap detail sambungan las. Beberapa cara perbaikan diperlihatkan pada gambar di bawah ini



Gambar 1. 15 Gambar Sobekan Lamelar Akibat Susut Sambungan Las.



Gambar 1. 16 Gambar Pengerjaan Las untuk Menghindari Sobekan Lamelar.

2.7 Keruntuhan Lelah

Pembebanan yang bersifat siklik (khususnya beban tarik) dapat menyebabkan keruntuhan, meskipun tegangan leleh baja tak pernah tercapai. Keruntuhan ini dinamakan keruntuhan lelah (fatigue failure). Keruntuhan lelah dipengaruhi oleh 3 faktor, yakni:

- Jumlah siklus pembebanan.
- Daerah tegangan layan (perbedaan antara tegangan maksimum dan minimum).
- Cacat-cacat dalam material tersebut, seperti retak-retak kecil

Pada proses pengelasan cacat dapat diartikan sebagai takikan pada pertemuan antara dua elemen yang disambung. Lubang baut yang mengakibatkan dikontinuitas pada elemen juga dapat dikategorikan sebagai cacat pada elemen tersebut. Cacat-cacat kecil dalam suatu elemen dapat diabaikan dalam suatu proses desain struktur, namun pada struktur yang mengalami beban-beban siklik, maka retakan akan makin bertambah panjang untuk tiap siklus pembebanan sehingga akan mengurangi kapasitas elemen untuk memikul beban layan. Mutu baja tidak terlalu mempengaruhi keruntuhan lelah ini.

2.8 Sifat-sifat penting bahan struktur baja

Dalam merencanakan struktur haruslah penting memperhatikan sifat penting dari bahan struktur baja yang akan digunakan. Adapun sifat-sifat penting dari bahan baja yang harus diperhatikan diantaranya:

1. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas untuk semua baja (yang secara relatif tidak tergantung dari kuat leleh) adalah 28000 sampai 30000 ksi atau 193000 sampai 207000 Mpa. Nilai untuk desain lazimnya diambil sebesar 29000 ksi atau 200000 Mpa. Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI), nilai modulus elastisitas baja adalah

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \text{ atau } 2,1 \times 10^5 \text{ MPa.}$$

2. Modulus Geser (G)

Modulus geser setiap bahan elastis dihitung berdasarkan formula:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Dimana:

μ = perbandingan poisson yang diambil sebesar 0,3 untuk baja. Dengan menggunakan $\mu = 0,3$ maka akan memberikan $G = 11000 \text{ ksi}$ atau 77000 MPa . Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI), nilai modulus geser (gelincir) baja adalah $0,81 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ atau $0,81 \times 10^5 \text{ MPa}$.

3. Koefisien Ekspansi (α)

Koefisien ekspansi adalah koefisien pemuaian linier. Koefisien ekspansi baja diambil sebesar 12×10^{-6} per $^{\circ}\text{C}$.

4. Tegangan Leleh (σ)

Tegangan leleh ditentukan berdasarkan mutu baja.

5. Massa Jenis Baja

Sifat – sifat ini termasuk massa jenis baja, yang sama dengan 490 pcf atau $7,850 \text{ t/m}^3$, atau dalam berat satuan, nilai untuk baja sama dengan 490 pcf atau $76,975 \text{ kN/m}^3$, berat jenis baja umumnya adalah sebesar $7,850 \text{ t/m}^3$.

D. Kegiatan Pembelajaran 3: Hubungan Tegangan dan Regangan Baja.

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari **Hubungan Tegangan dan Regangan Baja** adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan sifat (*behavior*) baja dalam kondisi Elastis dan Plastis dan menjelaskannya dalam diagram Tegangan (σ) dan Regangan (ϵ).

2. Uraian Materi

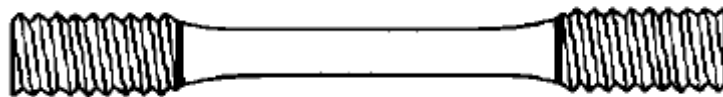
Pada pembelajaran ini akan dijelaskan Sifat-Sifat dari material Baja, sifat (*behavior*) baja dalam kondisi Elastis dan Plastis dan menjelaskannya dalam diagram Tegangan (σ) dan Regangan (ϵ) dengan hal ini setiap mahasiswa/ i mampu menyebutkan dan menjelaskan perilaku dari tegangan dan regangan baja yang akan digunakan di dalam perencanaan struktur.

2.1 Hubungan Tegangan - Regangan untuk Uji Tarik pada Baja

Pemahaman terhadap perilaku struktur baja sangatlah memerlukan pengetahuan tentang sifat baja struktur. Diagram tegangan-regangan memberikan informasi yang sangat penting tentang perilaku baja terhadap beban. Jika baja struktur diberikan gaya

tarik, akan terjadi perpanjangan yang sebanding dengan gaya yang diberikan. Jadi besar perpanjangan akan dua kalinya jika gaya yang diberikan bertambah dari 6000 psi (41,37 MPa atau MN/m^2) menjadi 12.000 psi (pound/in² atau lb/in²) (82,74 MPa). Jika tegangan tarik mendekati 1,5 kekuatan ultimate/batas baja, maka perpindahan akan bertambah lebih cepat dan tidak sebanding dengan penambahan tegangan.

Pengujian kuat tarik spesimen baja dapat dilakukan dengan *universal testing machine* (UTM). Adapun bentuk spesimen untuk uji tarik dapat dilihat pada Gambar di bawah ini. Dengan mesin itu spesimen ditarik dengan gaya yang berubah-ubah, dari nol diperbesar sedikit demi sedikit sampai spesimen putus. Pada saat spesimen ditarik, besar gaya atau tegangan dan perubahan panjang spesimen atau regangan dimonitor terus-menerus. Untuk mesin yang mutakhir, biasanya mesin itu dilengkapi dengan komputer yang dapat mencatat hasil monitoring dengan baik. Data yang terkumpul selanjutnya dapat ditampilkan dalam bentuk diagram yang dapat dilihat pada monitor. Diagram ini dapat diatur formatnya sesuai kebutuhan, untuk dicetak pada kertas pakai *printer* atau *plotter*, dan datanya dapat disimpan di dalam disk.



Gambar 1. 17 Gambar Spesimen Baja Uji Tarik.

Tegangan terbesar yang masih dapat berlaku hukum Hooke atau titik tertinggi pada bagian linier dari kurva tegangan-regangan adalah *batas proporsional*. Tegangan terbesar yang dapat ditahan oleh material tanpa terjadi deformasi permanen disebut *batas elastis* tetapi nilainya jarang diukur. Untuk material struktur batas elastis sama dengan batas proporsional. Tegangan konstan yang disertai perpanjangan atau regangan disebut *titik leleh*. Titik ini merupakan titik awal dari diagram tegangan-regangan dengan kemiringan nol atau horizontal. Titik ini merupakan nilai yang penting untuk material baja karena perencanaan dengan metoda elastis didasarkan pada nilai tegangan ini. Pengecualian terjadi pada batang tekan karena nilai dapat tidak dicapai akibat adanya tekuk.

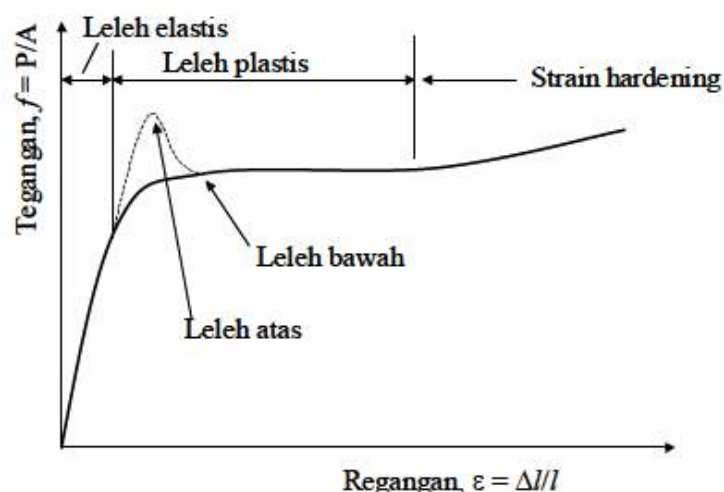
Tegangan ijin yang digunakan dalam metoda ini diambil sebagai persentase atau fraksi dari titik leleh. Di atas titik leleh akan terjadi penambahan regangan tanpa penambahan tegangan. Regangan yang terjadi sebelum titik leleh disebut *regangan elastis*, sedangkan regangan setelah titik leleh disebut *regangan plastis* yang besarnya sekitar 10 sampai dengan 15 kali dari regangan elastis. Leleh baja tanpa penambahan tegangan dianggap sebagai suatu kelemahan dan sekaligus kelebihan. Sifat ini seringkali digunakan sebagai ‘pelindung’ terhadap keruntuhan yang diakibatkan oleh kesalahan dalam perancangan.

Jika tegangan pada suatu titik dari suatu struktur daktil mencapai tegangan leleh, elemen dari struktur tersebut akan leleh secara lokal/setempat tanpa penambahan

tegangan sehingga dapat mencegah keruntuhan prematur/awal. Dengan adanya daktilitas ini, tegangan dalam struktur dapat didistribusi atau disebarkan ke seluruh komponen struktur. Demikian juga dengan tegangan tinggi yang disebabkan oleh fabrikasi, pelaksanaan, atau pembebanan akan didistribusi dengan sendirinya. Dengan kata lain, struktur baja mempunyai cadangan regangan plastis sehingga dapat menahan beban yang relatif besar dan beban kejut. Jika material tidak memiliki sifat daktilitas, akan terjadi kehancuran mendadak seperti halnya pada gelas atau kaca.

Setelah regangan plastis, terdapat daerah yang dinamakan *strain hardening* yaitu daerah dimana diperlukan tegangan untuk terjadinya tambahan regangan, tetapi bagian ini belum dianggap penting dalam perancangan. Suatu diagram tegangan-regangan baja struktur diberikan dalam Gambar di bawah ini. Disini hanya ditunjukkan bagian awal dari kurva kerana akan terjadi deformasi yang besar sebelum terjadi keruntuhan. Total regangan baja pada saat terjadi keruntuhan adalah 150 sampai dengan 200 kali regangan elastis. Kurva akan terus naik mencapai tegangan maksimum dan selanjutnya akan terjadi pengurangan luas penampang yang diikuti dengan keruntuhan.

Tipikal kurva tegangan-regangan dalam Gambar di bawah ini adalah untuk baja struktur daktil dan diasumsikan sama untuk tarik dan tekan. (Elemen tekan harus cukup pendek karena elemen yang panjang akan berdefleksi secara lateral dan sifat material sangat dipengaruhi oleh momen yang dihasilkan oleh defleksi lateral). Bentuk kurva bervariasi tergantung pada kecepatan pembebanan, tipe baja, dan temperatur. Salah satu variasi diberikan dengan garis putus dan dinamakan leleh atas (*upper yield*) sebagai hasil pembebanan yang cepat. Leleh bawah (*lower yield*) didapat jika pembebanan diberikan dengan lambat.



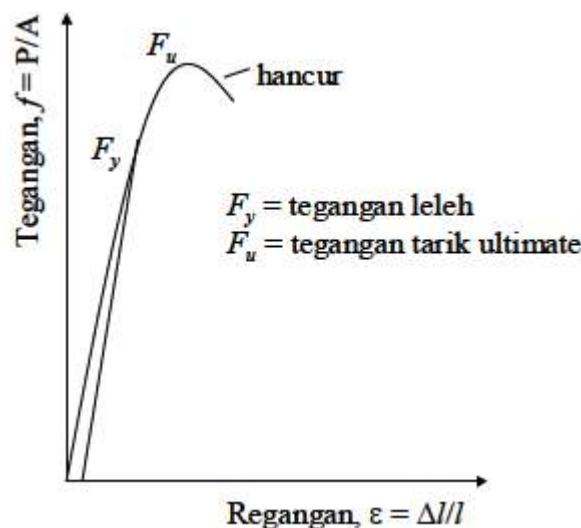
Gambar 1. 18 Tipikal Diagram Tegangan-Regangan Baja Struktur.

Suatu struktur yang belum mengalami tegangan diatas titik leleh akan kembali ke posisi semula jika beban ditiadakan. Tetapi jika struktur dibebani diatas tegangan leleh, maka struktur tidak akan kembali ke posisi semula. Baja merupakan suatu campuran dengan persentase besi 98%, selain juga mengandung sedikit karbon, silicon, magnesium, dll. Karbon memberikan pengaruh besar pada sifat baja. Sifat keras dan kekuatan akan

meningkat dengan bertambahnya jumlah karbon tetapi baja yang dihasilkan akan getas dan sulit untuk dilas. Jika jumlah karbon terlalu sedikit akan menghasilkan baja yang lunak dan lebih daktuil tetapi lemah. Penambahan kromium, silicon, dan nikel menghasilkan baja dengan kekuatan cukup tinggi, tetapi baja jenis ini lebih mahal dan sulit untuk difabrikasi.

Tipikal diagram tegangan-regangan untuk baja getas diberikan dalam Gambar di bawah ini. Material jenis ini memperlihatkan sedikit atau tidak ada deformasi permanen pada saat runtuh. Tetapi daktilitas rendah atau sifat getas merupakan karakteristik dari baja kekuatan tinggi. Sedangkan yang diinginkan adalah material dengan kekuatan tinggi sekaligus daktuil sehingga perancang teknik harus memilih antara kedua sifat tersebut. Baja getas dapat runtuh mendadak jika dibebani berlebihan, dan selama pelaksanaan dapat runtuh akibat beban kejut. Baja getas mempunyai rentang cukup besar dimana tegangan sebanding dengan regangan, tetapi tidak mempunyai batas tegangan leleh yang pasti. Sedangkan untuk menerapkan rumus-rumus untuk desain diperlukan nilai tegangan leleh yang pasti baik untuk baja daktuil maupun getas.

Jika baja lunak ditarik hingga melampaui batas elastis dan kemudian gaya tarik dihilangkan (*unloading*) maka tidak akan kembali pada kondisi regangan nol. Pada saat *unloading*, diagram tegangan-regangan akan melalui lintasan yang baru seperti yang ditunjukkan dengan garis putus dalam Gambar di bawah ini dan sejajar dengan garis lurus semula. Hasilnya adalah terjadinya regangan permanen atau regangan residual. Tegangan leleh dari baja getas biasanya didefinisikan sebagai tegangan dari lintasan *unloading* dengan regangan residual 0,002. Jadi dari regangan residual sebesar 0,2% ini kita tarik garis sejajar dengan diagram tegangan-regangan, dan titik perpotongannya menyatakan tegangan lelehnya.

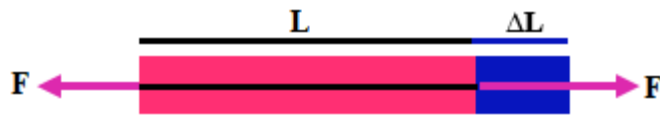


Gambar 1. 19 Tipikal Diagram Tegangan-Regangan Baja Getas.

- Perbandingan Tegangan (σ) dan Regangan (ϵ) pada elemen struktur adalah konstan (Hukum *Hooke*):

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

- Diagram tegangan- regangan diperoleh dari hasil pengujian tarik:



Tegangan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Regangan:

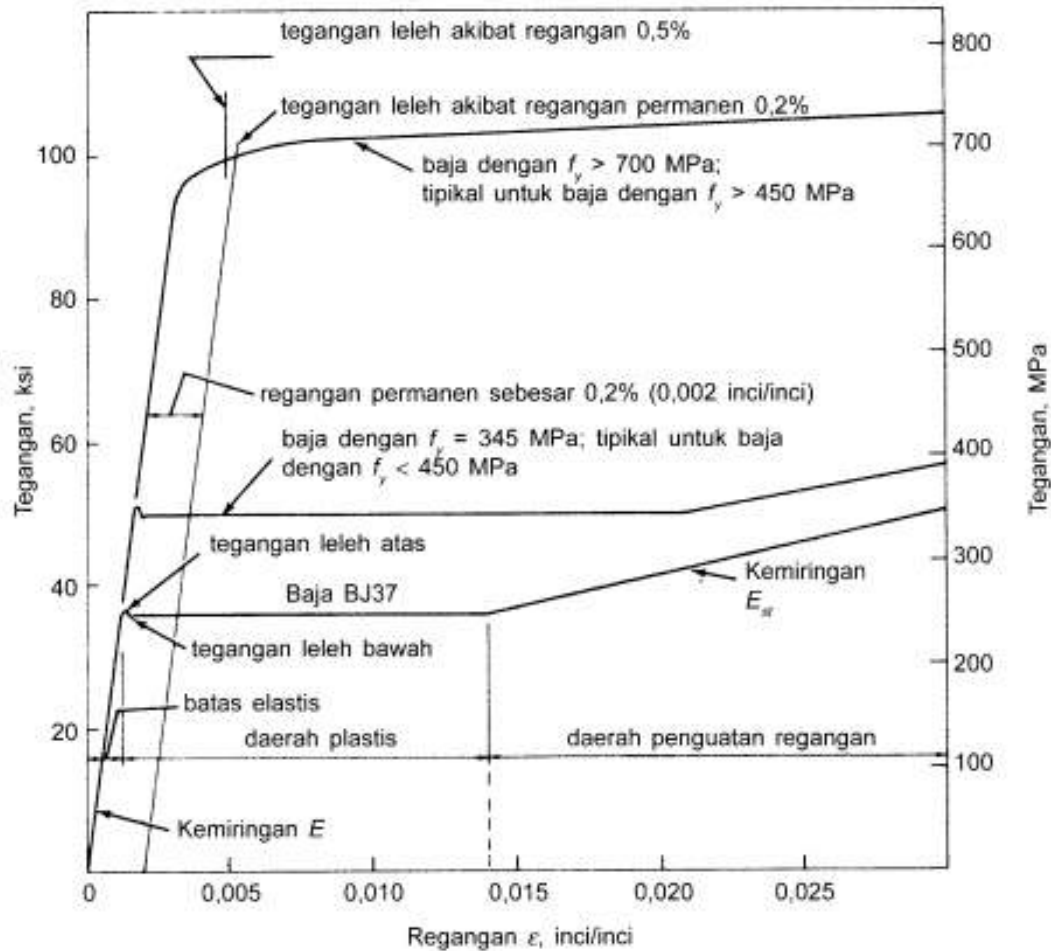
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Tegangan Leleh

Tegangan leleh adalah tegangan yang terjadi pada saat baja mulai meleleh.

Tabel 1. 2 Tabel Tegangan Leleh Baja

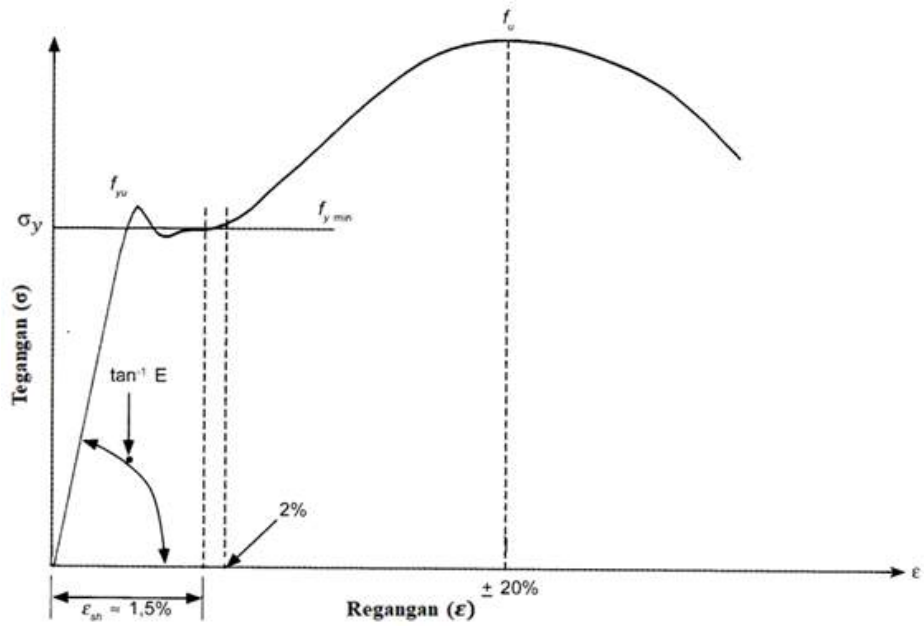
Macam Baja	Tegangan Leleh	
	kg/ cm ²	MPa
Bj-34	2100	210
Bj-37	2400	240
Bj-41	2500	250
Bj-44	2800	280
Bj-50	2900	290
Bj-52	3600	360



Gambar 1. 20 Regangan dan Tegangan Baja pada posisi Plastis dan Elastis.

Berdasarkan tinggi tegangan leleh, ASTM membagi baja dalam empat kelompok sebagai berikut: Berdasarkan tinggi tegangan leleh, ASTM membagi baja dalam empat kelompok sebagai berikut:

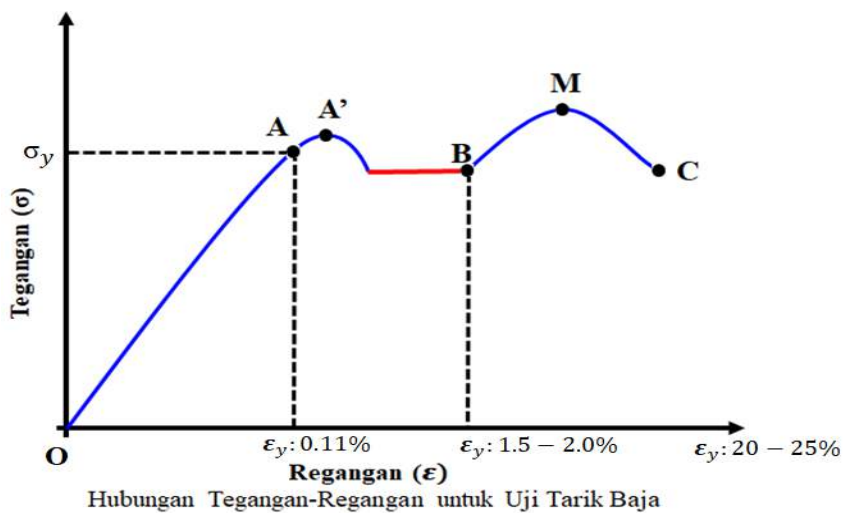
- Carbon steels* (baja karbon) dengan tegangan leleh 210-280 Mpa.
- High-strength low-alloy steels* (baja paduan rendah berkekuatan tinggi) dengan tegangan leleh 280 – 490 Mpa.
- Heat treated carbon and high-strength low alloy steels* (baja paduan rendah dengan perlakuan karbon panas) mempunyai tegangan leleh 322 – 700 Mpa.
- Heat-treated constructional alloy steels* (baja struktural paduan rendah dengan perlakuan panas) dengan tegangan leleh 630 – 700 Mpa.



Gambar 1. 21 Hubungan Tegangan-Regangan untuk Uji Tarik Baja.

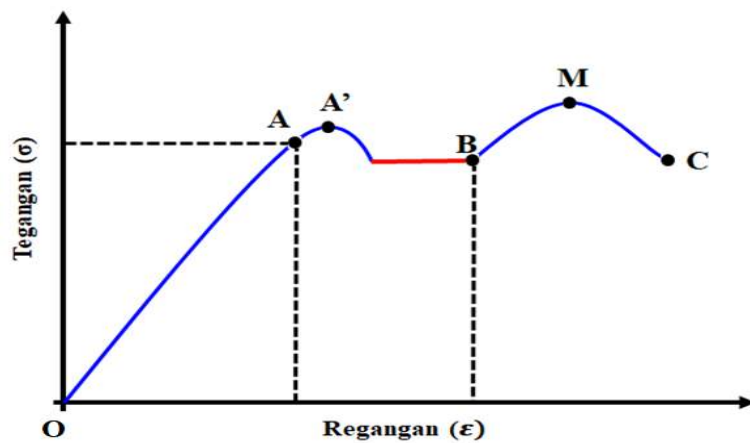
Tabel 1. 3 Tabel Nilai Kekuatan Tegangan Baja

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_u (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ-34	340	210	22
BJ-37	370	240	20
BJ-41	410	250	18
BJ-50	500	290	16
BJ-55	550	410	13



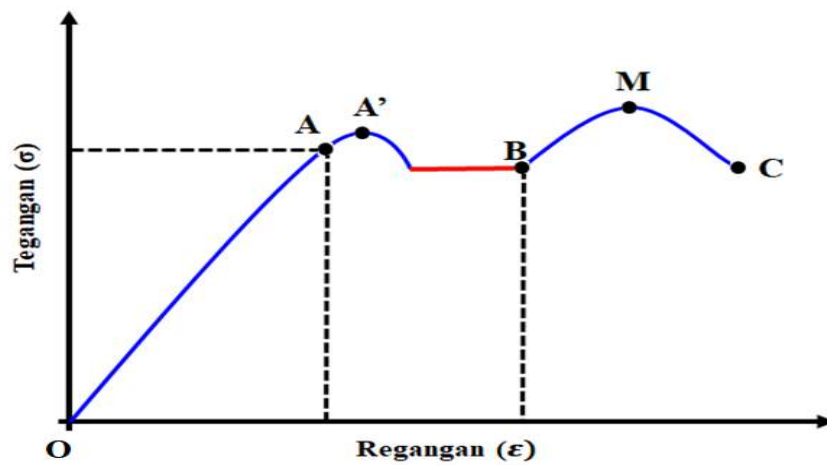
Keterangan gambar :

- σ = Tegangan baja (Stress)
- ϵ = Regangan baja (Strain)
- A = titik proporsional
- A' = titik batas elastis
- B = titik batas plastis
- M = titik runtuh
- C = titik putus



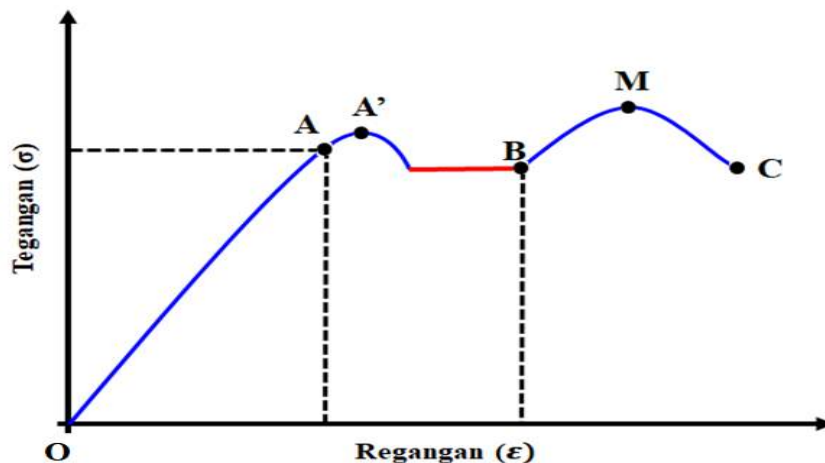
Hubungan Tegangan-Regangan untuk Uji Tarik Baja

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa sampai titik A hubungan antara tegangan dan regangan masih linier atau keadaan masih mengikuti hukum Hooke. Kemiringan garis OA menyatakan besarnya modulus elastisitas E.



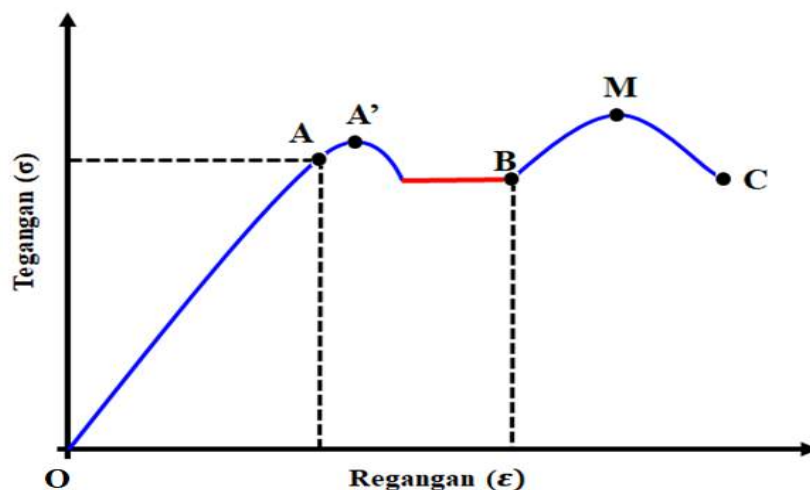
Hubungan Tegangan-Regangan untuk Uji Tarik Baja

Diagram regangan untuk baja lunak memiliki titik leleh atas (*upper yield point*), σ_y dan daerah leleh datar. **Titik A'** sering juga disebut sebagai titik batas elastis (*elasticity limit*). Sampai batas ini bila gaya Tarik dikerjakan pada batang baja maka batang tersebut akan berdeformasi. Selanjutnya bila gaya itu dihilangkan maka batang akan kembali ke bentuk semula. Dalam hal ini batang tidak mengalami deformasi permanen.



Hubungan Tegangan-Regangan untuk Uji Tarik Baja

Bila beban yang bekerja bertambah, maka akan terjadi pertambahan regangan tanpa adanya pertambahan tegangan. Sifat pada **daerah AB** inilah yang disebut sebagai **keadaan plastis**. Lokasi **titik B**, yaitu titik batas plastis tidaklah pasti tetapi sebagai perkiraan dapat ditentukan yakni terletak pada regangan 0,014.



Hubungan Tegangan-Regangan untuk Uji Tarik Baja

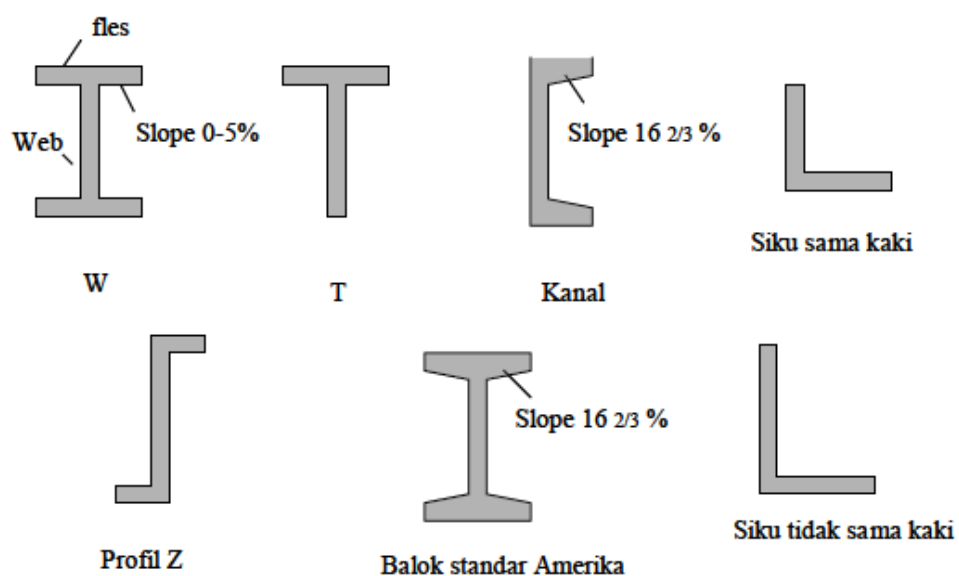
Daerah BC merupakan daerah strain hardening, dimana pertambahan regangan akan diikuti dengan sedikit pertambahan tegangan. Disamping itu,

hubungan tegangan dengan regangannya tidak lagi bersifat linier. Kemiringan garis setelah titik B ini didefinisikan sebagai Ez . Di titik M, yaitu regangan berkisar antara 20 % dari panjang batang, tegangannya mencapai nilai maksimum yang disebut sebagai tegangan tarik batas (*ultimate tensile strength*). Akhirnya bila beban semakin bertambah besar lagi maka titik C batang akan putus.

2.2 Bentuk Baja Profil

Sejarah profil baja struktur tidak terlepas dari perkembangan rancangan struktur di Amerika Serikat yang kemudian diikuti oleh negara lain. Bentuk profil yang pertama kali dibuat di Amerika Serikat adalah besi siku pada tahun 1819. Baja I pertama kali dibuat di AS pada tahun 1884 dan struktur rangka yang pertama (*Home Insurance Company Building of Chicago*) dibangun pada tahun yang sama. William LeBaron Jenney adalah orang pertama yang merancang gedung pencakar langit dimana sebelumnya gedung dibangun dengan dinding batu. Baja struktur dapat dibuat menjadi berbagai bentuk dan ukuran tanpa banyak merubah sifat fisiknya. Pada umumnya yang diinginkan dari suatu elemen adalah momen inersia yang besar selain luasnya. Termasuk didalamnya adalah bentuk I, T, dan C.

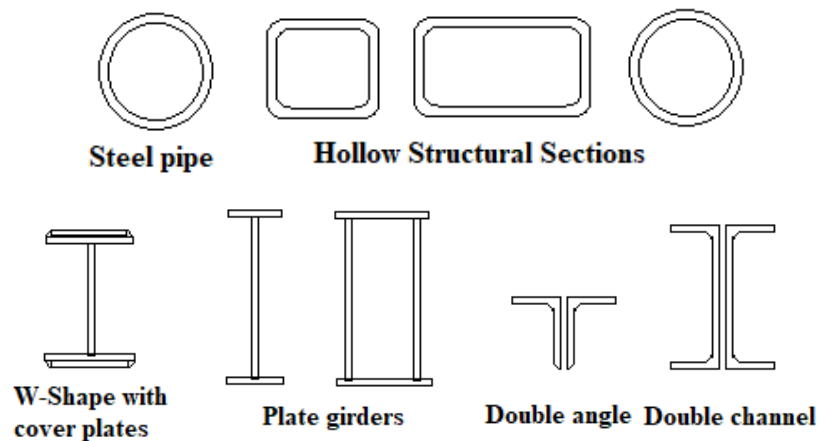
Profil diberikan singkatan berdasarkan suatu system yang dijelaskan dalam buku ini untuk digunakan dalam penggambaran, spesifikasi, dan desain. Sistem ini telah distandarisasi sehingga semua produsen dapat mengacu pada sistem yang sama untuk tujuan pemesanan, pembayaran, dll. Berikut ini adalah beberapa contoh sistem singkatan dari profil baja yang digunakan dalam peraturan AISC LRFD-93. Kelebihan dari sistem penamaan (kodifikasi) yang ada dalam AISC dirasakan lebih memudahkan karena didasarkan pada berat baja persatuan panjang, selain juga didasarkan pada dimensi tinggi profil. Dari tahun ke tahun terjadi perubahan dalam penampang baja. Hal ini disebabkan tidak cukup banyaknya permintaan baja profil tertentu, atau sebagai akibat dari perkembangan profil yang lebih efisien, dll.



Gambar 1. 22 beberapa bentuk profil baja.

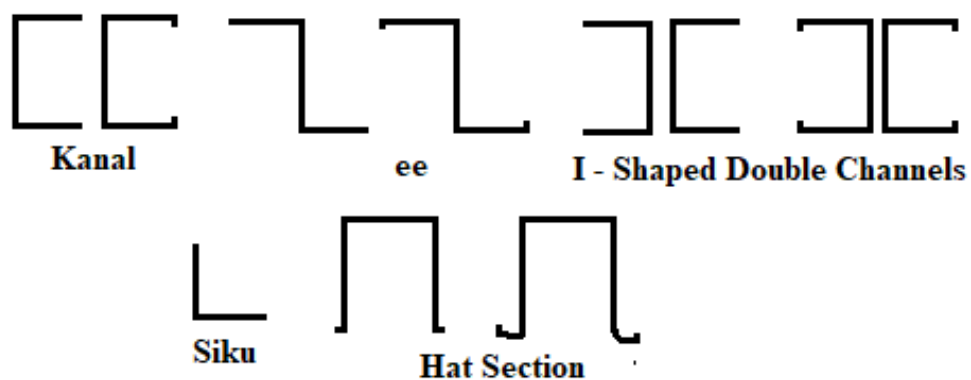
Berikut ini akan dijelaskan bentuk profil baja berdasarkan pembuatannya. Ada **2 macam bentuk profil baja** yang didasarkan cara pembuatannya diantaranya:

1. **Hot rolled shapes:** Baja di bentuk dengan cara blok-blok baja yang panas diproses melalui rol-rol dalam pabrik dan mengandung tegangan residu (*residual stress*). Ini berarti sebelum batang mengalami pembebanan sudah ada residual stress.



Gambar 1. 23 Bentuk Baja Profil *Hot rolled shapes*.

2. **Cold formed shapes:** profil baja dibentuk dari pelat-pelat yang sudah jadi menjadi profil baja dalam temperature atmosfer (dalam keadaan dingin). Tebal pelat yang dibentuk menjadi profil disini tebalnya kurang dari 3/16 inch profil baja ini ringan dan sering disebut dengan Light Gage Cold Form Steel.



Gambar 1. 24 Bentuk Baja Profil *Cold formed shapes*.

2.3 Pemeliharaan Baja

Dalam hal pekerjaan baja pada suatu bangunan harus menghadapi lingkungan yang korosif, pekerjaan baja tersebut harus diberi perlindungan terhadap korosi. Tingkat perlindungan yang digunakan harus ditentukan berdasarkan pertimbangan atas fungsi bangunan, pemeliharaan, dan kondisi iklim/cuaca serta kondisi setempat lainnya. Mengingat **korosi** (*corrosion*) dapat menimbulkan kerugian yang besar, maka upaya harus dilakukan untuk mencegah proses korosi pada elemen-elemen struktur baja. Banyak riset telah dilakukan untuk hal tersebut, beberapa metoda pencegahan korosi telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan korosi diantaranya:

1. Metoda Pencegahan Korosi Primair.

Biasanya metoda ini cukup mahal, yaitu dengan cara menambahkan elemen logam tertentu untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, sebagai contoh stainless steel dan weathering steel.

2. Metoda pencegahan Korosi Sekunder

a. *Coating*

Dilakukan untuk mengisolasi permukaan baja terhadap air yang mengandung oksigen. Hal ini dapat dilakukan dengan beberapa cara. Perlindungan sementara dapat dilakukan dengan minyak atau paslin. Cara lain adalah dengan pengecatan yang perlu dilakukan secara periodik. Perlindungan yang lebih permanen dapat dilakukan dengan lapisan logam lain, seperti zink, timah, atau tembaga, dengan cara disepuh. Perlindungan terhadap korosi ini juga dapat dilakukan dengan cara lining dengan karet, plastik, atau porselin.

b. *Electric protection,*

Dilakukan jika pencegahan korosi sangat diperlukan mengingat elemen struktur itu tidak dapat direparasi, sebagai contoh adalah tiang pancang. Dalam hal ini pencegahan dapat dilakukan dengan perlindungan katodik (*cathodic protection*). Dua pertiga wilayah Indonesia terdiri atas lautan, mempunyai iklim tropis dengan kelembaban yang relatif tinggi, sehingga lingkungan ini sangat korosif. Lingkungan yang sangat korosif ini akan semakin agresif jika terdapat senyawa-senyawa polutan yang berasal dari industri seperti belerang dioksida, chlorida, sulfat, debu, dan lain sebagainya. Senyawa-senyawa tersebut akan mempercepat laju korosi logam di udara, termasuk laju korosi komponen bangunan yang terbuat dari baja atau metal.

3. Tegangan Sisa

Tegangan sisa (*residual stress*) adalah tegangan yang tertinggal pada batang struktur setelah proses fabrikasi. Hal ini dapat dijelaskan oleh (i) pendinginan setelah penggilasan profil, (ii) pengerjaan secara dingin, (iii) pelubangan atau pemotongan, dan (iv) pengelasan. Tegangan sisa yang perlu diperhatikan adalah akibat pendinginan dan pengelasan. Tegangan sisa positif biasanya berada pada pertemuan plat, sedang tegangan tekan terdapat pada bagian yang jauh dari pertemuan plat itu.

Dalam analisis tampang secara plastis maka tegangan sisa tidak berpengaruh pada kekuatan elemen struktur, baik pada batang tarik, batang tekan yang pendek (*stocky culmns*), maupun batang lentur. Pada elemen struktur tekan tegangan sisa ini dapat mengakibatkan *premature buckling*, sekalipun demikian penelitian Morisco (1986) memperlihatkan bahwa tegangan sisa yang terdistribusi linier, dengan tegangan sisa ekstrim 30 % dari tegangan leleh, hanya menimbulkan penurunan kapasitas batang tekan dari profil *WF*, antara 0 % sampai 4%. Dalam analisis tampang secara plastis maka tegangan sisa tidak berpengaruh pada kekuatan elemen struktur, baik pada batang tarik, batang tekan yang pendek (*stocky culmns*), maupun batang lentur.

4. Retakan getas akibat efek temperatur, efek tegangan multiaksial, efek ketebalan, efek pembebanan dinamik

Setelah temperatur diturunkan dengan tiba-tiba, maka peningkatan akan terjadi pada tegangan leleh, kuat tarik, modulus elastisitas, dan tegangan leleh. Sebaliknya keuletan baja yang diukur dari penyempitan tampang ataupun dari penambahan panjang, turun akibat penurunan temperatur. Lebih lanjut pada suatu temperatur tertentu yang relatif rendah, baja struktural mungkin saja mengalami retak dengan sedikit atau tanpa perubahan bentuk plastis. Keretakan yang terjadi karena tegangan tarik yang lebih rendah dari tegangan leleh, biasanya disebut dengan keretakan getas. Keretakan getas (*brittle fracture*) umumnya terjadi pada baja struktural jika terdapat kombinasi hal-hal yang merugikan dari tegangan tarik, antara lain laju regangan pengaruh temperatur dan perubahan tampang secara mendadak.

Perubahan bentuk plastis hanya dapat terjadi jika terdapat tegangan geser. Tegangan geser selalu terjadi pada pembebanan secara uniaksial atau biaksial, tetapi dalam tegangan triaksial dengan ketiga tegangan sama besar tegangan geser menjadi nol. Oleh karena itu tegangan tarik triaksial cenderung mengakibatkan keretakan getas, dan harus dihindari. Tegangan triaksial dapat terjadi pada pembebanan uniaksial jika terdapat penyempitan tampang atau perubahan bentuk tampang secara mendadak. Keretakan getas dapat juga terjadi akibat pengerjaan secara dingin ataupun penuaan regangan. Pembentukan secara dingin pengaruhnya dapat dikurangi dengan memilih jari-jari pembentukan sedemikian sehingga regangan yang timbul terbatas. Jika terdapat tegangan tarik sisa misalnya akibat pengelasan, maka tegangan sisa ini dapat mengakibatkan tegangan yang jauh lebih besar dari tegangan akibat pembebanan. Keretakan dapat terjadi jika tegangan sisa ini cukup tinggi. Untuk mengurangi pengaruh tegangan sisa, pada baja struktural dapat dikenakan perlakuan panas (*heat treatment*).

2.4 Pengaruh Suhu Udara

Perbedaan suhu udara antara siang dan malam di Indonesia yang beriklim tropis cukup besar, berkisar antara 5-15°C. Suhu pada siang hari cukup tinggi sekitar 30°C, tetapi pada malam hari suhu udara turun menjadi sekitar 20°C, sehingga uap air di udara akan terkondensasi melekat pada permukaan bahan penutup atap dan dinding baja, membentuk lapisan air yang bertindak sebagai elektrolit. Suhu udara yang tinggi akan meningkatkan laju korosi yang cukup berarti. Diperkirakan kenaikan suhu 10°C akan meningkatkan laju korosi dua kali lipat.

2.5 Pengaruh Kelembaban Relatif Udara

Pada siang hari, saat suhu udara tinggi, derajat kelembaban relatif udara rendah. Pada malam hari, saat suhu udara rendah, derajat kelembaban relatif udara tinggi. Dengan demikian terlihat bahwa derajat kelembaban relatif udara sangat dipengaruhi oleh suhu udara. Pada derajat kelembaban relatif udara rendah molekul-molekul air yang teradsorpsi tidak cukup untuk membentuk lapisan air yang dapat bertindak sebagai elektrolit, pada keadaan ini bahan penutup atap dan dinding baja tidak terkorosi.

Pada derajat kelembaban udara relatif di atas harga kritis (70%) kebasahan udara akan berpengaruh terhadap laju korosi bahan penutup atap dan dinding baja. Sedang pada derajat kelembaban relatif udara bernilai 80% baja akan mulai terkorosi. Dengan kata lain baja mempunyai derajat kelembaban relatif kritis sebesar 80%. Polutan agresif di udara akan menurunkan derajat kelembaban kritis baja. Misalnya kandungan polutan 0,01% gas

SO₂ di udara menjadikan derajat kelembaban kritis baja turun menjadi 60%. Di atas nilai ini laju korosi baja akan naik secara menyolok.

2.6 Pengaruh Arah Kecepatan Angin

Di daerah pantai dan daerah industri, angin membawa polutan-polutan agresif yang berasal dari percikan garam yang berasal dari laut dan hasil buangan industri. Polutan-polutan tersebut yang terbawa oleh angin akan kontak dengan permukaan bahan penutup atap dan dinding baja. Oleh karena itu arah dan kecepatan angin di daerah pantai dan daerah industri akan mempengaruhi laju korosi pada bahan penutup atap dan dinding baja yang digunakan pada bangunan-bangunan di daerah tersebut.

2.7 Pengaruh Curah Hujan

Air hujan melarutkan oksigen dan polutan-polutan yang berbentuk padat maupun gas, sehingga karakteristik air hujan tergantung dari jenis polutan yang terlarut. Ada air hujan yang jatuh pada permukaan atap atau dinding baja yang akan membentuk suatu lapisan elektrolit.

Daya hantar lapisan elektrolit akan naik karena polutan-polutan agresif yang terlarut dalam air hujan tersebut, sehingga laju korosi bahan penutup atap dan dinding baja akan naik, terutama pada daerah-daerah genangan air, tempat garam terlarut akan terakumulasi.

2.8 Derajat Polusi Udara

Udara yang tercemar oleh beberapa senyawa dari hasil pembakaran atau buangan industri akan mempercepat laju korosi bahan penutup atap dan dinding dari baja, yang digunakan pada bangunan di daerah tersebut.

Beberapa materi pencemar seperti asap, pasir, gas SO₂, H₂S, dan NH₃ akan berperan banyak pada proses korosi bahan penutup atap dan dinding dari baja yang dilapisi oleh partikel-partikel padat yang mengandung sulfat atau chlorida pada kelembaban tinggi atau adanya air hujan akan membentuk lapisan elektrolit yang aktif dan sangat agresif. Polutan lain yang mempercepat korosi bahan penutup atap dan dinding baja adalah CO₂. Di daerah industri atau daerah padat kendaraan bermotor, gas ini merupakan hasil pembakaran bahan bakar yang mengandung belerang.

2.9 Pencegahan Korosi Pada Jembatan Baja

Jembatan baja mempunyai beberapa keunggulan terhadap jembatan beton. Jembatan baja lebih ringan, lebih mudah dibuat, kekuatannya dapat lebih dipercaya. Berbagai hal ini menjadikan jembatan baja lebih disukai, apalagi jembatan baja lebih indah dalam bentuk serta warnanya.

Kebanyakan jembatan baja dilindungi terhadap korosi dengan pengecatan secara berkala. Pengecatan ulang pada jembatan dengan laju korosi sedang biasanya dilakukan setiap lima tahun. Setelah perang dunia II banyak cat resin sintesis yang diperkenalkan. Cat dari jenis ini jauh lebih tahan korosi bila dibandingkan dengan cat konvensional. Namun demikian tingkat keawetannya masih sangat dipengaruhi oleh kesempurnaan pembersihan permukaan sebelum pengecatan.

Pemakaian cat terbaik sekalipun, jika tidak disertai pembersihan permukaan sebagaimana mestinya, hasilnya akan sangat mengecewakan. Tiga puluh tahun terakhir ini teknologi cat mengalami perkembangan cukup pesat, sesuai dengan tuntutan yaitu awet, menarik, perawatan minimal, serta ekonomis. Sistem tertentu memakai lapisan

setebal 200 mikron atau lebih, dimaksudkan untuk memperpanjang interval pengecatan ulang 10 sampai 15 tahun.

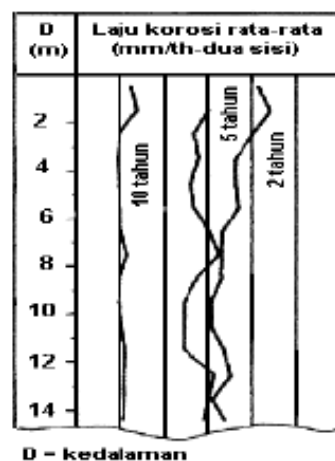
Sebagai contoh, pemakaian cat yang mengandung zink anorganik dengan film tebal dari cat phenolic resin, cat karet klorinat, atau cat polyurethane resin. Penyemprotan zink-metal pada cat zink anorganik juga dikenal sebagai *prime coat*. Jika pengecatan tidak diperlukan, keuntungan secara ekonomis menjadi tak ternilai.

Suatu kenyataan pengecatan dapat dihindarkan dengan penggunaan baja tahan karat dengan paduan rendah (*low-alloy weathering steel*), seperti tembaga (Cu), pospor (P), krom (Cr), nikel (Ni), aluminium (Al), molybdenum (Mo), titanium (Ti). Salah satu atau beberapa aloi tersebut dicampurkan pada baja. Setelah beberapa tahun, reaksi antara aloi dengan oksigen yang terdapat di udara secara bebas, maka akan terbentuk suatu lapis tipis karat yang menutup permukaan baja. Lapis karat tipis ini menghambat terjadinya korosi lebih lanjut. Berbeda dengan karat pada umumnya, maka karat pada *weathering steel* ini berwarna coklat tua dan menambah keindahan.

2.10 Korosi Pada Fondasi Tiang

Tidak seperti kasus perpipaan di bawah tanah yang dikelilingi dengan tanah terusik, fondasi tiang yang secara seragam dikelilingi tanah tidak terusik biasanya korosinya sangat rendah.

Hal ini diperkuat oleh hasil penelitian the National Bureau of Standard (NBS) di Amerika Serikat dan penelitian di Jepang menyatakan bahwa laju korosi rata-rata setelah pipa dipancang selama 10 tahun adalah 0,01-0,02 mm per tahun. Korosi sedikit lebih besar dijumpai pada kedalaman sampai 3 m dari permukaan tanah. Laju korosi hasil penelitian di Jepang ini dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. 25 Laju Korosi Tiang Pancang

Faktor-faktor penting yang mempengaruhi korosi pada tiang pancang antara lain adalah komposisi tanah, aerasi, kelembaban, aerasi, pH, keasaman, bakteri, temperatur, dan sel-sel makro. Komponen tanah yang mempengaruhi korosi antara lain adalah sulfida, hidrogen sulfida, asam belerang, dan zat organik. Semakin rendah pH suatu tanah, maka semakin tinggi laju korosi tanah itu.

Dalam hal-hal tertentu, korosi yang parah dapat saja terjadi karena pengaruh galvanis permukaan struktur atau elektrolisis arus menyimpang. Oleh karena itu evaluasi situasi korosi sebelum pemasangan dapat dikatakan sangat perlu. Jika diantisipasi akan terjadi korosi, maka dalam perancangan dapat dipertimbangkan pemakaian perlindungan katodik pada fondasi tiang, atau pemakaian isolasi pada sambungan antara fondasi tiang dengan struktur bawah tanah yang lain. Pemakaian cat pada fondasi tiang sebagai pencegah korosi tidak akan memberikan hasil yang baik, karena pada saat pemancangan lapisan cat itu dapat rusak.

2.11 Korosi Pada Bangunan Lepas Pantai

Pembangunan samudera adalah salah satu tuntutan teknologi modern. Pembangunan ini bertujuan meningkatkan manfaat sumber-sumber lautan, pengembangan energi lautan dan pemanfaatan ruang samudera bagi kesejahteraan manusia. Struktur lepas pantai kebanyakan dibuat dari baja, karena pertimbangan ekonomi, kemudahan fabrikasi, serta kemudahan pemasangan.

Suatu kendala dijumpai dalam pemakaian baja di laut, karena baja mudah terserang korosi, sedang lingkungan laut jauh lebih korosif jika dibandingkan dengan daratan. Korosi pada air laut sangat rumit karena banyak faktor lingkungan berperan, seperti temperatur, kadar garam. Oksigen yang larut, pH, gaya pukulan ombak dan arus, serta pencemaran biologi. Korosi air laut juga dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berkaitan dengan logam. Untunglah kemajuan teknologi saat ini telah menemukan langkah-langkah yang diperlukan dalam penanggulangan korosi.

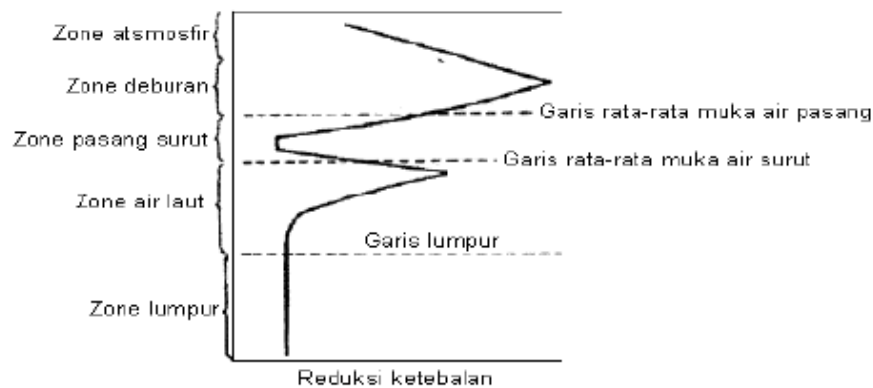
Pada dasarnya ada empat metoda untuk mencegah terjadinya korosi pada baja di lingkungan lautan:

- (a) pemakaian lapis pelindung,
- (b) perlindungan katodik,
- (c) peningkatan mutu rancangan, dan
- (d) modifikasi mutu baja.

Sistem penanggulangan korosi pada sebarang struktur dituntut untuk efektif, kemudahan dalam fabrikasi dan pemeliharaan, serta ekonomi dalam keseluruhan. Pertimbangan kemudahan pemeliharaan seringkali kurang diperhatikan dalam pembangunan. Sekalipun suatu sistem mempunyai efektifitas yang tinggi pada saat awal, tetapi efektifitas itu akan berkurang seiring dengan waktu, baik secara kimia, mekanika, atau kombinasinya.

Dengan demikian pemeliharaan sangat perlu dipertimbangkan dari segi biaya serta kemudahannya. Sebagai contoh, jika tiang-tiang pancang sebagai struktur lepas pantai dilindungi dengan lapis pelindung organik, maka dapat dipertanyakan bagaimana cara inspeksi untuk mengetahui apakah lapis pelindung itu telah rusak. Lebih lanjut pemasangan lapis pelindung yang baru sangatlah sulit, bahkan dapat dikatakan tidak mungkin dilaksanakan. Lingkungan struktur lepas pantai dapat dibedakan dalam lima macam berdasarkan posisinya terhadap permukaan air laut seperti gambar di bawah ini,

yaitu atmosfer, daerah percikan (*splash zone*), permukaan pasang surut (*tidal zone*), di bawah permukaan (*submerged zone*), dan daerah lumpur (*mud zone*).



Gambar 1. 26 Pembagian zone dan tebal korosi relatif (Kure, NC)

Daerah percikan dan permukaan pasang surut. Dari dua daerah ini, daerah percikan adalah bagian yang mengalami korosi sangat berat, sedang daerah permukaan pasang surut relatif ringan untuk suatu batang struktur vertikal tanpa lapis pelindung, seperti tiang pancang. Hal ini karena daerah permukaan pasang surut secara galvanis dilindungi oleh bagian yang berada sedikit di bawahnya. Bagian yang tersebut belakangan ini laju korosinya meningkat bersamaan dengan perlambatan korosi pada daerah permukaan pasang-surut. Tetapi jika tiang pancang diberi lapis pelindung dari bahan yang dapat berfungsi sebagai *Lingkungan atmosfer*.

Bagia struktur di atas permukaan air yang langsung berhubungan dengan atmosfer biasanya diberi lapis pelindung dari cat seperti pada struktur baja di daratan. Sudah barang tentu cat yang dipakai harus mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi, karena lingkungan lautan sangat korosif. Jembatan baja yang berdekatan dengan pantai harus dilapis cat dengan tebal lebih dari 200 mikron. Cat yang dipakai harus dipilihkan yang kuat, tahan lama, dan pemeliharannya minimal. Spesifikasi tipikal adalah cat anorganik dengan kadar zink cukup tinggi, atau penyemprotan zink dicampur lapisan tebal cat resin sintetis. *Zone di bawah permukaan air laut.*

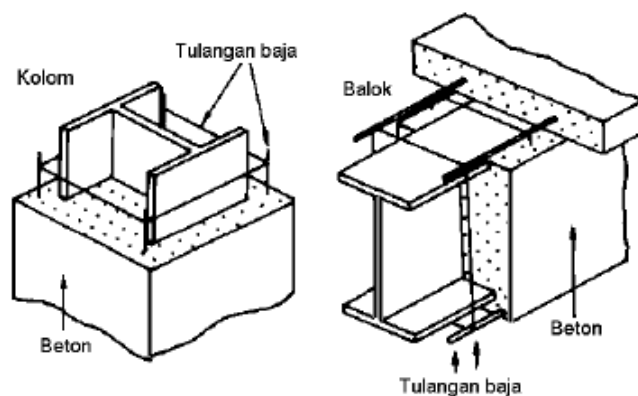
Bagian-bagian struktur baja yang sepenuhnya di bawah muka air laut dapat dilindungi secara efektif memakai arus katoda (*cathodic protection*), karena metal menerima arus searah dari lingkungan seperti proses pada katoda sel listrik. Korosi pada lingkungan basah biasanya disertai penghentian arus searah yang ditimbulkan oleh perbedaan potensial listrik pada sel korosi tertentu. Pemakaian arus dari sumber luar cukup mampu menghentikan arus korosi dan mengembalikan aliran arus ke dalam metal.

Aspek teknologi yang perlu dipertimbangkan adalah bagaimana memberikan arus yang rata ke setiap bagian struktur pada zone di bawah permukaan air laut dalam waktu yang lama, dan bagaimana agar perawatan menjadi mudah. Bagian-bagian yang tidak cukup menerima arus mulai mengalami korosi, sedang bagian yang menerima arus terlalu banyak akan rusak karena tertutup bahan organik, dan pada beberapa kasus kerusakan baja disebabkan oleh hidrogen yang terjadi di permukaan baja.

2.12 Perlindungan Terhadap Api

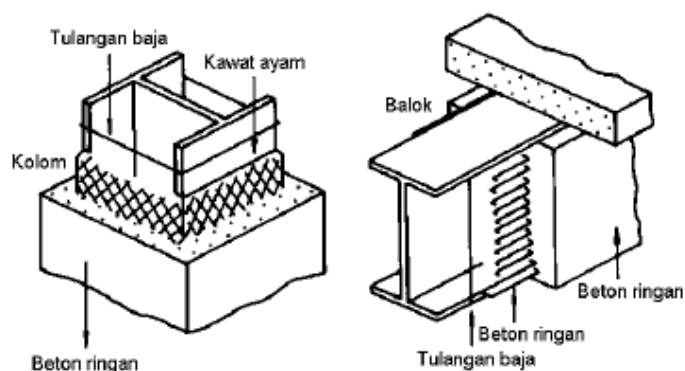
Oleh karena kekuatan struktur turun drastis jika temperature tinggi, maka perlindungan struktur baja terhadap api sangatlah penting. Menurut Muto (1990), perkantoran perlu ketahanan terhadap api selama 1,5 jam untuk bagian struktur di atas permukaan tanah, sedang untuk bagian di bawah tanah dituntut ketahanan selama dua jam. Di Jepang persyaratan ketahanan api ini bervariasi dari 30 menit sampai tiga jam sesuai macam struktur dan lokasinya.

Cara pertama untuk melindungi batang struktur baja dari bahaya kebakaran adalah menyelubunginya dengan beton ringan. Pada penyelubungan ini agar beton tidak retak karena muai/susut, maka perlu dipasang tulangan membujur dan sengkang non struktural seperti terlihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. 27 Kolom dan balok dilindungi beton ringan

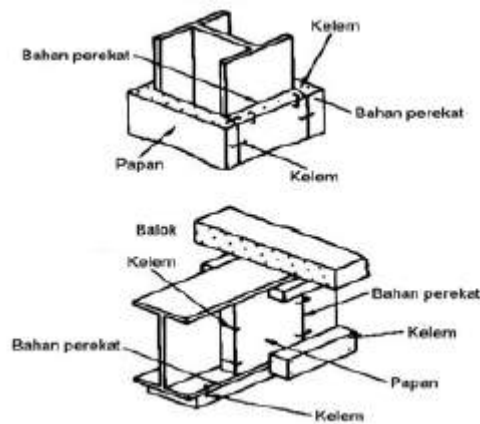
Cara kedua untuk melindungi struktur baja dari bahaya kebakaran dilakukan dengan jaringan kawat ayam yang dipasang menyelubungi batang struktur seperti terlihat pada Gambar di bawah ini



Gambar 1. 28 Kolom dan balok diselubungi mortel ringan

Cara ketiga untuk melindungi struktur baja dari bahaya kebakaran dilakukan dengan menutup permukaan baja dengan papan yang terbuat dari asbestos, atau kalsium silikat, atau *rockwool*. Papan-papan tersebut ditempelkan pada permukaan baja

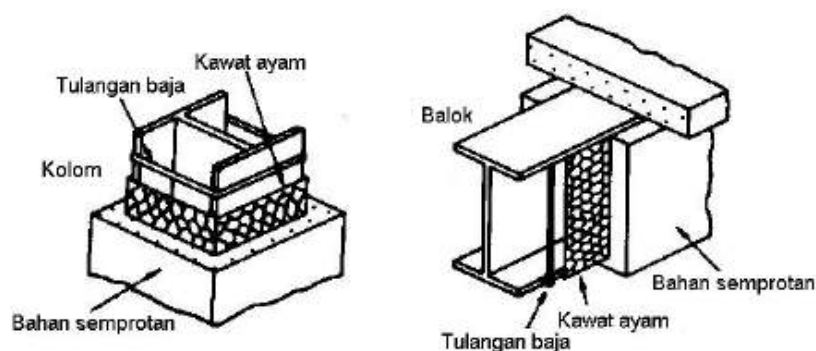
dengan perekat *waterglass*. Cara ini diperlihatkan pada Gambar di bawah ini, paku dan kelem untuk digunakan untuk merangkai.



Gambar 1. 29 Perlindungan dengan papan.

Cara perlindungan struktur baja dari bahaya kebakaran yang keempat adalah dengan penyemprotan (*spray*). Ada dua macam cara penyemprotan, yaitu penyemprotan kering dan penyemprotan basah. Pada penyemprotan kering dipakai bahan kering seperti asbestos, atau rockwool, dan bahan perekat cair yang disemprotkan masing-masing dari nosel yang berbeda dengan udara bertekanan tinggi. Pada cara basah, bahan pelindung dan bahan perekat disemprotkan dalam bentuk tercampur.

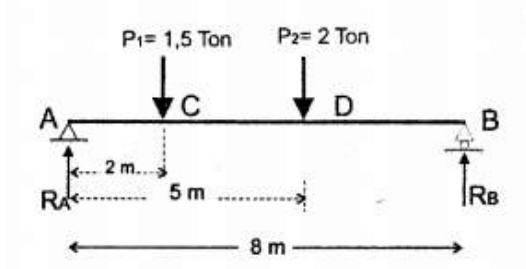
Dalam kasus tertentu, bahan pelindung ini disemprotkan langsung ke permukaan baja struktural, sedang pada kasus lain, seperti terlihat pada Gambar di bawah ini, jaringan kawat ayam dipasang terlebih dahulu, kemudian bahan pelindung disemprotkan. Tebal lapis pelindung ini tergantung pada tuntutan ketahanan yang disyaratkan. Tebal minimum untuk lapis pelindung tanpa tulangan adalah 8 mm, sedang untuk pelindung dengan tulangan tebal minimum 15 mm. Pada lapis pelindung dengan tebal lebih dari 35 mm, selain jaringan kawat ayam disarankan agar dipasang jaringan tulangan yang dilas (*weldmesh*).



Gambar 1. 30 Perlindungan dengan bahan semprotan

2.13 Contoh Soal Latihan

1. Tentukan Reaksi dan Momen pada konstruksi balok berikut ini:



Penyelesaian:

$\Sigma M_B = 0$ (Semua gaya-gaya di momenkan ke titik B)

$$R_A \cdot L - P_1 (L-a) - P_2 (L-b) = 0$$

$$R_A \cdot 8 - 1,5 \text{ ton} (6\text{m}) - 2 \text{ ton} (3\text{m}) = 0$$

$$R_A = \frac{1,5 \text{ ton} (6\text{m}) + 2 \text{ ton} (3\text{m})}{8} = \frac{15}{8} = \mathbf{1,875 \text{ ton}}$$

$\Sigma M_A = 0$ (Semua gaya-gaya di momenkan ke titik A)

$$R_B \cdot L - P_2 (b) - P_1 (a) = 0$$

$$R_B \cdot 8 - 2 \text{ ton} (5\text{m}) - 1,5 \text{ ton} (2\text{m}) = 0$$

$$R_B = \frac{2 \text{ ton} (5\text{m}) + 1,5 \text{ ton} (2\text{m})}{8} = \frac{13}{8} = \mathbf{1,625 \text{ ton}}$$

Kontrol:

$$P_1 + P_2 = R_A + R_B$$

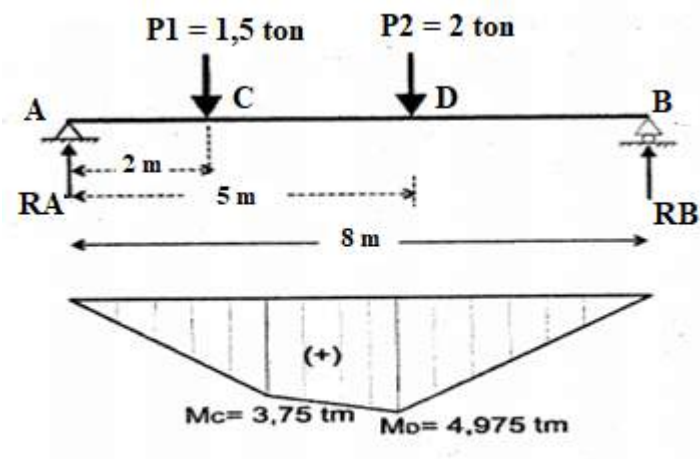
$$1,5 \text{ ton} + 2 \text{ ton} = \mathbf{1,875 \text{ ton} + 1,625 \text{ ton (OK)}}$$

Momen pada tiap titik:

$$M_A = M_B = 0$$

$$M_C = R_A \cdot a = \mathbf{1,875 \text{ ton} \times 2\text{m} = 3,75 \text{ tm (+)}}$$

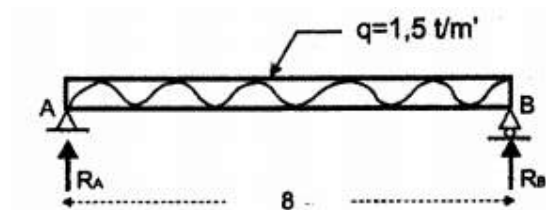
$$M_D = R_A \cdot b - P_1 (b-a) = (\mathbf{1,875 \text{ ton} \times 5\text{m}}) - 1,5 \text{ ton} (3\text{m}) = \mathbf{4,975 \text{ tm (+)}}$$



Gambar Bidang Momen

2.14 Latihan

1. Tentukan Reaksi dan Momen pada konstruksi balok berikut ini:



2. Sebutkan dan jelaskan metoda pencegahan korosi yang digunakan pada material baja.
3. Tuliskan dan jelaskan klasifikasi baja menurut komposisi kimianya.
4. Jelaskan dan gambarkan hubungan Tegangan-Regangan untuk uji tarik baja **sampai keadaan titik putus**.
5. Jelaskan dan gambarkan hubungan Tegangan-Regangan untuk uji tarik baja **sampai keadaan plastis**.

E. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’.
2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
7. AISE “Manual of Steel Construction”
8. SNI 03-1729-2002.”Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
9. SNI -7971-2013.”Struktur Baja Canai Dingin”.
10. SNI -1729-2015.”Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

MODUL 2

PENGENALAN BERBAGAI METODE PERANCANGAN STRUKTUR BAJA *ALLOWABLE STRESS DESIGN (ASD), LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD), DAN KOMBINASI PEMBEBANAN MENURUT SNI*

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran pengenalan berbagai metode perancangan struktur baja *Allowable Stress Design (ASD)* dan *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* pembebanan dan kombinasi beban menurut SNI, dibahas tentang metode perancangan struktur baja (ASD dan LRFD), pembebanan, dan kombinasi beban menurut SNI. Dalam perencanaan struktur sangatlah diperlukan pemahaman tentang metode perancangan struktur baja (ASD dan LRFD) yang digunakan, karena hal ini sangat mempengaruhi perencanaan struktur yang akan direncanakan dan dianalisa.

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Pengenalan Metode Perancangan Struktur Baja ASD Dan Kombinasi Beban Menurut SNI

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah pengenalan berbagai metode perancangan struktur baja *Allowable Stress Design (ASD)* dan kombinasi beban menurut SNI adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan metode perancangan struktur baja (ASD) sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam mendisain struktur bangunan.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang pengenalan berbagai metode perancangan struktur baja *Allowable Stress Design (ASD)* dan kombinasi beban menurut SNI yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Stabilitas Struktur

Tujuan utama dari dasar perencanaan struktur adalah menghasilkan struktur yang dapat dipergu-nakan sesuai tujuan pembangunan secara aman, nyaman, ekonomis baik dalam pembuatan maupun perawatan. Berbagai aturan perencanaan dibuat sebagai petunjuk bagi perencanaan agar dapat memenuhi tujuan dasar tersebut. Perencanaan kuno lebih didasarkan pada empiris, sangat dipengaruhi pengalaman-pengalaman sebelumnya. Apabila pengalaman sebelumnya menunjukkan bahwa ukuran-ukuran suatu struktur terlalu kecil sehingga bangunan roboh, maka pada perencanaan berikutnya ukuran komponen struktur diperbesar, sebaliknya apabila penggunaan ukuran batang struktur dapat menghasilkan bangunan yang kokoh, maka perencanaan berikutnya cenderung dicoba ukuran yang lebih kecil agar diperoleh bangunan yang lebih ekonomis.

2.2 Kekuatan ultimit dan kekuatan nominal

Teori elastis adalah teori yang pertama dipakai untuk perencanaan berdasarkan metoda hitungan. Teori itu cukup lama dipakai dalam perencanaan struktur, bahkan

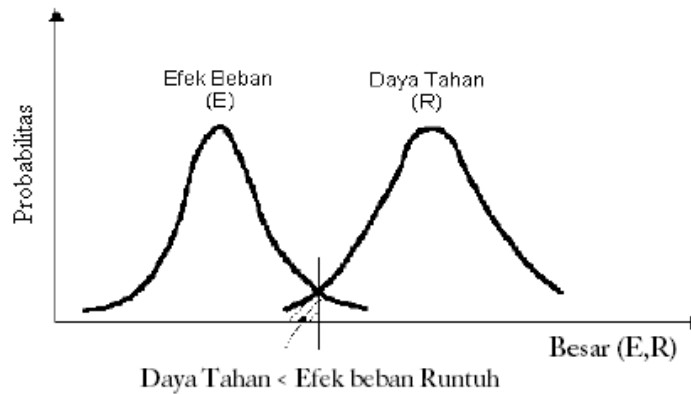
sampai saat ini teori tersebut masih banyak digunakan, sedangkan teori baru yang didasarkan pada kuat batas (teori ultimit) secara berangsur-angsur menggantikannya. Prosedur perencanaan dengan kuat batas menuntut perencanaan untuk mempertimbangkan berbagai kondisi yang dapat ditetapkan sebagai kegagalan sesuai dengan kriteria kuat batas.

Dalam hal ini kegagalan dapat dibedakan dalam dua hal. Kegagalan jenis pertama terjadi karena struktur kurang mampu menahan beban yang bekerja, sehingga terjadi keruntuhan. Kegagalan ini sangat erat berkaitan dengan keselamatan, dan ditandai dengan terjadinya putus, retak, lekukan, lengkungan, keruntuhan, atau ketidak stabilan elemen struktur. Dalam hal tertentu, perlu juga dipertimbangkan kemungkinan kegagalan retak akibat kelelahan (fatigue) atau retak karena bahan mempunyai sifat getas (brittle). Oleh karena itu dalam perencanaan harus diperhitungkan berbagai beban yang mungkin akan bekerja pada bangunan yang akan dibuat. Kegagalan kedua terjadi karena struktur kurang mampu-layan, sehingga tidak dapat difungsikan sesuai tujuan pembuatan.

Suatu struktur yang kuat belum tentu mempunyai sifat mampu-layan. Deformasi, lendutan, serta getaran yang berlebihan dapat merusakkan komponen bangunan lain. Lendutan yang besar pada jembatan akan mengurangi kenyamanan penumpang kendaraan yang lewat, menimbulkan kekhawatiran, menimbulkan gaya pusingan yang memperberat beban. Selain itu lendutan yang berlebihan juga akan mengurangi keindahan bangunan. Sekalipun banyak kasus yang perlu dipertimbangkan di dalam perencanaan, dalam banyak hal perencanaan cukup dilakukan berdasarkan kekuatan dan stabilitas, setelah itu baru dilakukan pengecekan untuk meyakini bahwa lendutan tidak melampaui batas.

Dalam praktek, pengujian laboratorium tentang sifat mekanis bahan, seperti kuat tarik dan tegangan leleh baja dari sejumlah sampel, hasilnya sangat bervariasi, sehingga kekuatan struktur yang dihasilkan tentunya juga demikian. Selain itu, beban yang bekerja pada struktur yang dirancang juga bervariasi. Dengan demikian perencanaan struktur menghadapi permasalahan kuantitas yang tidak pasti, baik tentang kekuatan maupun besarnya beban. Perhitungan harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa pengaruh beban benar-benar tidak akan melampaui batas kekuatan struktur, sehingga tidak terjadi keruntuhan.

Pendekatan ini yang disajikan secara skematis pada Gambar di bawah ini memperlihatkan secara hipotetis kurva distribusi frekuensi pengaruh beban serta kekuatan elemen struktur. Kedua kurva saling berpotongan, menunjukkan bahwa pada daerah terarsir pengaruh beban lebih besar dari kekuatan elemen struktur, sehingga struktur akan mengalami kegagalan. Kemungkinan kegagalan tersebut memang ada, namun suatu resiko yang secara statistik dapat dipertanggung jawabkan harus diambil, kalau tidak ingin suatu pemborosan.



Gambar 2. 1 Probabilitas daya tahan dan efek beban.

Prosedur perencanaan dengan kuat batas dapat diringkas sebagai berikut:

- Tetapkan batas-batas yang perlu dicek berkaitan dengan perilaku struktur.
- Pada setiap batas, tetapkan langkah-langkah tepat yang perlu dipertimbangkan.
- Menggunakan model struktur yang tepat untuk perencanaan, dengan memperhitungkan variasi berbagai parameter, seperti perilaku bahan dan data geometri, periksa bahwa tidak ada satupun batas yang terlampaui.

2.3 Perancangan kekuatan baja

Variabel beban/aksi adalah hanya salah satu aspek ketidak pastian yang berkaitan dengan perilaku struktur. Satu aspek lain yang juga penting adalah variabel bahan struktur yang berkaitan dengan kuat rancang. Untuk baja struktural, kuat rancang seringkali diperhitungkan berdasarkan tegangan leleh atau tegangan batas. Kuat rancang ini didefinisikan sebagai kuat karakteristik dibagi dengan suatu faktor aman parsial tertentu. Perilaku bahan yang lain adalah modulus elastis (E), modulus geser (G), angka Poison (ν), serta koefisien muai (α) akibat perubahan temperatur.

2.4 Metode Perencanaan Struktur Baja Dengan Menggunakan Metode *Allowable*

Stress Design/ Desain Dengan Kekuatan Izin (ASD).

ASD (*Allowable Stress Design AISC-USA*) merupakan konsep perancangan baja awal yang hingga sekarang masih banyak diaplikasikan. Konsep *Allowable Strength Design (ASD)* adalah: *The nominal strength is divided by a safety factor and the resulting allowable strength is then required to equal or exceed the required strength determined by structural analysis for the appropriate ASD load combination specified by the applicable building code.* Dalam ASD beban diperhitungkan adalah beban kerja (working load). Gaya-gaya dalam yang terjadi pada elemen dihitung dan dibandingkan dengan tegangan ijin bahan (allowable stress).

Perencanaan berdasarkan **ASD (*Allowable Stress Design*)** harus memenuhi persyaratan dimana kuat ijin setiap komponen struktur tidak boleh kurang dari kekuatan yang dibutuhkan:

- ❑ **Untuk pembebanan tetap:**

$$\sigma \leq \frac{fy}{1,5}$$

- ❑ **Untuk pembebanan sementara:**

$$\sigma \leq (1,3) \frac{fy}{1,5}$$

Note:

σ = Tegangan

fy = Tegangan leleh baja sesuai dengan mutu baja

Perhitungan/ perencanaan struktur baja dengan Metode ASD (Allowable Stress Design) bila memperhitungkan Faktor Tahanan adalah:

- ❑ **Untuk pembebanan tetap:**

$$\sigma \leq (\text{faktor Tahanan}) \cdot \frac{fy}{1,5}$$

- ❑ **Untuk pembebanan sementara:**

$$\sigma \leq (\text{faktor tahanan}) \cdot (1,3) \frac{fy}{1,5}$$

Note: σ = Tegangan yang dihasilkan sejumlah beban (LL, DL, WL, dan E).

fy = Tegangan leleh baja sesuai dengan mutu baja

2.5 Kombinasi Pembebanan (Muatan)

Kombinasi Pembebanan (muatan) Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987/ PMI 1979:

1. **Pembebanan Tetap:**

D + L

2. **Pembebanan Sementara:**

D + L + W

D + L + E.

Keterangan:

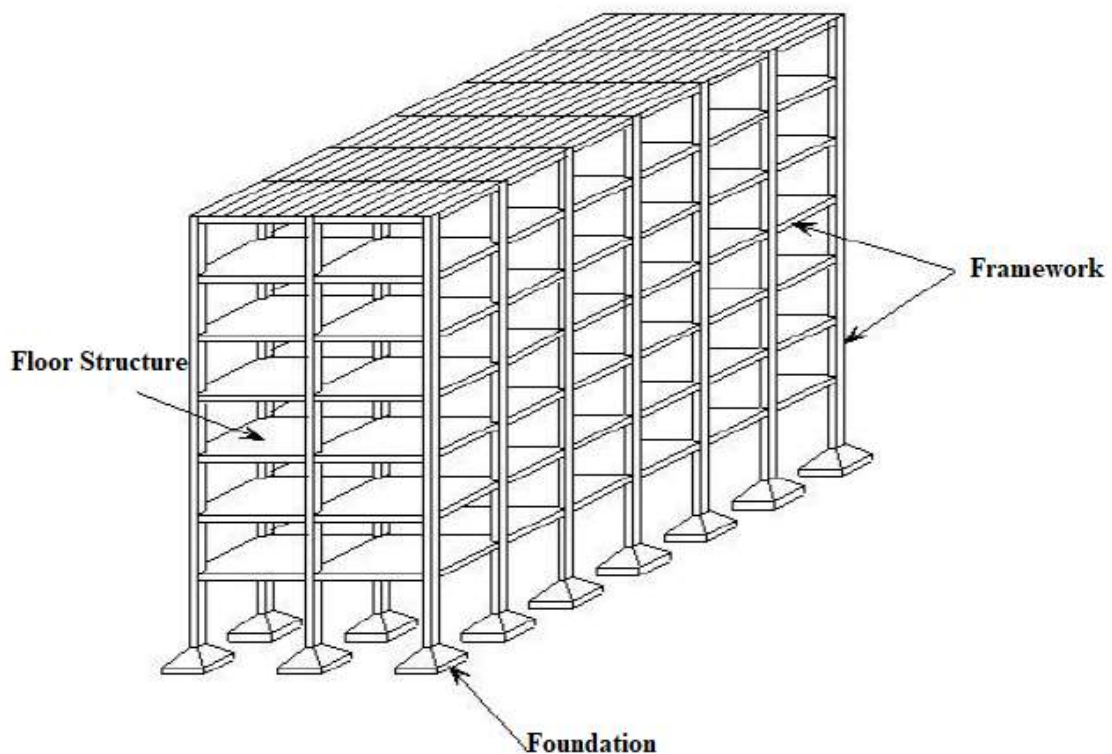
D = Beban mati (dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dll)

L = Beban hidup (manusia, beban kejut)

W = Beban Angin; E = Beban Gempa

2.6 Model Struktur

Model struktur baja untuk bangunan gedung berbentuk struktur portal penahan momen (*moment resisting frame*), portal dengan sistem pengaku (*braced frame*), portal gabungan (dengan dinding geser). Untuk struktur jembatan dapat berupa jembatan sistem gelagar sederhana, gelagar menerus, struktur rangka, struktur kabel, dan sebagainya. Sedangkan pada struktur turap berupa sistem kantilever dengan profil khusus turap yang memiliki kekakuan lateral yang tinggi. Gambar berikut ini menunjukkan model struktur untuk bangunan gedung.



Gambar 2. 2 Struktur portal baja gedung bertingkat.

2.7 Pembebanan/ Loading

Beban adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur (gaya dalam dan gaya luar). Beban pada struktur dapat berupa gaya atau deformasi sebagai pengaruh temperatur atau penurunan. Beban dapat dibedakan sebagai beban langsung dan tidak langsung yang dapat bersifat permanen seperti berat sendiri struktur serta perlengkapan tetap (DL) dan beban tidak tetap (LL), seperti pengaruh angin (WL), gempa (EL), salju, tumbukan, ledakan, dan sebagainya. Jika beban-beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka langkah berikutnya adalah menentukan kombinasi-kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Beberapa jenis beban menurut SNI 03-1729-2002 dan sering digunakan dalam perhitungan struktur adalah:

1. **Beban Mati** adalah berat dari semua bagian gedung/ bangunan yang bersifat tetap selama masa layan struktur, termasuk unsur-unsur tambahan, finishing, mesin-mesin,

pipa-pipa, saluran listrik, AC, lampu-lampu, penutup lantai, plafon, berat rangka, dinding, dana tap. Untuk merancang tentunya beban mati ini harus diperhitungkan untuk digunakan dalam analisa. Dimensi dan berat elemen struktur tidak diketahui sebelum analisa struktur selesai dilakukan. Berat yang ditentukan dari analisa struktur harus dibandingkan dengan berat perkiraan semula. Jika perbedaannya besar, perlu dilakukan analisa ulang dengan menggunakan perkiraan berat yang lebih baik. Berat beberapa material yang biasa digunakan dalam struktur dalam dilihat dalam Peraturan Muatan Indonesia SNI 03-1727-1989. Untuk material khusus, biasanya produsen telah memberikan data berat material berikut dimensi dan karakteristiknya. Berikut ini akan diperlihatkan Tabel berat sendiri Bahan Bangunan dan komponen Gedung.

Tabel 2. 1 Tabel Berat Sendiri Bahan Bangunan dan Komponen Gedung.

Bahan Bangunan	Berat
Baja	7850 kg/m ³
Beton	2200 kg/m ³
Beton Bertulang	2400 kg/m ³
Kayu (kelas I)	1000 kg/m ³
Pasir (kering udara)	1600 kg/m ³
Komponen Gedung	
Spesi dari semen, per cm tebal	21 kg/m ²
Dinding bata merah ½ batu	250 kg/m ²
Penutup atap genting	50 kg/m ²
Penutup lantai ubin semen per cm tebal	24 kg/m ²

2. **Beban Hidup** adalah beban gravitasi yang bekerja pada struktur dalam masa layannya, dan timbul akibat penggunaan suatu gedung, termasuk beban ini adalah berat manusia, perabotan yang dapat dipindah pindah, kendaraan, dll.

Tabel 2. 2 Tabel Beban Hidup Pada Lantai Gedung.

Kegunaan Bangunan	Berat
Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana	125 kg/m ²
Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m ²
Lantai ruang olahraga	450 kg/m ²

Lantai pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip,toko buku, ruang mesin, dan lain-lain	400 kg/m ²
Lantai gedung parkir bertingkat, untuk lantai bawah	800 kg/m ²

3. **Beban Angin** adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan-tekanan dari gerakan angin. Besarnya tekanan angin harus diambil minimum sebesar **25 kg/m²**.

Kecuali untuk bangunan-bangunan berikut:

1. Tekanan tiup di tepi laut hingga 5 km dari pantai harus diambil minimum **40 kg/m²**.
 2. Untuk bangunan di daerah lain yang kemungkinan tekan tiupnya lebih dari **40 kg/m²**, harus diambil sebesar $p = \frac{v^2}{16}$ (**kg/m²**), dengan V adalah kecepatan angin dalam m/s.
 3. Untuk cerobong, tekanan tiup dalam kg/m² harus ditentukan dengan rumus **(42,5 + 0,6h)**, dengan h adalah tinggi cerobong seluruhnya dalam meter.
4. **Beban Gempa** adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Besarnya gaya geser dasar (statistik ekuivalen) ditentukan berdasarkan persamaan:

$$V = \frac{C \times I}{R} \times Wt(\text{kg/m}^2), \text{ dengan:}$$

1. C adalah faktor respon gempa yang ditentukan berdasarkan lokasi bangunan dan jenis tanahnya.
2. I adalah faktor keutamaan gedung
3. R adalah faktor reduksi gempa yang tergantung pada jenis struktur yang bersangkutan
4. Wt adalah berat total bangunan termasuk beban hidup yang bersesuaian.

Faktor Tahanan:

1. Komponen struktur yang memikul geser; $\Phi = 0.58$
2. **Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:**
 - Kuat Lentur; $\Phi = 1.00$
 - Kuat Tarik; $\Phi = 1.00$
 - Kuat tekan; $\Phi = 1.00$
 - Kombinasi tegangan normal dan geser; $\Phi = 1.00$
3. **Sambungan Baut (PPBBI 1984):**
 - ❖ Baut yang memikul geser; $\Phi = 0.60$
 - ❖ Baut yang memikul Tarik; $\Phi = 0.70$
 - ❖ Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik; $\Phi=1.00$

$$\{\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 1.56\tau^2} \leq \Phi \cdot \bar{\sigma}\}$$

- ❖ Baut yang memikul tumpu:
 - ❖ Untuk $S1 > 2d$; $\Phi=1.50$
 - ❖ Untuk $1,5d < s1 \leq 2d$; $\Phi=1.20$
- (d = diameter baut; s1 = Jarak baut tepi)

4. Sambungan dengan paku keling (PPBB 1984):

- ❖ Baut yang memikul geser; $\Phi=0,80$
- ❖ Baut yang memikul Tarik; $\Phi=0.80$
- ❖ Baut yang memikul kombinasi geser dan Tarik; $\Phi=1,00$

$$\{\sigma = \sqrt{\sigma_t^2 + 3\tau^2} \leq \Phi \cdot \bar{\sigma}\}$$

- ❖ **Baut yang memikul tumpu:**
 - ❖ Untuk $S1 > 2d$; $\Phi=2.00$
 - ❖ Untuk $1,5d < s1 \leq 2d$; $\Phi=1.60$
- (d = diameter baut; s1 = Jarak baut tepi)

Material Properties

Tabel 2. 3 Tabel Tegangan Tarik dan Tegangan leleh Baja.

Jenis Baja	Tegangan Putus tarik f_u (MPa)	Tegangan leleh tarik f_y (MPa)
BJ -34	340	210
BJ -37	370	240
BJ -41	410	250
BJ -50	500	290
BJ -52	520	360
BJ -55	550	410

2.8 Metoda Perancangan Elastis dan Plastis

Umumnya, pada masa lalu dan juga sekarang struktur dirancang dengan metoda perancangan elastis. Perancang teknik menghitung beban kerja atau beban yang akan dipikul oleh struktur dan dimensi elemen didasarkan pada tegangan ijin. Tegangan ijin ini merupakan fraksi dari tegangan leleh. Meskipun kata ‘metoda elastis’ lebih sering digunakan untuk menjelaskan metoda ini, tetapi lebih tepat dikatakan perancangan berdasarkan beban kerja (*allowable-stress design* atau perancangan berdasarkan tegangan kerja). Banyak peraturan sebenarnya didasarkan pada perilaku kekuatan batas dan bukan perilaku elastis. Daktilitas baja telah ditunjukkan dapat memberikan kekuatan cadangan dan merupakan dasar dari perancangan plastis. Dalam metoda ini beban kerja dihitung

dan dikalikan dengan faktor tertentu atau faktor keamanan, kemudian elemen struktur dirancang berdasarkan kekuatan runtuh. Nama lain dari metoda ini adalah perancangan batas (*limit design*) dan perancangan runtuh (*collapse design*).

Telah diketahui secara luas bahwa bagian terbesar dari kurva tegangan-regangan baja berada diatas batas elastis. Hasil uji juga menunjukkan bahwa baja dapat menahan beban diatas tegangan leleh, dan jika mendapat beban berlebih, struktur statis tak tentu dapat mendistribusikan beban yang bekerja karena adanya sifat daktil baja. Berdasarkan hal tersebut muncul berbagai usulan perancangan plastis dan memang tidak diragukan bahwa untuk struktur tertentu, perancangan plastis akan memberikan penggunaan baja yang lebih ekonomis dibandingkan perancangan elastis.

2.9 Soal Latihan

Contoh Soal 1:

Pada suatu struktur bekerja beban mati sebesar $D = 5\text{kN}$, beban hidup $L = 2\text{ kN}$, ($\gamma_L=0,5$), beban angin $W = 1\text{ kN}$, dan Gempa $E = 2\text{ kN}$. Beban diatas bekerja pada suatu penampang baja dengan mutu BJ-34, tanpa memperhatikan sifat gaya tekan atau Tarik maupun kelangsingan batang, buatlah kombinasi beban berdasarkan metode ASD (*Allowable Stress Design*)

Penyelesaian:

- Mutu baja-34, $f_y = 210\text{ Mpa}$
- Metode ASD:

Pembebanan Tetap:

$$D + L = 5\text{ kN} + 2\text{ kn} = 7\text{ kN}$$

Pembebanan Sementara:

$$D + L + W = 5\text{ kN} + 2\text{ kN} + 1\text{ kN} = 8\text{ kN}$$

$$D + L + E = 5\text{ kN} + 2\text{ kN} + 2\text{ kN} = 9\text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan pembebanan, maka nilai yang menentukan dan digunakan untuk perhitungan adalah **nilai maksimum = 9 kN**, namun antara pembebanan tetap dan pembebanan sementara harus dicari luas penampang baja dengan mutu baja BJ-34 yang diperlukan untuk memikul gaya-gaya diatas, sebagai berikut:

Dari hasil perhitungan pembebanan, maka nilai yang menentukan dan digunakan untuk perhitungan adalah nilai maksimum = 9 kN, namun antara pembebanan tetap dan pembebanan sementara harus dicari luas penampang baja dengan mutu baja BJ-34 yang diperlukan untuk memikul gaya-gaya diatas, sebagai berikut:

a. Pembebanan Tetap:

$$\sigma \leq (\text{faktor tahanan}) \cdot \frac{f_y}{1,5}$$

$$\frac{P}{A} \leq (1) \cdot \frac{f_y}{1,5}$$

$$A \geq \frac{1,5 \times P}{f_y} = \frac{1,5 \times 7000 \text{ N}}{210} = 50 \text{ mm}^2$$

b. Pembebanan Sementara:

$$\sigma \leq (\text{faktor tahanan}) \cdot 1,3 \times \frac{f_y}{1,5}$$

$$\frac{P}{A} \leq (1) \cdot (1,3) \cdot \frac{f_y}{1,5}$$

$$A \geq \frac{1,5 \times P}{1,3 \times f_y} = \frac{1,5 \times 9000}{(1,3) \times 210} = 49,45 \text{ mm}^2$$

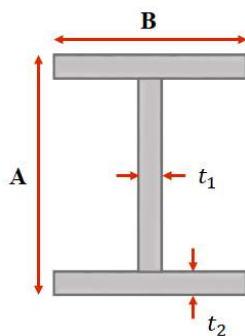
(50 mm² > 49.45 mm²) Menentukan pembebanan tetap

Contoh Soal 2:

Suatu kolom baja Bj-37 dari suatu struktur bangunan gedung memikul beban-beban aksial diantaranya: beban mati 25 tf, beban hidup dari atap 15 tf, beban hidup dari lantai bangunan 30 ton, beban angin ± 25 tf, beban gempa +20 tf. Hitunglah beban desain kolom sesuai kombinasi ASD.

Penyelesaian:

Metode ASD (*Allowable Stress Design*)



Mutu Baja- 37, $f_y = 240 \text{ Mpa}$

beban mati 25 tf, beban hidup dari atap 15 tf, beban hidup dari lantai bangunan 30 tf, beban angin ± 25 tf, beban gempa +20 tf. Hitunglah beban desain kolom sesuai kombinasi ASD.
Pembebanan Tetap:

$$D + L = 25 \text{ tf} + 15 \text{ tf} + 30 \text{ tf} = 70 \text{ tf}$$

Pembebanan Sementara:

$$D + L + W = 25 \text{ tf} + 15 \text{ tf} + 30 \text{ tf} + 25 \text{ tf} = 95 \text{ tf}$$

$$D + L + E. = 25 \text{ tf} + 15 \text{ tf} + 30 \text{ tf} + 20 \text{ tf} = 90 \text{ tf}$$

Nilai maksimum pembebanan sementara dan pembebanan tetap 70 tf, pembebanan sementara 95 tf namun antara pembebanan tetap dan pembebanan sementara harus dicari **luas penampang baja** dengan mutu baja BJ-37, $f_y = 240 \text{ Mpa}$, yang diperlukan untuk memikul gaya-gaya diatas, sebagai berikut:

a. Pembebanan Tetap:

$$\sigma \leq (\text{faktor tahanan}) \cdot \frac{f_y}{1,5}$$

$$\frac{P}{A} \leq (1) \cdot \frac{f_y}{1,5}$$

$$A \geq \frac{1,5 \times P}{f_y} = \frac{1,5 \times 686420}{240} = 4290 \text{ mm}^2$$

b. Pembebanan Sementara:

$$\sigma \leq (\text{faktor tahanan}) \cdot 1,3 \times \frac{f_y}{1,5}$$

$$\frac{P}{A} \leq (1) \cdot (1,3) \cdot \frac{f_y}{1,5}$$

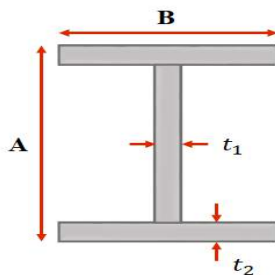
$$A \geq \frac{1,5 \times P}{1,3 \times f_y} = \frac{1,5 \times 931570}{(1,3) \times 240} = 4478 \text{ mm}^2$$

(4478 mm² > 4290 mm²) Menentukan pembebanan sementara.

2.10 Latihan

Soal 1:

Suatu kolom baja Bj-37 dari suatu struktur bangunan gedung memikul beban-beban aksial diantaranya: beban mati 25 tf, beban hidup dari atap 15 tf, beban hidup dari lantai bangunan 30 ton, beban angin ± 25 tf, beban gempa +20 tf. Hitunglah beban desain kolom sesuai kombinasi ASD.



Mutu Baja- 37, $f_y = 240$ Mpa

DL= 25 tf, beban hidup dari atap 15 tf, beban hidup dari lantai bangunan 30 tf, beban angin ± 25 tf, beban gempa +20 tf. Hitunglah beban desain kolom sesuai kombinasi ASD.

C. Kegiatan Pembelajaran 2: Pengenalan Metode Perancangan Struktur Baja dengan menggunakan metode LRFD Pembebanan Dan Kombinasi Beban Menurut SNI

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah pengenalan metode perancangan struktur baja *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) pembebanan dan kombinasi beban menurut SNI adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan metode perancangan struktur baja dengan menggunakan metode LRFD sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dalam mendisain struktur bangunan.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang pengenalan metode perancangan struktur baja *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) pembebanan dan kombinasi beban menurut SNI yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Metode perancangan struktur baja dengan menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)

AISC-ASD Code terakhir adalah tahun 1989, setelah itu tidak ada publikasi Code terbaru. Code yang keluar berikutnya tahun 2005 adalah AISC-LRFD singkatan dari *Load and Resistance Factor Design*. Konsep LRFD adalah The nominal strength is multiplied by a resistance factor, and the resulting design strength is then required to equal or exceed the required strength determined by structural analysis for the appropriate LRFD load combination specified by the applicable building code.

SNI 03-1729-2002 mengkombinasikan perhitungan kekuatan batas (*ultimate*) dengan kemampuan layan dan teori kemungkinan untuk keamanan yang disebut juga metode *Load and Resistance Factor Design - LRFD*. Dalam metoda LRFD terdapat beberapa prosedur perencanaan dan biasa disebut perancangan kekuatan batas, perancangan plastis, perancangan limit, atau perancangan keruntuhan (*collapse design*). LRFD didasarkan pada filosofi kondisi batas (*limit state*). Istilah kondisi batas digunakan untuk menjelaskan kondisi dari suatu struktur atau bagian dari suatu struktur tidak lagi melakukan fungsinya. Ada dua kategori dalam kondisi batas, yaitu batas kekuatan dan batas layan (*serviceability*).

Kondisi kekuatan batas (*strength limit state*) didasarkan pada keamanan atau kapasitas daya dukung beban dari struktur termasuk kekuatan plastis, tekuk (*buckling*), hancur, fatik, guling, dll. Kondisi batas layan (*serviceability limit state*) berhubungan dengan performansi (unjuk kerja) struktur dibawah beban normal dan berhubungan dengan hunian struktur yaitu defleksi yang berlebihan, gelincir, vibrasi, retak, dan deteriorasi. Struktur tidak hanya harus mampu mendukung beban rencana atau beban *ultimate*, tetapi juga beban servis/layan sebagaimana yang disyaratkan pemakai gedung. Misalnya suatu gedung tinggi harus dirancang sehingga goyangan akibat angin tidak terlalu besar yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan, takut atau sakit. Dari sisi kondisi batas kekuatan, rangka gedung tersebut harus dirancang supaya aman menahan beban ultimate yang terjadi akibat adanya angin besar 50-tahunan, meskipun boleh terjadi kerusakan kecil pada bangunan dan pengguna merasakan ketidaknyamanan.

Metode LRFD mengkonsentrasikan pada persyaratan khusus dalam kondisi batas kekuatan dan memberikan keluasaan pada perancang teknik untuk menentukan sendiri batas layannya. Ini tidak berarti bahwa kondisi batas layan tidak penting, tetapi selama ini hal yang paling penting (sebagaimana halnya pada semua peraturan untuk gedung) adalah nyawa dan harta benda publik. Akibatnya keamanan publik tidak dapat diserahkan kepada perancang teknik sendiri.

Struktur direncanakan mempunyai cukup kekuatan ultimate untuk mendukung beban terfaktor. Kekuatan ini dianggap sama dengan kekuatan nominal atau kekuatan teoritis dari elemen struktur (R_n) yang dikalikan dengan suatu faktor resistansi atau faktor *overcapacity* (Φ) yang umumnya lebih kecil dari 1,0. Faktor resistansi ini dipakai untuk memperhitungkan ketidak pastian dalam kekuatan material, dimensi, dan pelaksanaan. Perencanaan dalam struktur baja harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$\Phi R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i$$

Dimana:

R_n = Tahanan Nominal

Φ = Faktor Tahanan

γ_i = Faktor beban

Q_i = Beban mati, beban hidup, angin, dan gempa.

Perencanaan struktur dapat didefinisikan sebagai campuran antara seni dan ilmu pengetahuan yang dikombinasikan dengan intuisi seorang ahli struktur mengenai perilaku struktur dengan dasar-dasar pengetahuan dalam statika, dinamika, mekanika bahan, dan analisa struktur, untuk menghasilkan suatu struktur yang ekonomis dan aman selama masa layannya.

Tujuan dari perencanaan struktur menurut Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002) adalah menghasilkan suatu struktur yang stabil, cukup kuat, mampu layan, awet, dan memenuhi tujuan-tujuan lainnya seperti ekonomi dan kemudahan pelaksanaan. Suatu struktur disebut stabil jika tidak mudah terguling, miring, atau tergeser selama umur rencana bangunan. Resiko terhadap kegagalan struktur dan hilangnya kemampulayanan selama umur rencananya juga harus diminimalisir dalam batas-batas yang masih dapat diterima. Suatu struktur yang awet semestinya tidak memerlukan biaya perawatan yang terlalu berlebihan selama umur layannya.

Perencanaan adalah sebuah proses untuk mendapatkan suatu hasil yang optimum. Suatu struktur dikatakan optimum apabila memenuhi kriteria-kriteria berikut:

1. Biaya minimum
2. Berat minimum
3. Waktu konstruksi minimum
4. Tenaga kerja minimum
5. Biaya manufaktur minimum
6. Manfaat maksimum pada saat masa layan.

Kerangka perencanaan struktur adalah pemilihan susunan dan ukuran dari elemen struktur sehingga beban yang bekerja dapat dipikul secara aman, dan perpindahan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diisyaratkan. Prosedur perencanaan struktur secara iterasi dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Perancangan “Penetapan fungsi dari struktur”.
2. Penetapan konfigurasi struktur awal (*preliminary*) sesuai langkah 1 termasuk pemilihan jenis material yang akan digunakan.
3. Penetapan beban kerja struktur.
4. Pemilihan awal bentuk dan ukuran elemen struktur berdasarkan langkah 1, 2, dan 3.
5. Analisa struktur “Untuk memperoleh gaya-gaya dalam dan perpindahan elemen”.
6. Evaluasi “Apakah perancangan sudah optimum sesuai dengan yang diharapkan”.
7. Perencanaan ulang langkah 1 hingga 6.
8. Perencanaan akhir, apakah langkah 1 hingga 7 sudah memberikan hasil yang optimum pada struktur yang direncanakan.

Kombinasi Pembebanan (muatan) SNI 03-1729-2002 Dalam peraturan pembebanan SNI 03-1729-2002 kombinasi muatan dapat di hitung dengan:

1. $1,4 D$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$
3. $1,2 D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8 W)$
4. $1,2 D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H)$
5. $1.2D \pm 1.0 E + \gamma_L L$
6. $0.9 D \pm (1.3 W \text{ atau } 1,0 E)$

Keterangan:

D = Beban mati (dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dll)

L = Beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung (manusia, beban kejut), tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.

L_a = Beban Atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.

W = Beban Angin; H = Beban Hujan

E = Beban Gempa

$$\gamma_L = 0,5 \text{ bila } L < 5kPa, \text{ dan } \gamma_L = 1 \text{ bila } L \geq 5 kPa$$

Tabel 2. 4 Tabel Hubungan Kombinasi.

Kombinasi Beban	Indeks Keandalan, β
D & L	3,0 untuk komponen struktur
	4,5 untuk sambungan
D, L, dan W	2,5 untuk komponen struktur
D, L, dan E	1,75 untuk komponen struktur

2.2 Besar Beban dan Faktor Resistansi

Sebagian dari perancang teknik mungkin akan berpendapat bahwa tidaklah ekonomis untuk merancang struktur dengan faktor beban yang begitu tinggi dan faktor resistansi yang kecil. Tetapi karena begitu besarnya ketidakpastian maka hal tersebut diperlukan. Diantara ketidakpastian itu adalah:

1. Kekuatan material akan mempunyai karakteristik yang berbeda dari yang diasumsikan dan hal itu akan bertambah dengan adanya rangkai, korosi, dan fatik.
2. Dalam metoda analisa seringkali terjadi kesalahan yang cukup besar.
3. Gaya yang berasal dari alam sulit untuk diprediksi, seperti gempa.
4. Tegangan yang ditimbulkan selama proses pabrikasi dan pelaksanaan seringkali begitu besar. Pekerja di bengkel sering memperlakukan profil baja dengan tidak hati-hati, misalnya menjatuhkan, menempa, menarik elemen pada suatu posisi untuk pembautan. Hal ini dapat menyebabkan gaya yang disebabkan selama pabrikasi dan

pelaksanaan lebih besar dari pada saat konstruksi telah selesai. Lantai untuk suatu ruangan mungkin direncanakan untuk memikul beban hidup bervariasi dari 195 s.d. 390 kg/m^2 , tetapi selama pelaksanaan konstruksi kontraktor menempatkan batu bata ditumpuk setinggi 3,0 m sehingga menyebabkan beban beberapa ratus kg/m^2 .

5. Perubahan teknologi berpengaruh pada besar beban hidup. Misalnya karena dari tahun ke tahun angin bertiup semakin kencang, maka peraturan juga meningkatkan tekanan angin minimum yang harus digunakan dalam perancangan.
6. Meskipun beban mati dapat diperkirakan dengan cukup teliti, tetapi tidak demikian dengan beban hidup.
7. Ketidakpastian lain adalah tegangan residual dan konsentrasi tegangan, variasi dimensi penampang profil, dll.

Faktor Tahanan dalam perencanaan struktur **berdasarkan metode LRFD**, ditentukan dalam table 6.4-2 SNI 03-1729-2002 sebagai berikut:

- | | |
|---|---------------|
| a. Komponen Struktur yang memikul lentur; | $\phi = 0.90$ |
| b. Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial; | $\phi = 0.85$ |
| c. Komponen Struktur yang memikul gaya Tarik: | |
| 1. Terhadap kuat Tarik leleh | $\phi = 0.90$ |
| 2. Terhadap kuat Tarik fraktur | $\phi = 0.75$ |
| d. Komponen Struktur yang memikul gaya aksial dan lentur; | $\phi = 0.90$ |
| e. Komponen Struktur Komposit: | |
| 1. Kuat Tekan | $\phi = 0.85$ |
| 2. Kuat tumpu beton | $\phi = 0.60$ |

Faktor Tahanan:

- | | |
|--|---------------|
| f. Sambungan Baut | |
| 1. Baut memikul geser | $\phi = 0.75$ |
| 2. Baut memikul tarik | $\phi = 0.75$ |
| 3. Baut memikul geser dan tarik | $\phi = 0.75$ |
| 4. Lapis yang memikul tumpu | $\phi = 0.75$ |
| g. Sambungan Las: | |
| 1. Las tumpul penetrasi penuh | $\phi = 0.90$ |
| 2. Las Sudut, Las tumpul penetrasi sebagian, las pengisi | $\phi = 0.75$ |

Tabel 2. 5 Tabel Perbedaan Metode ASD dan LRFD.

Perbedaan	ASD	LRFD
Rumusan	<p>- Kuat ijin setiap komponen struktur tidak boleh kurang dari kekuatan yang dibutuhkan.</p> $R_u \leq \frac{R_n}{\Omega}$ <p>Dimana: R_u = Kekuatan yang dibutuhkan (ASD). R_n = Kekuatan Nominal. Ω = Faktor tahanan/ reduksi (≤ 1).</p>	<p>- Kuat rencana setiap komponen struktur tidak boleh kurang dari kekuatan yang dibutuhkan, yang ditentukan berdasarkan kombinasi pembebanan LRFD.</p> $R_u \leq \Phi \cdot R_n$ <p>Dimana: R_u = Kekuatan yang dibutuhkan (LRFD). R_n = Kekuatan Nominal. Φ = Faktor tahanan/ reduksi (≤ 1).</p>
Faktor Keamanan	Diterapkan hanya pada sisi tahanan	Diterapkan pada kedua sisi, beban, dan tahanan.
Beban Terfaktor	Tidak diterapkan, langsung beban kerja tak terfaktor.	Menggunakan beban kerja terfaktor yang berbeda berdasarkan derajat ketidakpastian, dengan kombinasi pembebanan sebagai berikut: <ul style="list-style-type: none"> • 1,4D • 1,2D + 1,6L+0,5 (L_a atau H). • 1,2D + 1,6L+0,5 (L_a atau H) + (Y_L. L atau 0,8 W). • 1,2D + 1,3W + Y_L. L + 0,5 (L_a atau H). • 1,2D ± 1,0E + Y_L. L • 0,9D ± (1,3W atau 1,0E).
Analisis Elastis	Menggunakan analisis elastis orde pertama pada kondisi beban kerja untuk mendapatkan gaya dalam pada komponen struktur.	Menggunakan analisis orde pertama dan orde kedua (efek P-delta) yang diperhitungkan dengan menggunakan faktor pembesar momen B ₁ dan B ₂

2.3 Keadaan Kemampuan layan batas

Sistem struktur dan komponen struktur harus direncanakan untuk mempunyai kemampuan-layan batas dengan mengendalikan atau membatasi lendutan dan getaran Kemampuan layan batas ini juga berlaku untuk setiap baut. Di samping itu untuk bangunan baja diperlukan perlindungan terhadap korosi secukupnya. Semuanya itu harus sesuai dengan persyaratan yang relevan pada. Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan-layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut. Batas lendutan maksimum diberikan dalam Tabel berikut ini.

Tabel 2. 6 Tabel Batas Lendutan Maksimum

- Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
- Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
- Balok biasa	$L/240$	-
- Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
- Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

2.4 Kelebihan *Load and Resistance Factor Design (LRFD)*

Pertanyaan yang sering muncul adalah: “apakah LRFD akan lebih menghemat dibandingkan dengan ASD?” Jawabannya adalah mungkin benar, terutama jika beban hidup lebih kecil dibandingkan beban mati. Perlu dicatat bahwa tujuan adanya LRFD bukanlah mendapatkan penghematan melainkan untuk memberikan reliabilitas yang seragam untuk semua struktur baja.

Dalam ASD faktor keamanan samadiberikan pada beban mati dan beban hidup, sedangkan pada LRFD faktor keamanan atau faktor beban yang lebih kecil diberikan untuk beban mati karena beban mati dapat ditentukan dengan lebih pasti dibandingkan beban hidup. Akibatnya perbandingan berat yang dihasilkan dari ASD dan LRFD akan tergantung pada rasio beban hidup terhadap beban mati. Untuk gedung biasa rasio beban hidup terhadap beban mati sekitar 0,25 s.d. 4,0 atau sedikit lebih besar. Untuk bangunan baja tingkat rendah, perbandingan tersebut akan sedikit diatas rentang ini. Dalam ASD kita menggunakan faktor keamanan yang sama untuk beban mati dan beban hidup tanpa melihat rasio beban.

Jadi dengan ASD akan dihasilkan profil yang lebih berat dan faktor keamanan akan lebih naik dengan berkurangnya rasio beban hidup terhadap beban mati. Untuk rasio L/D lebih kecil dari 3, akan terdapat penghematan berat profil berdasarkan LRFD atau sekitar 1/6 untuk elemen tarik dan kolom dan 1/10 untuk balok. Sebaliknya jika rasio L/D sangat tinggi maka hampir tidak ada penambahan penghematan berat baja yang dilakukan berdasarkan LRFD dibandingkan ASD.

2.5 Contoh Soal

Soal 1:

Pada suatu struktur bekerja beban mati sebesar $D = 5\text{kN}$, beban hidup $L = 2\text{ kN}$, ($\gamma_L=0,5$), beban angin $W= 1\text{ kN}$, dan Gempa $E= 2\text{ kN}$. Beban diatas bekerja pada suatu penampang baja dengan mutu BJ-34, tanpa memperhatikan sifat gaya tekan atau Tarik maupun kelangsingan batang, buatlah kombinasi beban berdasarkan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)

Penyelesaian:

- Mutu baja-34, $f_y = 210\text{ Mpa}$

b. Metode LRFD:

1. $1,4 D = 1,4 \times 5 \text{ kN} = 7 \text{ kN}$
2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L \text{ atau } H) = 1,2 \times (5\text{kN}) + 1,6 \times (2\text{kN}) = 9,2 \text{ kN}$
3. $1,2 D + 1,6 (L \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8 W) = 1,2 \times (5\text{kN}) + 0,5 \times (2\text{kN}) = 7 \text{ kN}$
4. $1,2 D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L \text{ atau } H) = 1,2 (5\text{kN}) + 1,3(1\text{kN}) + 0,5 (2\text{kN}) = 8,3\text{kN}$
5. $1.2D \pm 1.0 E + \gamma_L L = 1.2 (5\text{kN}) + 1.0 (2\text{kN}) + (0,5 \times 2\text{kN}) = 9 \text{ kN}$
6. $0.9 D \pm (1.3 W \text{ atau } 1,0 E) = 0.9 \times (5\text{kN}) + 1.3 \times (1\text{kN}) = 5.8 \text{ kN}$
7. $0.9 D \pm (1.3 W \text{ atau } 1,0 E) = 0.9 \times (5\text{kN}) + 1 \times (2\text{kN}) = 6.8 \text{ kN}$

Dari hasil perhitungan pembebanan, maka nilai yang menentukan dan digunakan untuk perhitungan adalah nilai maksimum = 9,2 kN, dan nilai luas penampang dapat dihitung dengan *menggunakan rumus tegangan leleh*:

$$F_y \geq \Phi R_n \cdot f_y$$

$$\frac{P}{A_g} \geq \Phi R_n \cdot F_y$$

$$A_g \geq \frac{P}{\Phi \cdot f_y} = \frac{9200}{(0,9) \times 210} = 48,68 \text{ mm}^2$$

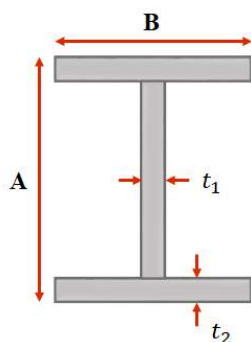
Maka digunakan luas penampang **48,68 mm²**

Soal 2:

Suatu struktur pelat lantai dipikul oleh balok profil WF 450.200.9.14 (Bj-37) dengan jarak antar balok adalah sebesar 2,5 m (as ke as). Beban mati pelat lantai sebesar 2,5 kN/m² dan beban hidup 4 kN/m². Hitunglah beban terfaktor yang harus dipikul oleh balok tersebut sesuai kombinasi LRFD (SNI 03-1729-2002).

Penyelesaian:

Metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) WF 450.200.9.14



Dimana:

B = Flange Width (mm) = 200 mm

A = Depth of Section (mm) = 450 mm

t₁ = Thickness Web (mm) = 9 mm

t₂ = Thickness Flange (mm) = 14 mm

Tiap balok harus memikul berat sendiri di tambah beban dari pelat selebar 2,5 m

Weight WF 450.200.9.14 = 76 kg/m = 0,76 kN/m

$$D = 0,76 + 2,5 (2,5) = 7,01 \text{ kN/m}$$

$$L = 2,5 (4) = 10 \text{ kN/m}$$

Hanya terdapat 2 jenis beban yaitu beban mati dan beban hidup, maka diperoleh kombinasi beban sebagai berikut:

$$U = 1,4 D = 1,4 (7,01) = 9,814 \text{ kN/m}$$

$$U = 1,2(D) + 1,6 (L) + 0,5 (La \text{ atau } H) = 1,2(7,01) + 1,6 (10) = 24,412 \text{ kN/m}$$

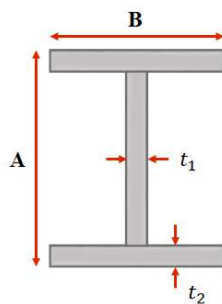
Jadi beban terfaktor yang menentukan adalah **24, 412 kN/ m**

Soal 3:

Suatu struktur pelat lantai dipikul oleh balok profil WF 400.200.8.13 (Bj-41) yang diletakkan setiap jarak 3 m digunakan untuk memikul beban mati sebesar 2 kN/m² dan beban hidup atap 1,5 kN/m² serta beban angin 1 kN/m². Hitunglah beban terfaktor yang harus dipikul oleh balok tersebut sesuai kombinasi LRFD (SNI 03-1729-2002).

Penyelesaian:

Metode LRFD (Load and Resistance Factor Design) WF 400.200.8.13



Dimana:

B = Flange Width (mm) = 200 mm

A = Depth of Section (mm) = 400 mm

t₁ = Thickness Web (mm) = 8 mm

t₂ = Thickness Flange (mm) = 13 mm

Tiap balok harus memikul berat sendiri di tambah beban dari pelat selebar 3 m

Weight WF 400.200.8.13 = 66 kg/m = 0,66 kN/m

$$D = 0,66 (3) + 3 (2) = 6,66 \text{ kN/m}; \quad ; L = 0 \text{ kN/m}$$

$$La = 3 (1,5) = 4,5 \text{ kN/m}; \quad ; W = 3 (1) = 3 \text{ kN/m}$$

Dalam peraturan pembebanan SNI 03-1729-2002 kombinasi muatan dapat di hitung dengan:

$$1. \quad 1,4 D = 1,4 (6,66) = 9,324 \text{ kN/m}$$

2. $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) = 1,2 (6,66) + 1,6 (0) + 0,5 (4,5) = 10,2 \text{ kN/m}$
3. $1,2 D + 1,6 (L_a \text{ atau } H) + (\gamma_L L \text{ atau } 0,8 W) = 1,2 (6,66) + 1,6 (4,5) + 0,8(3) = 17,592 \text{ kN/m}$
4. $1,2 D + 1,3 W + \gamma_L L + 0,5 (L_a \text{ atau } H) = 1,2 (6,66) + 1,3 (3) + 0,5 (4,5) = 14,142 \text{ kN/m}$
5. $0,9 D \pm (1,3 W \text{ atau } 1,0 E) = 0,9 (6,66) \pm 1,3 (3) = 9,89 \text{ kN/m}$

Jadi muatan yang digunakan **17,592 kN/m**

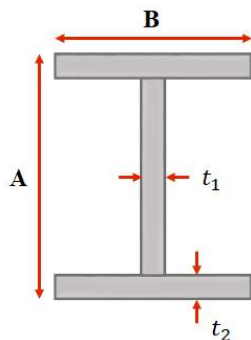
2.6 Latihan

Soal 1:

Suatu struktur pelat lantai dipikul oleh balok profil WF 450.200.9.14 (Bj-37) dengan jarak antar balok adalah sebesar 3 m (as ke as). Beban mati pelat lantai sebesar $2,75 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup 6 kN/m^2 . Hitunglah beban terfaktor yang harus dipikul oleh balok tersebut sesuai kombinasi LRFD (SNI 03-1729-2002).

Penyelesaian:

Metode LRFD (**Load and Resistance Factor Design**) **WF 450.200.9.14**



Dimana:

B = Flange Width (mm) = 200 mm

A = Depth of Section (mm) = 450 mm

t_1 = Thickness Web (mm) = 9 mm

t_2 = Thickness Flange (mm) = 14 mm

Soal 2:

Tuliskan dan jelaskan metode perencanaan struktur baja dengan menggunakan metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) dan dengan metode ASD (*Allowable Stress Design*).

D. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’.
2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
7. AISE “Manual of Steel Construction”
8. SNI 03-1729-2002.”Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
9. SNI -7971-2013.”Struktur Baja Canai Dingin”.
10. SNI -1729-2015.”Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

MODUL 3

PERHITUNGAN DAN TEORI LUAS EFEKTIF PENAMPANG

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran perhitungan dan teori luas efektif penampang, dibahas tentang metode perancangan perhitungan dan teori luas efektif penampang baja yang digunakan dalam disain perencanaan struktur dan perhitungan luas efektif penampang akibat dari susunan baut yang digunakan. Dalam perencanaan struktur sangatlah diperlukan pemahaman tentang metode perhitungan luas efektif penampang, karena hal ini sangat mempengaruhi dimensi penampang struktur baja yang digunakan.

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perhitungan dan Teori Luas Efektif Penampang

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari perhitungan dan teori luas efektif penampang adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan dan menghitung luas efektif penampang baja yang digunakan di dalam mendisain penampang baja yang digunakan

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perhitungan dan teori luas efektif penampang yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Tahanan Nominal

Dalam menentukan tahanan nominal suatu batang tarik harus diperiksa terhadap tiga macam kondisi keruntuhan yang menentukan, diantaranya:

1. Leleh dari luas penampang kotor, daerah jauh dari sambungan
2. Fraktur dari luas penampang efektif pada daerah sambungan
3. Geser blok pada sambungan

SNI 03-1729-2002 PASAL 10.1 menyatakan bahwa semua komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor sebesar T_u , harus memenuhi:

$$T_u \leq \phi T_n$$

Dimana:

T_u / N_u = Gaya tarik aksial terfaktor

T_n = Tahanan Nominal dari penampang

ϕ = Faktor Tahanan

2.2 Kondisi Leleh dari Luas Penampang Kotor

Bila Kondisi leleh yang menentukan, maka tahanan nominal T_n dari batang tarik memenuhi persamaan:

$$T_n = A_g * f_y$$

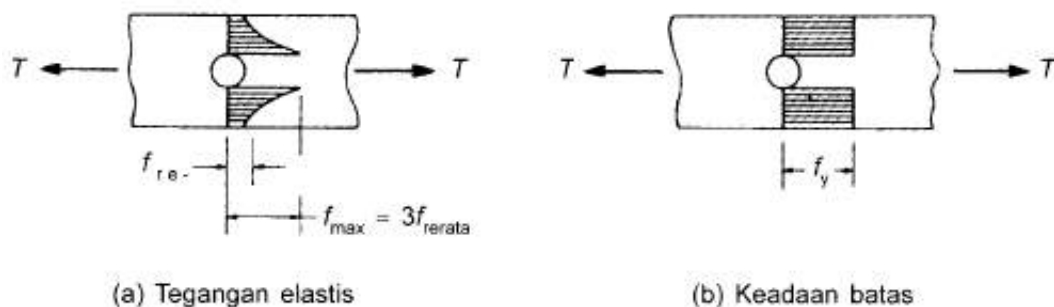
Dimana:

A_g = Luas penampang kotor, (mm^2)

f_y = Kuat leleh material, (MPa)

2.3 Kondisi Fraktur dari Luas Penampang Efektif pada Sambungan

Untuk batang tarik yang mempunyai lubang, misalnya untuk penempatan baut, maka luas penampangnya tereduksi, dan dinamakan luas netto (A_n). Lubang pada batang menimbulkan konsentrasi tegangan akibat beban kerja. Teori elastisitas menunjukkan bahwa tegangan tarik disekitar lubang baut tersebut adalah sekitar 3 kali tegangan rerata pada penampang netto. Namun saat serat dalam material mencapai regangan leleh $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$, tegangan menjadi konstan sebesar f_y , dengan deformasi yang masih berlanjut sehingga semua serat dalam material mencapai ϵ_y atau lebih. Tegangan yang terkonsentrasi di sekitar lubang tersebut menimbulkan fraktur pada sambungan.



Gambar 3. 1 Distribusi Tegangan Akibat Adanya Lubang pada Penampang

2.4 Luas Netto

Adanya lubang tentu saja akan menambah tegangan pada batang tarik meskipun lubang tersebut terisi dengan baut. Tetapi masih ada pertentangan pendapat jika lubang diisi oleh baut dengan pengencangan penuh. Selain luas baja untuk mendistribusikan tegangan menjadi lebih kecil, juga akan terjadi konsentrasi tegangan sekitar sisi lubang. Gaya tarik dianggap terdistribusi merata pada penampang netto, meskipun hasil penelitian dengan fotoelastis menunjukkan bahwa intensitas tegangan sekitar sisi lubang beberapa kali lipat tegangan diluar daerah lubang.

Untuk material daktil, anggapan distribusi merata dapat diterima jika material dibebani diatas titik leleh. Jika serat disekitar lubang diberikan tegangan melampaui titik lelehnya, maka serat tersebut akan leleh tanpa penambahan tegangan. Hal ini berarti terjadi redistribusi atau keseimbangan tegangan. Pada beban batas (ultimate) anggapan

distribusi tegangan seragam dapat diterima. Batang tarik dengan lubang rivet atau baut yang terbuat dari material daktil mempunyai kekuatan 1/5 sampai dengan 1/6 dari batang tarik yang sama tetapi terbuat dari material getas. Umumnya baja dapat kehilangan daktilitas dan hancur secara getas. Kondisi ini dapat terjadi akibat beban fatik atau temperatur yang rendah.

Lubang-lubang baut dapat dibuat dengan beberapa cara. Cara yang termurah dan termudah adalah menggunakan metode *punching* dengan diameter lubang 1,5 mm lebih besar daripada diameter alat pengencang (keling atau baut). Metode tersebut akan mengurangi kekuatan daerah pinggiran lubang baut sehingga dalam analisis diameter lubang diambil sebagai diameter lubang + 1,5 mm atau diameter alat pengencang + 3 mm.

Metode pelubangan kedua adalah dengan cara *punching* dengan diameter yang lebih kecil daripada diameter rencana kemudian melakukan *reaming* hingga mendapatkan diameter rencana. Metode tersebut memberikan ketelitian yang lebih baik daripada cara sebelumnya, namun lebih mahal. Metode ketiga adalah dengan cara langsung membor lubangnya sebesar diameter alat pengencang + 0,75 mm. Syarat untuk perhitungan Luas netto penampang batang tarik adalah tidak boleh diambil lebih besar daripada 85 % luas bruttonya dan dapat di hitung dengan menggunakan rumus:

$$A_n \leq 0,85 \cdot A_g$$

Dimana:

A_g = Luas penampang kotor, (mm²);

A_n = Luas netto, (mm²)

f_y = Kuat leleh material, (MPa)

Luas penampang netto adalah luasan penampang awal dikurangi dengan luas perlemahan penampang akibat lubang baut. Hal ini harus diperhitungkan karena perlemahan akan menyebabkan kapasitas penampang pada ujung batang yang disambung berkurang banyak.

$$A_n = A - n(db)(t)$$

Dimana:

A : luas brutto penampang profil (mm²)

A_n : luas netto penampang profil (mm²)

db : diameter baut (mm)

n : jumlah baut

t : tebal plat profil (mm)

2.5 Kondisi Fraktur dari Luas Penampang Efektif Pada Sambungan

Batang tarik yang memiliki lubang untuk penampang baut dan penampangnya tereduksi dinamakan luas netto (A_n). Teori elastisitas mengatakan bahwa tegangan tarik disekitar lubang baut adalah sekitar 3 kali tegangan rerata pada penampang netto, dan serat dalam material mencapai regangan leleh

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

Bila kondisi fraktur pada sambungan yang menentukan, maka tahanan nominal T_n dari batang tersebut memenuhi persamaan:

$$T_n = A_e * f_u$$

Dimana:

A_e = Luas penampang efektif = $U \cdot A_n$

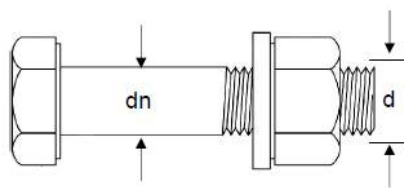
A_n = Luas netto penampang, mm²;

f_u = Tegangan tarik putus (MPa)

U = Koefisien reduksi; $\Phi = 0,9$ kondisi leleh; $\Phi = 0,75$ kondisi fraktur

2.6 Diameter Baut dan Diameter Lubang

Menurut SNI03-1729 2002, Pasa 117.3.6 bahwa diameter nominal lobang (d) yang sudah jadi harus 2mm lebih besar dari diameter nominal baut (d_n) untuk suatu baut yang diameternya tidak melebihi 24mm, dan maksimum 3mm lebih besar untuk baut dengan diameter lebih besar, kecuali untuk lubang pada pelat landas.



Gambar 3. 2 Diameter nominal baut dan lubang

Keterangan:

d_n = diameter nominal

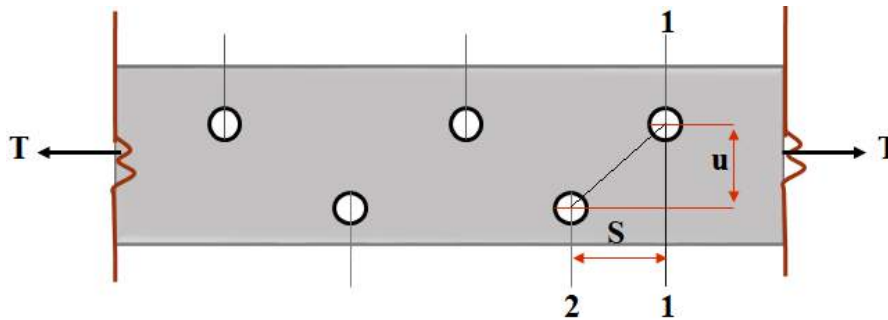
d = diameter lobang

$d = d_n + 2\text{mm}$ untuk $d_n \leq 24\text{mm}$

$d = d_n + 3\text{mm}$ untuk $d_n > 24\text{mm}$

2.7 Efek Lubang Berselang-seling Pada Luas Netto

SNI 03-1729-2002 diatur cara perhitungan Luas netto penampang dengan lubang yang diletakkan berselang-seling, dan dinyatakan bahwa Luas netto dihitung berdasarkan luas minimum antara **potongan 1 dan potongan 2**.



Gambar 3. 3 Efek Lubang berselang-seling Pada Luas Netto.

Dari potongan 1-1 diperoleh: $A_n = A_g - n \cdot d \cdot t$

Potongan 1-2 diperoleh: $A_n = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{S^2 \cdot t}{4u}$

Dimana:

A_g = Luas penampang kotor;

A_n = Luas penampang netto;

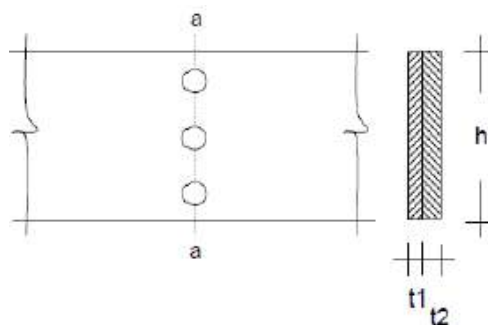
t = Tebal penampang

d = diameter lubang;

n = banyak lubang dalam satu potongan

S, u = Jarak antara sumbu lubang pada arah sejajar dan tegak lurus sumbu komponen struktur.

a. Luas penampang netto lubang sejajar



Gambar 3. 4 Lubang Baut Sejajar.

Pada lobang sejajar seperti gambar di atas, luas penampang netto (pot. a-a) diberikan oleh persamaan berikut:

$$A_{net} = A_g - (n \cdot d \cdot t)$$

Dimana:

n = jumlah lobang (3 lobang)

d = diameter lobang (mm)

d = $d_n + 2\text{mm}$, atau

d = $d_n + 3\text{mm}$.

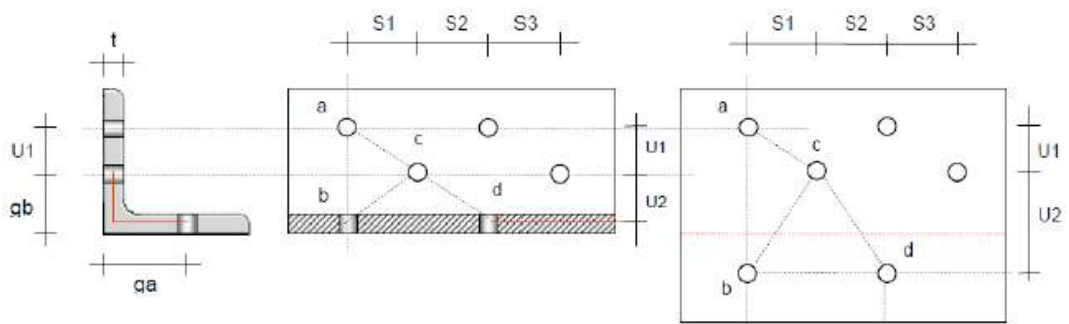
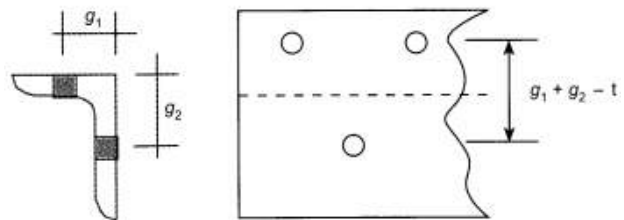
A_g = luas penampang bruto (mm²)

$A_g = h \cdot t$

t = tebal pelat terkecil antara t_1 dan t_2 (mm)

b. Luas penampang netto profil siku lobang berselang-seling

A. Profil Siku



Gambar 3. 5 Lubang baut berselang-seling pada profil siku.

Jarak $U_2 = g_a + g_b - t$

a. Potongan a –b

$$A_{net} = A_g - (n \cdot d \cdot t)$$

$n = 2$ lobang

b. Potongan a –c –b:

$$A_{net} = A_g - (n \cdot d \cdot t) + \frac{S_1^2 \cdot x \cdot t}{4u_1} + \frac{S_1^2 \cdot x \cdot t}{4u_2}$$

$n = 3$ lobang

c. Potongan a –c –d:

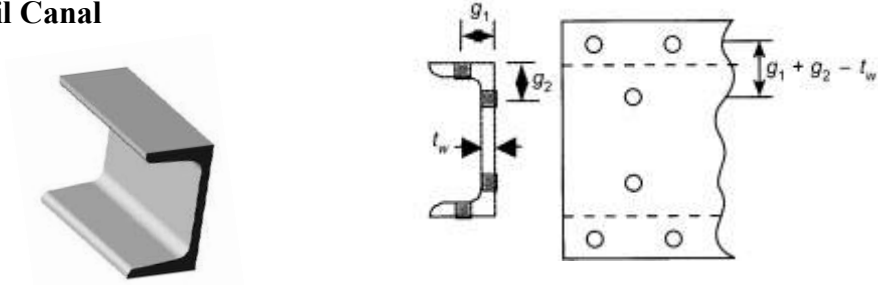
$$A_{net} = A_g - (n \cdot d \cdot t) + \frac{S_1^2 \cdot x \cdot t}{4u_1} + \frac{S_1^2 \cdot x \cdot t}{4u_2}$$

$n = 3$ lobang

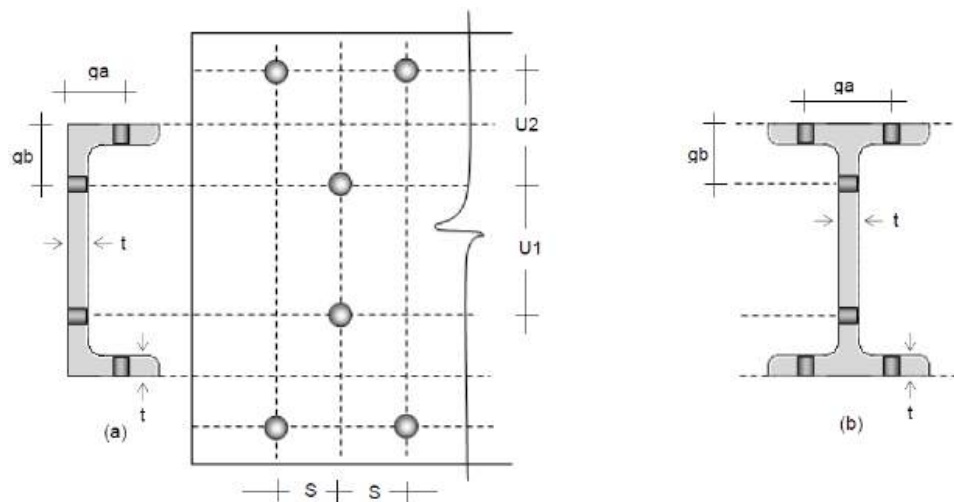
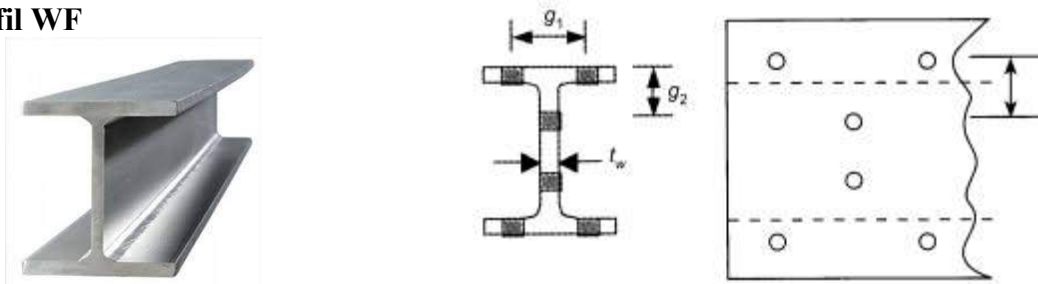
Dari ketiga hasil peninjauan tersebut diambil Anet yang terkecil, dan harus,
 $A_{net} \geq 85\% A_g$

c. Luas penampang netto profil UNP dan IWF lobang berselang-seling

B. Profil Canal



C. Profil WF



Gambar 3. 6 Lubang baut berselang-seling pada profil UNP dan IWF.

Profil UNP:

$$u_2 = g_a + g_b - t$$

Apabila tebal sayap (flens) t_1 dan tebal badan (web) t_2 tidak sama maka:

$$u_2 = (g_a + g_b) - \left(\frac{1}{2} \cdot t_1 + \frac{1}{2} \cdot t_2\right)$$

Profil IWF:

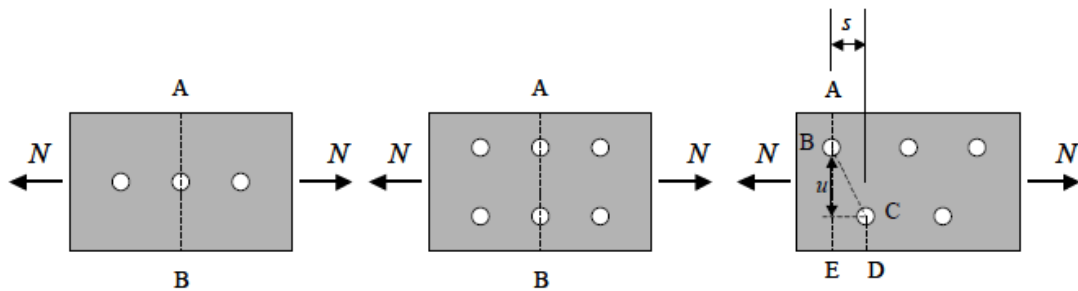
$$u_2 = \frac{g_a}{2} + g_b - t$$

Apabila tebal sayap (flens) t_1 dan tebal badan (web) t_2 tidak sama maka,

$$u_2 = \left(\frac{g_a}{2} + g_b\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot t_1 + \frac{1}{2} \cdot t_2\right)$$

2.8 Pengaruh Lubang Selang-seling

Jika jumlah baris lubang baut atau rivet dalam elemen lebih dari satu, maka lebih disukai untuk memasangnya dalam susunan *zig-zag* untuk mendapatkan luas netto sebesar mungkin untuk menahan beban. Dalam Gambar di bawah ini, batang tarik diasumsikan akan runtuh melalui garis AB, melalui garis ABE atau ABCD kecuali jika jarak antar lubang cukup besar.

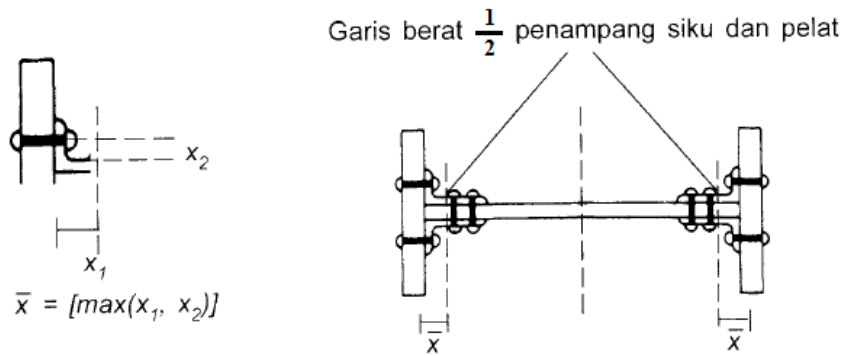


Gambar 3. 7 Pengaruh Lobang pada Batang Tarik.

2.9 Luas Penampang Netto Efektif

Kinerja suatu batang tarik dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, namun hal yang perlu diperhatikan adalah masalah sambungan karena adanya sambungan pada suatu batang tarik akan memperlemah batang tersebut. Efisiensi suatu sambungan merupakan fungsi dari daktilitas material, jarak antar alat pengencang, konsentrasi tegangan pada lubang baut serta suatu fenomena yang sering disebut dengan istilah *shear lag*.

Shear lag timbul jika suatu komponen struktur tarik hanya disambung sebagian saja, sebagai contoh adalah sambungan untuk profil siku pada gambar di bawah ini. Profil siku tersebut hanya disambung pada salah satu kakinya saja, sehingga bagian yang disambung akan mengalami beban yang berlebihan sedangkan bagian lainnya tidak menerima tegangan yang sama besarnya. Salah satu cara mengatasi masalah *shear lag* adalah dengan memperpanjang sambungan. Masalah *shear lag* dalam perhitungan diantisipasi dengan menggunakan istilah luas netto efektif, yang dapat diterapkan pada sambungan baut maupun las.



Gambar 3. 8 nilai \bar{x} Untuk Profil Siku.

Apabila gaya tarik disalurkan dengan menggunakan alat sambung las, maka akan ada 3 macam kondisi yang dijumpai yaitu:

1. Bila gaya tarik disalurkan hanya oleh las memanjang ke elemen bukan pelat, atau oleh kombinasi las memanjang dan melintang, maka: $A_e = A_g$.
2. Bila gaya tarik disalurkan oleh las melintang saja:
 $A_e = \text{Luas penampang yang disambung las (U=1)}$.
3. Bila gaya tarik disalurkan ke elemen pelat oleh las memanjang sepanjang kedua sisi bagian ujung elemen: $A_e = U \times A_g$

Dengan:

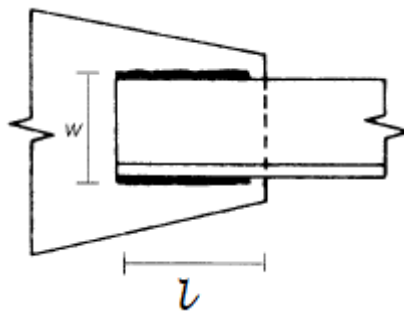
$$U = 1,00 \text{ untuk } l \geq 2w$$

$$U = 0,87 \text{ untuk } 2w > l \geq 1,5w$$

$$U = 0,75 \text{ untuk } 1,5w > l \geq w$$

l = Panjang las

w = Jarak antar las memanjang (lebar pelat)



Gambar 3. 9 Gambar Sambungan las

Luas netto (Anet) yang diperoleh sebelumnya harus dikalikan dengan faktor efektifitas penampang, U, akibat adanya eksentrisitas pada sambungan yang disebut dengan shear lag. Shear lag dalam perhitungan diantisipasi dengan menggunakan luas penampang netto efektif ditentukan dengan:

$$A_e = U * A_n$$

Dimana:

A_e = Luas penampang netto efektif

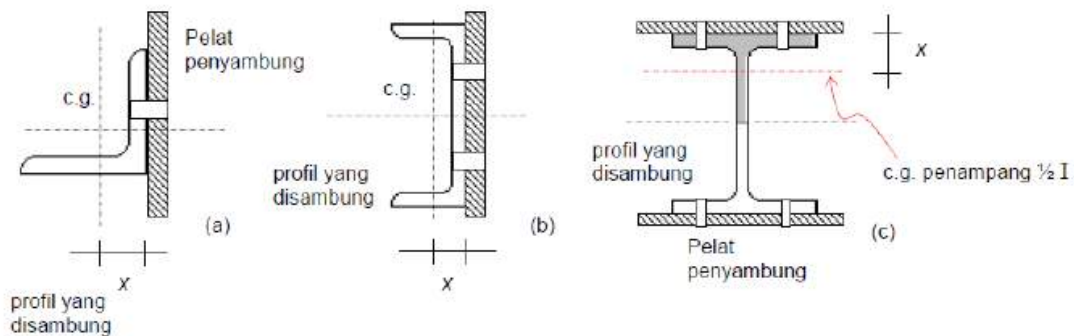
A_n = Luas netto penampang

U = Koefisien reduksi = $1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0,9$

\bar{x} = Eksentrisitas sambungan

L = Panjang sambungan dalam arah gaya tarik

Bentuk-bentuk eksentrisitas sambungan

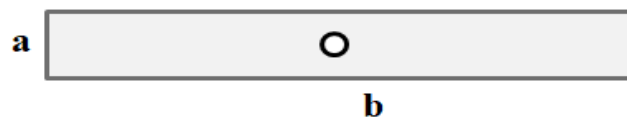


Gambar 3. 10 Letak Eksentrisitas sambungan pada profil siku, canal, dan profil WF.

2.10 Contoh Soal

Soal 1:

Hitunglah luas netto, A_n dari batang tarik berikut ini, jika diketahui data sebagai berikut: baut yang digunakan berdiameter d , (pelat $a \times b$) mm.



Penyelesaian:

Luas Kotor, $A_g = (a \times b) = \dots \text{mm}^2$

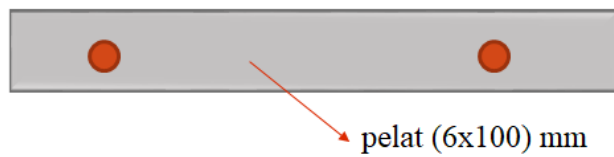
$$\text{Lebar Lubang} = d + 2 = \dots \text{mm}$$

Maka diperoleh luas netto dari pelat adalah:

$$A_n = A_g - (\text{Lebar lubang} * \text{tebal pelat}) = \dots \text{mm}^2 < 85\% * A_g$$

Soal 2:

Hitunglah luas netto, A_n dari batang tarik berikut ini, jika diketahui data sebagai berikut: baut yang digunakan berdiameter D-19, (pelat 6x100) mm



Penyelesaian:

$$\text{Luas Kotor, } A_g = (6 \times 100) = 600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lebar Lubang} = 2 * (19 + 2) = 42 \text{ mm}$$

Maka diperoleh luas netto dari pelat adalah:

$$A_n = A_g - (\text{Lebar lubang} * \text{tebal pelat}) = 600 \text{mm}^2 - (42 * 6)$$

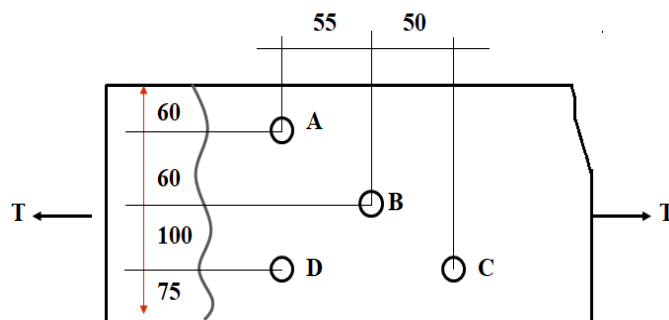
$$= 348 \text{ mm}^2 < 85\% * A_g \text{ (510 mm}^2\text{)}$$

$$A_n \leq 0,85 * 600 = 510 \text{ mm}^2$$

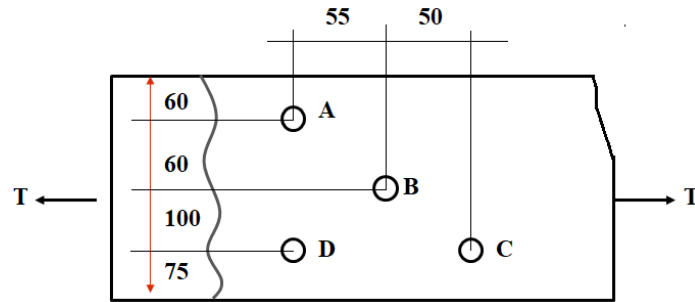
$$< 85\% * A_g$$

Soal 3:

Pada gambar penampang baja di bawah ini, hitunglah luas netto, A_n dari batang tarik berikut ini



Penyelesaian:



Luas kotor, $A_g = 6 * (60+60+100+75) = 1770 \text{ mm}^2$

Lebar lubang = $19+2 = 21 \text{ mm}$

Potongan AD:

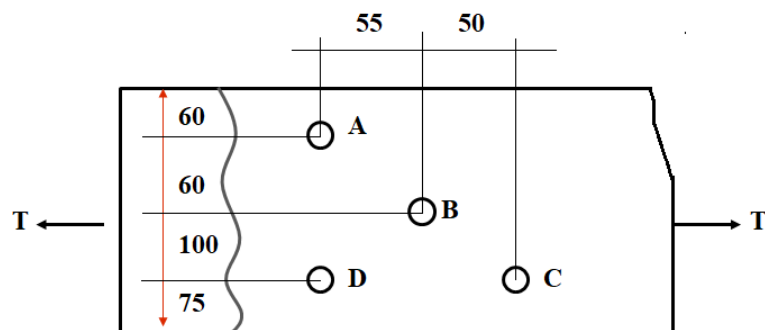
$$A_n = 1770 - 2*(21)* (6) = 1518 \text{ mm}^2$$

Potongan ABD:

$$A_n = A_g - n*d*t + \sum \frac{S^2*t}{4u} = 1770 - 3*21*6 + \frac{55^2*6}{4*60} + \frac{55^2*6}{4*100} = 1513 \text{ mm}^2$$

Potongan ABC:

$$A_n = A_g - n*d*t + \sum \frac{S^2*t}{4u} = 1770 - 3*21*6 + \frac{55^2*6}{4*60} + \frac{50^2*6}{4*100} = 1505,125 \text{ mm}^2$$



Periksa terhadap syarat $A_n \leq 0,85*A_g$

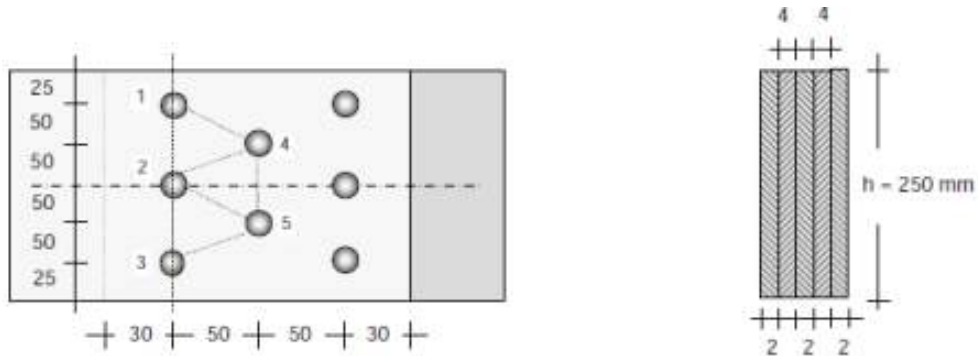
$$0,85*A_g = 0,85*(1770) = 1504,5 \text{ mm}^2$$

Maka nilai dari $A_{minimum}$ adalah **1504,5 mm²**

Soal 4:

Dua buah pelat memiliki ketebalan 4mm disambung dengan 3 buah pelat dengan tebal 2 mm seperti gambar di bawah ini. Diameter alat penyambung yang digunakan adalah

($d_n = 12 \text{ mm}$), dan jumlah alat penyambung adalah 8. Tentukan Luas penampang Netto.



Penyelesaian:

Tebal pelat terkecil, $(t) = 2+2+2 = 6 \text{ mm}$; Diameter Lobang (d) = $12 + 2 = 14 \text{ mm}$

Potongan 1-2-3:

$$A_{net} = h \cdot t - 3 \cdot t \cdot d = 250 \cdot 6 - (3 \cdot 6 \cdot 14) = 1500 - 252 = 1248 \text{ mm}^2$$

Potongan 1-4-2-5-3:

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s^2 \cdot t}{4u} = 250 \cdot 6 - 5 \cdot 6 \cdot 14 + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 50} + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 50} + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 50} + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 50}$$

$$= 1500 - 420 + 75 + 75 + 75 + 75 = 1380 \text{ mm}^2$$

Potongan 1-4-5-3:

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t + \sum \frac{s^2 \cdot t}{4u} = 250 \cdot 6 - 4 \cdot 6 \cdot 14 + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 50} + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 100} + \frac{50^2 \cdot 6}{4 \cdot 50}$$

$$= 1500 - 336 + 75 + 37,5 + 75 = 1351,5 \text{ mm}^2$$

SNI -2002:

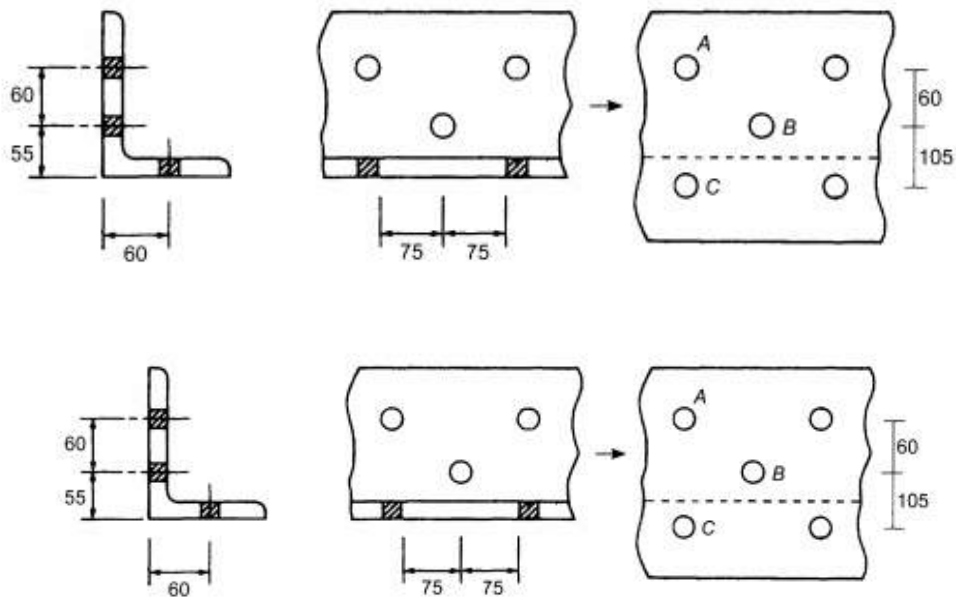
$$A_{net} = 85\% \cdot A_g = 0,85 \cdot 250 \cdot 6 = 1275 \text{ mm}^2 > A_{net} (1248 \text{ mm}^2) \text{ tidak memenuhi syarat}$$

Solusinya:

- Diameter paku/ baut diperkecil
- Susunan paku/ baut potongan vertikal di robah dari 3 menjadi 2 buah.

Soal 5:

Tentukanlah nilai **A_n minimum** dari batang tarik baja berikut ini yang menggunakan profil siku $\perp 100.150.10$ dan diameter lubang = 25 mm ($\Phi = 25 \text{ mm}$).



Penyelesaian:

Luas kotor, $A_g = 2420 \text{ mm}^2$ (Tabel Profil Baja)

Lanjutan: baja siku-siku tidak samakaki

panjang biasa 3 + 15 m

L	ukuran-ukuran dalam mm					F cm ²	berat kg/m	jarak titikberat-titikberat dalam cm						
	a	b	d	r	r ₁			e _x	e _y	w	w ₁	v	v ₁	v ₂
80-120-8	80	120	8	11	5,5	15,5	12,2	3,83	1,87	8,23	5,99	3,27	4,20	2,16
80-120-10			10			19,1	15,0	3,92	1,95	8,18	6,03	3,37	4,19	2,19
80-120-12			12			22,7	17,8	4,00	2,03	8,14	6,06	3,46	4,18	2,25
80-120-14			14			26,2	20,5	4,08	2,10	8,10	6,08	3,55	4,17	2,29
90-110-9	90	110	9	12	6	17,3	13,6	3,30	2,32	7,72	6,41	3,74	4,06	2,79
90-110-11			11			20,9	16,4	3,38	2,40	7,69	6,44	3,85	4,06	2,84
90-110-13			13			24,5	19,2	3,46	2,48	7,67	6,45	3,96	4,07	2,88
90-130-10	90	130	10	12	6	21,2	16,6	4,15	2,18	8,92	6,69	3,75	4,62	2,51
90-130-12			12			25,1	19,7	4,24	2,26	8,88	6,72	3,85	4,60	2,56
90-130-14			14			29,0	22,8	4,32	2,34	8,85	6,74	3,96	4,58	2,61
90-150-10	90	150	10	12,5	6,5	23,2	18,2	4,99	2,03	10,1	7,09	3,63	4,99	2,26
90-150-12			12			27,5	21,6	5,08	2,11	10,0	7,12	3,71	4,98	2,32
90-150-14			14			31,8	25,0	5,16	2,19	9,99	7,15	3,79	4,97	2,36
90-250-10	90	250	10	12,5	6,5	33,2	26,0	9,49	1,57	15,6	10,5	3,02	5,90	1,76
90-250-12			12			39,5	31,0	9,59	1,65	15,5	10,6	3,09	5,87	1,80
90-250-14			14			45,8	36,0	9,68	1,74	15,4	10,7	3,17	5,82	1,87
90-250-16			16			52,0	40,8	9,77	1,82	15,3	10,8	3,24	5,78	1,96
100-150-10	100	150	10	13	6,5	24,2	19,0	4,80	2,34	10,3	7,50	4,10	5,25	2,68
100-150-12			12			28,7	22,6	4,89	2,42	10,2	7,53	4,19	5,24	2,73
100-150-14			14			33,2	26,1	4,97	2,50	10,2	7,56	4,28	5,23	2,77
100-200-10	100	200	10	15	7,5	29,2	23,0	6,93	2,01	13,2	8,76	3,75	5,98	2,22
100-200-12			12			34,8	27,3	7,03	2,10	13,1	8,82	3,84	5,95	2,26
100-200-14			14			40,3	31,6	7,12	2,18	13,0	8,88	3,93	5,92	2,32
100-200-16			16			45,7	35,9	7,20	2,26	12,9	8,93	4,02	5,88	2,39
100-200-18			18			51,0	40,0	7,29	2,34	12,9	8,97	4,09	5,86	2,46

Lebar Lubang = $25 + 2 = 27 \text{ mm}$

Potongan AC: $A_n = 2420 - 2 \cdot (27) \cdot (10) = 1880 \text{ mm}^2$.

Potongan ABC: $A_n = 2420 - 3 \cdot (27) \cdot (10) + \frac{75^2 \times 10}{4 \times 60} + \frac{75^2 \times 10}{4 \times 105} = 1978,3 \text{ mm}^2$.

Periksa terhadap syarat $A_n \leq 0,85 \cdot A_g$

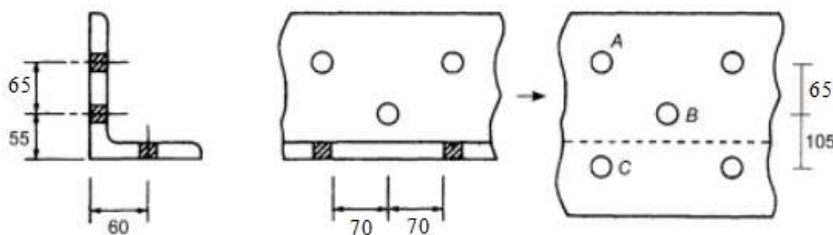
$0,85 \cdot A_g = 0,85 (2420) = 2057 \text{ mm}^2$.

Jadi A_n minimum adalah **1880 mm²**.

2.11 Latihan

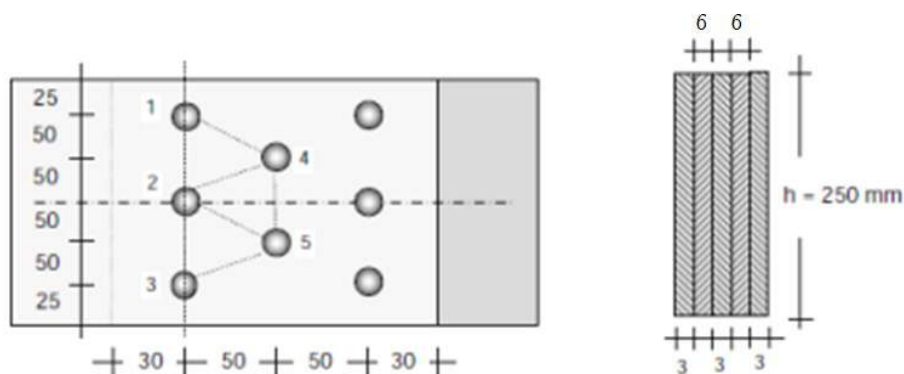
Soal 1:

Tentukanlah nilai dari A_n (minimum) dari batang tarik baja berikut ini yang menggunakan profil siku $\angle 100.150.12$ diameter lubang baut = 22 mm ($\Phi = 22 \text{ mm}$).



Soal 2:

Dua buah pelat memiliki ketebalan 6 mm disambung dengan 3 buah pelat dengan tebal 3 mm seperti gambar di bawah ini. Diameter alat penyambung yang digunakan adalah ($d_n = 10 \text{ mm}$), dan jumlah alat penyambung adalah 8. Tentukan **Luas penampang Netto**.



C. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’.
2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
7. AISE “Manual of Steel Construction”
8. SNI 03-1729-2002.”Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
9. SNI -7971-2013.”Struktur Baja Canai Dingin”.
10. SNI -1729-2015.”Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

MODUL 4

PERENCANAAN BATANG TARIK DAN BATANG TEKAN)

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran perhitungan tegangan tarik dan tekan (batang tarik/ batang tekan) akan dipelajari perhitungan desain batang tarik/ tekan terhadap gaya yang diberikan. Dalam perencanaan struktur sangatlah diperlukan pemahaman dalam perhitungan tegangan tarik dan tekan (batang tarik/ batang tekan), karena hal ini sangat mempengaruhi kekuatan struktur yang direncanakan

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perhitungan Batang Tarik

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari perhitungan batang tarik dan batang tekan adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan perhitungan tegangan tarik dan tekan (batang tarik/ batang tekan) penampang baja yang digunakan di dalam mendisain struktur.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perhitungan tegangan tarik dan tekan (batang tarik/ batang tekan) yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

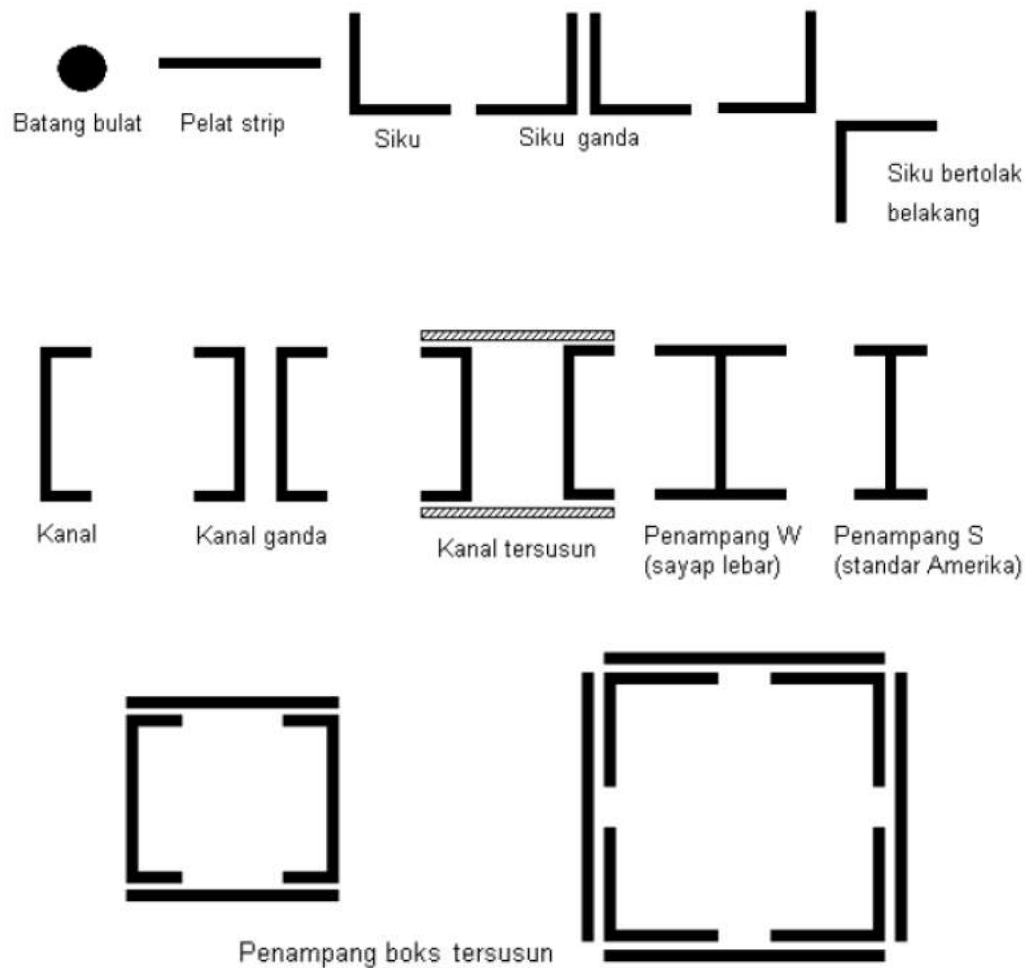
2.1 Elemen Batang Tarik

Pemilihan penampang batang tarik sangat sederhana karena tidak ada bahaya tekuk (*buckling*) sehingga untuk mendapat luas penampang yang diperlukan cukup menghitung beban terfaktor yang dipikul oleh batang dibagi dengan tegangan tarik rencana. Kemudian memilih profil sesuai dengan luas penampang yang diperlukan. Pemilihan tipe penampang batang yang digunakan lebih banyak dipengaruhi oleh sambungan.

Bentuk batang tarik yang paling sederhana adalah batang bulat, tetapi sulit untuk disambungkan dengan struktur lain. Pada masa sekarang, batang bulat ini tidak banyak dipakai kecuali pada sistem pengaku dan rangka atap ringan. Ukuran batang bulat yang ada mempunyai kekakuan yang sangat kecil sehingga mudah melentur akibat berat sendiri. Kesulitan lain dari penggunaan batang bulat adalah dalam hal fabrikasi yang sesuai dengan ukuran panjang sehingga sulit dalam instalasi.

Batang tarik banyak dijumpai dalam banyak struktur baja, seperti pada struktur jembatan, rangka atap, menara transmisi, ikatan angin, bangunan gedung yang strukturnya terbuat dari baja, dan lain sebagainya. Batang tarik ini sangat efektif dalam memikul beban. Batang ini dapat terdiri dari profil tunggal ataupun profil tersusun. Contoh penampang batang tarik adalah diantaranya profil bulat, pelat, siku, siku ganda, siku bintang, kanal, WF, dan sebagainya. Dengan demikian batang tarik dapat dinyatakan sebagai elemen batang pada struktur yang menerima gaya tarik aksial murni. Gaya tarik tersebut dikatakan sentris jika garis gaya berimpit dengan garis berat penampang.

Umumnya batang tarik sering ditemukan pada struktur rangka batang. Pada gambar di bawah ini menunjukkan tipe/ jenis profil yang sering digunakan pada batang tarik.



Gambar 4. 1 Jenis bentuk batang Tarik.

2.2 Luas Penampang Netto Efektif

Luas netto (A_{net}) yang diperoleh sebelumnya harus dikalikan dengan faktor efektifitas penampang, U , akibat adanya eksentrisitas pada sambungan yang disebut dengan shear lag. Shear lag dalam perhitungan diantisipasi dengan menggunakan luas penampang netto efektif ditentukan dengan:

$$A_e = U * A_n$$

Dimana:

A_e = Luas penampang netto efektif;

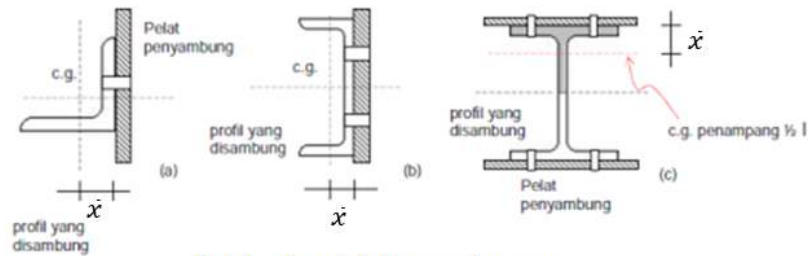
A_n = Luas netto penampang

U = Koefisien reduksi = $1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0,9$;

\bar{x} = Eksentrisitas sambungan

L = Panjang sambungan dalam arah gaya tarik.

Apabila gaya tarik disalurkan dengan menggunakan alat sambung las, maka perlu diperhatikan:



Letak eksentrisitas sambungan

1. Bila gaya tarik disalurkan ke elemen pelat oleh las memanjang sepanjang ke dua sisi bagian ujung elemen:

$$A_e = U \cdot A_g; \quad l \geq w$$

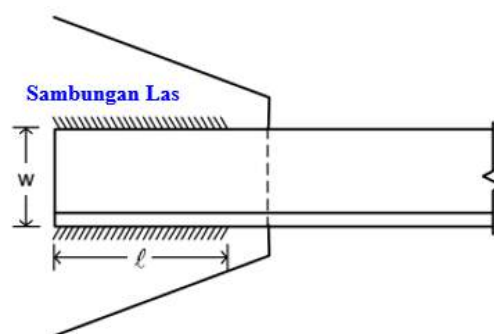
Dengan:

$$U = 1,00 \text{ untuk } l \geq 2w;$$

$$U = 0,87 \text{ untuk } 2w > l \geq 1,5 w$$

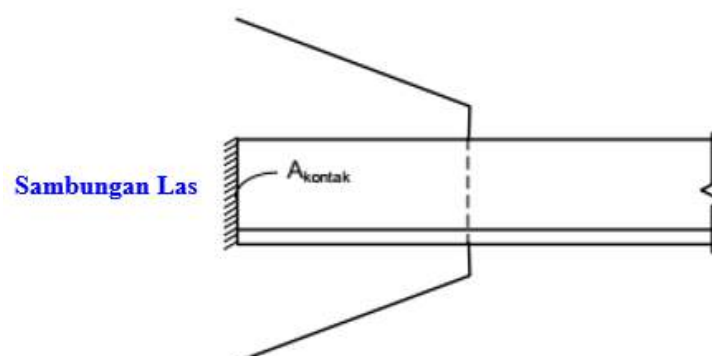
$$U = 0,75 \text{ untuk } w > l \geq 1,5 w;$$

l = panjang las; w = jarak antar las memanjang (lebar pelat)



2. Bila komponen struktur tarik di hubungkan menggunakan las transversal saja:

$$A_e = U \cdot A_g = A_{\text{kontak}}$$



3. Bila komponen struktur tarik dihubungkan kepada baja bukan pelat menggunakan las longitudinal/ transversal

$$A_e = U \cdot A_g = A_g$$

2.3 Kuat Tarik Rencana



Nilai dari Kuat Tarik dapat di hitung dengan:

A. Kondisi Leleh:

$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y \quad (\phi = 0,9)$$

B. Kondisi Fraktur:

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u = 0,75 \cdot A_e \cdot f_u$$

Dimana:

A_e = Luas penampang efektif = $U \cdot A_n$

A_n = Luas netto penampang, mm²;

f_u = Tegangan tarik putus (MPa)

U = Koefisien reduksi;

f_y = Tegangan leleh baja (Mpa)

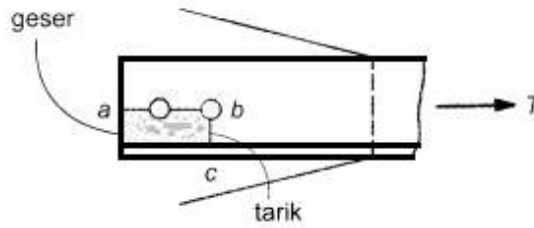
$\phi = 0,9$ kondisi leleh;

$\phi = 0,75$ kondisi fraktur;

ϕ = Faktor tahanan

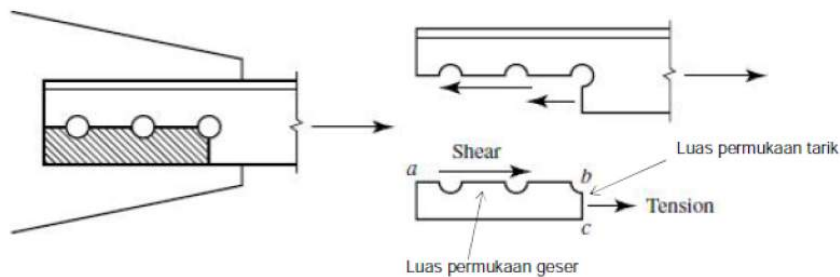
2.4 Geser Blok (Block Shear)

Geser Blok (*Block Shear*)/ Kondisi Batas Sobek merupakan kemampuan suatu elemen pelat tipis untuk menahan komponen tarik saat menerima beban tarik dan disambungkan dengan alat pengencang.



Gambar 4. 2 Gambar Geser Blok (*Block Shear*) pada penampang Baja.

Pada gambar diatas Suatu profil siku dengan beban Tarik yang di hubungkan dengan alat pengencang, dapat mengalami keruntuhan geser blok sepanjang potongan **a-b-c**. Bagian yang terarsir dalam gambar akan terlepas/ sobek. Keruntuhan geser blok (*block shear*) umumnya terjadi pada sambungan dengan baut terhadap pelat badan yang tipis pada komponen struktur tarik. Keruntuhan tersebut juga umumnya dijumpai pada sambungan pendek yaitu sambungan yang menggunakan dua baut atau kurang pada garis searah dengan bekerjanya gaya.



Gambar 4. 3 Geser blok kombinasi keruntuhan antara geser dan tarik



Gambar 4. 4 Keruntuhan geser blok, penampang tarik netto.

Keruntuhan geser blok merupakan penjumlahan tarik leleh (atau tarik fraktur) pada satu irisan dengan geser fraktur (atau geser leleh) pada irisan lainnya yang saling tegak lurus. Tahanan Nominal Tarik dalam keruntuhan geser Blok dapat di hitung dengan:

4. **Geser Leleh – Tarik Fraktur** ($f_u \cdot Ant \geq 0,6 \cdot f_u \cdot Ant$)

$$T_u = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + f_u \cdot A_{nt}$$

5. Geser Fraktur – Tarik Leleh ($f_u \cdot A_{nt} \geq 0,6 \cdot f_y \cdot A_{nt}$)

$$T_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_{gv} + f_u \cdot A_{nt}$$

Dengan

A_{gv} = Luas kotor akibat geser

A_{gt} = Luas kotor akibat tarik

A_{nv} = Luas netto akibat geser

A_{nt} = Luas netto akibat tarik

f_u = Kuat tarik

f_y = Kuat tarik

Tahanan Nominal suatu struktur tarik ditentukan oleh tiga macam tipe keruntuhan yakni:

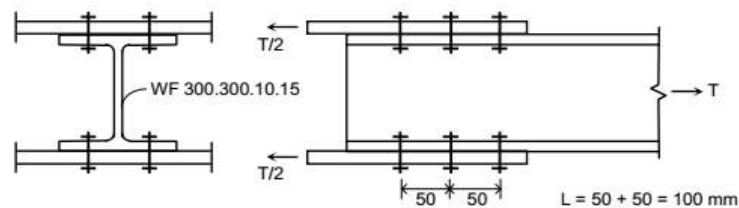
1. Leleh dari penampang Brutto.
2. Fraktur dari penampang Efektif.
3. Geser Blok Pada Sambungan.

Dalam mendesain suatu komponen struktur tarik, keruntuhan yang terjadi adalah leleh dari penampang bruttonya, agar diperoleh tipe keruntuhan yang duktail

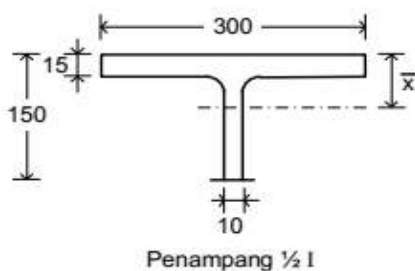
2.5 Contoh Soal

Soal 1:

Suatu penampang baja profil WF 300. 300. 10. 15 di sambung dengan pelat seperti gambar di bawah ini. Tentukanlah nilai dari Eksentrisitas sambungan dan A_e



Penyelesaian:



$$\bar{x} = \frac{300 \cdot 15 \cdot 7,5 + 135 \cdot 10 \cdot \left(\frac{135}{2} + 15\right)}{300 \cdot 15 + 135 \cdot 10}$$

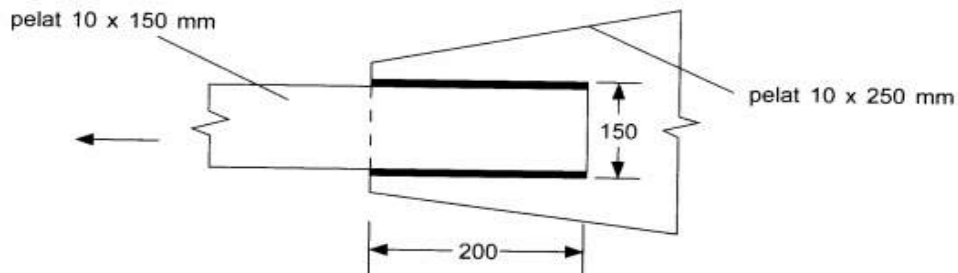
$$= 24,80 \text{ mm}$$

$$U = 1 - \frac{24,80}{100} = 0,75$$

$$A_e = 0,75 A_n$$

Contoh Soal 2:

Sebuah pelat 10 x 150 mm di hubungkan dengan pelat berukuran 10x 250 mm menggunakan sambungan las seperti gambar di bawah ini. Tentukanlah tahanan tarik rencana dari struktur tersebut jika mutu baja adalah Bj 41 ($f_y=250$ Mpa, $f_u = 410$ MPa)



Penyelesaian:

Kondisi Leleh:

$$\phi * T_n = \phi * A_g * f_y = 0,90 * 10 * 150 * 250 = 33,75 \text{ ton}$$

Kondisi fraktur:

$$1,5 * w = 225 \text{ mm} > l = 200 \text{ mm} > w = 150 \text{ mm};$$

Gunakan Nilai $U = 0,75$

Penyelesaian:

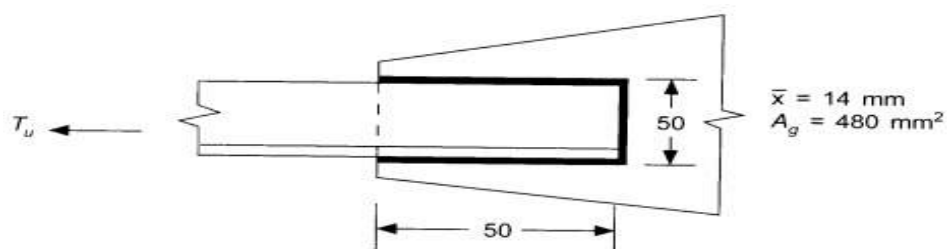
$$A_e = U * A_n = 0,75 * 10 * 150 = 1125 \text{ mm}^2$$

$$\phi * T_n = \phi * A_e * f_u = 0,75 * 1125 * 410 = \mathbf{34,6 \text{ ton}}$$

Jadi, tahanan tarik rencana dari komponen struktur tersebut adalah sebesar 33,75 ton

Contoh Soal 3:

Sebuah profil siku 50.50.5 yang di hubungkan pada suatu pelat buhul seperti pada gambar di bawah ini. Mutu baja yang di gunakan adalah BJ-37. Tentukanlah tahanan tarik rencananya.



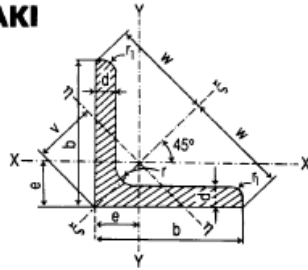
Penyelesaian:

Terdapat sambungan las, maka Nilai U di hitung berdasarkan persamaan:

$$1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0,9 ; \text{Kondisi Leleh: Nilai } \bar{x} \text{ diambil dari Tabel berikut ini:}$$

BAJA SIKU-SIKU SAMAKAKI

panjang biasa 3 ÷ 15 m



F = penampang
 I = momen kelambatan
 W = momen tahanan
 i = jari-jari kelambatan = $\sqrt{\frac{I}{F}}$
 k = kofisien profil = $\frac{F^2}{I} = \frac{F}{i^2}$

L	ukuran-ukuran dalam mm				F cm ²	berat kg/m	jarak titikberat-titikberat dalam cm			$i_x = i_y$ cm ⁴	$W_x = W_y$ cm ³	$i_x = i_y$ cm	$k_x = k_y$
	b	d	r	r ₁			e	w	v				
15 · 15 · 3	15	3	3,5	2	0,82	0,64	0,48	1,06	0,67	0,15	0,15	0,43	4,48
15 · 15 · 4		4			1,05	0,51	0,73		0,19	0,42	5,81		
20 · 20 · 3	20	3	3,5	2	1,12	0,88	0,60	1,41	0,85	0,39	0,28	0,59	3,23
20 · 20 · 4		4			1,45	0,64	0,90		0,48	0,35	0,58	4,38	
25 · 25 · 3	25	3	3,5	2	1,42	1,12	0,73	1,77	1,03	0,79	0,45	0,75	2,56
25 · 25 · 4		4			1,85	0,76	1,08		1,01	0,58	0,74	3,38	
25 · 25 · 5		5			2,26	0,80	1,13		1,18	0,69	0,72	4,32	
30 · 30 · 3	30	3	5	2,5	1,74	1,36	0,84	2,12	1,18	1,41	0,65	0,90	2,14
30 · 30 · 4		4			2,27	0,89	1,24		1,81	0,86	0,89	2,85	
30 · 30 · 5		5			2,78	0,92	1,30		2,16	1,04	0,88	3,56	
35 · 35 · 4	35	4	5	2,5	2,67	2,10	1,00	2,47	1,41	2,96	1,18	1,05	2,41
35 · 35 · 6		6			3,87	1,08	1,53		4,14	1,71	1,04	3,51	
40 · 40 · 4	40	4	6	3	3,08	2,42	1,12	2,83	1,58	4,48	1,56	1,21	2,12
40 · 40 · 5		5			3,79	1,16	1,64		5,43	1,91	1,20	2,64	
40 · 40 · 6		6			4,48	1,20	1,70		6,33	2,26	1,19	3,18	
45 · 45 · 5	45	5	7	3,5	4,30	3,38	1,28	3,18	1,81	7,83	2,43	1,35	2,36
45 · 45 · 7		7			5,86	1,36	1,92		10,4	3,31	1,33	3,29	
50 · 50 · 5	50	5	7	3,5	4,80	3,77	1,40	3,54	1,98	11,0	3,05	1,51	2,10
50 · 50 · 6		6			5,69	1,45	2,04		12,8	3,61	1,50	2,54	
50 · 50 · 7		7			6,56	1,49	2,11		14,6	4,15	1,49	2,94	
50 · 50 · 9		9			8,24	1,56	2,21		17,9	5,20	1,47	3,80	
55 · 55 · 6	55	6	8	4	6,31	4,95	1,56	3,89	2,21	17,3	4,40	1,66	2,30
55 · 55 · 8		8			8,23	1,64	2,32		22,1	5,72	1,64	3,08	
55 · 55 · 10		10			10,1	1,72	2,43		26,3	6,97	1,62	3,88	
60 · 60 · 6	60	6	8	4	6,91	5,42	1,69	4,24	2,39	22,8	5,29	1,82	2,09
60 · 60 · 8		8			9,03	1,77	2,50		29,1	6,88	1,80	2,82	
60 · 60 · 10		10			11,1	1,85	2,62		34,9	8,41	1,78	3,55	

$$\phi * T_n = \phi * A_g * f_y = 0,90 * 480 * 240 = 10,368 \text{ ton}$$

Kondisi Fraktur:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{14}{50} = 0,72 < 0,9 \text{ (OK)}$$

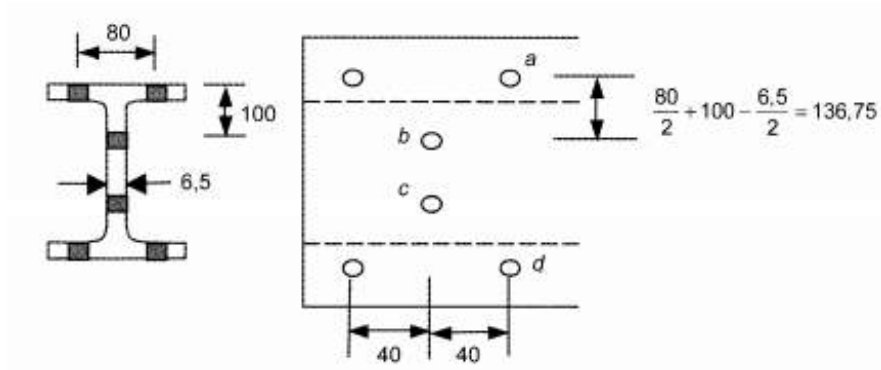
Maka Nilai (Ae) yang digunakan adalah: $(0,72 * 480) = 345,6 \text{ mm}^2$

$$\phi * T_n = \phi * A_e * f_y = 0,75 * 345,6 * 370 = 9,59 \text{ ton}$$

Jadi tahanan tarik rencana dari komponen struktur adalah **9,59 ton**

Contoh Soal 4:

Tentukan tahanan tarik rencana dari profil BJ-37 dengan menggunakan WF 300.150.6,5.9 pada gambar di bawah ini, jika baut yang digunakan mempunyai diameter 19 mm.



Penyelesaian:

Menghitung luas netto profil, dimana di peroleh nilai dari $A_g = 4678 \text{ mm}^2$ (lihat tabel di bawah ini)

Potongan a-d:

$$A_n = 4678 - (4 \cdot 9) \cdot (19 + 2) = 3922 \text{ mm}^2$$

Potongan a-b-c-d:

$$A_n = 4678 - (4 \cdot 9) \cdot (19 + 2) - (2 \cdot 6,5) \cdot (19 + 2) + 2 \cdot \frac{40^2 \cdot (6,5 + 9) / 2}{4 \cdot 136,75} = 3694,34 \text{ mm}^2$$

$$85\% \cdot A_g = 0,85 \cdot 4678 = 3976,3 \text{ mm}^2$$

Jadi nilai $A_n = 3694,34 \text{ mm}^2$

Nilai U diambil 1,0 karena bagian profil tersambung:

Kondisi Leleh:

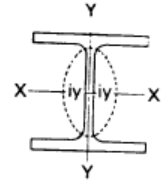
$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,90 \cdot 4678 \cdot 240 = 101,04 \text{ ton}$$

Kondisi fraktur:

$$A_e = U \cdot A_n = 1,0 \cdot 3694,34 = 3694,34 \text{ mm}^2$$

$$\phi \cdot T_n = \phi \cdot A_e \cdot f_u = 0,75 \cdot 3694,34 \cdot 370 = 102,52 \text{ ton}$$

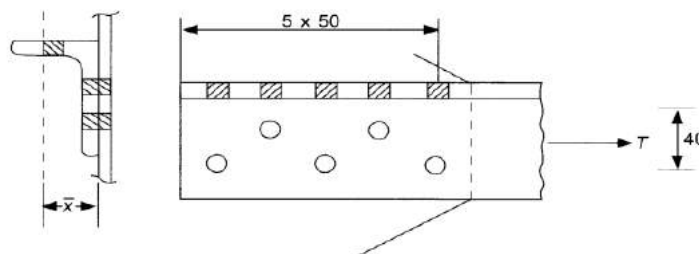
Jadi nilai dari tahanan tarik rencana **101, 04 ton**



Section Index	Weight	Depth of Section (A)	Flange Width (B)	Thickness		Corner Radius (r)	Sectional Area	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
				Web (t _w)	Flange (t _f)			J _x	J _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
mm	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
400 × 400	200	406	403	16	24	22	254.9	78,000	26,200	17.5	10.1	3,840	1,300
	197	400	408	21	21	22	250.7	70,900	23,800	16.8	9.75	3,540	1,170
	172	400	400	13	21	22	218.7	66,600	22,400	17.5	10.1	3,330	1,120
	168	394	405	18	18	22	214.4	59,700	20,000	16.7	9.65	3,030	985
	147	394	398	11	18	22	186.8	56,100	18,900	17.3	10.1	2,850	951
	140	388	402	15	15	22	178.5	49,000	16,300	16.6	9.54	2,520	809
400 × 300	107	390	300	10	16	22	136.0	38,700	7,210	16.9	7.28	1,980	481
	94.3	386	299	9	14	22	120.1	33,700	6,240	16.7	7.21	1,740	418
400 × 200	66.0	400	200	8	13	16	84.12	23,700	1,740	16.8	4.54	1,190	174
	56.6	396	199	7	11	16	72.16	20,000	1,450	16.7	4.48	1,010	145
350 × 350	159	356	352	14	22	20	202.0	47,600	16,000	15.3	8.90	2,670	909
	156	350	357	19	19	20	198.4	42,800	14,400	14.7	8.53	2,450	809
	136	350	350	12	19	20	173.9	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
	131	344	354	16	16	20	166.6	35,300	11,800	14.6	8.43	2,050	669
	115	344	348	10	16	20	146.0	33,300	11,200	15.1	8.78	1,940	646
	106	338	351	13	13	20	135.3	28,200	9,380	14.4	8.33	1,670	534
350 × 250	79.7	340	250	9	14	20	101.5	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
	69.2	336	249	8	12	20	88.15	18,500	3,090	14.5	5.92	1,100	248
350 × 175	49.6	350	175	7	11	14	63.14	13,600	984	14.7	3.95	775	112
	41.4	346	174	6	9	14	52.68	11,100	792	14.5	3.88	641	91.0
300 × 300	106	304	301	11	17	18	134.8	23,400	7,730	13.2	7.57	1,540	514
	106	300	305	15	15	18	134.8	21,500	7,100	12.6	7.26	1,440	466
	94.0	300	300	10	15	18	119.8	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450
	87.0	298	299	9	14	18	110.8	18,800	6,240	13.0	7.51	1,270	417
	84.5	294	302	12	12	18	107.7	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
300 × 200	65.4	298	201	9	14	18	83.36	13,300	1,900	12.6	4.77	893	189
	56.8	294	200	8	12	18	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
300 × 150	36.7	300	150	6.5	9	13	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	67.7
	32.0	298	149	5.5	8	13	40.80	6,320	442	12.4	3.29	424	59.3

Contoh Soal 5:

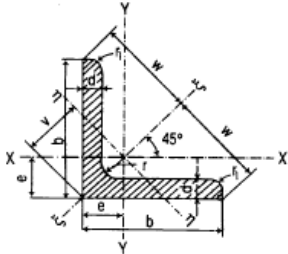
Bila rasio beban hidup dengan beban mati adalah sama dengan 3, $L/D = 3$, hitunglah beban kerja yang dapat dipikul oleh profil $\text{I} - 100.100.10$, dengan baut berdiameter 16 mm yang disusun seperti dalam gambar berikut. B_j baja 37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$, $f_u = 370 \text{ MPa}$).



Penyelesaian

Kondisi leleh:

$\Phi \cdot T_n = \Phi \cdot A_g \cdot f_y = 0,9 \cdot (1920) \cdot (240) = 41,472 \text{ ton}$ (Nilai A_g diperoleh dari Tabel di bawah ini).



Lanjutan: baja siku-siku samakaki;
panjang biasa 3 - 15 m

L	ukuran-ukuran dalam mm				F cm ²	berat kg/m	jarak titikberat-titikberat dalam cm			I _x = I _y cm ⁴	W _x = W _y cm ³	i _x = i _y cm	k _x = k _y
	b	d	r	r ₁			e	w	v				
80. 80. 8	80	8	10	5	12,3	9,66	2,26	5,66	3,20	72,3	12,6	2,42	2,09
80. 80. 10		10			15,1	11,9	2,34		3,31	87,5	15,5	2,41	2,61
80. 80. 12		12			17,9	14,1	2,41		3,41	102	18,2	2,39	3,14
80. 80. 14		14			20,6	16,1	2,48		3,51	115	20,8	2,36	3,68
90. 90. 9	90	9	11	5,5	15,5	12,2	2,54	6,36	3,59	116	18,0	2,74	2,07
90. 90. 11		11			18,7	14,7	2,62		3,70	138	21,6	2,72	2,54
90. 90. 13		13			21,8	17,1	2,60		3,81	158	25,1	2,69	3,01
90. 90. 16*		16			26,4	20,7	2,81		3,97	186	30,1	2,66	3,74
100.100.10	100	10	12	6	19,2	15,1	2,82	7,07	3,99	177	24,7	3,04	2,09
100.100.12		12			22,7	17,8	2,90		4,10	207	29,2	3,02	2,49
100.100.14		14			26,2	20,6	2,98		4,21	235	33,5	3,00	2,92
100.100.20*		20			36,2	28,4	3,20		4,54	311	45,8	2,93	4,20
110.110.10	110	10	12	6	21,2	16,6	3,07	7,78	4,34	239	30,1	3,36	1,88
110.110.12		12			25,1	19,7	3,15		4,45	280	35,7	3,34	2,25
110.110.14		14			29,0	22,8	3,21		4,54	319	41,0	3,32	2,63
120.120.11	120	11	13	6,5	25,4	19,9	3,36	8,49	4,75	341	39,5	3,66	1,89
120.120.13		13			29,7	23,3	3,44		4,86	394	46,0	3,64	2,24
120.120.15		15			33,9	26,6	3,51		4,96	446	52,5	3,63	2,58
120.120.20*		20			44,2	34,7	3,70		5,24	562	67,7	3,57	3,46
130.130.12	130	12	14	7	30,0	23,6	3,64	9,19	5,15	472	50,4	3,97	1,91
130.130.14		14			34,7	27,2	3,72		5,26	540	58,2	3,94	2,23
130.130.16		16			39,3	30,9	3,80		5,37	605	65,8	3,92	2,55
140.140.13	140	13	15	7,5	35,0	27,5	3,92	9,90	5,54	638	63,3	4,27	1,92
140.140.15		15			40,0	31,4	4,00		5,66	723	72,3	4,25	2,21
140.140.17		17			45,0	35,3	4,08		5,77	805	81,2	4,23	2,51

Kondisi fraktur:

$$A_{n1} = 1920 - 10(16+2) = 1740 \text{ mm}^2 \text{ (90,6 \% } A_g)$$

$$A_{n2} = 1920 - 10(16+2) + \frac{50^2 \times 10}{4 \times 40} = 1716,25 \text{ mm}^2 \text{ (89,4 \% } A_g)$$

$$A_n \text{ menentukan} = 85\% A_g = 0,85 \times 1920 = 1632 \text{ mm}^2$$

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} = 1 - \frac{28,2}{4 \times 50} = 0,86$$

$$A_e = U \cdot A_n = 0,86 \times 1632 = 1403,52 \text{ mm}^2$$

$$\Phi \cdot T_n = \Phi \cdot A_g \cdot f_u = (0,75) \cdot (1403,52) \cdot (370) = \mathbf{38,95 \text{ ton}}$$

Jadi, tahanan rencana, $T_d = 38,95 \text{ ton}$

$$T_d > T_u = 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$38,95 = 1,2 \text{ DL} + 1,6 (3\text{DL}) = 6\text{D}$$

Diperoleh $\text{DL} = 6,49 \text{ ton}$ dan $\text{LL} = 19,47 \text{ ton}$.

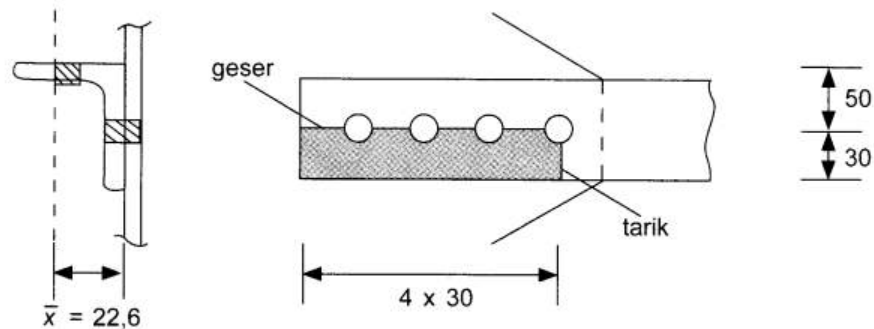
Beban kerja = $\text{DL} + \text{LL} = 6,49 \text{ ton} + 19,47 \text{ ton} = 25,96 \text{ ton}$.

Bila digunakan baut berukuran besar (jumlahnya menjadi lebih sedikit) atau bila tebal pelat sayap cukup tipis, maka perlu ditinjau keruntuhan geser blok.

2.6 Latihan

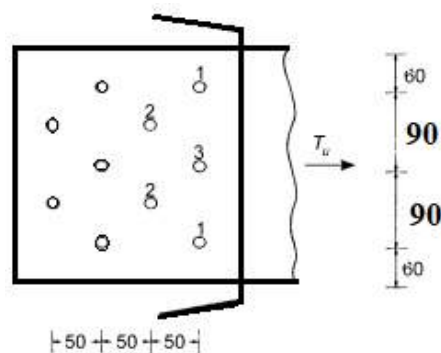
Soal 1:

Hitunglah tahanan rencana komponen struktur tarik berikut, yang terbuat dari profil $\text{L} 80.80.8$ Mutu baja BJ-37 dengan menggunakan diameter baut 19 mm.



Soal 2:

Hitunglah gaya tarik nominal maksimum dari komponen struktur tarik di bawah ini, bila tebal pelat yang digunakan adalah 8 mm dan diameter baut 29 mm ($\Phi = 29 \text{ mm}$) BJ-37.



C. Kegiatan Pembelajaran 2: Perhitungan Batang Tekan

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari perhitungan batang tekan adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan perhitungan batang tekan penampang baja yang digunakan di dalam mendisain struktur.

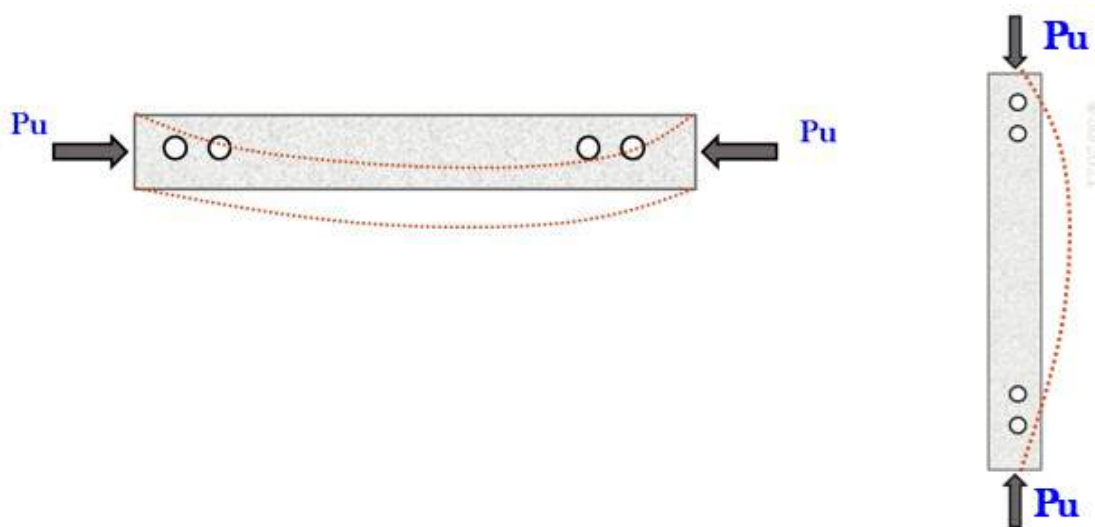
2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perhitungan batang tekan yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Batang Tekan

Jika beban berusaha untuk menekan atau membuat pendek suatu batang, tegangan yang dihasilkan disebut tegangan tekan dan batangnya disebut batang tekan. Batang tekan merupakan tipe batang tekan dan kolom yang paling dikenal. Jenis yang lain adalah batang atas dari rangka atap, batang pengikat, flens tertekan dari suatu profil dan penampang balok built-up, serta elemen yang mendapat beban tekan dan momen secara simultan. Kolom adalah elemen vertikal yang mempunyai dimensi panjang jauh lebih besar dibandingkan dengan tebalnya. Kolom pendek yang mendapat gaya tekan disebut juga *strut* atau batang tekan. Secara umum ada tiga ragam keruntuhan dari batang tekan yaitu tekuk lentur (*flexural buckling*), tekuk lokal (*local buckling*), dan tekuk torsional (*torsional buckling*). Berikut ini adalah penjelasan dari ragam keruntuhan tersebut.

1. Tekuk lentur yang disebut juga tekuk Euler adalah jenis keruntuhan tekuk yang paling sering terjadi dan akan banyak dibahas dalam bab ini. Elemen yang mendapat lentur akan menjadi tidak stabil.
2. Tekuk lokal terjadi jika beberapa bagian penampang dari suatu kolom menekuk akibat terlalu tipis sebelum ragam tekuk lain terjadi. Ketahanan suatu kolom terhadap tekuk lokal diukur dari rasio lebar-tebal bagian penampang.
3. Tekuk torsional dapat terjadi pada kolom dengan susunan penampang tertentu. Kolom seperti ini akan runtuh oleh tekuk torsi atau kombinasi tekuk torsi dan lentur.



Batang merupakan batang struktur yang mengalami gaya aksial. Keadaan yang sebenarnya dalam konstruksi bangunan batang tekan juga mengalami momen lentur, gaya lintang, dan torsi. Ada dua perbedaan utama antara batang tarik dan tekan, yaitu:

1. Gaya tarik menyebabkan batang lurus sedangkan gaya tekan menyebabkan batang melentur ke luar bidang gaya tersebut bekerja dan ini merupakan kondisi berbahaya.
2. Lubang baut atau rivet dalam batang tarik akan mereduksi luas penampang, sedangkan pada batang tekan seluruh luas penampang dapat menahan beban.

Untuk luas penampang yang sama, semakin tinggi suatu kolom akan semakin besar kemungkinan terjadi tekuk dan beban yang dapat dipikul akan semakin kecil. Kecenderungan suatu batang untuk tekuk diukur dengan rasio kelangsingan yang didefinisikan sebagai rasio panjang batang terhadap jari-jari girasi terkecil. Kecenderungan untuk tekuk juga dipengaruhi oleh tipe sambungan, eksentrisitas beban, ketidaksempurnaan material kolom, ketidaksempurnaan penampang, adanya lubang untuk baut, kelengkungan awal kolom, tegangan residual, dan lain-lain.

2.2 Tipe Keruntuhan Batang Tekan



a Defenisi Keruntuhan Batang Tekan

1. **Tekuk lentur yang disebut juga tekuk Euler** adalah jenis keruntuhan tekuk yang terjadi akibat dari elemen yang mendapat lentur yang mengakibatkan kolom menjadi tidak stabil.
2. **Tekuk lokal** terjadi jika beberapa bagian penampang dari suatu kolom menekuk akibat terlalu tipis sebelum ragam tekuk lain terjadi. Ketahanan suatu kolom terhadap tekuk lokal diukur dari rasio lebar-tebal bagian penampang.
3. **Tekuk torsional** dapat terjadi pada kolom dengan susunan penampang tertentu. Kolom seperti ini akan runtuh oleh tekuk torsi atau kombinasi tekuk torsi dan lentur.

b *Buckling of Columns.*

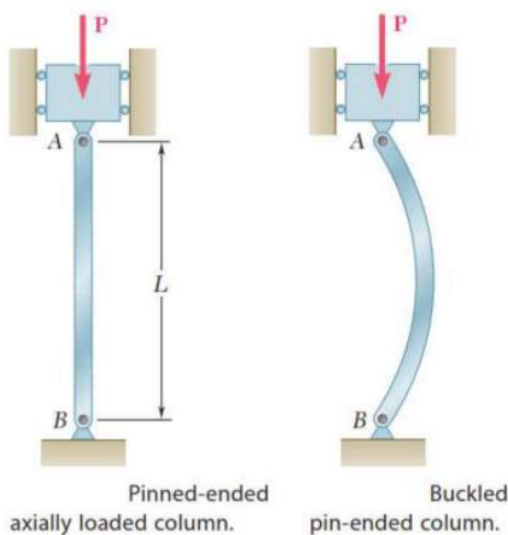
Ideal column:

- Perfectly straight before loading,
- Made of homogeneous material
- Load is applied through the centroid of the cross section
- Further assumed that; material behaves in a linear-elastic manner and.
- Column buckles or bends in single plane





The maximum axial load that a column can support when it is on the verge of the buckling is called the **critical load**



Gambar 4. 5 Gambar Kolom yang di bebani gaya Axial dan mengalami *buckling*.

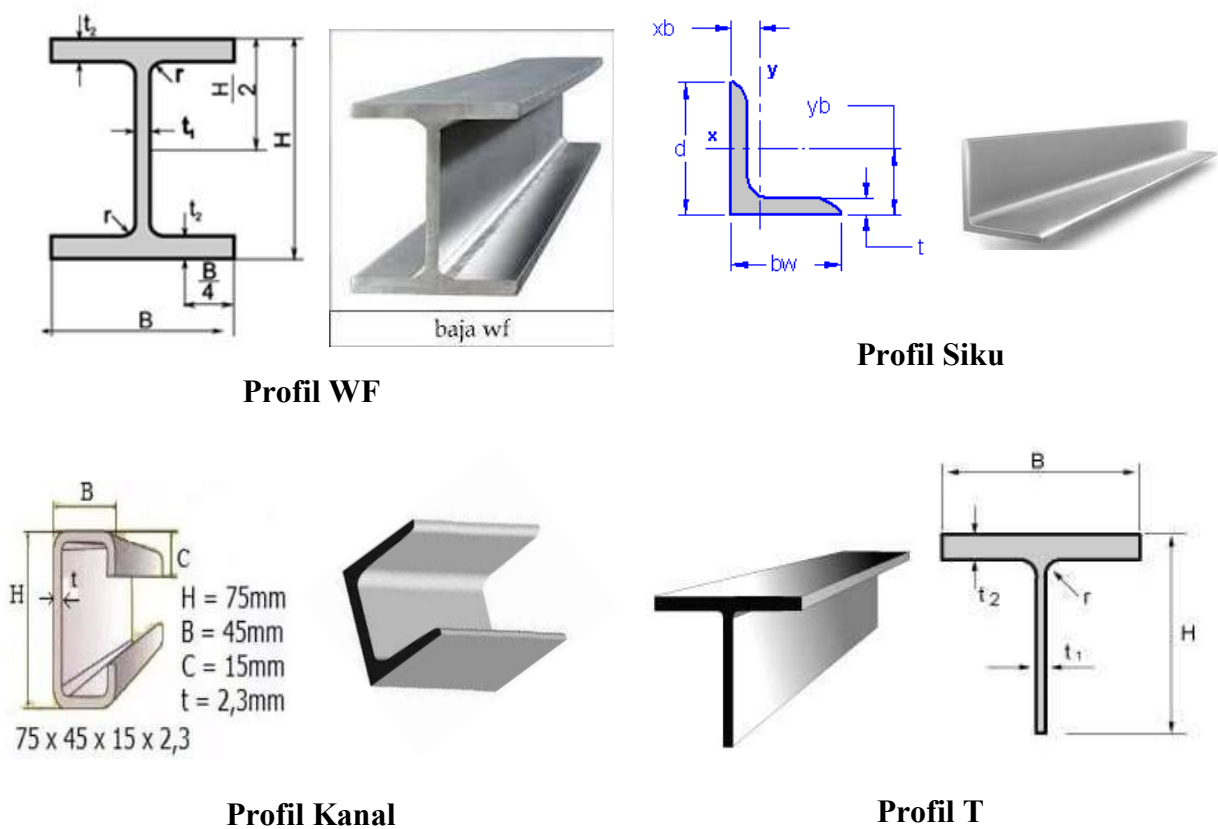
2.3 Profil Baja untuk Batang Tekan

Secara teoritis terdapat jumlah bentuk yang tidak terbatas dapat digunakan untuk memikul beban tekan dalam suatu struktur. Tetapi dari segi praktis, jumlah bentuk penampang elemen tekan menjadi terbatas karena beberapa pertimbangan yaitu: profil yang tersedia, masalah sambungan, tipe struktur. Gambar di bawah ini memperlihatkan penampang profil yang biasa digunakan sebagai elemen tekan. Penampang yang digunakan sebagai elemen tekan umumnya sama dengan elemen tarik dengan beberapa pengecualian. Pengecualian tersebut disebabkan oleh kenyataan bahwa kekuatan elemen tekan berbanding terbalik dengan rasio kelangsingan KL/r dan elemen yang diperlukan adalah elemen yang kaku. Elemen tunggal dari batang bulat, persegi, dan pelat biasanya terlalu langsing untuk digunakan sebagai elemen tekan kecuali jika elemen tersebut cukup

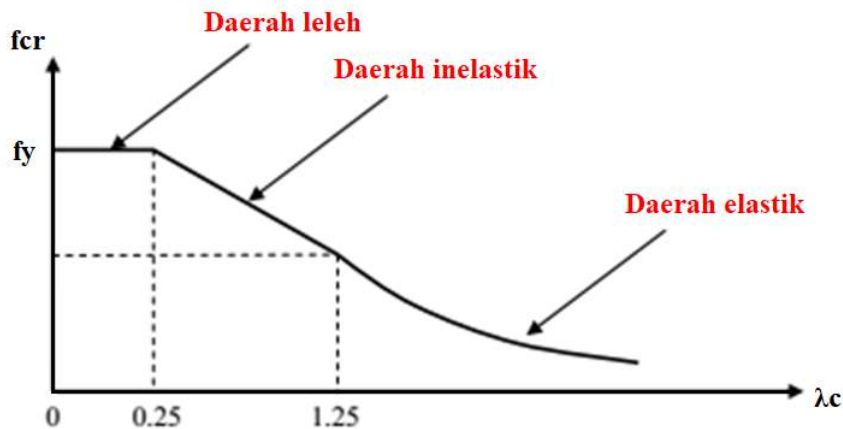
pendek dan mendapat gaya tekan yang relatif kecil. Elemen siku tunggal cukup untuk digunakan sebagai pengaku dan elemen tekan dalam rangka ringan. Siku sama kaki lebih ekonomis dibandingkan dengan siku tidak sama kaki karena siku sama kaki mempunyai jari-jari girasi terkecil yang sama besar untuk luas penampang yang sama. Elemen bagian atas dari rangka atap dengan sambungan rivet atau baut dapat digunakan sepasang siku yang saling membelakangi. Biasanya akan selalu disediakan ruang kosong diantara keduanya untuk menempatkan pelat buhul sebagai sambungan.

Dalam hal ini akan lebih baik jika digunakan siku tidak sama kaki dengan kaki panjang dipasang saling membelakangi sehingga dapat memberikan keseimbangan antara kedua nilai r terhadap sumbu x dan y . Jika rangka atap menggunakan alat penyambung las, maka pelat buhul dapat ditiadakan dan profil T dapat dipilih untuk elemen atas karena web dari elemen dapat dilas langsung pada kaki profil T. Profil kanal tunggal tidak mencukupi untuk digunakan sebagai elemen tekan karena nilai r terhadap sumbu web-nya sangat kecil. Tetapi profil kanal dapat digunakan dengan menyediakan sokongan lateral tambahan dalam arah sumbu lemah. Profil I, WF merupakan profil yang paling sering digunakan sebagai elemen tekan baik pada gedung maupun jembatan. Meskipun nilai r pada kedua sumbunya sangat berbeda, tetapi lebih baik dibandingkan dengan profil kanal.

Berikut ini merupakan gambar beberapa profil baja yang digunakan dalam perencanaan struktur



Gambar 4. 6 Gambar Profil baja untuk batang tekan.



Gambar 4. 7 Gambar Kurva Hubungan λ_c dan f_y batang tekan (SNI 03-1729-2002).

2.4 Tegangan Residual

Tegangan residual dan distribusinya merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada kekuatan aksial kolom baja. Tegangan ini sangat penting terutama untuk kolom dengan nilai rasio kelangsingan antara 40 – 120, dan memang pada rentang inilah kolom banyak digunakan di lapangan. Penyebab utama dari tegangan residual adalah pendinginan yang tidak merata setelah proses pembentukan baja panas. Misalnya pada profil W, flens luar dan web bagian tengah akan mengalami pendinginan lebih dulu dibandingkan pertemuan flens dan web. Bagian yang lebih dahulu dingin akan menahan penyusutan sedangkan bagian yang masih panas masih terus mengalami penyusutan atau perpendekan. Hasilnya adalah pada bagian yang dingin lebih dahulu akan terjadi tegangan tekan residual sedangkan bagian yang belum dingin akan mengalami tegangan tarik residual. Besar tegangan ini bervariasi sekitar 10-15 ksi (69-103 MPa).

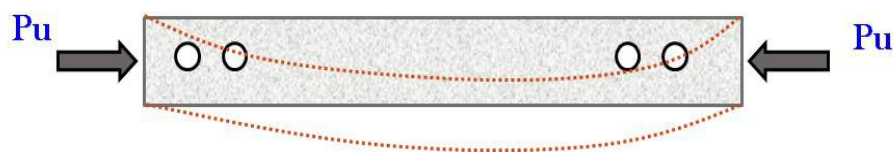
Jika suatu kolom baja diuji, batas proporsionalnya akan dicapai pada nilai N/A yang nilainya sekitar separuh dari tegangan leleh. Setelah batas proporsional, hubungan tegangan-regangan akan non-linier hingga mencapai tegangan lelehnya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.1. Karena adanya leleh lokal (setempat) yang terjadi pada beberapa titik dari penampang kolom, maka kekuatan terhadap tekuk akan berkurang. Pengurangan kekuatan terbesar terjadi pada kolom dengan rasio kelangsingan antara 70-90 dan besar pengurangan ini sekitar 25%. Jika beban pada suatu kolom meningkat, beberapa bagian kolom akan mencapai tegangan leleh dengan cepat dan memasuki daerah plastis yang diakibatkan oleh tegangan tekan residual.

Kekakuan kolom akan berkurang dan kekakuan yang tersisa hanya berdasarkan bagian penampang yang masih elastis. Suatu kolom dengan tegangan residual akan berperilaku seperti kehilangan sebagian penampangnya. Bagian penampang tersisa atau bagian elastis dari kolom akan berubah dengan perubahan tegangan yang terjadi. Perhitungan tekuk kolom akibat tegangan residual dapat dilakukan dengan menggunakan momen inersia elastis I_e yaitu untuk penampang yang masih elastis atau dengan menggunakan modulus tangen. Untuk penampang kolom yang lazim, kedua cara tersebut memberikan hasil yang hampir sama. Tegangan residual juga dapat disebabkan pada saat

pabrikasi dimana lendutan ke atas terbentuk akibat pendinginan setelah las. Las dapat menghasilkan tegangan residual yang cukup tinggi pada kolom sehingga mendekati titik leleh disekitar las. Fakta lain yang penting adalah kolom dapat melentur akibat las sehingga mempengaruhi kemampuan daya dukungnya. Gambar 5.1 memperlihatkan pengaruh tegangan residual akibat pendinginan dan pabrikasi pada diagram tegangan-regangan untuk profil W.

Penggabungan penampang *built-up* dengan las seringkali menyebabkan tegangan residual yang lebih besar dibandingkan pendinginan tak merata pada penampang bentuk H. Tegangan residual dapat juga disebabkan oleh proses pabrikasi jika *cambering* terbentuk oleh lentur suatu batang ke atas dan batang lurus kembali pada saat beban layan bekerja pada arah yang berlawanan.

2.5 Tahanan Tekan Nominal



Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris, akibat beban terfaktor N_u , menurut SNI 03-1729-2002, harus memenuhi:

$$N_u < \phi_c * N_n$$

Dimana:

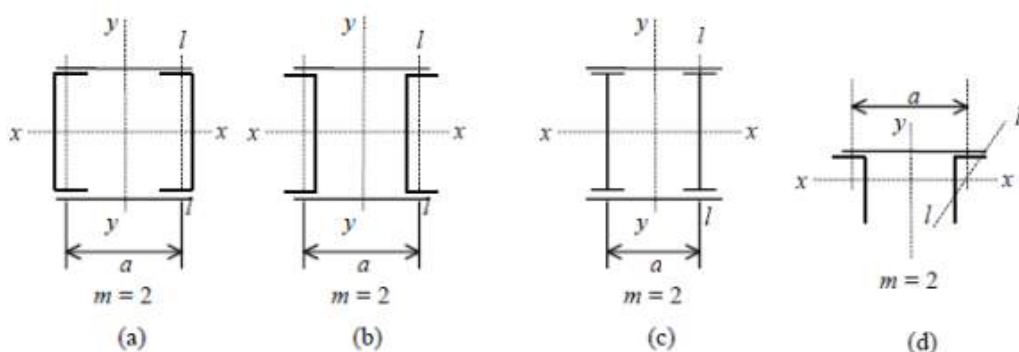
$$\phi_c = 0,85$$

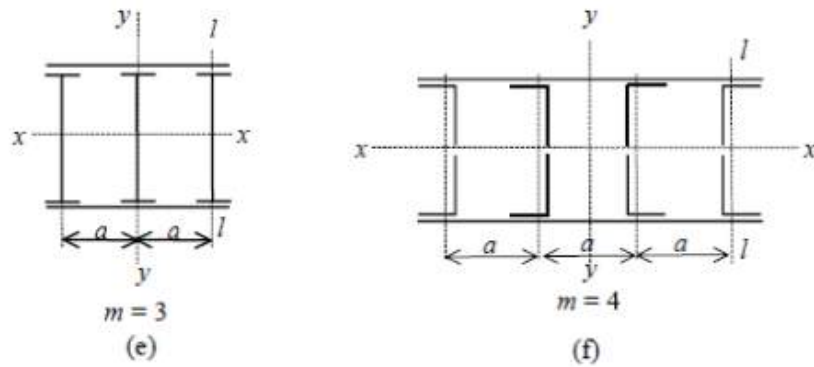
N_u = beban terfaktor

N_n = Kuat tekan nominal komponen struktur = $A_g * f_{cr}$

2.6 Kelangsingan Batang Profil Tersusun

Batang tekan sering dibuat sebagai batang tersusun, dimana batang utama di hubungkan dengan pelat kopel atau batang diagonal. Komponen struktur tersusun dari beberapa elemen yang disatukan pada seluruh panjangnya dapat di hitung sebagai struktur tunggal





Gambar 4. 8 Gambar Profil tersusun dengan nilai m SNI 03-1729-2002.

2.7 Batas Kelangsingan Batang Tekan

Syarat kelangsingan batang tekan untuk komponen struktur dapat di hitung dengan:

$$\lambda = \frac{Lk}{r} < 200$$

Syarat kelangsingan batang tekan untuk komponen struktur profil tersusun dapat di hitung dengan:

$$\lambda_x \geq 1,2 \cdot \lambda_l ; \quad \lambda_{iy} \geq 1,2 \cdot \lambda_l$$

$$\lambda = \frac{Lk}{r_{min}} ; \quad \lambda_x = \frac{Lk}{r_x} ; \quad \lambda_y = \frac{Lk}{r_y}$$

$$\lambda_l = \frac{Ll}{r_{min}} ; \quad \lambda = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_l^2}$$

Dimana:

Lk = Panjang tekuk batang

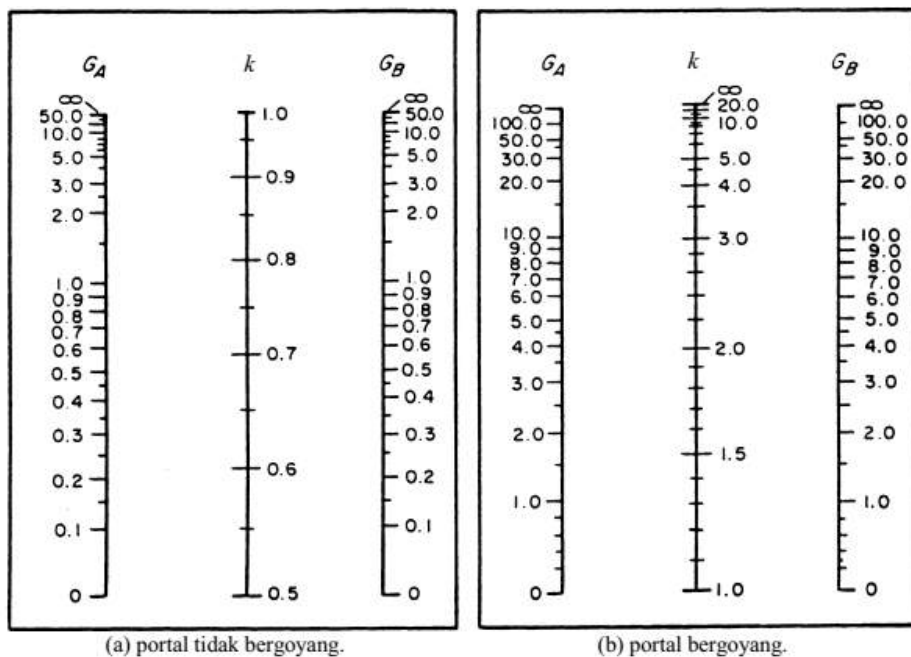
k = faktor tekuk batang (diperoleh dari Tabel)

maka nilai: $LK = k \cdot L$

r = jari-jari inertia

2.8 Faktor Tekuk Batang Tekan

Syarat faktor tekuk batang dapat di lihat dari nomogram berikut:



Gambar 4. 9 Gambar Nomogram faktor panjang tekuk kolom portal.

2.9 Batang Tekan

Untuk **Batang Tekan Profil Tunggal** Nilai dari Kuat Tekan Batang dapat di hitung dengan:

$$N_n = \frac{A_g * f_y}{\omega}$$



Untuk **Batang Tekan Profil Tersusun** Nilai dari Kuat Tekan Batang dapat di hitung dengan:

$$N_n = \frac{A_g * f_y}{\omega_x} ; N_n = \frac{A_g * f_y}{\omega_{iy}}$$

Dengan besarnya ω ditentukan oleh λ_c , yaitu:

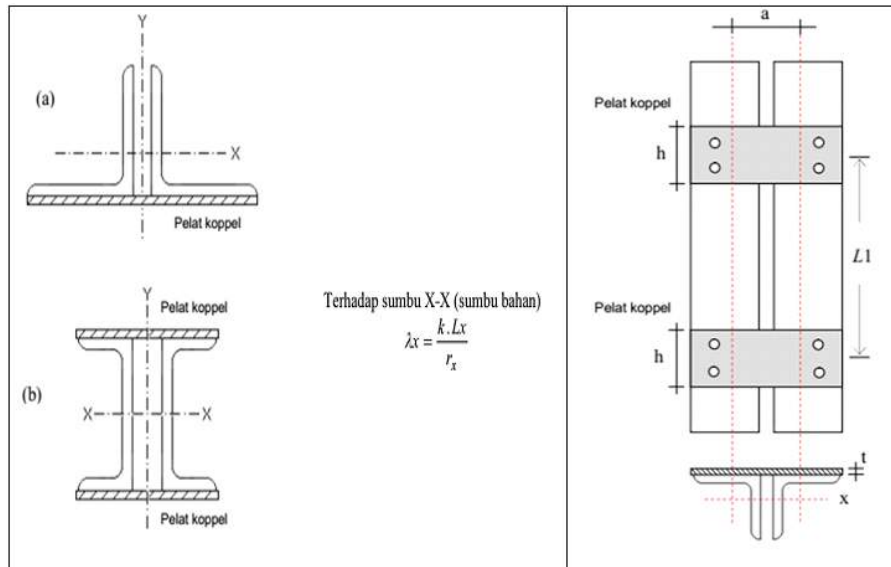
Untuk $\lambda_c < 0,25$ Maka $\omega = 1$

Untuk $0,25 < \lambda_c < 1,2$ Maka $\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c}$

Untuk $\lambda_c > 1,2$ Maka $\omega = 1,25 \lambda_c^2$

Dengan:

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$



Gambar 4. 10 Gambar Batang Tekan Profil Tersusun.

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2}$$

Dimana:

$$\lambda_y = \frac{k \cdot L_y}{r_y} \quad \lambda_1 = \frac{L_1}{r_{minimum}}$$

m = Jumlah batang tunggal yang membentuk profil tersusun.

L_y = Panjang komponen struktur tekan arah Y.

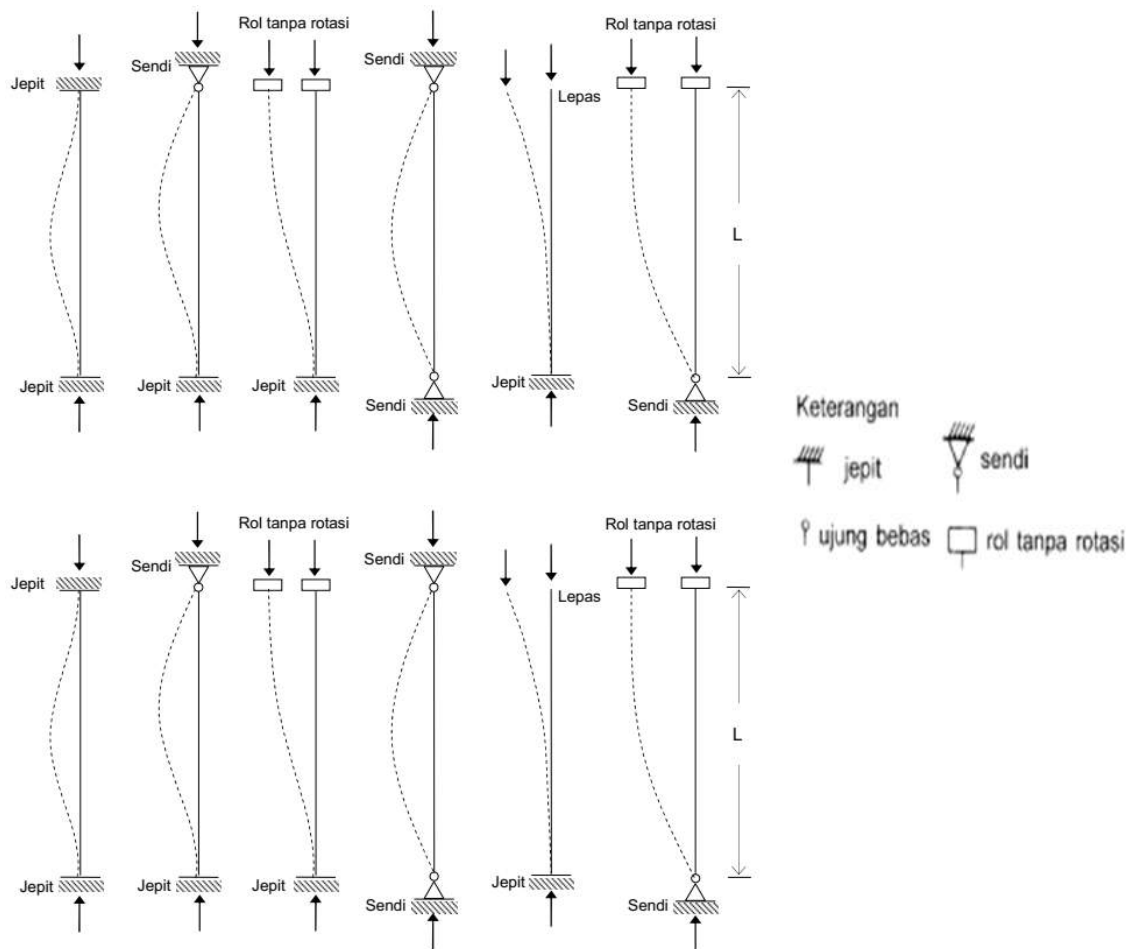
r_y = Jari-jari inertia terhadap sumbu Y.

L₁ = Jarak antara dua pelat koppel.

r_{min} = r_η = Jari-jari inertia minimum batang tunggal.

2.10 Panjang Tekuk

Panjang Tekuk (L_k) batang tekan sangat tergantung kepada jenis perletakkannya, seperti kolom dengan tumpuan dapat mengekang ujungnya dari berotasi dan translasi, sehingga mampu menahan beban yang lebih besar di dibandingkan tumpuan sendi. Panjang tekuk dapat di hitung dengan:

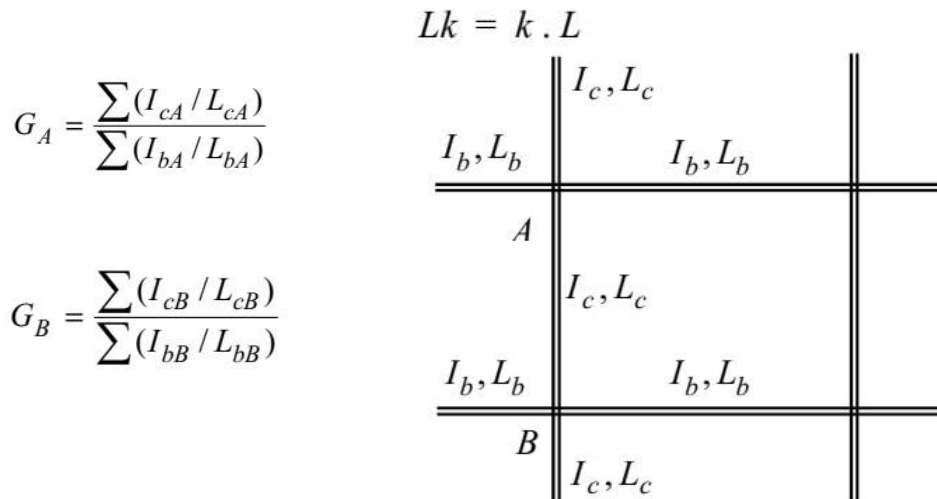


Gambar 4. 11 Garis lentur akibat tekuk berdasarkan jenis perletakan.

Tabel 4. 1 Tabel Faktor panjang tekuk (k).

	Jepit-jepit	Jepit-sendit	Jepit-rol tanpa rotasi	Sendi- sendi	Jepit-lepas	Sendi-rol tanpa rotasi
k teoritis	0,50	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	1,00	1,00	2,00	2,00
k desain	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,00

Untuk kolom pada struktur portal, faktor panjang tekuknya (k) dipengaruhi oleh nilai G pada ujung-ujung kolom. Nilai G pada salah satu ujung adalah ratio jumlah kekakuan semua kolom terhadap jumlah kekakuan semua balok yang bertemu di ujung tersebut yang ditulis dengan rumus:



Gambar 4. 12 Gambar Kolom dan Balok Portal.

- I_{cA} = Momen inersia kolom yang bertemu di titik A.
 - I_{cB} = Momen inersia kolom yang bertemu di titik B.
 - L_{cA} = Panjang kolom yang bertemu di titik A.
 - L_{cB} = Panjang kolom yang bertemu di titik B.
 - I_{bA} = Momen inersia balok yang bertemu di titik A.
 - I_{bB} = Momen inersia balok yang bertemu di titik B.
 - L_{bA} = Panjang balok yang bertemu di titik A.
 - L_{bB} = Panjang balok yang bertemu di titik B.
- Untuk tumpuan **jepit** nilai **G= 1**
 Untuk tumpuan **sendi** nilai **G = 10**

2.11 Mendimensi Batang Tekan

Untuk mendimensikan batang tekan dikerjakan dengan urutan sebagai berikut:

1. Profil ditaksir dengan $\lambda \geq 111$ sehingga berlaku rumus Euler:

$$\begin{aligned} \mathbf{I_{min}} &= \frac{n \cdot P \cdot L_k^2}{\pi^2 \cdot E} = \frac{n \times 1000P \times L_k^2}{10 \times 2,1 \times 10^6} \\ &= 0,484 \ n \ P \ L_k^2 \end{aligned}$$

Dengan:

P = Beban sentris dalam ton

L_k = Panjang tekuk dalam m

E = Modulus elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ kg/cm²

$$\pi^2 \approx 10$$

$$n \approx 3,04 \text{ untuk } B_j \ 37$$

Jadi untuk $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm² dengan Nilai $\mathbf{I_{min}} = \mathbf{1,5 \times P \times L_k^2}$

Dengan Catatan: Nilai P dalam ton, L_k dalam m dan Hasil I_{min} dalam cm⁴.

2. Dengan **I_{min}** dapat dipilih nomor profil dari batang. Sebenarnya tanpa menggunakan rumus **I_{min}** ini juga dapat diperkirakan ukuran batangnya. Hanya saja dengan cara ini mungkin dengan beberapa kali mencoba cobanya baru akan sesuai. Kemudian profil diperiksa apakah sudah cukup kuat atau belum. Daya muat profil terhadap sumbu yang terlemah harus diperiksa **dan hasilnya harus lebih besar dari besarnya muatan yang dipikul.**
3. **Kalau $P \geq P_{\text{beban}}$, Profil dapat digunakan.**
Kalau $\bar{P} < P_{\text{beban}}$, Berarti batang tidak kuat dan profil harus diperbesar satu nomor lagi.

2.12 Contoh Soal

Soal 1:

Kolom Tunggal dari DIN; Panjang tekuk $L_k = 600$ cm, menahan beban sentris $N = 35$ ton, $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm²

Tentukanlah:

- a. Nomor Profil yang dipakai
- b. Periksalah Berapa daya Dukungnya

Penyelesaian:

Untuk $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm², ditaksir dengan:

$$I_{\text{min}} = 1,5 \times P \times L_k^2 = 1,5 \times 35 \times 6^2 = 1890 \text{ cm}^4.$$

Dicari di tabel baja profil DIN dengan $I_{\text{min}} = I_y$, atau sedikit lebih besar dari **1890 cm⁴**, maka diperoleh **DIN 20** dengan nilai $I_y = 2140 \text{ cm}^4$.

Berikut ini merupakan data profil DIN 20:

$$I_x = 5950 \text{ cm}^4; \quad i_x = 8,48$$

$$I_y = 2140 \text{ cm}^4; \quad i_y = 5,1$$

$$A = 82,7 \text{ cm}^2$$

Diperiksa daya dukungnya:

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\text{minimum}}} = \frac{600}{5,1} = 117,64 > 111 \text{ (Berlaku Euler dalam keadaan elastis)}$$

$$\omega = 2,671$$

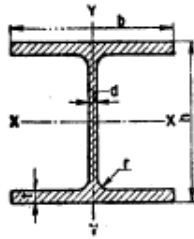
Maka dapat dihitung nilai dari:

$$\bar{\sigma}_d = \frac{\omega \times \bar{N}}{A}$$

$$\bar{N} = \frac{\bar{\sigma}_d \times A}{\omega} = \frac{1600 \times 82,7}{2,671} = 49539 \text{ kg} > 35000 \text{ kg (OK)}$$

DIN (DIFFERDANGE NORMAL)

Balok-balok flens sejajar Differdinger (Grey); panjang biasa 3 ÷ 15 m



F = penampang

I = momen kelambatan

W = momen tahanan

i = jari-jari kelambatan = $\sqrt{\frac{I}{F}}$

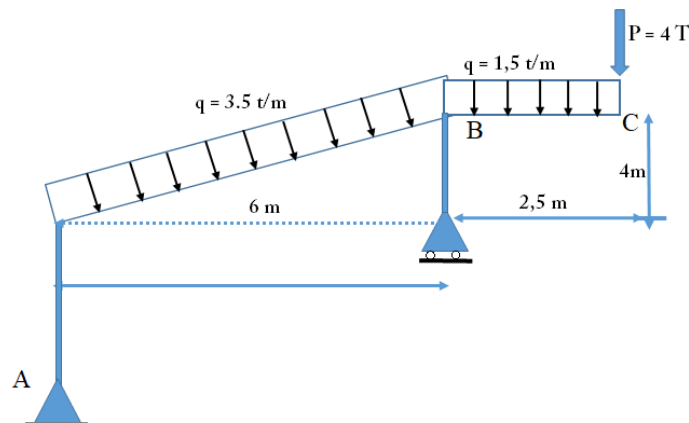
S_x = momen statis separuh penampang terhadap sumbu-X.

DiN	ukuran ²					penampang F dalam mm		berat kg/m	sumbu-lentur X—X					
	h	b	d	t	r	prof.	badan		I_x	W_x	i_x	S_x	r_{kx}	k_x
	mm					cm ²	cm ²		cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm	
10	100	100	6,5	11	11	28,1	6,1	22,1	478	96	4,12	56	3,4	1,650
12	120	120	6,5	11	11	33,8	7,4	26,5	860	143	5,04	82	4,2	1,330
14	140	140	8	12	12	44,1	10,5	34,6	1 520	217	5,87	127	4,9	1,275
15	150	150	8	12	12	47,3	11,3	37,2	1 900	253	6,33	143	5,4	1,189
16	160	160	9	14	14	58,4	13,6	45,8	2 630	329	6,71	188	5,6	1,295
18	180	180	9	14	14	65,8	15,4	51,6	3 830	426	7,63	241	6,5	1,130
20	200	200	10	16	15	82,7	18,7	64,9	5 950	595	8,48	337	7,2	1,145
22	220	220	10	16	15	91	20,7	71,5	8 050	732	9,4	411	8,0	1,030
24	240	240	11	18	17	111	24,4	87,4	11 690	974	10,2	549	8,8	1,055
25	250	250	11	18	17	116	26	91,1	13 300	1 060	10,7	597	9,1	1,010
26	260	260	11	18	17	121	27,6	94,8	15 050	1 160	11,2	648	9,6	0,975
28	280	280	12	20	18	144	32	113	20 720	1 480	12,0	830	10,3	1,000
30	300	300	12	20	18	154	34	121	25 760	1 720	12,9	959	11,2	0,920
32	320	300	13	22	20	171	39	135	32 250	2 020	13,7	1 130	11,8	0,905
34	340	300	13	22	20	174	42	137	36 940	2 170	14,6	1 210	12,5	0,820
36	360	300	14	24	21	192	47	150	45 120	2 510	15,3	1 410	13,1	0,815
38	380	300	14	24	21	194	50	153	50 950	2 680	16,2	1 500	13,8	0,740
40	400	300	14	26	21	209	53	164	60 640	3 030	17,0	1 700	14,5	0,720

2.13 Latihan

Soal 1:

Suatu struktur direncanakan/ desain seperti gambar di bawah ini, gunakan konsep perencanaan desain ($q = 1,2DL + 1,6 LL$) jika diperlukan; Bj -44.



Tentukanlah:

- a. Rencanakan Nomor profil yang dipakai pada struktur diatas saat menahan axial load/ Reaksi Maksimum
- b. Periksalah berapa daya dukungnya

D. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”,’2000’.
2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
7. AISE “Manual of Steel Construction”
8. SNI 03-1729-2002.”Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
9. SNI -7971-2013.”Struktur Baja Canai Dingin”.
10. SNI -1729-2015.”Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

MODUL 5

PERENCANAAN BATANG TUNGGAL DAN BATANG RANGKAP

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran perencanaan batang tunggal dan rangkap akan dipelajari perhitungan desain batang tunggal dan rangkap terhadap gaya aksial yang dialami struktur. Pemahaman dalam perhitungan perencanaan batang tunggal sangatlah penting dalam struktur yang dianalisa, karena hal ini sangat mempengaruhi kekuatan struktur yang direncanakan dan kemampuan menahan gaya yang dialami struktur tersebut.

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perencanaan Batang Tunggal

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari desain perencanaan batang tunggal adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan analisa perhitungan perencanaan batang tunggal pada struktur baja yang direncanakan/ didesain.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perhitungan/ analisa perencanaan batang tunggal yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Batang Tekan

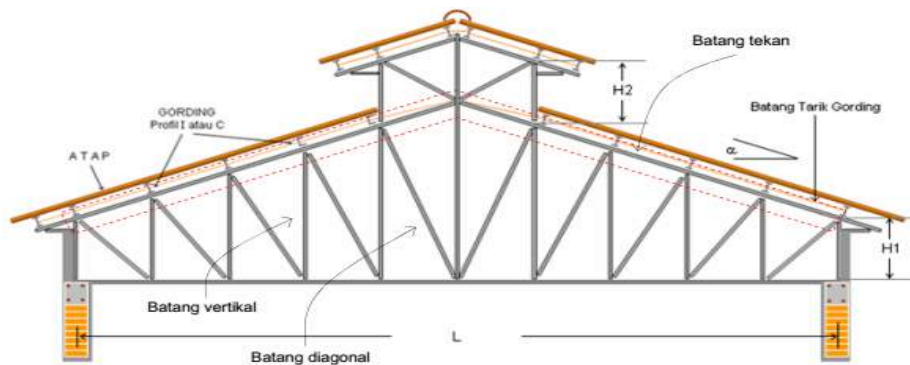
Batang Tekan adalah batang struktur yang mengalami gaya aksial. Keadaan yang sebenarnya dalam kontruksi bangunan batang tekan juga mengalami momen lentur, gaya lintang, dan torsi.



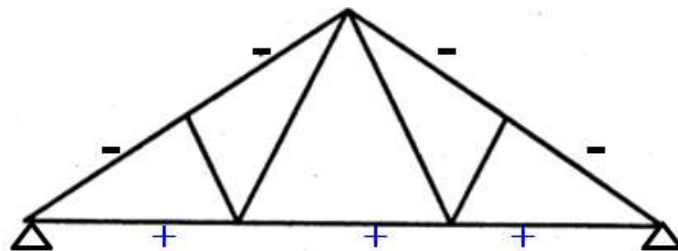
Tipe Batang Tekan dapat di klasifikasikan menjadi 2 macam yaitu:

1. Batang tekan yang merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini dibebani gaya tekan aksial searah panjang batangnya dan umumnya dalam rangka batang

batang-batang tepi atas merupakan batang tekan, dapat dilihat pada rangka batang atap di bawah ini.



Gambar : Struktur rangka atap.
Sumber : STEELROOFTRUSS, 2011.



Gambar 5. 1 Gambar Struktur atap terhadap gaya tekan.

2. Kolom: Merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok, rangka atap, lintasan crane dalam bangunan pabrik dan sebagainya yang untuk seterusnya akan melimpahkan semua beban tersebut ke pondasi.



Gambar 5. 2 Gambar Batang Tekan Kolom Struktural Portal.

2.2 Sifat Dari Batang Tekan

Keruntuhan batang tekan dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu:

1. Keruntuhan yang diakibatkan tegangan lelehnya dilampaui. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang pendek (*stocky column*).
2. Keruntuhan yang diakibatkan oleh terjadinya tekuk. Hal semacam ini terjadi pada batang tekan yang langsing (*slender column*).

Pada keruntuhan akibat tekuk ini, asalkan tegangan pada seluruh penampang masih dalam keadaan elastis (belum mencapai σ_1 , gaya tekuknya dapat di hitung berdasarkan rumus Euler:

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{Lk}$$

2.3 Stabilitas Batang Tekan

Batang tekan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga terjamin stabilitasnya (tidak ada bahaya tekuk). Hal ini harus diperlihatkan dengan menggunakan persamaan:

$$\omega \cdot \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma}$$

Dimana:

N = Gaya tekan pada batang

A = Luas penampang batang

$\bar{\sigma}$ = Tegangan dasar (tegangan ijin)

ω = faktor tekuk yang tergantung dari kelangsingan (λ) dan jenis bajanya.

Harga ω dapat dicari dari Tabel 2,3,4, dan 5 di dalam Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI) 1983 berdasarkan mutu baja, Bj-34 (Fe 310), Bj-37 (Fe 360), Bj 44 (Fe 430), dan Bj 52 (Fe 510). Nilai dari Kelangsingan (λ) ini dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\lambda_g = \pi * \sqrt{\frac{E}{0,7 * \bar{\sigma}}}$$

$$\lambda_g = \pi * \sqrt{\frac{E}{0,7 * \bar{\sigma}}}$$

$$\lambda_s = \frac{\lambda}{\lambda_g}$$

Dimana untuk nilai dari:

$\lambda_s = \leq 0,163;$ maka $\omega = 1$

Untuk: $0,183 < \lambda_s < 1;$ maka $\omega = \frac{1,41}{1,593 - \lambda_s}$

Untuk $\lambda \geq 1;$ maka $\omega = 2,281 \lambda_s$

2.4 Batas Kelangsingan Batang Tekan

Syarat kelangsingan batang tekan untuk komponen struktur dapat di hitung dengan:

$$\lambda = \frac{Lk}{r} < 200$$

Syarat kelangsingan batang tekan untuk komponen struktur profil tersusun dapat di hitung dengan:

$$\lambda_x \geq 1,2 * \lambda_l ; \quad \lambda_{iy} \geq 1,2 * \lambda_l$$

$$\lambda = \frac{Lk}{r_{min}} ; \quad \lambda_x = \frac{Lk}{r_x} ; \quad \lambda_y = \frac{Lk}{r_y}$$

$$\lambda_l = \frac{Ll}{r_{min}} ; \quad \lambda = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_l^2}$$

Dimana:

Lk = Panjang tekuk batang

k = faktor tekuk batang (diperoleh dari Tabel)

maka nilai: $LK = k * L$

r = jari-jari inertia

2.5 Tegangan Tekuk Ijin

Menurut PPBBI perhitungan untuk nilai dari tegangan tekuk ijin dengan angka keamanan 1,5 untuk $\lambda \leq 20$ dapat di hitung dengan:

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\sigma_1}{1,5}$$

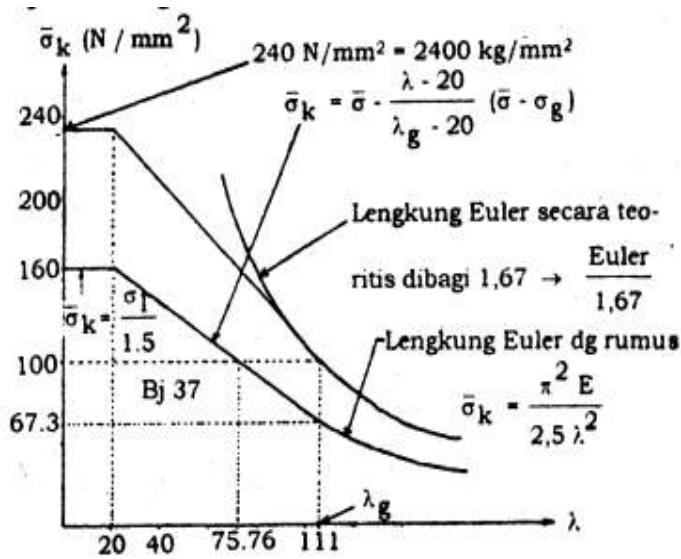
Sedangkan untuk batang tekan yang mempunyai kelangsingan $\lambda > \lambda_g$ di gunakan angka keamanan 2,5 sehingga:

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\pi^2 * E}{1,5 * \lambda^2}$$

Untuk interpolasi linear antara $\lambda \leq 20$ dan $\lambda \geq \lambda_g$, dapat di hitung dengan:

$$\bar{\sigma}_k = \bar{\sigma} - \frac{(\lambda - 20)}{(\lambda_g - 20)} * (\bar{\sigma} - \sigma_g)$$

Gambar diagram Tegangan Tekuk dengan kelangsingan batang tekan



Untuk Fe 360 (Bj 37):

➤ $\bar{\sigma}_k$ untuk $\lambda \leq 20$

$$\bar{\sigma}_k = \frac{2400}{1,5} = 1600$$

➤ $\bar{\sigma}_k$ untuk $\lambda = \lambda_g = 111$

$$\bar{\sigma}_k = \frac{\pi^2 * 2,1 * 10^6}{2,5 * 111^2} = 673$$

Gambar 5. 3 Gambar diagram $\sigma_k - \lambda$ Untuk Bj-37.

Untuk meninjau kemampuan batang tekan dapat dilakukan dengan 2 cara sebagai berikut:

1. $\frac{\omega * N}{A} \leq \bar{\sigma}$ (Dimana harga ω dicari dari tabel sesuai dengan kelangsingan λ).
2. $\frac{N}{A} \leq \bar{\sigma}_{kn}$

Dari kedua cara ini umumnya dipergunakan cara no 1 untuk menghitung nilai dari kemampuan batang tekan.

Bila $\lambda \leq 20$, tidak ada tekuk $\omega=1$

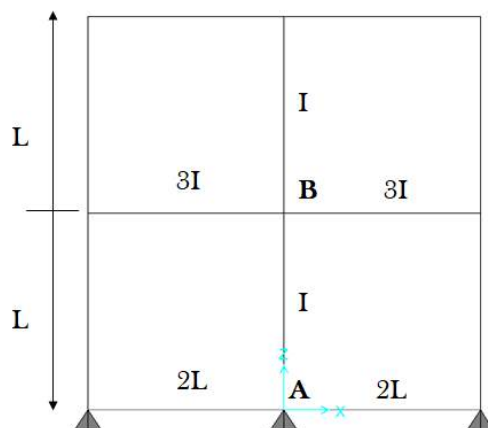
Bila $\lambda > 20$, ada tekuk nilai dari $\omega=1$

2.6 Contoh Soal

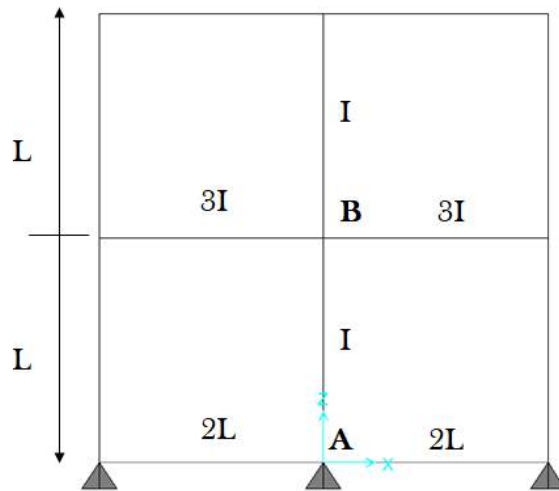
Soal 1:

Tentukan harga k untuk kolom AB dari portal bertingkat di bawah ini bila:

- a. Portal tidak bergoyang
- b. Portal Bergoyang



Penyelesaian:



a. Pada perletakan sendi nilai $GA = 10$

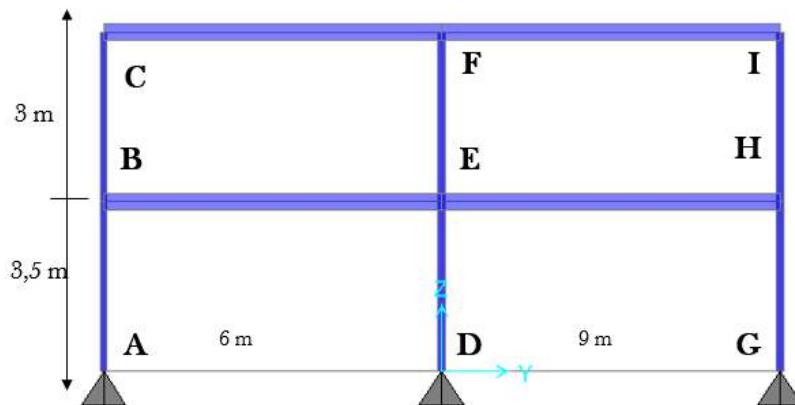
b. Untuk Nilai GB:

$$GB = \frac{2\left(\frac{I}{L}\right)}{2\left(\frac{3I}{2L}\right)} = 0,667 = 0,7 \quad ; \text{Diperoleh nilai } k = 0,83$$

c. $GA = 10$

$$= 0,667 = 0,7 \quad ; \text{Diperoleh nilai } k = 1,82$$

Soal 2: Tentukan harga k untuk masing-masing kolom pada struktur portal di bawah ini



Penyelesaian:

A. Perhitungan kekakuan elemen Balok dan Kolom

Tabel 5. 1 Kekakuan elemen balok dan kolom.

Elemen	Fungsi	Profil	I_x cm ⁴	L cm	I_x / L cm ³
AB	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	350	13.486
BC	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	300	15.733
DE	Kolom	WF 250.125.6.9	4050	350	11.571
EF	Kolom	WF 250.125.6.9	4050	300	13.500
GH	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	350	13.486
HI	Kolom	WF 200.200.8.12	4720	300	15.733
BE	Balok	WF 450.200.9.14	33500	600	55.833
CF	Balok	WF 400.200.8.13	23700	600	39.500
EH	Balok	WF 450.300.11.18	56100	900	62.333
FI	Balok	WF 400.300.10.16	38700	900	43.000

B. Faktor G tiap titik buhul (Joint)

Tabel 5. 2 Kekakuan elemen balok dan kolom.

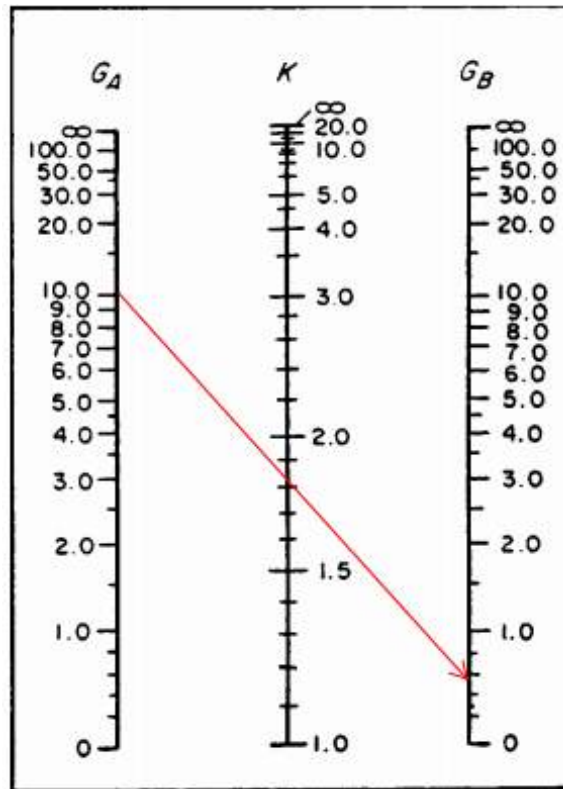
Joint		G	Ket.
A		10	Sendi
B	(Kolom AB + Kolom BC) / (Balok BE)	$(13.486 + 15.733) / 55.833$	0.523
C	(Kolom BC) / (Balok CF)	$(15.733) / 39.500$	0.398
D		10	Sendi
E	(Kolom DE + Kolom EF) / (Balok BE + Balok EH)	$(11.571 + 13.500) / (55.833 + 62.333)$	0.212
F		$(13.500) / (39.500 + 43.000)$	0.164
G		10	Sendi
H	(Kolom GH + Kolom HI) / (balok EH)	$(13.486 + 15.733) / 62.333$	0.469
I	(Kolom HI) / (Balok FI)	$(15.733) / 43.000$	0.366

C. Faktor Panjang Tekuk (Panjang Efektif) “k” masing-masing kolom

Tabel 5. 3 Faktor panjang tekuk “k”.

Kolom	G _A	G _B	k
AB	10	0.523	1.80
BC	0.523	0.398	1.15
DE	10	0.212	1.72
EF	0.212	0.164	1.07
GH	10	0.469	1.79
HI	0.469	0.366	1.18

D. Pembacaan nomogram untuk portal bergoyang kolom AB



Nomogram

Soal 3:

Kolom DIR 20 dibebani sentris $N = 100$ ton, dengan panjang kolom $l = 4$ m dan ujung-ujung kolom adalah sendi. Baja dari Bj-37 dengan $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm². Tinjaulah kolom tersebut apakah cukup kuat menahan beban tersebut.

Penyelesaian:

Untuk DIR 20 mempunyai $A = 136$ cm²; $i_x = 8,96$ cm; $i_y = 5,28$ cm

Ujung-ujung kolom sendi, maka nilai $L_k = 1 \cdot 400 = 400$ cm

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\text{minimum}}} = \frac{400}{5,28} = 75,76 \quad \rightarrow \quad \omega = 1,552 \text{ (lihat tabel PPBBI)}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\omega \cdot N}{A} = \frac{1,552 \cdot 100000}{136} = 1141,18 \text{ kg/cm}^2 < \bar{\sigma}_d = 1600 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Ok)}$$

Cara Lain:

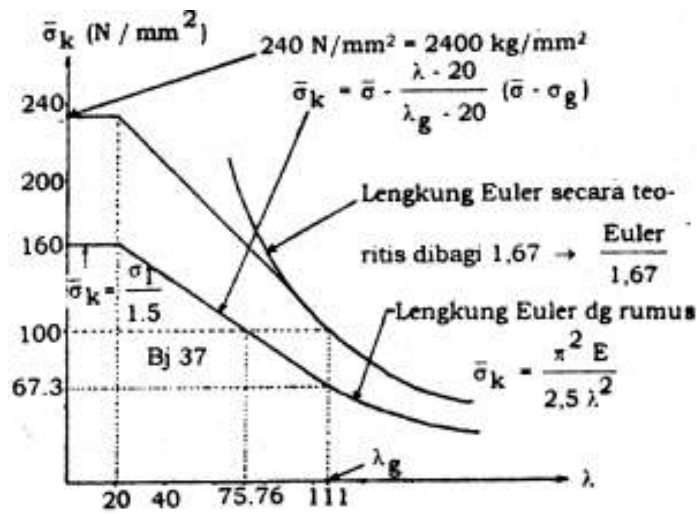
Solution:

Dengan grafik $\bar{\sigma}_{kn} - \lambda$

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{100000}{136} = 735 \text{ kg/cm}^2.$$

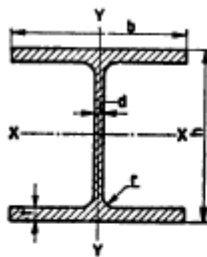
Pada grafik: $\lambda = 75,76 \quad \rightarrow \quad \bar{\sigma}_k = 100 \text{ N/mm}^2 = 1000 \text{ kg/cm}^2$

Jadi $\sigma = 735 < 1000 \text{ kg/cm}^2$ (Ok)



DIR (DIFFERDANGE RENFORCE).

Balok-balok flens sejajar Differdinger (Grey); panjang biasa 3 ÷ 15 m



- F = penampang
- I = momen kelambatan
- W = momen tahanan
- i = jari-jari kelambatan = $\sqrt{\frac{I}{F}}$
- S_x = momen statis separuh penampang terhadap sumbu-X

DiR	ukuran ²					penam-pang F		berat kg/m	sumbu-lentur X—X					
	h	b	d	t	r	prof.	badan		I_x	W_x	i_x	S_x	r_{kx}	k_x
	mm					cm ²	cm ²		cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm	
10	112	104	10	17	11	44,0	8,6	34,6	852	152	4,40	93	3,45	2,26
12	132	124	10	17	11	52,8	10,6	41,5	1 500	227	5,33	135	4,30	1,86
	164	148	16	24	12	90,8	19,4	71,3	3 760	459	6,43	279	5,05	2,18
15	174	158	16	24	12	97,2	21,4	76,3	4 610	530	6,88	320	5,45	2,05
16	182	167	16	25	14	106	22,4	83,5	5 560	611	7,23	368	5,76	2,02
18	202	187	16	25	14	119	26,4	93,8	7 930	785	8,15	466	6,54	1,78
20	220	206	16	26	15	136	28,8	107	10 900	991	8,96	584	7,29	1,70
22	240	226	16	26	15	150	32,4	117	14 560	1 210	9,88	707	8,09	1,55
24	260	246	17	28	17	175	37,2	137	20 060	1 540	10,7	899	8,82	1,52
25	274	257	18	30	17	195	40,8	153	24 800	1 810	11,3	1 060	9,28	1,53
26	288	269	20	32	17	219	46,8	172	30 520	2 120	11,8	1 240	9,67	1,57
28	310	289	21	35	18	255	52,6	201	41 250	2 660	12,7	1 560	10,4	1,58
30	336	311	23	38	18	299	62,6	235	56 580	3 370	13,8	1 970	11,5	1,58
32	356	310	23	40	20	315	67,0	247	66 880	3 760	14,6	2 200	11,9	1,49
34	376	310	23	40	20	320	72,0	251	76 000	4 040	15,4	2 360	12,6	1,35
36	392	309	23	40	21	323	75,8	253	83 590	4 260	16,1	2 480	13,2	1,25
38	412	309	23	40	21	327	79,8	257	93 850	4 560	16,9	2 650	13,9	1,14
40	428	308	22	40	21	327	80,6	257	101 880	4 760	17,6	2 750	14,6	1,05

Soal 4:

Kolom Tunggal dari DIN, panjang tekuk $L_k = 600$ cm, menahan beban sentris $N = 35$ ton, $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm². Tentukan dan rencanakanlah:

- Nomor profil yang dipakai
- Periksalah berapa daya dukungnya

Penyelesaian:

Untuk $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm², ditaksir dengan:

$$I_{\min} = 1,5 * P * L_k^2 = 1,5 * 35 * 6^2 = 1890 \text{ cm}^4$$

Dicari dalam Tabel baja profil DIN dengan $I_{\min} = I_y$,

atau sedikit lebih besar dari 1890 cm^4

$I_y = 2140 \text{ cm}^4$ untuk DIN 20; mempunyai:

$I_x = 5950 \text{ cm}^4$; $i_x = 8,48$; $I_y = 2140 \text{ cm}^4$;

$i_y = 5,1$; $A = 82,7 \text{ cm}^2$

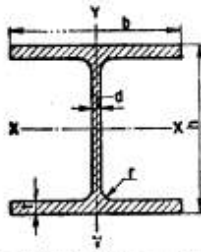
Periksa daya dukungnya

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\text{minimum}}} = \frac{600}{5,1} = 117,64 > 111 \text{ (berlaku Euler dalam keadaan elastis)} \quad \omega = 2,671$$

$$\bar{\sigma}_d = \frac{\omega * N}{A} \quad \rightarrow \quad \bar{N} = \frac{A * \bar{\sigma}_d}{\omega} = \frac{82,7 * 1600}{2,671} = 49539 \text{ kg} > 35000 \text{ kg (OK)}$$

DIN (DIFFERDANGE NORMAL)

Balok-balok flens sejajar Differdinger (Grey); panjang biasa 3 ÷ 15 m



- F = penampang
- I = momen kelambatan
- W = momen tahanan
- i = jari-jari kelambatan = $\sqrt{\frac{I}{F}}$
- S_x = momen statis separuh penampang terhadap sumbu-X.

DiN	ukuran ²					penampang F dalam mm		berat kg/m	sumbu-lentur X—X					
	h	b	d	t	r	prof.	badan		I_x	W_x	i_x	S_x	r_{kx}	k_x
						cm ²	cm ²							
10	100	100	6,5	11	11	28,1	6,1	22,1	478	96	4,12	56	3,4	1,650
12	120	120	6,5	11	11	33,8	7,4	26,5	860	143	5,04	82	4,2	1,330
14	140	140	8	12	12	44,1	10,5	34,6	1 520	217	5,87	127	4,9	1,275
15	150	150	8	12	12	47,3	11,3	37,2	1 900	253	6,33	143	5,4	1,189
16	160	160	9	14	14	58,4	13,6	45,8	2 630	329	6,71	188	5,6	1,295
18	180	180	9	14	14	65,8	15,4	51,6	3 830	426	7,63	241	6,5	1,130
20	200	200	10	16	15	82,7	18,7	64,9	5 950	595	8,48	337	7,2	1,143
22	220	220	10	16	15	91	20,7	71,5	8 050	732	9,4	411	8,0	1,030
24	240	240	11	18	17	111	24,4	87,4	11 690	974	10,2	549	8,8	1,055
25	250	250	11	18	17	116	26	91,1	13 300	1 060	10,7	597	9,1	1,010
26	260	260	11	18	17	121	27,6	94,8	15 050	1 160	11,2	648	9,6	0,975
28	280	280	12	20	18	144	32	113	20 720	1 480	12,0	830	10,3	1,000
30	300	300	12	20	18	154	34	121	25 760	1 720	12,9	959	11,2	0,920
32	320	300	13	22	20	171	39	135	32 250	2 020	13,7	1 130	11,8	0,905
34	340	300	13	22	20	174	42	137	36 940	2 170	14,6	1 210	12,5	0,820
36	360	300	14	24	21	192	47	150	45 120	2 510	15,3	1 410	13,1	0,815
38	380	300	14	24	21	194	50	153	50 950	2 680	16,2	1 500	13,8	0,740
40	400	300	14	26	21	209	53	164	60 640	3 030	17,0	1 700	14,5	0,720

Soal 5:

Kolom tunggal DIE 20, ujung-ujungnya sendi memikul beban sentris N. Panjang kolom $L = 3,60 \text{ m} = L_k$. Tentukanlah berapa nilai dari N_{maks} yang dapat dipikul kolom tersebut.

Penyelesaian:

DIE 20 mempunyai:

$$A = 57 \text{ cm}^2; i_x = 8,24 \text{ cm}; i_y = 4,96 \text{ cm}$$

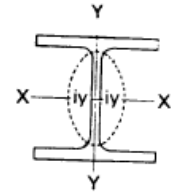
$$\lambda = \frac{L_k}{i_{minimum}} = \frac{360}{4,96} = 73 < 111 \text{ (inelastic buckling)}$$

$$\lambda = 73 \longrightarrow \omega = 1,507$$

$$\bar{N} = \frac{A \times \bar{\sigma}_d}{\omega} = \frac{57 \times 1600}{1,507} = 60517,6 \text{ kg}$$

Soal 6:

Lakukanlah evaluasi terhadap komponen struktur tekan berikut ini dengan memakai profil WF 300.200.9.14. Kondisi perletakan jepit – sendi. Beban aksial terfaktor $N_u = 120 \text{ ton} = 1200 \text{ kN}$. Mutu baja BJ-37 ($f_y = 240 \text{ MPa}$, $f_u = 370 \text{ MPa}$). Panjang batang $L = 4500 \text{ mm}$.



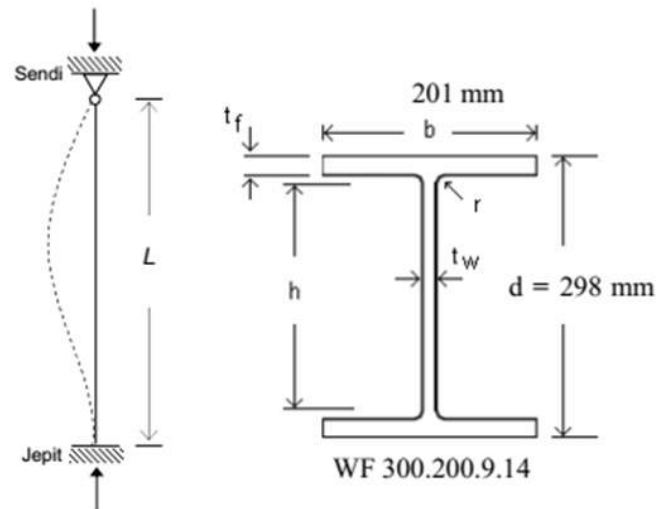
Section Index	Weight	Depth of Section (A)	Flange Width (B)	Thickness		Corner Radius (r)	Sectional Area	Moment of Inertia		Radius of Gyration		Modulus of Section	
				Web (t _w)	Flange (t _f)			J _x	J _y	i _x	i _y	Z _x	Z _y
mm	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm	cm	cm ³	cm ³
400 × 400	200	406	403	16	24	22	254.9	78,000	26,200	17.5	10.1	3,840	1,300
	197	400	408	21	21	22	250.7	70,900	23,800	16.8	9.75	3,540	1,170
	172	400	400	13	21	22	218.7	66,600	22,400	17.5	10.1	3,330	1,120
	168	394	405	18	18	22	214.4	59,700	20,000	16.7	9.65	3,030	985
	147	394	398	11	18	22	186.8	56,100	18,900	17.3	10.1	2,850	951
	140	388	402	15	15	22	178.5	49,000	16,300	16.6	9.54	2,520	809
400 × 300	107	390	300	10	16	22	136.0	38,700	7,210	16.9	7.28	1,980	481
	94.3	386	299	9	14	22	120.1	33,700	6,240	16.7	7.21	1,740	418
400 × 200	66.0	400	200	8	13	16	84.12	23,700	1,740	16.8	4.54	1,190	174
	56.6	396	199	7	11	16	72.16	20,000	1,450	16.7	4.48	1,010	145
350 × 350	159	356	352	14	22	20	202.0	47,600	16,000	15.3	8.90	2,670	909
	156	350	357	19	19	20	198.4	42,800	14,400	14.7	8.53	2,450	809
	136	350	350	12	19	20	173.9	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
	131	344	354	16	16	20	166.6	35,300	11,800	14.6	8.43	2,050	669
	115	344	348	10	16	20	146.0	33,300	11,200	15.1	8.78	1,940	646
	106	338	351	13	13	20	135.3	28,200	8,380	14.4	8.33	1,670	534
350 × 250	79.7	340	250	9	14	20	101.5	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
	69.2	336	249	8	12	20	88.15	18,500	3,090	14.5	5.92	1,100	248
350 × 175	49.8	350	175	7	11	14	63.14	13,600	984	14.7	3.95	775	112
	41.4	346	174	6	9	14	52.68	11,100	792	14.5	3.88	641	91.0
300 × 300	106	304	301	11	17	18	134.8	23,400	7,730	13.2	7.57	1,540	514
	106	300	305	15	15	18	134.8	21,500	7,100	12.6	7.26	1,440	466
	94.0	300	300	10	15	18	119.8	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450
	87.0	298	299	9	14	18	110.8	18,800	6,240	13.0	7.51	1,270	417
	84.5	294	302	12	12	18	107.7	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
300 × 200	65.4	298	201	9	14	18	83.36	13,300	1,900	12.6	4.77	893	189
	56.8	294	200	8	12	18	72.38	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
300 × 150	36.7	300	150	6.5	9	13	46.78	7,210	508	12.4	3.29	481	67.7
	32.0	298	149	5.5	8	13	40.80	6,320	442	12.4	3.29	424	59.3

Dari Tabel Profil Baja diperoleh data-data sebagai berikut:

DATA-DATA :

WF 300.200.9.14

d	=	298	mm
b	=	201	mm
t _f	=	14	mm
t _w	=	9	mm
L	=	4500	mm
r	=	18	mm
Ag	=	8336	mm ²
r _x	=	126	mm
r _y	=	47,7	mm
h	=	d - 2.(t _f + r)	
	=	298 - 2 . (14 + 18)	
h	=	234	mm



Penyelesaian:

a. Kelangsingan Batang

Faktor panjang tekuk, $k = 0,80$ (jepit-sendiri), maka akan di hitung nilai dari:

- Tekuk ke arah sumbu -X:

$$L_{kx} = k \cdot L = 0,8 \times (4500) = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x} = \frac{3600}{126} = 28,57 < 200 \text{ (memenuhi)}$$

- Tekuk ke arah sumbu -Y:

$$L_{ky} = k \cdot L = 0,8 \times (4500) = 3600 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} = \frac{3600}{47,7} = 75,47 < 200 \text{ (memenuhi)}$$

b. Kekuatan nominal terfaktor batang tekan

- Ke arah sumbu -X:

$$\begin{aligned} \lambda_{cx} &= \frac{1 \times L_{kx}}{\pi \times r_x} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} \\ &= \frac{1 \times 28,57}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0,3152 \text{ (Untuk } \pi = 3,14) \end{aligned}$$

Untuk $0,25 < \lambda_{cx} < 1,2$ Maka:

$$\omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cx}} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,3152)} = 1,0297$$

Maka Kekuatan Nominal Batang Tekan:

$$N_n = Ag \times f_{cr} = Ag \times \frac{f_y}{\omega_x} = (8336 \text{ mm}^2) \cdot \frac{240}{1,0297} = 1942935 \text{ N}$$

$$N_n = 1942,935 \text{ kN}$$

Kekuatan Nominal Terfaktor:

$$N_u = \phi \times N_n = 0,85 \times 1942,935 \text{ kN} = 1651,5 \text{ kN} > 1200 \text{ kN. (memenuhi)}$$

- Ke arah sumbu -Y:

$$\lambda_{cy} = \frac{1 \times L_{ky}}{\pi \times r_y} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$
$$= \frac{1 \times 75,47}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{240}{200000}} = 0,8326 \text{ (Untuk } \pi = 3,14)$$

Untuk $0,25 < \lambda_{cx} < 1,2$ Maka:

$$\omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cy}} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67(0,8326)} = 1,3722$$

Maka Kekuatan Nominal Batang Tekan:

$$N_n = A_g \times f_{cr} = A_g \times \frac{f_y}{\omega_x} = (8336 \text{ mm}) \cdot \frac{240}{1,3722} = 1457980 \text{ N}$$

$$N_n = 1458 \text{ kN}$$

Kekuatan Nominal Terfaktor:

$$N_u = \phi \times N_n = 0,85 \times 1458 \text{ Kn} = 1239,3 \text{ Kn} > 1200 \text{ kN. (memenuhi)}$$

2.7 Latihan

Soal 1:

Kolom WF 300.200.8.12 dibebani sentris $N = 100$ ton, dengan panjang kolom $l = 4$ m dan ujung-ujung kolom adalah sendi. Baja dari Bj-37 dengan $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm². Tinjaulah kolom tersebut apakah cukup kuat menahan beban tersebut.

Soal 2:

Kolom Tunggal dari WF, panjang tekuk $L_k = 600$ cm, menahan beban sentris $N = 45$ ton, $\bar{\sigma}_d = 1600$ kg/cm². Tentukanlah:

- Nomor profil yang dipakai.
- Periksalah berapa daya dukungnya.

C. Kegiatan Pembelajaran 2: Perencanaan Batang Rangkap

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari desain perencanaan batang tunggal adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan analisa perhitungan perencanaan batang tunggal pada struktur baja yang direncanakan/ didesain.

2. Uraian Materi

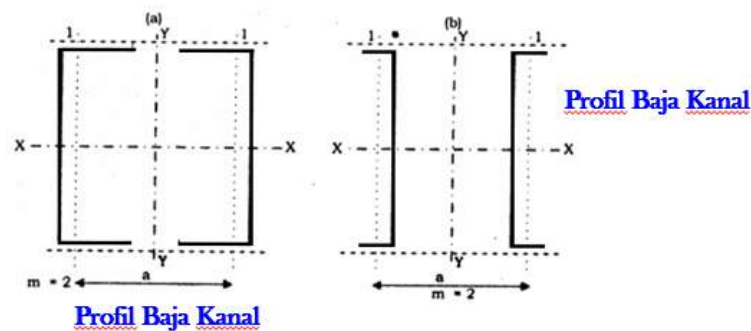
Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perhitungan/ analisa perencanaan batang tunggal yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Profil Gabungan (Profil Tersusun)

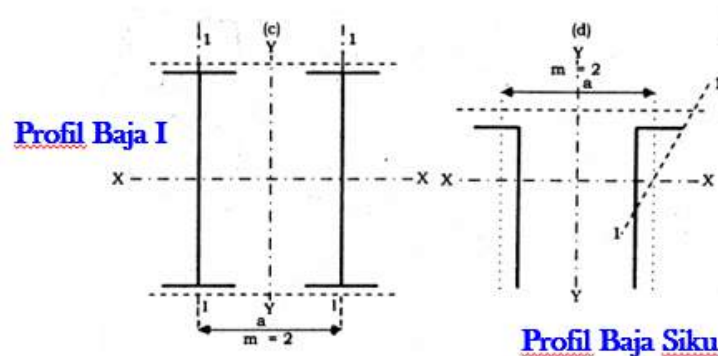
- Pada kolom atau batang tekan yang panjang dengan beban yang berat (misalnya pada rangka jembatan), pemakaian profil tunggal tidaklah hemat karena lebih berat daripada profil tersusun pada umumnya.
- Pada profil tersusun, jarak antar profil dapat diatur, sehingga momen inersia (I) terhadap semua sumbu dapat memenuhi kebutuhan, Agar ekonomis dan dapat diatur sehingga, $I_x = I_y$
- Profil tersusun dari profil-profil yang kecil, tipis, dan ringan, tetapi mampu menghasilkan I yang besar

2.2 Jenis Profil Tersusun

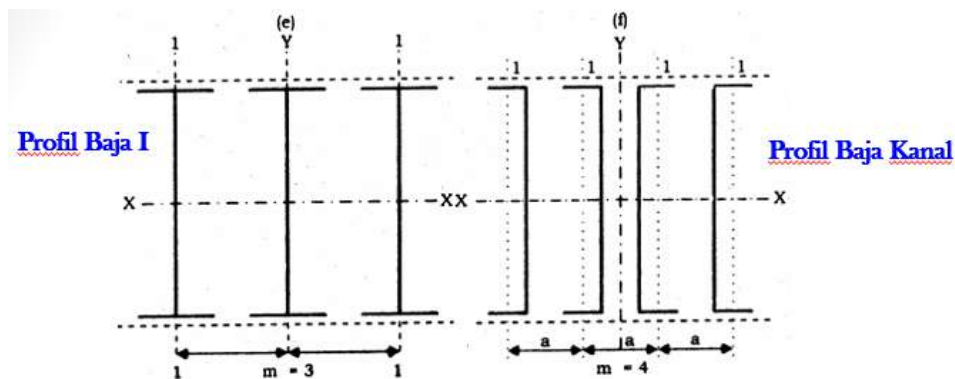
Ada berbagai macam profil tersusun yang digunakan dalam desain perencanaan struktur bangunan. Adapun profil yang digunakan akan diperlihatkan seperti pada gambar di bawah ini. Profil tersusun dapat diinjau dari jumlah profil yang digunakan (digabungkan) menjadi satu profil yang digunakan dalam struktur yang didesain.



Gambar 5. 4 Gambar Profil Tersusun Baja Kanal dengan nilai $m = 2$



Gambar 5. 5 Gambar Profil Tersusun Baja I dan baja siku dengan nilai $m = 2$



Gambar 5. 6 Gambar Profil Tersusun Baja I dengan nilai $m = 3$ dan profil baja siku dengan nilai $m = 4$.

Berdasarkan gambar diatas maka dapat kita lihat bahwa profil tersusun mempunyai 2 macam sumbu, yaitu sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua profil. Sumbu bebas bahan adalah sumbu yang tidak memotong semua profil.

- X-X : adalah sumbu bahan
- Y-Y : adalah sumbu bebas bahan
- 1-1 : adalah sumbu minimum dari elemen batang (satu profil)
- : adalah pelat koppel

2.3 Ketentuan Pada Profil Tersusun

Pada profil tersusun yang mempunyai sumbu bebas bahan, supaya batang-batang yang disusun dapat bekerja sama, tempat-tempat tertentu harus dihubungkan satu sama lain dengan pelat koppel, sehingga:

1. Untuk Profil tersusun pada gambar jenis a, b, c, dan d berlaku:

$$I_y = 2 [I_{y1} + A_1 (0,5a)^2]$$

2. Untuk Profil tersusun pada gambar jenis e berlaku:

$$I_y = 3I_{y1} + 2A_1 \cdot a^2$$

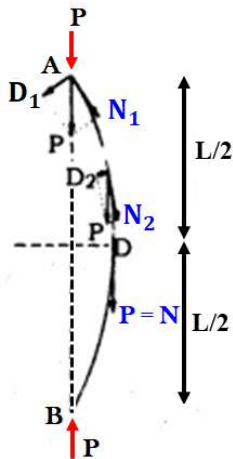
3. Untuk Profil tersusun pada gambar jenis f berlaku:

$$I_y = 4I_{y1} + 2A_1 (1,5a)^2 + 2 A_1 (0,5a)^2$$

Y adalah sumbu bebas bahan. A_1 adalah luas penampang satu profil.

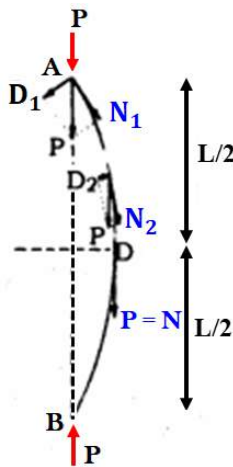
Fungsi Pelat Koppel:

1. Memperkecil panjang tekuk batang-batang tunggal (L_y di bagi-bagi menjadi L_1 oleh pelat-pelat Koppel).
2. Mencegah gaya geser memanjang yang timbul sewaktu batang melekok.
3. Menggabungkan kedua profil agar dapat bekerjasama, sehingga dapat mempertahankan bentuk tetapdari penampang.



Batang AB ditekan dengan gaya P, maka batang akan melekuk seperti terlihat pada gambar.

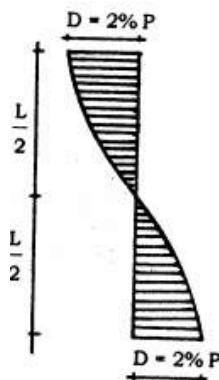
Pada titik A akan terjadi gaya Lintang D_1 yang lebih besar dari gaya Lintang D_2 di titik C. Makin jauh dari A, gaya Lintang D semakin kecil dan ditengah-tengah panjang batang ($0,5L$) gaya Lintang $D=0$. Jadi gaya lintang **D yang terbesar berada tepat di Ujung-ujung batang.**



Jadi pada ujung-ujung batang tekan harus diberi pelat koppel yang kuat agar dapat menahan **gaya Lintang**, yang berusaha untuk memisahkan profil yang tersusun. Pemasangan pelat Koppel diantara pelat-pelat Koppel ujung sama dengan pemasangan pada Koppel ujung.

Dalam hal ini tugas pelat-pelat Koppel diantara pelat-pelat Koppel ujung lebih ringan, **terlebih pada daerah tengah Batang, Dimana $D = 0$**

Besarnya gaya lintang D di ujung-ujung batang tekan adalah $0,02 \cdot P$, dimana P adalah beban tekan normal



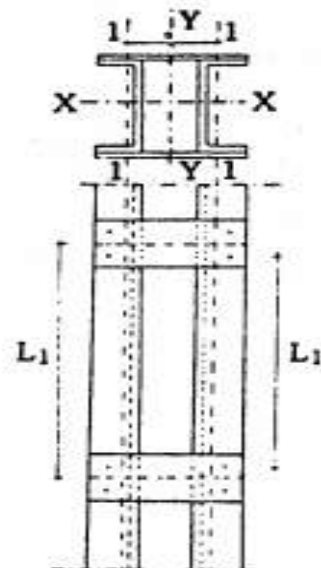
Apabila batang selain memikul beban aksial juga memikul beban yang tegak lurus sumbu batang atau memikul momen, maka besarnya gaya Lintang diambil yang terbesar dari $D = 0,02 \cdot P$ dan gaya lintang yang sungguh-sungguh terjadi karena gaya-gaya tegak lurus sumbu batang tadi

Untuk batang tersusun harus ditinjau kestabilannya terhadap kedua sumbu bebas bahan, sebagai berikut:

Terhadap Sumbu Bahan (x-x):

Kelangsingannya adalah:

$$\lambda_x = \frac{Lk_x}{i_x}$$



Terhadap Sumbu Bahan (y-y):

Kelangsingannya adalah:

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda y^2 + 0,5 m \lambda_1^2}$$

Dimana:

λ_{iy} : Kelangsingan ideal

$$\lambda y = \frac{L_{ky}}{i_y} \quad \text{dan} \quad \lambda_1 = \frac{L_1}{i_{\text{minimum}}}$$

Dimana:

m : Jumlah batang tunggal yang membentuk batang tersusun.

L_{ky} : Panjang tekuk batang tersusun pada arah \perp sumbu Y-Y

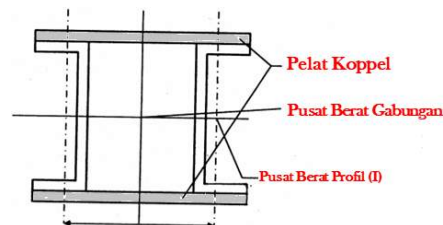
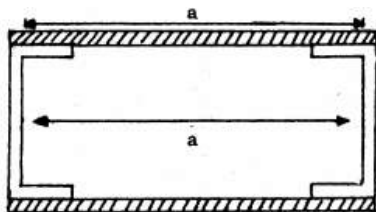
i_y : Jari-jari kelembaman dari batang tersusun pada arah \perp sumbu Y-Y.

L_1 : Jarak antara tengah-tengah pelat Koppel pada arah batang.

i_{min} : Jari-jari kelembaman batang tunggal terhadap sumbu yang memberikan harga terkecil (sumbu 1-1).

Jarak L_1 yang sebenarnya ialah L_1' , tetapi karena adanya paku keeling/ baut kemudian, untuk memudahkan diambil L_1 adalah jarak antara tengah-tengah pelat Koppel. $L_1 \geq L_1'$ (Lebih aman).

2.4 Syarat / Ketentuan Profil Tersusun



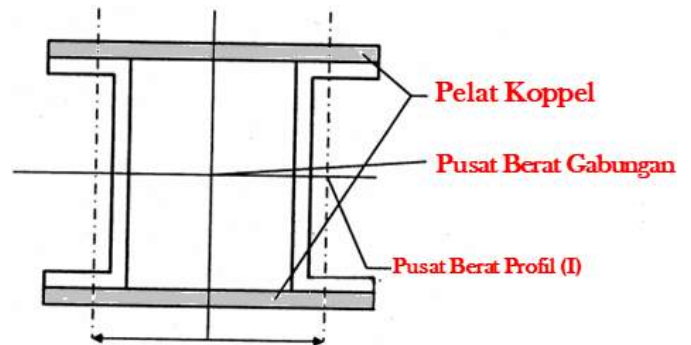
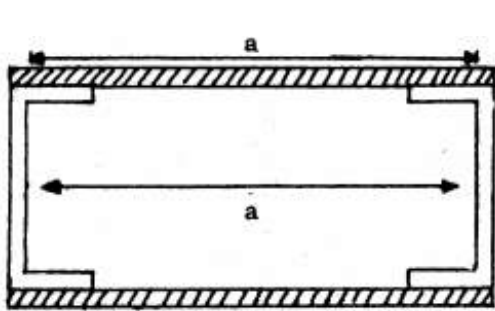
Syarat:

1. Pelat Koppel membagi batang tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang.
2. Banyaknya pembagian batang minimum 3 bagian.
3. Hubungan antara pelat Koppel dengan elemen batang tekan harus kaku.
4. Pelat Koppel harus cukup kaku hingga memenuhi

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 * \frac{I_1}{L_1}$$

Dimana:

I_p = Momen Kelembaman plat koppel



$$I_p = 2 * \frac{1}{12} * t * h^3$$

I_1 = Momen kelembaman elemen batang tunggal terhadap sumbu 1-1

a = Jarak antara pusat berat masing-masing elemen.

5. ω_x dicari dari λ_x dan ω_{iy} dicari dari λ_{iy}

Sehingga: $\omega_x * \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma}$ dan $\omega_{iy} * \frac{N}{A} \leq \bar{\sigma}$

6. Untuk kestabilan elemen-elemen dari batang tersusun, syarat-syarat berikut harus dipenuhi: $\lambda_x \geq 1,2 * \lambda_1$ dan $\lambda_{iy} \geq 1,2 * \lambda_1$

$$\text{dan } \lambda_1 \leq 50$$

2.5 Contoh Soal

Soal 1:

Sebuah kolom [I] mempunyai panjang tekuk $L_x = L_y = 6\text{m}$ memikul beban terpusat 50 ton, $\bar{\sigma} = 1600 \text{ kg/cm}^2$

Penyelesaian:

$$I_{\text{minimum}} = 1,5 * P * L_k^2 = 1,5 * 50 * 6^2 = 2700 \text{ cm}^2$$

Dengan $P = 50$ ton, ini berarti untuk 2 profil ([I])

$$\text{Untuk Profil [: } I = 0,5 * 2700 = 1350 \text{ cm}^4$$

Maka dicari di daftar konstruksi baja [yang mempunyai $I_x > 1350 \text{ cm}^4$ ialah [18 mempunyai:

$$I_x = 1350 \text{ cm}^4 ; I_y = 114 \text{ cm}^4;$$

$$i_x = 6,95 ; i_y = 2,02; A = 28 \text{ cm}^2$$

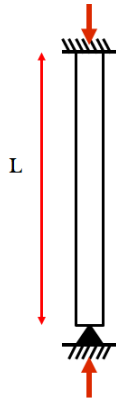
Periksa daya dukungnya

$$\lambda_x = \frac{Lkx}{i_x} = \frac{600}{6,95} = 86,5 \quad \text{Maka diperoleh nilai dari } \omega_x = 1,722$$

$$\overline{\sigma d} = \frac{\omega_x \cdot \bar{N}}{A} \quad \rightarrow \quad \bar{N} = \frac{A \cdot \overline{\sigma d}}{\omega_x} = \frac{2 \times 28 \times 1600}{1,722} = 52033 \text{ kg} > 50000 \text{ kg (OK)}$$

Soal 2:

Sebuah komponen struktur tekan dengan beban aksial terfaktor $N_u = 80$ ton dan memiliki panjang batang 4,5 m. Rencanakan komponen struktur tersebut dari dua buah profil kanal tersusun, rencanakan juga dengan dimensi pelat kopelnya. Mutu baja BJ-37.



Penyelesaian:

Dicoba menggunakan profil kanal CNP 20:

Data Profil Kanal (CNP 20):

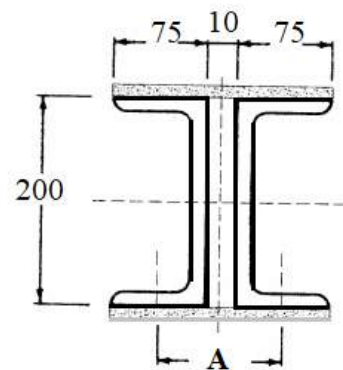
$$A_g = 3220 \text{ mm}^2$$

$$e = 20,1 \text{ mm}$$

$$I_x = 1910 \cdot 10^4 \text{ mm}^4; \quad I_y = 148 \cdot 10^4 \text{ mm}^4;$$

$$r_x = 77 \text{ mm}; \quad r_y = 21,4 \text{ mm}$$

$$t_f = 11,5 \text{ mm}; \quad t_w = 8,5 \text{ mm}; \quad t_p = 10 \text{ mm}$$



Kondisi tumpuan jepit-sendi, $k = 0,8$, Periksa kelangsingan penampang.

Flens:

$$\frac{b}{t} = \frac{75}{11,5} = 6,52$$

$$\frac{250}{\sqrt{f_y}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,137$$

$$\frac{b}{t} < \frac{250}{\sqrt{f_y}}$$

Web:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200}{8,5} = 23,53$$

$$\frac{665}{\sqrt{f_y}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,92$$

$$\frac{h}{tw} < \lambda_r$$

Dicoba pasang 10 pelat kopel:

$$L_1 = \frac{4500}{10-1} = 500$$

$$\lambda_1 = \frac{L_1}{r_{min}} = \frac{500}{21,4} = 23,36 < 50$$

Arah sumbu x:

$$\lambda_x = \frac{k * Lx}{rx} = \frac{0,8 * 4500}{77} = 46,75$$

$$\lambda_x = (46,75) > 12, \lambda (=28,032)$$

Arah sumbu y:

$$I_y = 2(Iy + Ag(ey + \frac{tp}{2})^2)$$

$$I_y = 2(148.10^4 + 3220(20,1 + 5)^2) = 7.017.264,4 \text{ mm}^4$$

$$A_{profil} = 2 \times 3220 = 6440 \text{ mm}^2$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_{profil}}} = \sqrt{\frac{7017264,4}{6440}} = 33,01$$

$$\lambda_1 = \frac{k * Ly}{r_y} = \frac{0,8 * 4500}{33,01} = 109,05 \text{ mm}$$

Kelangsingan Ideal:

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda y^2 + \frac{m}{2} \lambda 1^2} = \sqrt{109,05^2 + \frac{2}{2} 23,36^2} = 111,5$$

$$\lambda_{iy} = (111,5) > 12, \lambda (=28,032)$$

Karena $\lambda_{iy} > \lambda_x$, Tekuk terjadi pada sumbu bebas bahan

$$\lambda_{cy} = \frac{\lambda_{iy}}{\pi} * \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{91,64}{\pi} * \sqrt{\frac{240}{200000}} = 1,0105$$

$$0,25 < \lambda_{cy} < 1,2 \quad \Rightarrow \quad \omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_{cy}}$$

$$\omega_y = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 * (1,0105)} = 1,549$$

$$N_n = Ag * f_{cr} = Ag * \frac{fy}{\omega_y} = 6440 * \frac{240}{1,549} = 99,78 \text{ ton}$$

$$\phi_c * N_n = 0,85 * 99,78 = 84,8 \text{ ton}$$

$$\frac{Nu}{\phi_c \cdot N_n} = \frac{80}{84,8} = 0,94 < 1$$

Perhitungan dimensi pelat kopel:

Syarat kekakuan pelat kopel, adalah harus dipenuhi:

$$\frac{I_p}{a} \geq 10 * \frac{I_1}{L_1} \quad ; I_1 = I_{\text{minimum}} = 148.10^4 \text{ mm}^4; L_1 = 500 \text{ mm}$$

$$a = 2e + t_p = (2 * 20,1) + 10 = 50,2 \text{ mm}$$

$$I_p \geq 10 \frac{I_1}{L_1} * a$$

$$I_p \geq 10 \frac{148.10^4}{500} * 50,2$$

$$I_p \geq 1485920 \text{ mm}^4$$

Bila $I_p = 2 * \frac{1}{12} * t * h^3$, dengan tebal pelat ($t = 8 \text{ mm}$), diperoleh $h > 103,6 \text{ mm}$. maka kita gunakan nilai $h = 110 \text{ mm}$

Cek kekuatan pelat kopel:

$$D_u = 0,02 * N_u = 0,02 * 80 \text{ ton} = 1,6 \text{ ton}$$

Gaya sebesar 1,6 ton dibagi dengan 10 pelat kopel, sehingga masing-masing kopel memikul 0,16 ton

Kuat geser pelat Kopel

$$\lambda_w = \frac{h}{t} = \frac{110}{8} = 13,75$$

$$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{50,2}{110}\right)^2} = 29$$

$$1,1 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{29 \cdot 200000}{240}} = 171$$

$$\lambda_w < 1,1 \sqrt{\frac{k_n \cdot E}{f_y}} ; \text{ Sehingga}$$

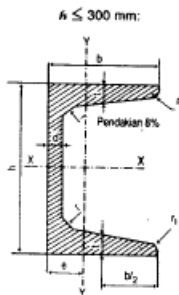
$$V_n = 2 \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_w = 2 (0,6) \cdot (240) \cdot (110) \cdot (8) = 25,344 \text{ ton}$$

$$\phi_x V_n = 0,9 \times 25,344 \text{ ton} = 22,8 \text{ ton}$$

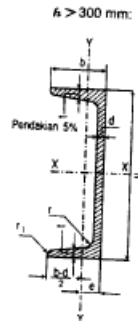
$$\frac{V_u}{\phi_x V_n} = \frac{0,16}{22,8} = 0,007 < 1.$$

Baja Kanal

Baja — I; panjang biasa 4 + 15 m



F = penampang
 e = jarak antara titik berat dan sisi luar badan
 I = momen kelambatan
 W = momen tahanan
 i = jari-jari kelambatan = $\sqrt{\frac{I}{F}}$



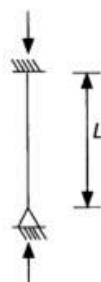
$$1 \text{ cm}^4 = 10^4 \text{ mm}^4$$

[ukuran-ukuran dalam mm					Penampang F dalam cm^2			berat kg/m	e mm	sumbu-lentur X-X				
	h	b	d	$t=r$	r_1	dalam cm^2					i_x cm^4	W_x cm^3	i_x cm	r_{kx} cm	k_x cm
						prof.	flens	badan							
3	30	33	5	7	3,5	5,4	2,3	0,8	4,27	13,1	6,4	4,26	1,08	0,78	4,56
4	40	35	5	7	3,5	6,2	2,5	1,2	4,87	13,3	14,1	7,05	1,50	1,14	2,72
5	50	38	5	7	3,5	7,1	2,7	1,7	5,59	13,7	26,4	10,6	1,92	1,49	1,91
6 ^{1/2}	65	42	5,5	7,5	4,0	9,0	3,2	2,6	7,09	14,2	57,5	17,7	2,52	1,96	1,41
8	80	45	6	8	4,0	11,0	3,6	3,8	8,64	14,5	106	26,5	3,10	2,41	1,14
10	100	50	6	8,5	4,5	13,5	4,3	4,9	10,6	15,5	206	41,2	3,91	3,05	0,885
12	120	55	7	9	4,5	17,0	5,0	7,0	13,4	16,0	364	60,7	4,62	3,57	0,795
14	140	60	7	10	5,0	20,4	6,0	8,4	16,0	17,5	605	86,4	5,45	4,23	0,690
16	160	65	7,5	10,5	5,5	24,0	6,8	10,4	18,8	18,4	925	116	6,21	4,83	0,625
18	180	70	8	11	5,5	28,0	7,7	12,6	22,0	19,2	1350	150	6,95	5,36	0,580
20	200	75	8,5	11,5	6,0	32,2	8,6	15,0	25,3	20,1	1910	191	7,70	5,93	0,545
22	220	80	9	12,5	6,5	37,4	10,0	17,4	29,4	21,4	2690	245	8,48	6,55	0,520
24	240	85	9,5	13	6,5	42,3	11,1	20,1	33,2	22,3	3600	300	9,22	7,09	0,495
26	260	90	10	14	7,0	48,3	12,6	23,1	37,9	23,6	4820	371	9,99	7,68	0,485
28	280	95	10	15	7,5	53,3	14,3	24,7	41,8	25,3	6280	448	10,9	8,41	0,455
30	300	100	10	16	8,0	58,8	16,0	26,8	46,2	27,0	8030	535	11,7	9,10	0,435
32	320	100	14	17,5	8,8	75,8	17,5	40,8	59,5	26,0	10870	679	12,1	8,96	0,530
35	350	100	14	16	8,0	77,3	16,0	45,3	60,6	24,0	12840	734	12,9	9,50	0,470
38	380	102	13,5	16	11,2	79,7	16,3	47,1	62,6	23,5	15730	826	14,1	10,4	0,400
40	400	110	14	18	9,0	91,5	19,8	51,9	71,8	26,5	20350	1020	14,9	11,1	0,410

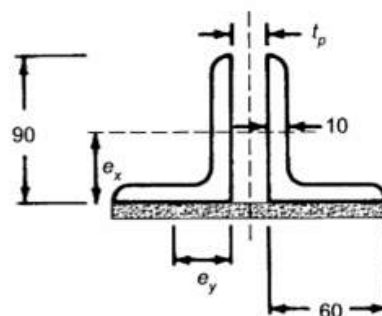
2.6 Latihan

Soal 1:

Periksa apakah profil I 60.90.10 berikut cukup kuat menahan beban aksial terfaktor $N_u = 30$ ton, jika panjang batang 3m dan kondisi perletakan jepit-sendi. Mutu baja Bj-37.



Data profil
 $A_g = 1410 \text{ mm}^2$
 $e_x = 30,5 \text{ mm}$
 $e_y = 15,6 \text{ mm}$
 $I_x = 112,10^4 \text{ mm}^4$
 $I_y = 39,6.10^4 \text{ mm}^4$
 $r_x = 28,2 \text{ mm}$
 $r_y = 16,8 \text{ mm}$
 $r_{\eta} = 12,8 \text{ mm}$
 $t_p = 8 \text{ mm}$



D. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’.
2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
7. AISE “Manual of Steel Construction”
8. SNI 03-1729-2002.”Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
9. SNI -7971-2013.”Struktur Baja Canai Dingin”.
10. SNI -1729-2015.”Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

MODUL 6

PERENCANAAN BALOK LENTUR SATU ARAH DAN DUA ARAH

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran perencanaan balok lentur satu arah dan dua arah akan dipelajari perhitungan desain balok lentur satu arah dan dua arah akibat dari momen maksimum yang dialami struktur. Pemahaman dalam perencanaan balok lentur satu arah dan dua arah sangatlah penting dalam struktur yang dianalisa, karena hal ini sangat mempengaruhi kekuatan struktur yang direncanakan dan kemampuan menahan momen yang dialami struktur tersebut.

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perencanaan Balok Lentur Satu Arah dan Dua Arah

1. Kemampuan akhir

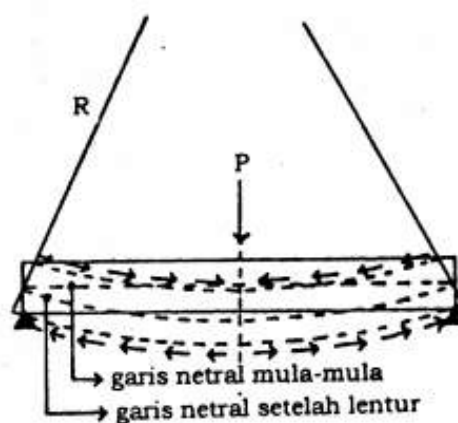
Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari desain perencanaan balok lentur satu arah dan dua arah adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan analisa perhitungan perencanaan balok lentur satu arah dan dua arah pada struktur baja yang direncanakan/ didesain akibat momen maksimum yang terjadi pada struktur tersebut.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perencanaan balok lentur satu arah dan dua arah yang digunakan dalam disain perencanaan struktur.

2.1 Balok Terlentur

Suatu balok pada umumnya akan mentransfer beban vertikal dan akan mengakibatkan lenturan. Seperti pada gambar di bawah ini, Balok yang dibebani P maka balok akan melentur dengan jari-jari R yang tidak konstan.



Gambar 6. 1 Gambar Balok Lentur pada Baja.

Balok adalah komponen struktur yang memikul beban-beban gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup. Komponen struktur balok merupakan kombinasi dari elemen tekan dan elemen tarik.

2.2 Lentur Sederhana Profil Simetris

Tegangan lentur pada penampang profil yang mempunyai minimal satu sumbu simetri, dan dibebani pada pusat gesernya di hitung dengan:

$$f = \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y}$$

Dengan:

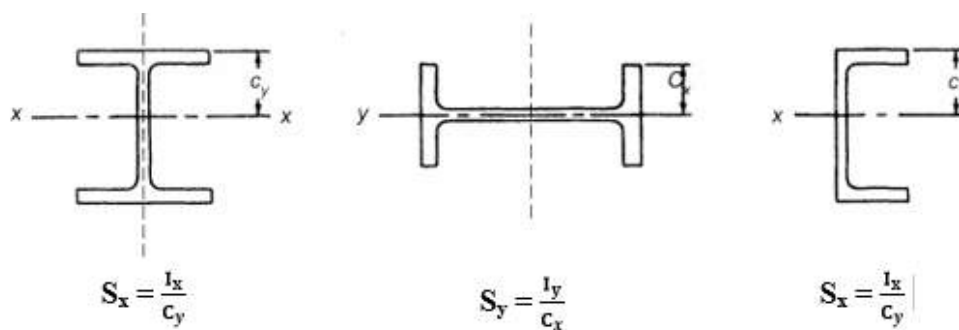
$$S_x = \frac{I_x}{c_y} \quad \text{dan} \quad S_y = \frac{I_y}{c_x}$$

Sehingga:

$$f = \frac{M_x \cdot c_y}{I_x} + \frac{M_y \cdot c_x}{I_y}$$

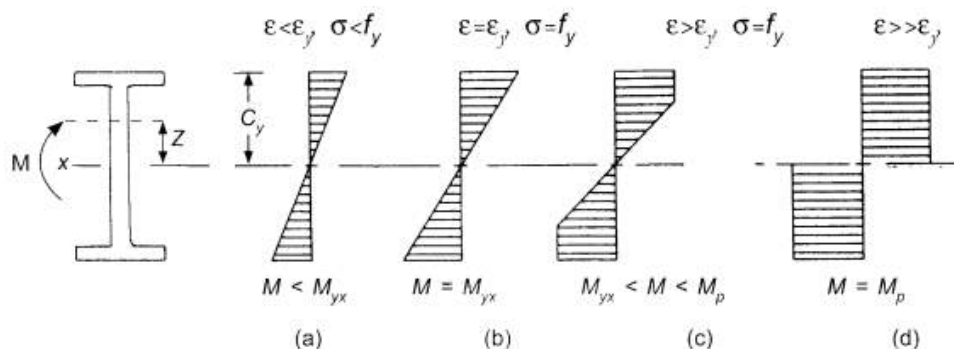
Dengan:

- f = Tegangan lentur
- M_x, M_y = Momen lentur arah x dan y.
- S_x, S_y = Modulus penampang arah x dan y.
- I_x, I_y = Momen Inersia arah x dan y.
- c_x, c_y = Jarak dari titik berat ke tepi serat arah x dan y.



Gambar 6. 2 Gambar Modulus Penampang dengan Berbagai Tipe Profil Simetri.

2.3 Perilaku Balok Terkekang Lateral



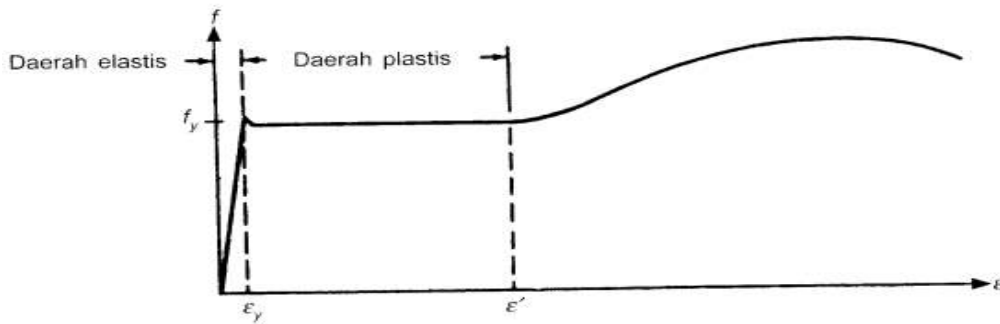
Gambar 6. 3 Gambar Distribusi Tegangan Pada Level Beban yang Berbeda.

Pada gambar (b) nilai dari tahanan Momen nominal sama dengan Momen leleh, di hitung dengan:

$$M_n = M_{yx} = S_x \cdot f_y$$

Pada gambar (d) nilai dari tahanan Momen nominal sama dengan Momen leleh, di hitung dengan:

$$M_p = Z \cdot f_y \quad \text{Z: Modulus Plastis}$$



Gambar 6. 4 Gambar Tegangan-Regangan Material Baja.

$$\sigma = f_y$$

Selanjutnya diperkenalkan istilah **faktor bentuk** (*shape factor*, SF), yang merupakan perbandingan antara modulus plastis dengan modulus tampang, yaitu:

$$SF = \zeta = \frac{M_p}{M_y} = \frac{Z}{S}$$

2.4 Desain Balok Terkekang Lateral

Tahanan balok dalam desain LRFD harus memenuhi persyaratan:

$$\Phi_b \cdot M_n > M_u$$

Dengan:

$$\Phi_b = 0,90$$

M_n = Tahanan Momen nominal.

M_u = Momen lentur akibat beban terfaktor.

Dalam perhitungan tahanan momen nominal dibedakan antara penampang kompak, tak kompak, dan langsing seperti halnya saat membahas batang tekan. Batasan penampang kompak, tak kompak, dan langsing adalah:

1. **Penampang kompak** : $\lambda < \lambda_p$
2. **Penampang tak kompak** : $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$
3. **Langsing** : $\lambda > \lambda_r$

2.5 Penampang Kompak

Penampang kompak adalah penampang yang mampu mengembangkan distribusi tegangan plastis secara penuh sebelum terjadi tekuk. Yang dimaksud dengan plastis adalah tegangan yang terjadi seluruhnya sebesar tegangan leleh dan di luar lingkup pembahasan buku ini. Supaya batang tekan dapat dikelompokkan sebagai kompak maka flens harus tersambung secara menerus pada salah satu atau kedua webnya dan rasio lebar-tebal dari elemen tekan tidak boleh lebih besar dari nilai rasio batas λ_p .

Tahanan Momen nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak:

$$M_n = M_p = Z \cdot f_y$$

Dengan:

M_p : Tahanan momen plastis
 Z : Modulus Plastis
 f_y : Kuat leleh.

2.6 Penampang Tak Kompak

Penampang non-kompak adalah penampang yang dapat mencapai tegangan leleh pada sebagian penampangnya tetapi tidak pada semua elemen tekannya sebelum terjadi tekuk. Artinya pada penampang non-kompak tidak dapat terjadi distribusi tegangan

Tahanan momen nominal pada saat $\lambda = \lambda_r$ adalah:

$$M_n = M_r = (f_y - f_r) \cdot S$$

Dengan:

f_y : Tahanan leleh
 f_r : Tegangan sisa
 S : Modulus Penampang

Bagian penampang tak kompak yang mempunyai $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ maka besarnya tahanan momen nominal dicari dengan melakukan interpolasi linear sebagai berikut:

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} \cdot M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \cdot M_r$$

Dengan:

λ : Kelangsingan penampang balok ($= \frac{b}{2t_f}$).

λ_r, λ_p : Tabel 7.5.1 Peraturan baja.

2.7 Contoh Soal

Soal 1: Tentukan faktor bentuk penampang persegi berikut, dalam arah sumbu kuat (sumbu x).

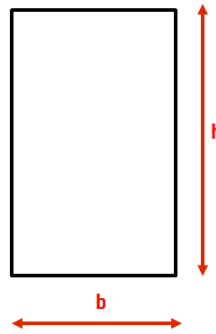
Penyelesaian:

$$Z_x = 2 \left[b \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{4} \right] = \frac{1}{4} \times b \times h^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

$$S_x = \frac{I_x}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{12} \times b \times h^3 \times \frac{2}{h} = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

$$SF = \zeta = \frac{Z_x}{S_x} = \frac{\frac{1}{4} \times b \times h^2}{\frac{1}{6} \times b \times h^2} = \frac{3}{2} = 1,5$$



Soal 2: Tentukan faktor bentuk dari profil WF berikut, terhadap sumbu y.

Penyelesaian:

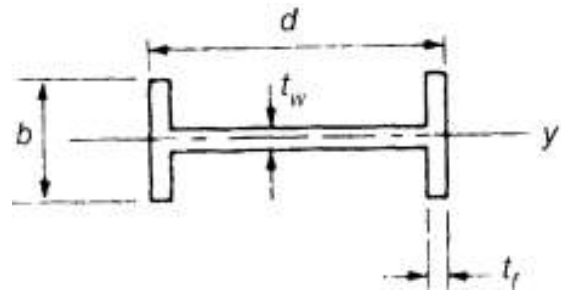
$$Z_y = 2 \left[2 \times \frac{b}{2} \times tf \times \frac{b}{4} \right] + 2 \left[(d - 2tf) \times \frac{t_w}{2} \cdot \frac{t_w}{4} \right]$$

$$Z_y = \frac{1}{2} \times tf \times b^2 + \frac{1}{4} (d - 2tf) \cdot t_w^2$$

$$I_y = 2 \left[\frac{1}{12} \times tf \times b^3 \right] + \frac{1}{12} \times (d - 2tf) \cdot t_w^3$$

$$I_y = \frac{1}{6} \times tf \times b^3 + \frac{1}{12} (d - 2tf) \cdot t_w^3$$

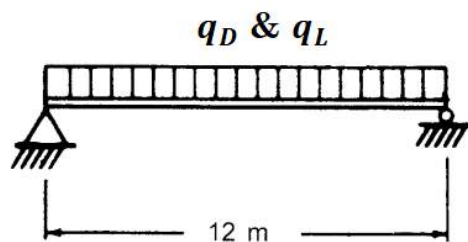
$$S_y = \frac{I_y}{\frac{b}{2}} = \frac{1}{3} \times tf \times b^2 + \frac{1}{6} (d - 2tf) \cdot \frac{t_w^3}{b}$$



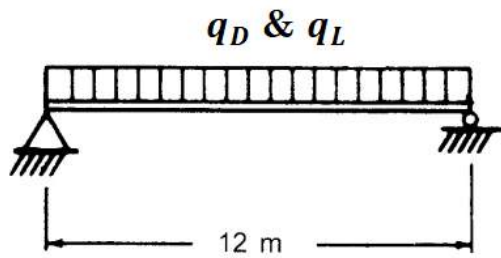
Dan faktor bentuk ζ :

$$SF = \zeta = \frac{Z_y}{S_y} = \frac{\frac{1}{2} \times tf \times b^2 + \frac{1}{4} (d - 2tf) \cdot t_w^2}{\frac{1}{3} \times tf \times b^2 + \frac{1}{6} (d - 2tf) \cdot \frac{t_w^3}{b}} = \frac{3}{2} = 1,5$$

Soal 3: Rencanakan balok untuk memikul beban mati, $D = 350 \text{ kg/m}$ dan beban hidup, $L = 1500 \text{ kg/m}$. Bentang Balok, $L = 12 \text{ m}$. Sisi tekan flens terkekang lateral. Gunakan profil baja WF dengan $f_y = 240 \text{ Mpa}$ dan $f_c = 450 \text{ Mpa}$.



Penyelesaian:



$$q_u = 1,2 D + 1,6 L = 1,2 (350) + 1,6 (1500)$$

$$= 2820 \text{ kg/m} = 2,82 \text{ ton/m}$$

$$M_u = \frac{1}{8} q_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 2,82 \cdot 12^2 = 50,76 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi b} = \frac{50,76}{0,90} = 56,4 \text{ ton.m}$$

$$Z_x = b \cdot t_f (d - t_f) + \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2$$

$$Z_y = \frac{1}{2} \cdot b^2 \cdot t_f + \frac{1}{4} \cdot t_w^2 \cdot (d - 2t_f)$$

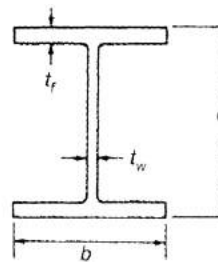
$$b = d - 2 (r_0 + t_f)$$

Untuk $f_y = 240 \text{ MPa}$

Coba Profil WF 350.350.12.19

$$\lambda_f = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{350}{2 \cdot 19} = 9,21$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{350 - 2(20 + 19)}{12} = 22,67$$



λ_p

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

λ_r

$$\frac{170}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{170}{\sqrt{240 - 70}} = 28,37$$

$$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{240}} = 164,6$$

Penampang Kompak!

$$Z_x = b \times t_f \times (d - t_f) + \frac{1}{4} \times t_w \times (d - 2t_f)^2$$

$$Z_x = 350 \times 19 \times (350 - 19) + \frac{1}{4} \times 12 \times (350 - 2(19))^2 = 2493182 \text{ mm}^3$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 2493182 \text{ mm}^3 \times (240) = 59,84 \text{ ton.m}$$

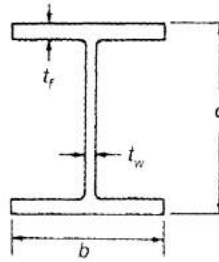
$$M_p (= 59,84 \text{ ton.m}) > \frac{M_u}{\phi} (= 56,4 \text{ ton.M})$$

Untuk $f_y = 450$ MPa

Coba Profil WF 350.350.12.19

$$\lambda_f = \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{350}{2 \times 19} = 9,21$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{350 - 2(20 + 19)}{12} = 22,67$$



λ_p

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{450}} = 8,01$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{450}} = 79,2$$

λ_r

$$\frac{170}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{170}{\sqrt{450 - 70}} = 18,98$$

$$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{450}} = 120,2$$

Penampang tak kompak!

$$M_p = Z_x \times f_y = 2493182 (450) = 112,19 \text{ ton. m}$$

$$M_r = (f_y - f_r) \cdot S_x = (f_y - f_r) \cdot \frac{I_x}{\frac{d}{2}}$$

$$M_r = (450 - 70) \cdot \frac{40300 \cdot 10^4}{\frac{350}{2}} = 87,5 \text{ ton.m (Profil terlalu kuat, coba profil dengan ukuran lebih kecil).}$$

Coba Profil WF 300.300.10.15

$$\lambda_f = \frac{b}{2 \times t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{300 - 2(18 + 15)}{10} = 23,4$$

λ_p

$$\frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{450}} = 8,01$$

$$\frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{450}} = 79,2$$

λ_r

$$\frac{170}{\sqrt{f_y - f_r}} = \frac{170}{\sqrt{450 - 70}} = 18,98$$

$$\frac{2550}{\sqrt{f_y}} = \frac{2550}{\sqrt{450}} = 120,2$$

Penampang Tak Kompak!

$$Z_x = b \times t_f \times (d - t_f) + \frac{1}{4} \times t_w \times (d - 2t_f)^2$$

$$Z_x = 300 \times 15 \times (300 - 15) + \frac{1}{4} \times 10 \times (300 - 2(15))^2 = 1464750 \text{ mm}^3$$

$$M_p = Z_x \times f_y = 1464750 \text{ mm}^3 \times (450) = 65,91 \text{ ton. m}$$

$$M_r = (f_y - f_r) \cdot S_x = (f_y - f_r) \cdot \frac{I_x}{z}$$

$$= (450 - 70) \cdot \frac{20400 \cdot 10^4}{\frac{300}{2}} = 51,68 \text{ ton.m}$$

$$M_n = \frac{\lambda_r - \lambda}{\lambda_r - \lambda_p} \cdot M_p + \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \cdot M_r$$

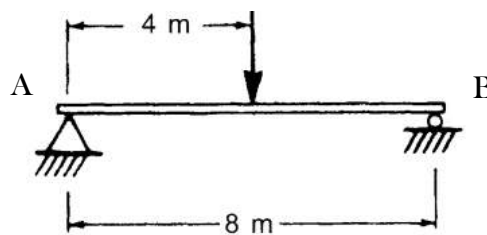
$$= \frac{18,98 - 10}{18,98 - 8,01} \cdot 65,91 + \frac{10 - 8,01}{18,98 - 8,01} \cdot 51,68 = 63,32 \text{ ton.m}$$

$$M_p (= 63,32 \text{ ton.m}) > \frac{M_u}{\phi} (= 56,4 \text{ ton. M})$$

2.8 Latihan

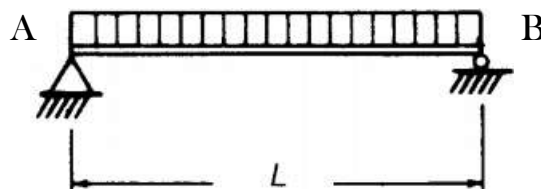
Soal 1:

Rencanakan komponen struktur balok baja berikut ini yang memikul beban mati = 3 ton, dan beban hidup = 12 ton dengan menggunakan profil WF seekonomis mungkin. Asumsikan terdapat kekangan lateral yang cukup pada bagian flens tekan profil dan digunakan BJ 37. Di isyaratkan batas lendutan tak melebihi ($L/300$).



Soal 2:

Rencanakan komponen struktur balok berikut yang memikul beban mati, $D = 250 \text{ kg/m}$ dan beban hidup $L = 1000 \text{ kg/m}$. Jika panjang bentang balok (L) = 6 m dan mutu baja yang digunakan BJ-37. Di isyaratkan batas lendutan tak melebihi ($L/300$).



C. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng "Konstruksi Baja", '2000'.
2. Patar M. Pasaribu "Konstruksi Baja", "1996".
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, '2008'.

4. Boris Bresler & T. Y. Lin, "Design of Steel Structures", '1995'.
5. W. F. Chen "Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames", '1995'.
6. William T. Segui, Steel Design, '2005'
7. AISE "Manual of Steel Construction"
8. SNI 03-1729-2002."Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung".
9. SNI -7971-2013."Struktur Baja Canai Dingin".
10. SNI -1729-2015."Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural".
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, '2004'.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram "Design of Steel Structures Volume II"

MODUL 7

PERENCANAAN SAMBUNGAN

A. Pendahuluan

Pada pembelajaran perencanaan sambungan antara balok-kolom (*beam-column joint*). Pemahaman dalam perencanaan sambungan pada struktur baja sangatlah penting, karena hal ini sangatlah mempengaruhi kekuatan dan kemampuan struktur yang kita analisa dalam menahan gaya yang terjadi pada struktur tersebut. Dengan pemahaman dan kemampuan yang baik di dalam mendisain dan menghitung sambungan yang di butuhkan pada struktur maka akan mengurangi kegagalan yang terjadi pada sambungan struktur yang di rencanakan.

B. Kegiatan Pembelajaran 1: Perencanaan Sambungan Baut

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari perencanaan sambungan adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan tipe sambungan baut, mendisain, dan menganalisa perhitungan perencanaan sambungan pada struktur baja yang direncanakan/ didesain dengan menggunakan sambungan baut.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perencanaan sambungan yang digunakan dalam disain perencanaan struktur baja dengan menggunakan sambungan baut.

2.1 Alat Sambung

Pada konstruksi baja dipakai beberapa macam alat sambung yang sering digunakan di dalam perencanaan struktur yaitu:

1. Paku Keling
2. Baut (Baut sekrup hitam)
3. High strength bolt (Baut mutu tinggi)
4. Las

2.2 Sambungan Baut

Dalam desain struktur, ada beberapa jenis baut yang dapat digunakan sebagai sambungan dalam perencanaan struktur baja. Adapun beberapa jenis baut tersebut antara lain adalah '*unfinished bolt*' atau baut biasa. Baut ini dikelompokkan oleh ASTM dalam A307 yang terbuat dari baja karbon dengan sifat tegangan-regangan yang hampir sama dengan baja A36. Diameter dari baut ini bervariasi antara 5/8 s.d. 1½ in dengan interval diameter 1/8 in.

Baut A307 umumnya mempunyai kepala persegi dan '*nuts*' untuk mengurangi harga, tetapi kepala berbentuk heksagonal juga sering digunakan karena penampilannya lebih menarik, mudah diputar dan mudah digenggam dengan alat putar, serta memerlukan lebih sedikit ruang putar. Baut jenis ini mempunyai toleransi yang cukup besar dalam dimensi leher dan ulirnya, oleh karena itu kuat rencana baut ini jauh lebih rendah dari pada baut mutu tinggi. Baut A307 umumnya digunakan pada struktur ringan dengan

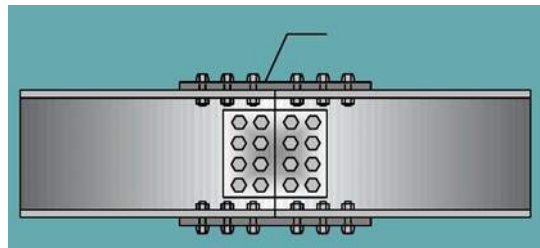
beban static dan untuk elemen sekunder seperti gording, girt, pengaku, platform, rangka kecil, dll. Perencana umumnya akan menggunakan baut biasa untuk sambungan dan bukan baut mutu tinggi. *Kekuatan dan kelebihan dari baut biasa telah sejak lama tidak diperhatikan.* Analisa dan perencanaan sambungan dengan baut A307 diperlakukan sama seperti sambungan rivet kecuali dalam hal tegangan ijin. Baut mutu tinggi dibuat dari karbon medium baja yang dipanaskan dan dari baja alloy dengan kekuatan tarik dua kali atau lebih dari baut biasa.

Pada dasarnya ada dua jenis baut mutu tinggi, baut A325 (dari baja karbon medium yang dipanaskan) dan baut A490 dengan kekuatan yang lebih tinggi (dari baja alloy yang dipanaskan). Baut mutu tinggi digunakan pada seluruh jenis bangunan mulai dari bangunan kecil hingga bangunan tingkat tinggi serta jembatan. Baut jenis ini dikembangkan akibat kelemahan tarik pada leher baut biasa setelah proses pendinginan. Gaya tarik yang dihasilkan tidak cukup kuat untuk membuat baut dalam posisi semua/diam akibat beban getaran. Baut mutu tinggi harus dikencangkan lebih kuat hingga mempunyai tegangan tarik bagian yang disambung terikat kuat antara kepala baut dan 'nuts', dan beban ditransfer oleh gesekan.

Beberapa hal yang menyebabkan diperlukannya sambungan:

1. Batang Kurang Panjang

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa struktur baja terbatas dengan panjang batang baja yang dapat disediakan.



2. Untuk meneruskan gaya dari elemen satu ke elemen lain.

Struktur gelagar jembatan baja memiliki komponen berupa gelagar melintang yang mendukung beban dari pelat lantai jembatan selanjutnya beban diteruskan ke gelagar memanjang untuk disalurkan ke tumpuan. Antara gelagar melintang dan memanjang diperlukan komponen sambungan.



3. Sambungan Struktur *truss*

Struktur *truss* terdiri dari batang-batang baja yang disusun memenuhi kaidah kesetabilan struktur untuk mendukung gaya-gaya aksial murni. Join-join dari struktur *truss* merupakan sambungan yang mampu mendukung beban dari batang-batang struktur.



4. Sambungan sebagai sendi

Tumpuan struktur jembatan baja biasanya berupa sendi dan rol. Untuk membuat kondisi yang diidealisasikan sebagai sendi dan rol terlaksana di lapangan sambungan dapat memberikan perilaku tersebut.



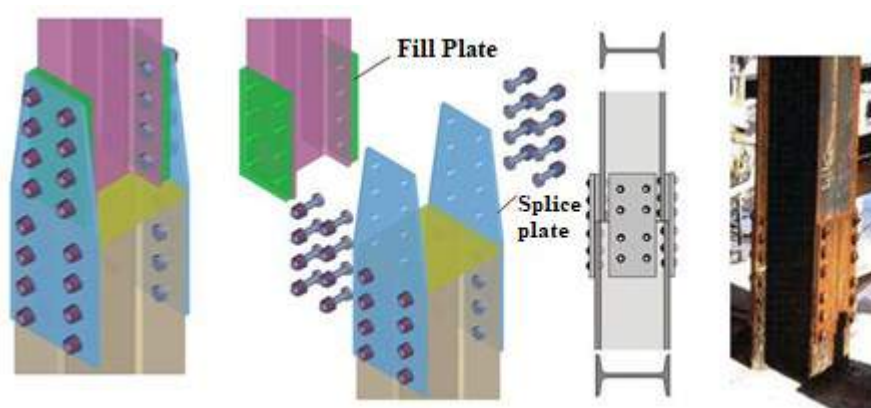
5. Sambungan untuk membentuk batang tersusun

Batang komponen struktur *truss* yang mengalami gaya aksial tidak begitu besar namun tekuknya besar, perlu dibuat dengan batang tersusun. Batang tersusun terdiri atas dua batang atau lebih yang disatukan untuk menghasilkan momen inersia yang besar. Untuk menyatukan batang tersusun diperlukan sambungan.



6. Terdapat perubahanampang

Pada struktur rafter, ujung balok yang menumpu kolom mengalami momen negatif yang besar. Untuk menghemat kebutuhan baja, biasanya dimensi batang dipertebal pada bagian yang mengalami momen negatif tersebut. Penebalan dilakukan dengan menyambungkan batang yang sama dengan batang yang dipertebal dipotong secara diagonal.



2.3 Baut Mutu Tinggi

Kinerja dan lebih ekonomisnya sambungan dengan baut mutu tinggi akan lebih baik dibandingkan sambungan dengan rivet menyebabkan baut mutu tinggi lebih unggul dalam metoda sambungan elemen struktur baja. Pada tahun 1934, C. Batho dan E. H. Bateman menyatakan bahwa baut mutu tinggi memberikan hasil cukup baik pada struktur baja, tetapi baru pada tahun 1947 dapat diakui setelah terbentuknya "Research Council on Riveted and Bolted Structural Joints of the Engineering Foundation."

Kelompok ini menerbitkan peraturan pertama tahun 1951, dan baut mutu tinggi diterima oleh ahli teknik bangunan dan jembatan untuk beban statik dan dinamik dengan cepat. Baut ini tidak hanya digunakan pada sambungan di lapangan tetapi juga di bengkel. Sambungan dengan baut dan 'nut' tidak terlalu menunjukkan hasil yang baik terutama akibat beban getaran karena 'nut' seringkali longgar dan perlu diganti. Untuk beberapa tahun sebelum ditemukan baut mutu tinggi, baut biasa ini dilengkapi dengan pengunci 'nut', tetapi dengan baut mutu tinggi memberikan solusi yang sangat baik.

Kelebihan dari baut mutu tinggi adalah:

1. Pekerja lebih sedikit dibandingkan dalam pemasangan sambungan dengan rivet.
2. Dibandingkan sambungan rivet, untuk memberikan kekuatan yang sama diperlukan baut mutu tinggi lebih sedikit.
3. Sambungan yang baik dengan baut mutu tinggi tidak memerlukan tenaga yang dilatih terlalu tinggi dibandingkan dengan sambungan baut atau rivet dengan mutu

sambungan yang sama. Cara pemasangan baut mutu tinggi yang baik dapat dipelajari hanya dalam beberapa jam.

4. Tidak diperlukan baut bantu pelaksanaan (erection bolt) dan harus dilepaskan kembali (tergantung peraturan yang digunakan) dibandingkan pada sambungan las.
5. Kebisingan yang ditimbulkan tidak seperti pada sambungan rivet.
6. Peralatan yang diperlukan untuk membuat sambungan baut lebih murah.
7. Tidak menimbulkan bahaya kebakaran atau terlemparnya rivet yang masih panas.
8. Sambungan dengan baut mutu tinggi memberikan kekuatan fatik yang lebih tinggi dibandingkan sambungan rivet dan las.
9. Jika perlu perubahan bentuk struktur akan lebih mudah hanya dengan membuat baut dibandingkan dengan sambungan las dan rivet.

Dua tipe dasar baut mutu tinggi yang distandarkan oleh ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini mempunyai kepala berbentuk segi enam. Baut A325 terbuat dari baja karbon yang memiliki kuat leleh 560 – 630 MPa, baut A490 terbuat dari baja *alloy* dengan kuat leleh 790 – 900 MPa, tergantung pada diameternya. Diameter baut mutu tinggi berkisar antara $\frac{1}{2}$ - $1\frac{1}{2}$ in, yang sering digunakan dalam struktur bangunan berdiameter $\frac{3}{4}$ dan $\frac{7}{8}$ in, dan dalam desain jembatan antara $\frac{7}{8}$ hingga 1 in.

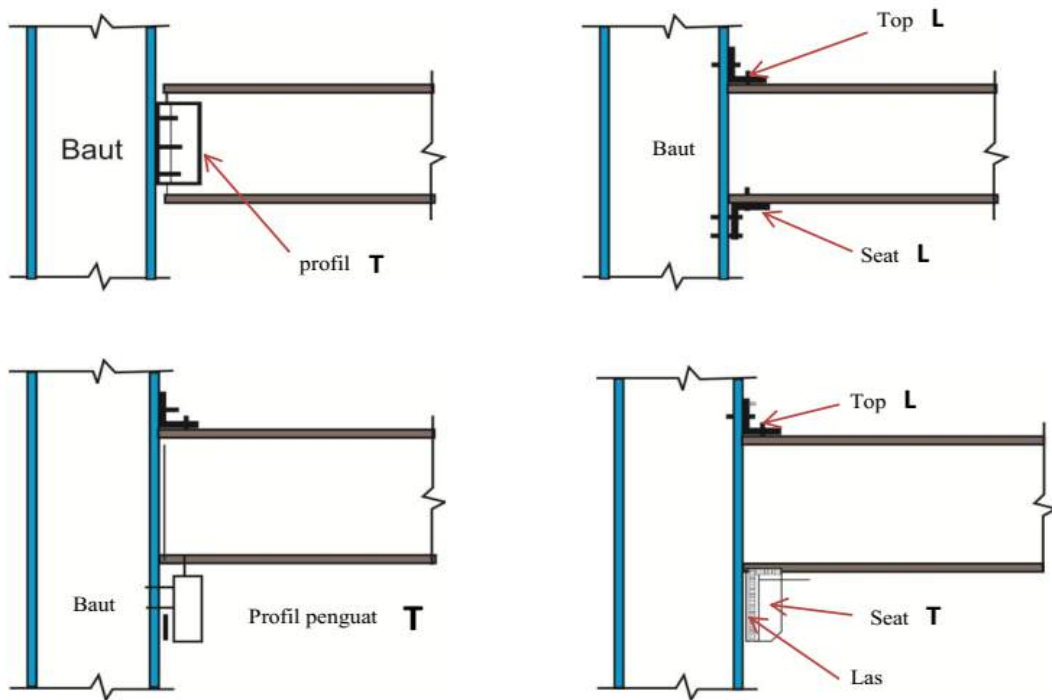
Dalam pemasangan baut mutu tinggi memerlukan gaya tarik awal yang cukup yang diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini akan memberikan friksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini dinamakan *proof load*. *Proof load* diperoleh dengan mengalikan luas daerah tegangan tarik (A_s) dengan kuat leleh yang diperoleh dengan metoda 0,2% tangen atau 0,5% regangan yang besarnya 70% f_u untuk A325 dan 80% f_u untuk A490.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[d_b - \frac{0,9743}{n} \right]^2$$

Dengan:

d_b : Diameter nominal baut.

n : Jumlah ulir per mm.



Gambar 7. 1 Gambar Sambungan Sendi Balok- Kolom.

Tabel berikut ini akan menunjukkan tipe baut, dan kuat tarik minimal yang digunakan

Tabel Tipe – tipe baut

Tipe Baut	Diameter (mm)	<i>Proof Stress</i> (MPa)	Kuat Tarik Min (MPa)
A307	6.35 - 104	-	60
A325	12.7 – 25.4	585	825
28.6 – 38.1	510	725	-
A490	12.7 – 38.1	825	1035

Sambungan baut mutu tinggi dapat didesain sebagai sambungan tipe friksi (jika dikehendaki taka da slip) atau juga sebagai sambungan tipe tumpu.



Gambar 7. 2 Gambar Tipe Baut.

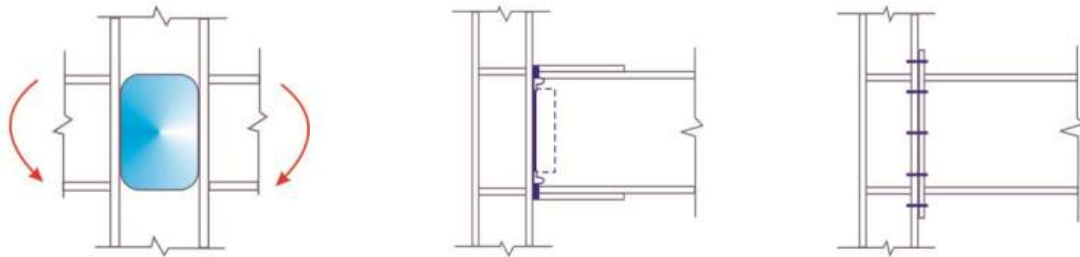
2.4 Klasifikasi Sambungan

Pada umumnya klasifikasi sambungan dapat di bagi 3 yaitu:

1. Sambungan Kaku.
2. Sambungan semi kaku.
3. Sambungan sendi

1. Sambungan Kaku

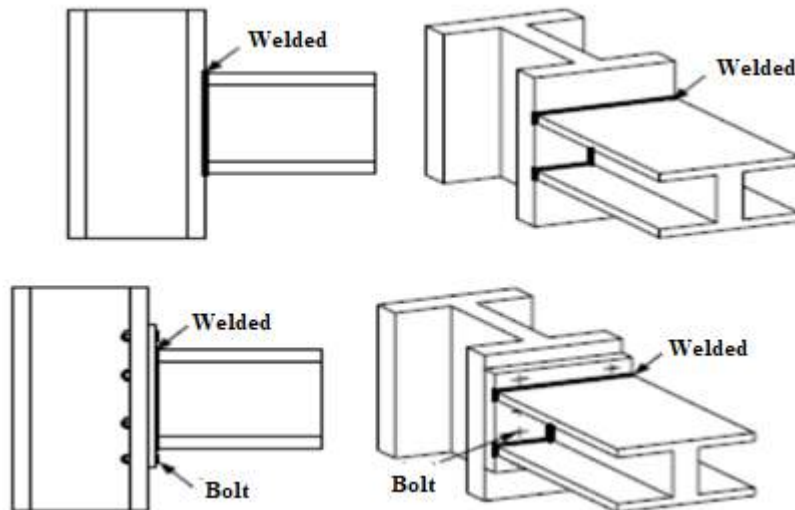
Sambungan memiliki kekakuan cukup untuk mempertahankan sudut-sudut antara komponen struktur yang disambung. Deformasi titik kumpul harus sedemikian rupa sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap distribusi gaya maupun terhadap deformasi keseluruhan struktur.



Gambar 7. 3 Gambar Sambungan Kaku.

2. Sambungan Semi Kaku

Sambungan tidak memiliki kekakuan cukup untuk mempertahankan sudut-sudut antara komponen struktur yang disambung, namun mampu memberi kekangan yang dapat diukur terhadap perubahan sudut. Pada sambungan semi kaku, perhitungan kekakuan, penyebaran gaya, dan deformasinya harus menggunakan analisis mekanika yang hasilnya didukung oleh percobaan eksperimental.



Gambar 7. 4 Gambar Sambungan Semi Kaku.

3. Sambungan Sendi

Sambungan pada kedua ujung komponen yang disambung tidak ada momen. Sambungan sendi harus dapat berubah bentuk agar memberikan rotasi yang diperlukan pada sambungan. Sambungan tidak boleh mengakibatkan momen lentur terhadap komponen struktur yang disambung. Detail sambungan harus mempunyai kemampuan rotasi yang cukup. Sambungan harus dapat memikul gaya reaksi yang bekerja pada eksentrisitas yang sesuai dengan detail sambungannya.



Gambar 7. 5 Sambungan Sendi

2.5 Transfer Beban dan Tipe Sambungan

Dalam bagian ini akan dibahas jenis sambungan baut yang mendapat beban aksial (yaitu beban yang diasumsikan melalui pusat dari sekelompok baut. Pada sambungan jenis ini diberikan penjelasan mengenai metoda transfer beban. Gambar 8.1(a) memperlihatkan pelat yang disambung dengan grup baut snug-tight. Artinya baut tidak dikencangkan sehingga tidak menekan kedua pelat. Jika gesekan yang terjadi pada kedua pelat tidak terlalu besar maka pelat tersebut akan bergeser akibat beban yang bekerja. Akibatnya beban akan memberikan gaya geser pada baut pada bidang antara kedua pelat

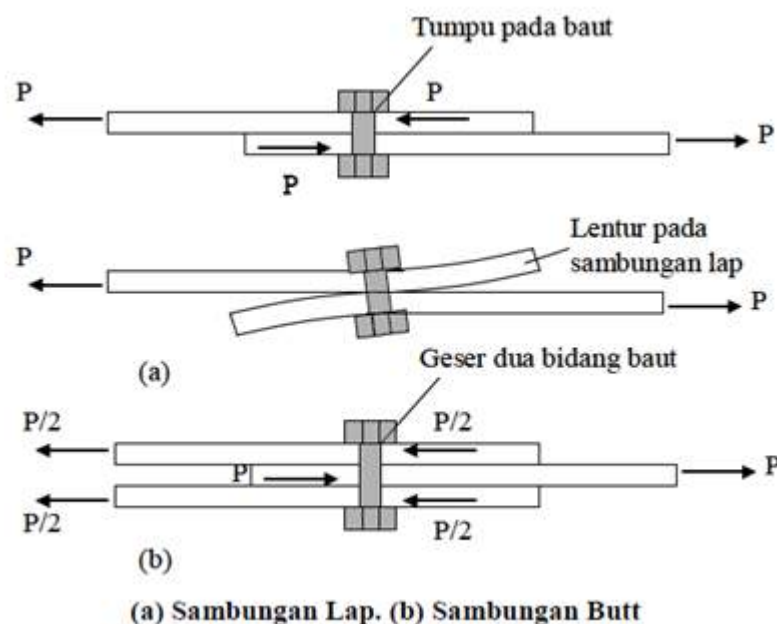
kemudian akan menekan dan membebani kedua sisi baut seperti pada gambar. Baut seperti ini dikatakan mendapat geser tunggal dan tumpu (atau tumpu terbuka).

Baut harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban kerja, dan elemen yang bertemu pada sambungan tersebut harus cukup kuat untuk menahan baut dari patah geser. Jika bukan digunakan baut snug-tight melainkan rivet, kondisinya akan berbeda karena rivet yang dipasang pada kondisi panas akan menjadi dingin dan mencengkeram elemen yang tersambung sehingga akan meningkatkan gesekan diantaranya. Akibatnya sebagian besar beban ditransfer oleh gesekan/friksi. Gaya cengkeram yang dihasilkan dalam sambungan rivet tidak terlalu dapat diandalkan sehingga umumnya peraturan menganggap sambungan seperti ini seperti 'snug-tight' tanpa tahanan friksi.

Hal yang sama diberlakukan untuk baut biasa A307 tidak dikencangkan. Baut mutu tinggi dengan pengencangan penuh dikelompokkan dalam kelas tersendiri. Dengan metoda pengencangan yang telah dijelaskan sebelumnya akan didapat gaya tarik baut yang dapat diandalkan dengan gaya cengkeram besar dan tahanan friksi yang cukup besar untuk mencegah gelincir/slip. Jika beban yang ditransfer lebih kecil dari tahanan friksi, seluruh gaya akan ditahan oleh friksi dan baut tidak menerima geser atau tumpu. Jika beban lebih besar dari tahanan friksi maka akan terjadi gelincir sehingga baut menerima geser dan tumpu. Ada beberapa jenis sambungan baut yang digunakan dalam perencanaan struktur diantaranya:

1. Sambungan Lap

Sambungan dalam Gambar 7.6 (a) disebut sambungan lap (lap joint). Sambungan jenis ini mempunyai kelemahan yaitu p.g. dalam satu elemen tidak segaris dengan pusat gaya dalam elemen lain. Akibatnya terjadi kopel yang menyebabkan lentur dalam sambungan seperti diperlihatkan dalam gambar. Oleh karena itu, sambungan lap sebaiknya hanya digunakan pada sambungan ringan, dan harus didesain dengan menggunakan paling sedikit dua baut dalam arah sejajar panjang elemen untuk meminimalkan kemungkinan keruntuhan akibat lentur.



Gambar 7. 6 Sambungan Lap dan Butt

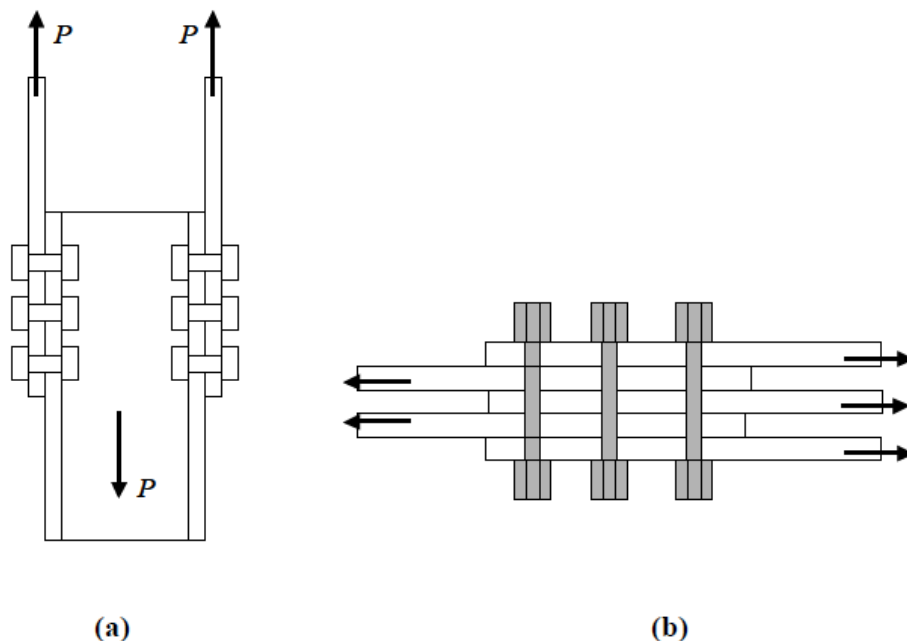
2. Sambungan Butt

Sambungan jenis ini untuk menggabungkan tiga elemen seperti pada Gambar 7.6 (b). Jika tahanan friksi antar elemen kecil, elemen akan tergelincir sedikit dan semua baut akan menerima geser secara simultan pada dua bidang kontak diantaranya. Dengan demikian baut dikatakan menerima geser ganda dan tumpu. Sambungan butt lebih disukai dibandingkan sambungan lap karena:

1. Elemen disusun sedemikian sehingga gaya geser P terbagi dalam dua bagian, sehingga gaya pada setiap bidang hanya menerima separuh dari beban geser yang dipikul dengan sambungan lap. Secara teoritis, kemampuan memikul beban dari kelompok baut dalam geser ganda akan dua kali dari baut dalam geser tunggal.
2. Kondisi pembebanan lebih simetris. Kenyataannya, sambungan butt hanya memberikan kondisi simetris jika dua elemen luar mempunyai ketebalan dan menahan beban yang sama. Hal ini dapat mereduksi atau menghilangkan lentur yang terjadi pada sambungan lap.

3. Sambungan Bidang Ganda

Dalam sambungan ini baut menerima geser tunggal tetapi momen lentur dapat dicegah. Sambungan ini terjadi pada struktur penggantung Gambar 7. 7 (a) yang menyebabkan baut menerima geser tunggal pada dua yang berbeda.



Gambar 7. 7 (a) Sambungan Penggantung. (b) Baut Menerima Geser Lebih dari Dua Bidang

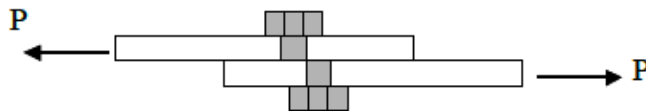
Sambungan dengan baut umumnya terdiri dari sambungan lap atau butt atau kombinasi dari keduanya, meskipun masih ada sambungan jenis lain. Misalnya kadang-kadang harus menyambung tiga elemen sehingga baut menerima geser lebih dari dua bidang seperti dalam Gambar 7.7 (b). Meskipun baut pada sambungan ini menerima geser lebih dari dua bidang, dalam praktek perhitungan kekuatan hanya dihitung untuk

dua bidang geser. Secara fisik tidaklah mungkin keruntuhan geser terjadi pada tiga atau lebih bidang geser secara simultan.

2.6 Keruntuhan Sambungan Baut

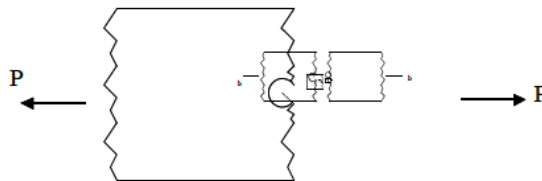
Pada penjelasan di bawah ini akan dijelaskan beberapa jenis keruntuhan yang dapat terjadi pada sambungan baut. Untuk itu, untuk dapat mendesain sambungan dengan baik perlu dipahami kemungkinan keruntuhan yang terjadi diantaranya:

1. Kemungkinan keruntuhan pada sambungan lap akibat geser baut pada bidang antara elemen (geser tunggal) seperti pada Gambar di bawah ini.



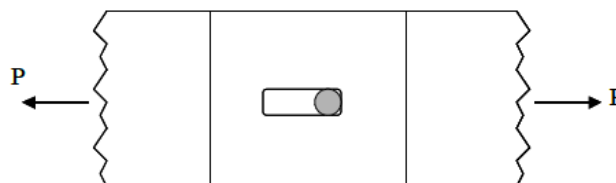
Gambar 7. 8 Gambar Keruntuhan Geser Tunggal Dalam Baut

2. Kemungkinan keruntuhan tarik pada salah satu pelat melalui lubang baut seperti pada Gambar di bawah ini.



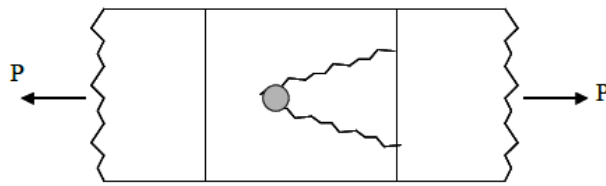
Gambar 7. 9 Gambar Keruntuhan Tarik Dalam Pelat.

3. Kemungkinan keruntuhan baut dan/atau pelat akibat geser antara keduanya seperti diberikan dalam Gambar di bawah ini.



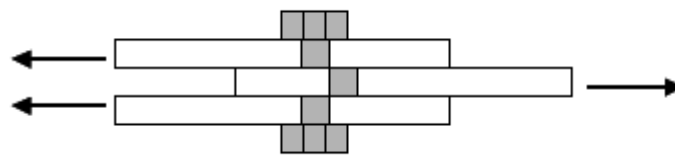
Gambar 7. 10 Gambar Keruntuhan Pelat.

4. Kemungkinan keruntuhan akibat geser bagian elemen yang disambung seperti pada Gambar di bawah ini.



Gambar 7. 11 Gambar Keruntuhan Geser Pelat Dibelakang Baut.

5. Kemungkinan keruntuhan geser pada baut melalui dua bidang pelat (geser ganda) seperti pada Gambar di bawah ini.



Gambar 7. 12 Gambar Keruntuhan Geser Ganda dari Sambungan Baut

2.7 Ukuran Lubang Baut

Selain ukuran lubang baut standar (STD) yaitu 1/16 in lebih besar dari diameter baut, ada tiga jenis pembesaran lubang: lubang besar (oversized), slot pendek, dan slot panjang. Lubang besar berguna dalam mempercepat pelaksanaan konstruksi baja. Dengan lubang besar dapat memberikan ruang untuk kemiringan dalam pemasangan portal untuk plambing. Penggunaan lubang yang tidak standar memerlukan persetujuan perencana dan harus memenuhi persyaratan J3 dari Spesifikasi LRFD. Tabel di bawah ini memberikan dimensi nominal untuk beberapa pembesaran lubang yang diijinkan untuk ukuran baut yang berbeda.

Tabel 7. 1 Tabel Dimensi Lubang Nominal.

Dia. Baut	Dimensi lubang			
	Standar (dia.)	Oversize (dia.)	Slot pendek (lebar x panjang)	Slot panjang (lebar x panjang)
1/2	9/16	5/8	9/16 x 11/16	9/16 x 1 1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 x 7/8	11/16 x 1 9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 x 1	13/16 x 1 7/8
7/8	15/16	1 1/16	15/16 x 1 1/8	15/16 x 2 3/16
1	1 1/16	1 1/4	$(d + 1/16)(d + 3/8)$	1 1/16 x 2 1/2
$\geq 1 1/8$	$d + 1/16$	$d + 5/16$		$(d + 1/16)(2,5 \times d)$

Berikut ini akan dijelaskan beberapa kondisi yang boleh menggunakan lubang diperbesar:

1. *Lubang besar (oversized hole = OVS)* dapat digunakan dalam semua pelat penyambung selama beban yang bekerja tidak melebihi tahanan geser yang diijinkan. OVS tidak boleh digunakan dalam sambungan tipe tumpu. Washer yang

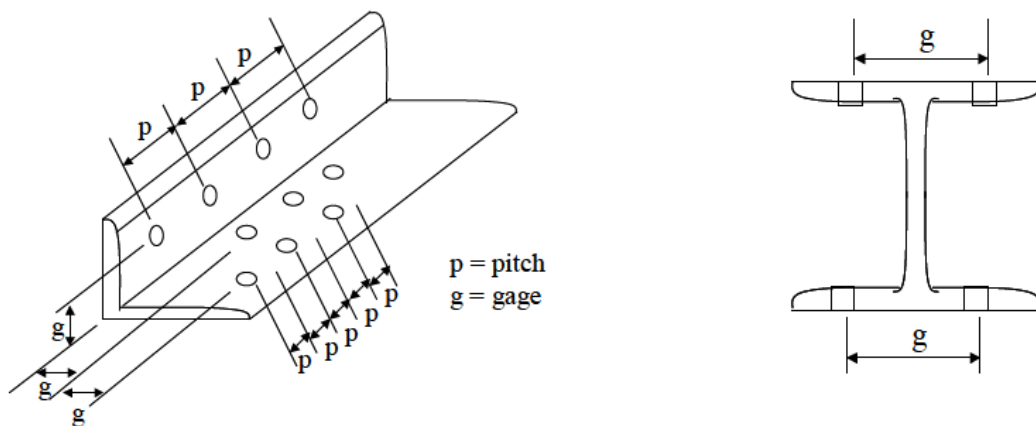
digunakan dalam OVS harus dibuat lebih keras dan washer tersebut ditempatkan diluar pelat penyambung. Penggunaan OVS memberikan toleransi pelaksanaan yang besar.

2. *Lubang slot pendek (short-slotted hole = SSL)* dapat digunakan tanpa memperhatikan arah kerja beban baik untuk sambungan kritis geser maupun tipe tumpu. Jika beban bekerja dalam arah tegak lurus (antara $80-100^{\circ}$) terhadap slot, maka lubang ini dapat digunakan dalam salah satu atau semua pelat penyambung tipe tumpu. Diharuskan untuk menggunakan washer (yang diperkeras jika digunakan baut mutu tinggi) pada lubang slot pendek pada bagian luar sambungan.
3. *Lubang slot panjang (long-slotted hole = LSL)* hanya boleh digunakan pada satu bagian yang disambung dari sambungan tipe kritis geser atau tipe tumpu di salah satu bidang kontak. Untuk sambungan kritis geser lubang jenis ini dapat digunakan dalam segala arah, tetapi untuk sambungan tipe tumpu beban yang bekerja harus tegak lurus (antara $80 - 100^{\circ}$) terhadap sumbu lubang slot. Jika lubang slot panjang digunakan pada sisi luar maka harus ditutup dengan pelat washer atau batang menerus. Untuk sambungan baut mutu tinggi washer atau batang tidak perlu diperkeras, tetapi washer dan batang tersebut harus dibuat dari material bermutu struktural dan dengan tebal minimum $5/16$. Lubang slot panjang biasanya digunakan jika sambungan yang dibuat terhadap struktur yang telah ada (existing structure) tidak diketahui dengan pasti posisi elemen yang akan disambungkan.

Umumnya washer digunakan untuk mencegah penggerusan bagian yang disambung pada saat baut dikencangkan. Hasil uji menunjukkan bahwa washer tidak berperan dalam menyebarkan gaya cengkram supaya lebih merata pada elemen yang disambung kecuali jika digunakan lubang slot pendek dan panjang.

2.8 Jarak Antara dan Jarak Sisi Baut

Sebelum membahas cara menentukan jarak antar baut minimum dan jarak sisi, berikut ini diberikan penjelasan beberapa istilah dengan mengacu pada Gambar di bawah ini:



Gambar 7. 13 Gambar Notasi Dalam Sambungan Baut.

Pitch adalah jarak dari pusat-ke-pusat baut dalam arah sejajar sumbu elemen. **Gage** adalah jarak dari pusat-ke-pusat baut tegak lurus terhadap sumbu elemen. **Jarak sisi** adalah jarak dari pusat baut ke sisi elemen. **Jarak antar baut** adalah jarak terpendek antara baut pada gage yang sama atau berlainan.

a. Jarak Antara Minimum

Baut harus dipasang pada jarak tertentu untuk mendapatkan pemasangan yang efisien dan mencegah keruntuhan tumpu dari elemen diantara bautnya. Spesifikasi LRFD J3.3 memberikan jarak minimum pusat-ke-pusat untuk lubang standar, lubang diperbesar, atau lubang slot yaitu diameternya tidak boleh kurang dari $2\frac{2}{3}d$ (dan lebih disarankan diameter 3 in). Hasil uji menunjukkan bahwa kekuatan tumpu berbanding lurus dengan $3d$ pusat-ke-pusat hingga mencapai mencapai maksimum $3d$. Pada halaman berikutnya akan dipelajari bahwa kekuatan tumpu harus direduksi jika lubang berderat dalam arah sejajar garis kerja gaya. Pada Tabel di bawah ini menunjukkan nilai pertambahan yang harus dijumlahkan pada nilai $3d$ untuk memperhitungkan peningkatan dimensi lubang (yaitu lubang besar dan lubang slot) sejajar dengan garis kerja gaya.

Tabel 7. 2 Tabel Nilai Pertambahan Jarak antara C_1 Untuk Menentukan Jarak Antara Minimum dari Lubang yang diperbesar

Diameter baut nominal	Lubang oversize	Lubang dengan slot		
		Sejajar garis kerja gaya	Sejajar garis kerja gaya	
			Slot pendek	Slot panjang
$\leq 7/8$	1/8	0	3/16	$1\frac{1}{2}d - 1/16$
1	3/16	0	1/4	$1\frac{7}{16}$
$\geq 1\frac{1}{8}$	1/4	0	5/16	$1\frac{1}{2}d - 1/16$

*Jika panjang slot lebih kecil dari maksimum yang diijinkan dalam Tabel Dimensi Lubang Nominal, C_1 boleh dikurangi dengan perbedaan antara panjang slot maksimum dan aktual.

b. Jarak Sisi Minimum

Baut tidak boleh ditempatkan terlalu dekat dengan sisi elemen dengan dua alasan. Pertama, membuat lubang terlalu dekat dengan sisi akan menyebabkan baja melentur keluar bahkan retak. Kedua, pada ujung elemen akan terjadi tarikan baut yang menyebabkan sobeknya baja. Dalam praktek diambil jarak minimum 1,5 – 2,0 dari diameter baut sehingga baja mempunyai kekuatan geser yang cukup setidaknya sama dengan kekuatan geser dari baut. Untuk mendapatkan informasi yang lebih pasti harus mengacu pada spesifikasi yang digunakan. LRFD J3.4 menyatakan bahwa jarak dari pusat lubang standar ke sisi bagian yang disambung tidak boleh kurang dari nilai yang diberikan dalam Tabel di bawah ini. Pengurangan jarak sisi minimum diijinkan ($1\frac{1}{4}$ in) menurut LRFD untuk ujung sambungan yang dibaut pada web balok dan direncanakan hanya terhadap reaksi geser balok saja. Informasi ini diberikan dalam catatan kaki dari Tabel di bawah ini Jarak sisi minimum dari pusat lubang-besar (oversized hole) atau lubang slot ke

sisi dari bagian yang disambung harus sama dengan jarak minimum yang disyaratkan untuk lubang standar ditambah suatu pertambahan C_2 , dimana nilai C_2 diberikan dalam Tabel berikutnya. Pada paragraf berikut akan dijelaskan bahwa kekuatan tumpu dari sambungan harus direduksi jika persyaratan ini tidak dipenuhi.

Tabel 7. 3 Tabel Jarak Sisi Minimum ^[a],in. (Pusat Lubang Standar ^[b] ke sisi elemen yang Disambung.

Diameter Nominal Baut atau Rivet [in.]	Pada Sisi Menerima Geser	Pada Sisi Pelat, profil atau Batang, atau sisi dari hasil pemotongan gas ^[c]
1/2	7/8	3/4
5/8	1 1/8	7/8
3/4	1 1/4	1
7/8	1 1/2 ^[d]	1 1/8
1	1 3/4 ^[d]	1 1/4
1 1/8	2	1 1/2
1 1/4	2 1/4	1 5/8
Lebih dari 1 1/4	1 3/4 x diameter	1 1/4 x diameter

c. Jarak Maksimum Antar Baut dan Jarak Sisi

Spesifikasi baja struktur mensyaratkan jarak sisi maksimum untuk sambungan baut. Tujuan dari persyaratan ini adalah untuk mengurangi kemungkinan terperangkapnya air diantara bagian yang disambung. Jika baut terlalu jauh dari elemen yang disambung, sisi elemen dapat terpisah sehingga air dapat masuk. Jika hal ini terjadi maka korosi akan terakumulasi sehingga menambah separasi. LRFD memberikan jarak sisi maksimum yang diijinkan yaitu 12 kali tebal bagian yang disambung, tetapi tidak lebih dari 6 in. Jarak sisi maksimum dan jarak antar baut yang digunakan pada baja terkena udara luar harus lebih kecil dari baja yang dicat secara teratur untuk mencegah korosi. Salah satu persyaratan untuk menggunakan baja untuk udara luar adalah kontak antara baja dan air secara kontinu. Oleh karena itu spesifikasi LRFD mensyaratkan bahwa bagian dari baja built-up yang kontak dengan udara luar (*weathering steel*) harus tersambung dengan kuat dengan interval cukup dekat untuk mencegah terjadinya kantung air. Spesifikasi LRFD menyatakan bahwa jarak maksimum antar baut pusat-ke-pusat untuk elemen yang dicat atau elemen tanpa cat yang tidak akan mengalami korosi adalah 24 kali tebal pelat paling tipis, dan tidak melebihi 12 in. Untuk elemen yang terdiri dari baja yang ada kontak dengan udara luar dan tidak memungkinkan terjadi korosi, jarak maksimum adalah 14 kali tebal pelat paling tipis dan tidak boleh lebih dari 7 in. Lubang tidak boleh dibuat terlalu dekat dengan pertemuan *flens* dan *web* dari suatu balok atau pertemuan kaki dari profil siku. Lubang dapat dibor, tetapi cara ini terlalu mahal dan hanya perlu dilakukan kecuali pada kondisi khusus. Meskipun lubang dibor, akan sulit untuk menempatkan dan mengencangkan baut dengan keterbatasan ruang yang ada.

Tabel 7. 4 Tabel Nilai Pertambahan Jarak Sisi C_2 , in.

Diameter nominal Fastener (in.)	Lubang oversize	Lubang dengan Slot		
		Sumbu panjang Tegak lurus sisi		Sumbu panjang Sejajar sisi
		Slot pendek	Slot panjang ^[a]	
$\leq 7/8$	1/16	1/8	$\frac{3}{4} d$	0
1	1/8	1/8		
$\leq 1 \frac{1}{8}$	1/8	3/16		

2.9 Tahanan Nominal Baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor, R_u , sesuai dengan persyaratan LRFD harus memenuhi:

$$R_u \leq \phi \cdot R_n$$

Dengan:

R_n : Tahanan nominal baut.

ϕ : Faktor reduksi yang diambil sebesar 0,75.

Untuk nilai R_n berbeda-beda untuk masing-masing tipe sambungan.

2.10 Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan:

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dengan:

r_1 : 0,50 untuk baut tanpa ulir pada bidang geser.

r_1 : 0,40 untuk baut dengan ulir pada bidang geser.

f_u^b : Kuat tarik baut (MPa)

A_b : Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir.

m : Jumlah bidang geser.

2.11 Tahanan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik tahanan nominalnya di hitung menurut:

$$R_n = 0,75 \cdot f_u^b \cdot A_b$$

Dengan:

f_u^b : Kuat tarik baut (MPa)

A_b : Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir.

2.12 Tahanan Tumpu Baut

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Dengan:

d_b : Diameter baut pada daerah tak berulir.

t_p : Tebal pelat

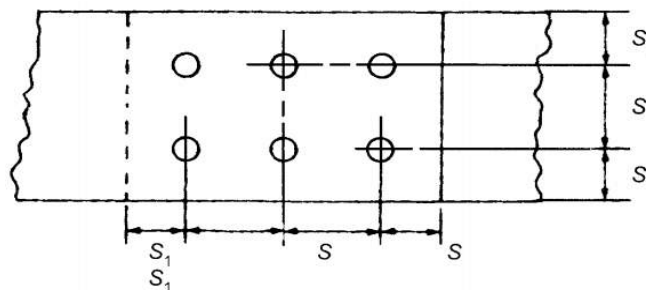
f_u : Kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat.

2.13 Tahanan Nominal Baut

Persamaan tahanan tarik baut berlaku untuk semua baut, sedangkan untuk lobang baut selot panjang tegak lurus arah gaya berlaku:

$$R_n = 2,0 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

Tata letak baut diatur dalam SNI pasal 13.4. Jarak antar pusat lubang baut harus diambil tidak kurang dari **3 kali diameter nominal baut**, dan jarak antara baut tepi dengan ujung pelat harus sekurang-kurangnya **1,5 diameter nominal baut**. Dan jarak maksimum antar pusat lubang baut tak boleh melebihi $15 t_p$ (dengan t_p adalah tebal pelat lapis tertipis dalam sambungan) atau 200 mm, sedangkan jarak tepi maksimum harus tidak melebihi $(4t_p + 100 \text{ mm})$ atau 200 mm.



$$3d_b < S < 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

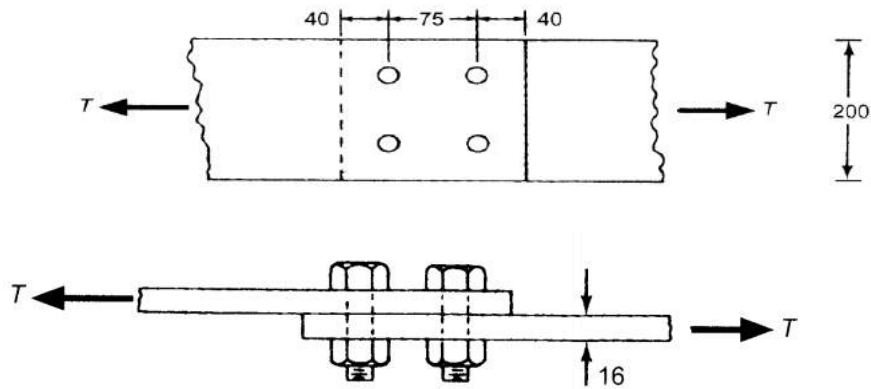
$$1,5d_b < S_1 < (4t_p + 100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

Gambar 7. 14 Gambar Detail jarak sambungan

2.14 Contoh Soal

Soal 1:

Hitung beban kerja tarik maksimum untuk sambungan tipe tumpu berikut, yang menyatukan dua buah pelat (BJ-37) berukuran (16x200) mm. Baut yang digunakan berdiameter 22 mm, $f_u^b = 825 \text{ MPa}$ dan tanpa ulir dalam bidang gesr. Beban hidup yang bekerja besarnya 3 kali beban mati.



Penyelesaian:

Periksa kekuatan pelat terlebih dahulu, lakukan analisa seperti batang tarik!

$$A_g = 16 (200) = 3200 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 3200 - 2(22 + 3,2) \cdot 16 = 2393,6 \text{ mm}^2$$

$$A_e = A_n = 2393,6 \text{ mm}^2$$

Leleh: $\phi \cdot T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g = (0,90) \cdot (240) \cdot (3200) = 69,12 \text{ ton}$

Fraktur: $\phi \cdot T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e = (0,75) \cdot (370) \cdot (2393,6) = 66,42 \text{ ton}$

Tinjau tahanan baut:

Geser: $\phi R_n = \phi \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b$

$$= (0,75) \cdot (0,5) \cdot (825) \cdot (1) \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 22^2) = 11,76 \text{ ton/ baut.}$$

Tumpu: $\phi R_n = \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^p$

$$= (0,75) \cdot (2,4) \cdot (22) \cdot (16) \cdot (370) = 23,44 \text{ ton/ baut}$$

Tahanan geser menentukan, sehingga tahanan untuk 4 baut:

$$\phi \cdot T_n = 4 \times 11,76 \text{ ton} = 47,04 \text{ ton}$$

Dari ke-3 kemungkinan tersebut, $\phi \cdot T_n = 47,04 \text{ ton}$ yang menentukan.

$$\phi \cdot T_n \geq T_u$$

$$47,04 \geq 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

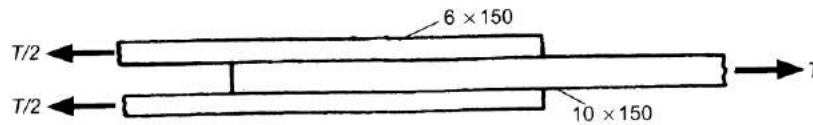
$$47,04 \geq 1,2 \text{ DL} + 1,6 (3\text{DL}) = 6\text{DL}$$

$$\mathbf{D \leq 7,84 \text{ ton dan } L \leq 23,52 \text{ ton}}$$

Jadi beban hidup yang boleh terjadi sebesar $D + L = 7,84 + 23,52 = 31,36 \text{ ton}$.

Soal 2:

Rencanakan sambungan baut sekuat pelat yang disambung bagi komponen struktur tarik berikut ini. Pelat dari baja BJ-55 ($f_y = 410$ MPa, $f_u = 550$ MPa). Gunakan baut diameter 19 mm (tanpa ulir di bidang geser, $f_u^b = 825$ MPa). Rencanakan baut diatur dalam dua baris.



Penyelesaian:

Jumlah luas dua pelat luar lebih besar dari luas pelat tengah, sehingga perhitungan di dasarkan pada pelat yang tengah:

$$A_g = 10 (150) = 1500 \text{ mm}^2$$

$$A_n = [150 - 2(19 + 3,2)]. 10 = 1056 \text{ mm}^2$$

$$\text{Max } A_n = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \cdot (1500) = 1275 \text{ mm}^2$$

$$A_e = A_n = 1056 \text{ mm}^2$$

$$\text{Leleh: } \phi \cdot T_n = \phi \cdot f_y \cdot A_g = (0,90) \cdot (410) \cdot (1500) = \mathbf{55,35 \text{ ton}}$$

$$\text{Fraktur: } \phi \cdot T_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e = (0,75) \cdot (550) \cdot (1056) = \mathbf{43,56 \text{ ton}}$$

Jadi jumlah baut di hitung berdasarkan gaya 43,56 ton.

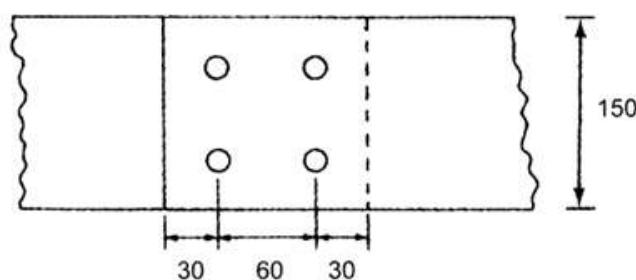
Tinjau tahanan baut:

$$\begin{aligned} \text{Geser: } \phi R_n &= \phi \cdot 0,5 \cdot f_u^b \cdot m \cdot A_b \\ &= (0,75) \cdot (0,5) \cdot (825) \cdot (2) \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 19^2) = \mathbf{17,54 \text{ ton/ baut.}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tumpu: } \phi R_n &= \phi \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u^p \\ &= (0,75) \cdot (2,4) \cdot (19) \cdot (10) \cdot (550) = \mathbf{18,81 \text{ ton/ baut}} \end{aligned}$$

Tahanan Geser menentukan:

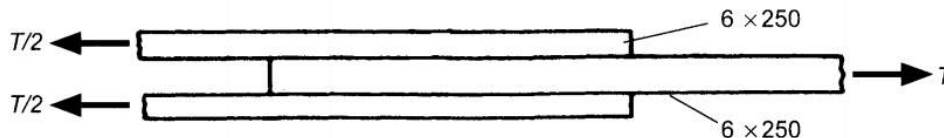
$$\Sigma \text{ Baut diperlukan} = \frac{43,56}{17,54} = 2,48 = \mathbf{4 \text{ buah baut}}$$



2.15 Latihan

Soal 1:

Hitung jumlah baut yang diperlukan oleh komponen struktur berikut yang memikul beban mati ($D = 3$ ton) dan beban hidup ($L = 15$ ton). Gunakan baut tanpa ulir di bidang geser, $d_b = 19$ mm, $f_u^b = 825$ MPa. Pelat yang disambung dari baja BJ-37. Aturlah baut dalam 2 baris.



C. Kegiatan Pembelajaran 2: Perencanaan Sambungan Las

1. Kemampuan akhir

Kemampuan akhir yang diharapkan setelah mempelajari perencanaan sambungan adalah mahasiswa semester lima (V) mampu menjelaskan analisa perhitungan perencanaan sambungan pada struktur baja yang direncanakan/ didesain dengan menggunakan sambungan las.

2. Uraian Materi

Pada pembelajaran ini akan dijelaskan tentang perencanaan sambungan yang digunakan dalam disain perencanaan struktur baja khususnya menggunakan sambungan las.

2.1 Alat Sambung Las

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanasinya hingga suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan dan dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi. Meskipun pengetahuan tentang penggunaan las sudah sejak beberapa ribu tahun silam, namun pemakaian las dalam bidang konstruksi dapat terbilang masih baru, hal ini disebabkan beberapa pemikiran para ahli mengenai beberapa kerugian las yaitu bahwa las dapat mengurangi tahanan leleh bahan (*fatigue strength*) dibandingkan dengan penggunaan paku keling dan hal lain diantaranya bahwa tidak mungkin untuk memastikan kualitas las yang baik.

Melalui banyak penelitian tentang las, belakangan ini las sudah mulai banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Hal ini disebabkan karena proses penyambungan dengan las memberikan keuntungan, yakni:

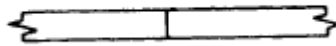
1. Dari segi ekonomi, harga konstruksi dengan menggunakan las lebih murah dibandingkan dengan pemakaian baut atau keling, hal ini dikarenakan pemakaian pelat-pelat sambungan maupun pelat buhul dapat dikurangi. Pada konstruksi rangka jembatan bahkan dapat mengurangi berat baja hingga 15% jika dipakai sambungan las.

2. Pada beberapa jenis elemen struktur tertentu, tidak mungkin memakai baut atau keling untuk menyambungannya, seperti contoh adalah proses penyambungan kolom bundar, tentu lebih memungkinkan untuk memakai las.
3. Struktur yang disambung dengan las akan lebih kaku daripada baut/ keling.
4. Komponen struktur dapat tersambung secara kontinu.
5. Mudah untuk membuat perubahan desain dalam struktur.
6. Tingkat kebisingan dalam pekerjaan las lebih rendah daripada baut/ keling.

2.2 Jenis-jenis Sambungan Las

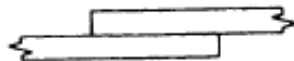
Dalam pelaksanaan konstruksi baja di lapangan, ada beberapa jenis sambungan yang sering ditemui/ digunakan dalam sambungan las diantaranya:

1. **Sambungan sebidang** (*butt joint*) sambungan ini umumnya dipakai untuk pelat-pelat datar dengan ketebalan sama atau hampir sama, keuntungan sambungan ini adalah tak adanya eksentrisitas. Ujung-ujung yang hendak disambung harus dipersiapkan terlebih dulu (diratakan atau dimiringkan) dan elemen yang disambung harus dipertemukan secara hati-hati.



Gambar 7. 15 Gambar sambungan sebidang (butt joint).

2. **Sambungan lewatan** (*lap joint*), jenis sambungan ini paling banyak dijumpai karena sambungan ini mudah disesuaikan keadaan di lapangan dan juga penyambungannya relatif lebih muda dan juga cocok untuk tebal pelat yang berlainan.



Gambar 7. 16 Gambar sambungan lewatan (lap joint).

3. **Sambungan tegak** (*tee joint*) sambungan ini banyak dipakai terutama untuk membuat penampang tersusun seperti bentuk I, pelat girder, stiffener.



Gambar 7. 17 Gambar sambungan tegak (tee joint).

4. **Sambungan sudut** (*corner joint*) dipakai untuk penampang tersusun berbentuk kotak yang digunakan untuk kolom atau balok yang menerima gaya torsi yang besar.



Gambar 7. 18 Gambar sambungan sudut (corner joint).

5. **Sambungan sisi** (*edge joint*) sambungan ini bukan jenis struktural dan digunakan untuk menjaga agar dua atau lebih pelat tidak bergeser satu dengan lainnya.

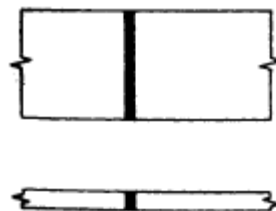


Gambar 7. 19 Gambar sambungan sisi (edge joint).

2.3 Jenis-jenis Las

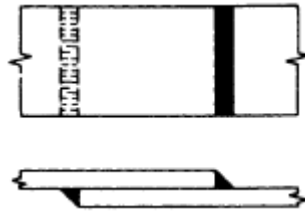
Di dalam pelaksanaan konstruksi di lapangan ada beberapa jenis-jenis las yang sering di jumpai antara lain:

1. **Las Tumpul** (*groove welds*), las ini dipakai untuk menyambung batang-batang sebidang, karena las ini harus menyalurkan secara penuh beban yang bekerja, maka las ini harus memiliki kekuatan yang sama dengan batang yang disambungnya. Las tumpul dimana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang tebal penuh sambungan dinamakan las tumpul penetrasi penuh. Sedangkan bila tebal penetrasi lebih kecil daripada tebal penuh sambungan dinamakan las tumpul penetrasi sebagian.



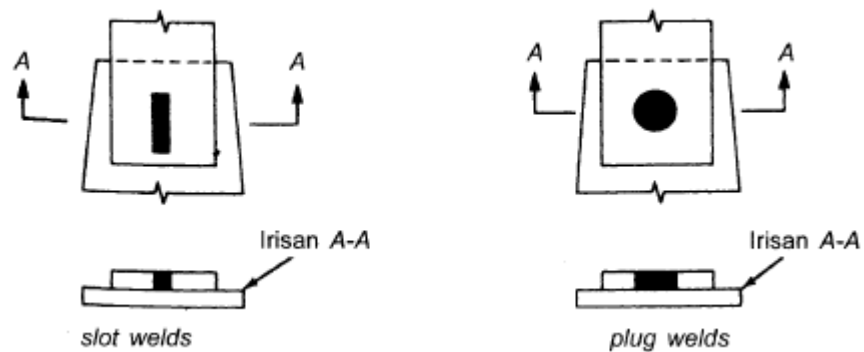
Gambar 7. 20 Gambar las tumpul (*groove welds*)

2. **Las sudut** (*fillet welds*) tipe las ini paling banyak dijumpai dibandingkan tipe las yang lain, 80% sambungan las menggunakan tipe las sudut. Tidak memerlukan presesi tinggi dalam pengerjaannya.



Gambar 7. 21 Gambar las sudut (*fillet welds*).

3. **Las baji dan pasak (*slot and plug welds*)** jenis las ini biasanya digunakan bersamaan dengan las sudut. Manfaat utamanya adalah menyalurkan gaya geser pada sambungan lewatan bila ukuran panjang las terbatas oleh panjang yang tersedia untuk las sudut.



Gambar 7. 22 Gambar las baji dan pasak (*slot and plug welds*).

2.4 Pembatasan Ukuran Las Sudut

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang a_1 dan a_2 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 7. 23 Gambar Ukuran Las Sudut.

Bila kakinya sama panjang, ukurannya adalah t_w . Ukuran minimum las sudut di tetapkan seperti tabel di bawah ini:

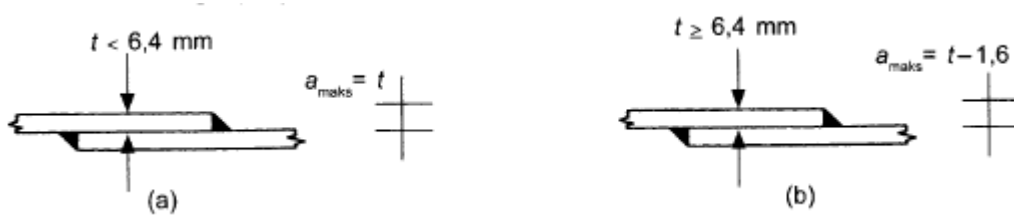
Tabel 7. 5 Tabel Ukuran Minimum Las Sudut.

Tebal Pelat (t , mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut (a , mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Sedangkan untuk pembatasan ukuran maksimum las sudut adalah sebagai berikut:

- Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, maka digunakan setebal komponen;
- Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih diambil 1,6 mm kurang dari tebal komponen;

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh dan paling tidak harus 4 kali ukuran las, jika kurang maka ukuran las untuk perencanaan dianggap sebesar $\frac{1}{4}$ kali panjang efektif.



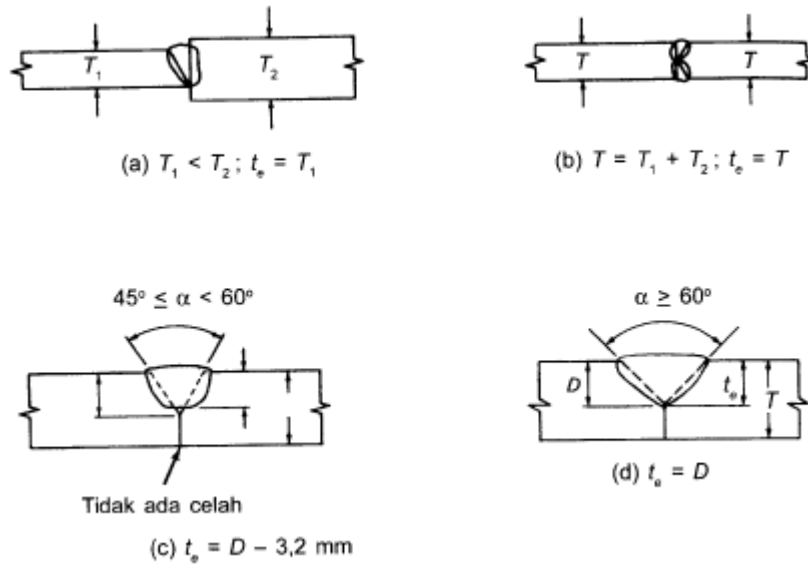
Gambar 7. 24 Gambar Ukuran Maksimum Las.

2.5 Luas Efektif Las

Kekuatan dari berbagai jenis las yang telah di bahas dalam pembelajaran sebelumnya, berdasarkan pada luas efektif las. Luas efektif las sudut dan las tumpul adalah hasil perkalian antara tebal efektif (t_e) dengan panjang las. Tebal efektif las tergantung dari ukuran dan bentuk dari las tersebut dan dapat dianggap sebagai lebar minimum bidang keruntuhan.

a. Las Tumpul

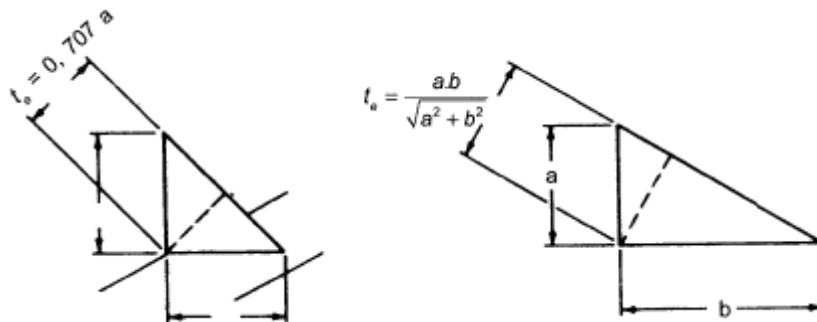
Tebal efektif las tumpul penetrasi penuh adalah tebal pelat yang tertipis dari komponen yang disambung, dan akan diperlihatkan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 7. 25 Gambar Tebal Efektif Las Tumpul

b. Las Sudut

Tebal efektif las sudut adalah jarak nominal terkecil dari kemiringan las dengan titik sudut di depannya. Asumsikan bahwa las sudut mempunyai ukuran kaki yang sama, a , maka tebal efektif t_e adalah $0,707a$. Jika ukuran las tak sama panjang, maka tebal efektif harus di hitung dengan memakai hukum-hukum trigonometri.



Gambar 7. 26 Gambar Tebal Efektif Las Sudut

2.6 Tahanan Nominal Sambungan Las

Filosofi umum dari LRFD terhadap persyaratan keamanan suatu struktur, dalam hal ini terutama dalam las, untuk nilai dari tahanan nominal dapat dihitung dengan:

$$\phi \cdot R_{nw} \geq R_u$$

Diman:

ϕ : adalah faktor tahanan

R_{nw} : adalah tahanan nominal per satuan panjang las

R_u : adalah beban terfaktor per satuan panjang las.

a. Las Tumpul

Kuat las tumpul penetrasi penuh ditetapkan sebagai berikut:

1. Bila sambungan dibebani dengan gaya tarik atau gaya tekan aksial terhadap luas efektif, maka:

$$\phi R_{nw} = 0,90. te. fy \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi R_{nw} = 0,90. te. fyw \quad (\text{las})$$

2. Bila sambungan di bebani dengan gaya geser terhadap luas efektif, maka:

$$\phi R_{nw} = 0,90. te. (0,6. fy) \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi R_{nw} = 0,80. te. (0,6.fyw) \quad (\text{las})$$

Dengan fy dan fu adalah kuat leleh dan kuat tarik putus.

b. Las Sudut

Kuat rencana per satuan panjang las sudut, ditentukan sebagai berikut:

$$\phi R_{nw} = 0,75. te. (0,6. fy) \quad (\text{bahan dasar})$$

$$\phi R_{nw} = 0,75. te. (0,6.fyw) \quad (\text{las})$$

c. Las Baji dan Pasak

Kuat rencana bagi las baji dan pasak ditentukan:

$$\phi R_{nw} = 0,75. te. (0,6. fuw). Aw$$

Dengan:

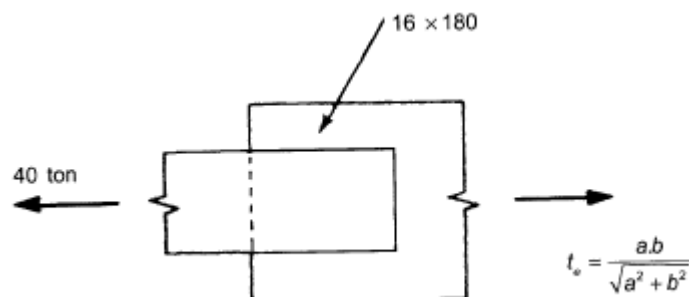
Aw : adalah luas geser efektif las

fuw : adalah kuat tarik putus logam las.

2.7 Soal Latihan

Contoh Soal 1

Tentukan ukuran dan tebal las sudut pada sambungan lewatan berikut ini. Sambungan menahan beban tarik $D = 10$ ton dan $L = 30$ ton, jika diketahui $fuw = 490$ MPa, $fu = 400$ MPa.



Penyelesaian:

Persyaratan untuk ukuran las:

$$\text{Maksimum} = \text{tebal pelat} - 1,6 = 16 - 1,6 = 14,4 \text{ mm}$$

$$\text{Minimum} = 6 \text{ mm (dari tabel di bawah ini)}$$

Tebal Pelat (t , mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut (a , mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Gunakan las ukuran 10 mm, maka:

$$t_e = 0,707 \cdot a = 0,707 \times 10 = 7,07 \text{ mm}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang:

$$\begin{aligned} R_{nw} &= \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \\ &= 0,75 \times (7,07) (0,60 \times 490) = 1558,935 \text{ N/ mm} \end{aligned}$$

Dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser pelat:

$$\text{Max } \phi \cdot R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) = 0,75 (16) (0,60 \times 400) = 2880 \text{ N/ mm}$$

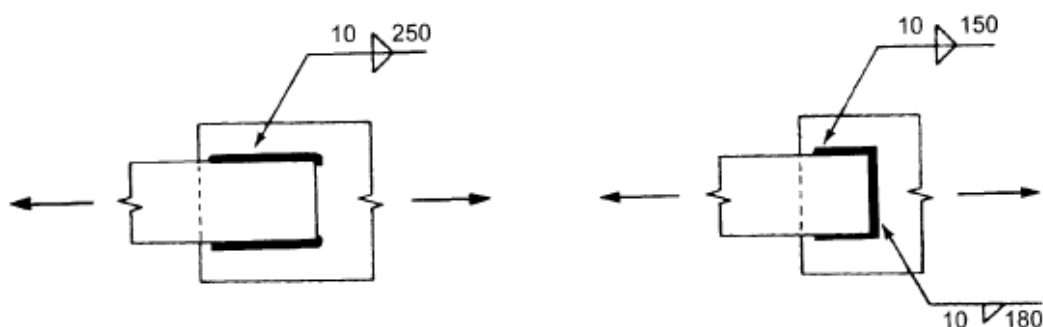
Beban tarik terfaktor, T_u :

$$T_u = 1,2DL + 1,6 LL = 1,2(10) + 1,6 (30) = 60 \text{ Ton}$$

Panjang Total las dibutuhkan, L_w :

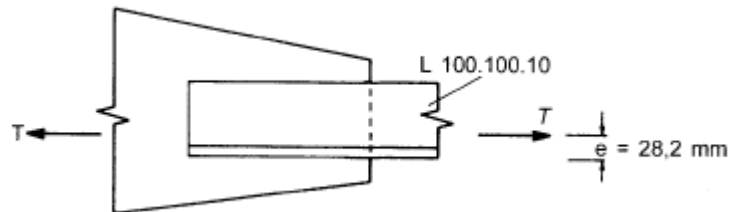
$$L_w = \frac{60 \cdot 10^4}{1558,935} = 384,8 \text{ mm} = 390 \text{ mm}$$

Jika las sudut yang digunakan hanya berupa las memanjang saja pada batang tarik datar, panjang tiap las sudut tidak boleh kurang dari jarak tegak lurus diantara keduanya dan panjang total tidak melebihi 1,5 kali panjang yang dibutuhkan. Oleh karena itu, untuk persoalan diatas maka diambil panjang las tiap sisi adalah 250 mm seperti gambar di bawah ini. Dapat pula di gabung antara las memanjang dan las melintang yang dapat mengurangi panjang sambungan lewatan.



Contoh Soal 2:

Rencanakan sambungan las sudut untuk menahan gaya tarik sekuat profil siku \perp 100.100.10 dari Bj-37. Mutu las $f_{uw} = 490$ MPa.



Penyelesaian:

Hitung tahanan rencana dari profil siku, diambil harga terkecil dari:

$$\Phi \cdot T_n = 0,90 \cdot f_y \cdot A_g = 0,90 (240) (1920) = 41,472 \text{ ton}$$

$$\Phi \cdot T_n = 0,75 \cdot f_u \cdot A_e = 0,75 (370) (0,85 \times 1920) = 45,288 \text{ ton}$$

Sambungan akan didesain terhadap $\Phi \cdot T_n = 41,472 \text{ ton}$

Pilih ukuran las dan hitung $\Phi \cdot R_{nw}$

$$\text{Ukuran Maksimum} = \text{tebal pelat} - 1,6 = 10 - 1,6 = 8,4 \text{ mm}$$

$$\text{Ukuran Minimum} = 4 \text{ mm (dari tabel di bawah ini)}$$

Tebal Pelat (t , mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut (a , mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t$	6

Pakai ukuran las 4 mm

$$\Phi \cdot R_{nw} = \Phi \cdot t \cdot e \cdot (0,6 \cdot f_{uw})$$

$$= 0,75 \times (7,07 \times 4) (0,60 \times 490) = 623,6 \text{ N/mm}$$

$$\text{Max } \Phi \cdot R_{nw} = \Phi \cdot t \cdot e \cdot (0,6 \cdot f_u) = 0,75 (10) (0,60 \times 370) = 1665 \text{ N/mm}$$

Menentukan ukuran las:

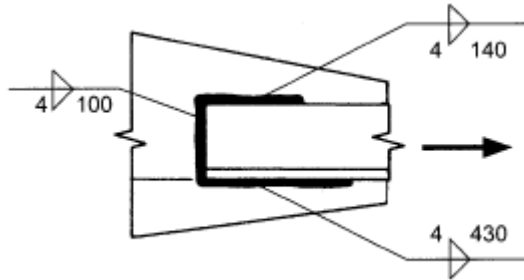
$$F_2 = \Phi \cdot R_{nw} \cdot L_{w2} = 623,6 \times 100 = 6,236 \text{ ton}$$

$$F_1 = \frac{T \cdot e}{d} - \frac{F_2}{2} = \frac{41,472 \cdot 28,2}{100} - \frac{6,236}{2} = 8,58 \text{ ton}$$

$$F_3 = 41,472 - 8,58 - 6,236 = 26,656 \text{ ton}$$

$$L_{w1} = \frac{F_1}{\Phi \cdot R_{nw}} = \frac{8,58 \times 10^4}{623,6} = 137,58 = 140 \text{ mm}$$

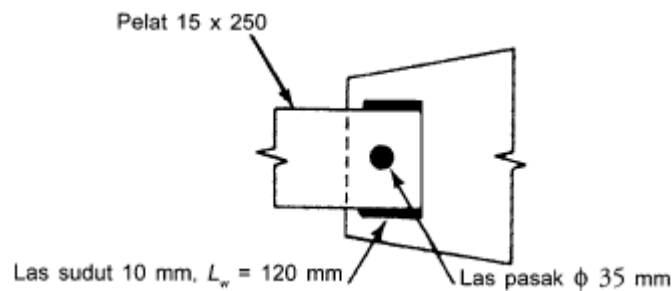
$$L_{W3} = \frac{F_3}{\phi \cdot R_{nw}} = \frac{26,656 \times 10^4}{623,6} = 427,45 = 430 \text{ mm}$$



2.8 Latihan

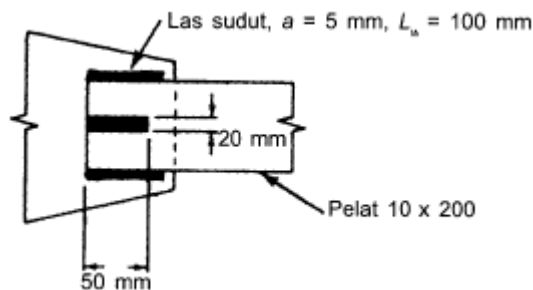
Soal 1:

Hitunglah beban kerja yang boleh bekerja pada sambungan berikut ini, jika diketahui persentase beban mati adalah 20% dan beban hidup 80%. Jika pelat yang disambung terbuat dari baja BJ-37 dan mutu las $f_{uw} = 490 \text{ MPa}$.



Soal 2:

Hitunglah beban kerja sambungan las sudut dan baji berikut ini, jika diketahui perbandingan beban mati dan hidup adalah 1:5 ($D/L = 1/5$). Pelat yang disambungkan dari baja BJ-37 dan mutu las $f_{uw} = 490 \text{ MPa}$.



D. Daftar Pustaka

1. Ir. Oentoeng “Konstruksi Baja”, ‘2000’.
2. Patar M. Pasaribu “Konstruksi Baja”, “1996”.
3. Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, ‘2008’.
4. Boris Bresler & T. Y. Lin, “Design of Steel Structures”, ‘1995’.
5. W. F. Chen “Plastic Design and Second-Order Analysis of Steel Frames”, ‘1995’.
6. William T. Segui, Steel Design, ‘2005’
7. AISE “Manual of Steel Construction”
8. SNI 03-1729-2002.”Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung”.
9. SNI -7971-2013.”Struktur Baja Canai Dingin”.
10. SNI -1729-2015.”Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural”.
11. Dennis Lam, Thien-Cheong Ang, Structural Steelwork, ‘2004’.
12. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG), 1983.
13. R.S Jindal and Paras Ram “Design of Steel Structures Volume II”

BIODATA PENULIS



Sudarno P. Tampubolon, S.T.,M.Sc lahir di Lumbanjulu, Kabupaten Humbang-Hasundutan, Sumatera Utara, 11 April 1989 perkawinan Bapak M. Tampubolon, S.Pd dengan S. M. Togatorop, SPd. Merupakan anak ke-4 dari 4 bersaudara.

Pendidikan. Menyelesaikan pendidikan formal: SD Negeri 173326 Sigompul (1995-2001); SMP Negeri 2 Lintongnihuta (2001-2004); SMA Negeri 1 Lintongnihuta (2004-2007); Program Sarjana Teknik Sipil Universitas Kristen Indonesia (2008-2012); Program Magister *Civil Engineering National Central University (NCU)*, Taiwan (2016-2018).

Pekerjaan. Pada tahun 2013 bekerja sebagai Quantity Surveyor (QS) PT. Rider Levett Bucknall. Tahun 2014 sd sekarang sebagai Dosen Tetap Universitas Kristen Indonesia (UKI), Jakarta. Tahun 2020 s/d Sekarang sebagai Training of Trainer (TOT) Instruktur Pembekalan Sertifikasi SDM Lulusan S1 dan DIV Perguruan Tinggi Bidang Konstruksi

Publikasi Karya Ilmiah empat tahun terakhir: (1) Numerical Simulations of the Bond Stress-Slip Effect of Reinforced Concrete on the Pushover Behavior of Wall, *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology (IJMRET)* www.ijmret.org Volume 3 Issue 11 | November 2018; (2) Numerical Simulations of the Bond Stress-Slip Effect of Reinforced Concrete on the Pushover Behavior of Interior Beam-Column Joint, 3rd NICTE IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 725 (2020) 012028 doi:10.1088/1757-899X/725/1/012028; (3) The Best Angle in Intersection Method, *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology (IJMRET)* www.ijmret.org Volume 5 Issue 3 | May 2020.; (4) Analisa Perilaku Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Simulasi VecTor2, *JURNAL REKAYASA KONSTRUKSI MEKANIKA SIPIL (JRKMS)* Vol. 03 No. 02 September 2020 p-ISSN 2614-5707 e-ISSN 2715-1581, (5) Era Otomatisasi Pemetaan dengan GPS, UKI Press; (6) Analisis Kekuatan Geser Pada Hubungan Balok-Kolom Interior Beton Bertulang, *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*, <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>, JCEBT, 5(1) Maret, 2021 ISSN 2549-6379 (Print) ISSN 2549-6387 (Online)