

## Perencanaan struktur baja untuk jembatan

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Prakata .....	ii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Persyaratan umum perencanaan struktur baja .....	4
5 Perencanaan komponen struktur tarik .....	10
6 Perencanaan komponen struktur tekan .....	15
7 Perencanaan komponen struktur lentur .....	30
8 Perencanaan gelagar komposit .....	51
9 Perencanaan jembatan rangka .....	63
10 Perencanaan lantai kendaraan .....	72
11 Perencanaan sambungan.....	73
12 Ketentuan untuk perencanaan struktur khusus .....	98
13 Pemeriksaan perencanaan terhadap fatik.....	105
14 Ketentuan untuk perencanaan struktur tahan gempa.....	122

## Prakata

Standar perencanaan struktur baja untuk jembatan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan melalui Gugus Kerja Bidang Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Standar ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Standar ini merupakan acuan bagi para perencana jembatan yang ini merupakan penyempurnaan dari konsep “Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bagian 7 – Perencanaan Baja Struktural (BMS-1992)”, yang telah disusun pada tahun 1992 oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.

Pada tahun 2000, Kantor Menteri Negara Pekerjaan Umum telah menyusun konsep Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan yang mengacu pada BMS-1992, AASHTO dan AUSTROAD. Pada tahun 2003, Balai Jembatan dan Bangunan Pelengkap Jalan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Kimpraswil, melakukan penyempurnaan konsep tersebut dan mengusulkan agar dapat diajukan menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI).

Standar perencanaan struktur baja untuk jembatan ini mensyaratkan pemenuhan terhadap ketentuan minimum bagi para perencana dalam perancangan pekerjaan jembatan di Indonesia, sehingga struktur yang dihasilkan dari pekerjaan tersebut memenuhi persyaratan keamanan, kenyamanan, kemudahan pelaksanaan, ekonomis dan bentuk estetika. Selain menjadi acuan bagi para perencana jembatan di Indonesia, standar ini juga diharapkan dapat bermanfaat sebagai materi pengajaran di tingkat universitas dalam pembentukan sumber daya manusia yang handal.

Tata cara penulisan ini disusun mengikuti Pedoman BSN No. 8 Tahun 2000 dan dibahas dalam forum konsensus yang melibatkan para nara sumber, pakar dan lembaga terkait dalam bidang teknologi baja dan perancangan yang kompeten dibidang jalan dan jembatan, sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000.

## Perencanaan struktur baja untuk jembatan

### 1 Ruang lingkup

Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan ini digunakan untuk merencanakan jembatan jalan raya dan jembatan pejalan kaki di Indonesia, yang menggunakan bahan baja dengan panjang bentang tidak lebih dari 100 meter.

Standar ini meliputi persyaratan minimum untuk perencanaan, fabrikasi, pemasangan dan modifikasi pekerjaan baja pada jembatan dan struktur komposit, dengan tujuan untuk menghasilkan struktur baja yang memenuhi syarat keamanan, kelayakan dan keawetan. Cara perencanaan komponen struktur yang digunakan berdasarkan Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT).

### 2 Acuan normatif

Tata cara ini menggunakan acuan dokumen yang dipublikasikan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu :

SNI 07-0052-1987, *Baja kanal bertepi bulat canai panas, mutu dan cara uji*

SNI 07-0068-1987, *Pipa baja karbon untuk konstruksi umum, mutu dan cara uji*

SNI 07-0138-1987, *Baja kanal C ringan*

SNI 07-0329-1989, *Baja bentuk I bertepi bulat canai panas, mutu dan cara uji*

SNI 07-0358-1989-A, *Baja, peraturan umum pemeriksaan*

SNI 07-0722-1989, *Baja canai panas untuk konstruksi umum*

sni 07-0950-1989, *Pipa dan pelat baja bergelombang lapis seng*

SNI 07-2054-1990, *Baja siku sama kaki bertepi bulat canai panas, mutu dan cara uji*

SNI 07-2610-1992, *Baja profil H hasil pengelasan dengan filter untuk konstruksi umum*

SNI 07-3014-1992, *Baja untuk keperluan rekayasa umum*

SNI 07-3015-1992, *Baja canai panas untuk konstruksi dengan pengelasan*

SNI 03-6861-2002, *Spesifikasi bahan bangunan bagian B (bahan bangunan dan besi/baja)*

dan termasuk di dalamnya semua ketentuan tambahan yang berbentuk Pedoman dan ketentuan-ketentuan pelengkap standar tersebut di atas.

### 3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam Standar Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan adalah sebagai berikut :

#### 3.1

##### **aksi**

penyebab tegangan atau deformasi dalam struktur.

**3.2****fatik**

kerusakan akibat fluktuasi tegangan berulang yang menuju pada retakan bertahap yang terjadi pada elemen struktural.

**3.3****gelagar hibrid**

gelagar baja dengan badan dan sayap, atau sayap-sayap tersusun dari baja yang memiliki spesifikasi tegangan leleh berbeda.

**3.4****jembatan penting**

jembatan di ruas jalan nasional, jembatan dengan bentang lebih besar dari 30 m dan jembatan yang bersifat khusus ditinjau dari jenis struktur, material atau pelaksanaannya.

**3.5****jembatan lainnya**

jembatan di ruas jalan bukan nasional dengan bentang tidak lebih dari 30 m. Faktor keutamaan dapat diambil sebesar 1,25 untuk jembatan penting dan 1 untuk jembatan lainnya.

**3.6****kategori detil**

penentuan yang diberikan pada detil tertentu untuk indikasi penggunaan tipe kurva S-N dalam pendekatan fatik. Kategori detil mempertimbangkan pemusatan tegangan setempat pada tempat tertentu, ukuran dan bentuk terhadap diskontinuitas maksimum yang dapat diterima, keadaan pembebanan, pengaruh metalurgi, tegangan sisa, cara pengelasan dan tiap penyempurnaan setelah pengelasan. Bilangan kategori detil ditentukan oleh kekuatan fatik pada 2.000.000 beban ulang (siklus) di kurva S-N.

**3.7****kejadian pembebanan nominal**

urutan pembebanan untuk struktur atau elemen struktural. Satu kejadian pembebanan nominal dapat menghasilkan satu atau lebih beban berulang (siklus) tergantung pada tipe beban dan titik yang ditinjau pada struktur.

**3.8****kekuatan nominal**

kekuatan tarik ultimit minimum untuk mutu baja tertentu.

**3.9****kekuatan rencana**

perkalian kekuatan nominal dengan faktor reduksi kekuatan.

**3.10****kekuatan tarik**

kekuatan tarik ultimit minimum yang dispesifikasi untuk mutu baja tertentu.

**3.11****kurva S-N**

kurva yang menentukan hubungan batas antara jumlah tegangan berulang (siklus) dan variasi tegangan untuk suatu kategori detil.

**3.12**

**las tumpul penetrasi penuh**

las tumpul di mana terdapat penyatuan antara las dan bahan induk sepanjang kedalaman penuh dari sambungan.

**3.13**

**las tumpul penetrasi sebagian**

las tumpul di mana kedalaman penetrasi lebih kecil dari kedalaman penuh dari sambungan.

**3.14**

**las tersusun**

las sudut yang ditambah pada las tumpul.

**3.15**

**panjang**

panjang aktual  $L$  dari suatu unsur/komponen yang dibebani aksial dari pusat ke pusat pertemuan dengan unsur pendukung atau panjang kantilever dalam hal unsur berdiri bebas

**3.16**

**PBKT**

perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor.

**3.17**

**PBL**

perencanaan berdasarkan Batas Layan

**3.18**

**pen**

pengencang tanpa ulir, dibuat dari batang bulat.

**3.19**

**penampang kompak**

penampang melintang yang dapat mengembangkan kekuatan lentur plastis penampang tanpa terjadi tekuk.

**3.20**

**penampang tidak kompak**

penampang pada bagian serat-serat tertekan yang akan menekuk setempat setelah mencapai tegangan leleh sebelum terjadi pengerasan ulur. Bagian-bagian ini mempunyai daktilitas terbatas dan mungkin tidak dapat mengembangkan kekuatan lentur plastis.

**3.21**

**pengaruh aksi atau beban**

gaya atau momen lentur dalam akibat aksi atau beban.

**3.22**

**pengaruh aksi atau beban rencana**

pengaruh aksi atau beban yang dihitung terhadap aksi atau beban rencana.

**3.23**

**persiapan las yang baku**

persiapan sambungan yang baku seperti tercantum dalam ketentuan spesifikasi standar yang ditentukan oleh yang berwenang.

**3.24****siklus tegangan**

satu siklus tegangan yang ditentukan oleh perhitungan siklus tegangan.

**3.25****tegangan berulang (siklus)**

satu siklus tegangan ditentukan oleh perhitungan tegangan berulang.

**3.26****tegangan leleh**

tegangan tarik leleh minimum yang ditentukan dalam spesifikasi untuk mutu baja tertentu.

**3.27****umur rencana**

periode padamana struktur atau elemen struktur harus berfungsi tanpa diperlukan perbaikan.

**4 Persyaratan umum perencanaan struktur baja****4.1 Umur rencana jembatan**

Umur rencana jembatan pada umumnya disyaratkan 50 tahun, namun untuk jembatan penting, jembatan bentang panjang atau yang bersifat khusus, disyaratkan mempunyai umur rencana 100 tahun.

**4.2 Satuan yang digunakan**

Peraturan ini menggunakan sistem Satuan Internasional.

**4.3 Prinsip umum perencanaan****4.3.1 Dasar umum perencanaan**

Perencanaan harus berdasarkan pada suatu prosedur yang memberikan jaminan keamanan kenyamanan dan keawetan selama umur rencana jembatan.

Perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan yang diperhitungkan terhadap lentur, geser, aksial, puntir serta kombinasinya, harus didasarkan pada cara perencanaan berdasarkan Baban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT).

Sebagai pembanding atau alternatif lain dapat digunakan cara perencanaan yang berdasarkan batan layan untuk perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan sesuai dengan pasal 4.3.4.

Dalam perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan harus memperhatikan faktor integritas komponen-komponen struktural maupun keseluruhan struktur jembatan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor:

- a. Kontinuitas dan redundansi.
- b. Ketahanan komponen struktur jembatan yang terjamin terhadap kerusakan dan instabilitas sesuai umur jembatan yang direncanakan.
- c. Aspek perlindungan eksternal terhadap kemungkinan adanya beban yang tidak direncanakan atau beban berlebih.

#### 4.3.2 Asumsi dan anggapan perencanaan

Perencanaan kekuatan elemen baja sebagai komponen struktur jembatan harus didasarkan pada persyaratan yang berlaku di dalam standar ini. Dalam perencanaan tersebut harus mempertimbangkan pengaruh terhadap jembatan yang mungkin terjadi, yaitu kondisi pembebanan yang tidak direncanakan seperti dalam kondisi perang. Setiap jenis pembebanan yang mungkin terjadi tersebut harus dapat diramalkan sebelumnya secara rasional.

Untuk prosedur dan asumsi dalam perencanaan serta besarnya beban rencana harus mengikuti ketentuan berikut:

- a. Struktur direncanakan untuk menahan semua beban yang mungkin bekerja
- b. Beban kerja dihitung berdasarkan kepada besarnya aksi rencana yang bekerja.
- c. Perencanaan beban angin dan gempa, di mana seluruh bagian struktur yang membentuk kesatuan harus direncanakan untuk menahan beban lateral total.
- d. Pertimbangan lain yaitu gaya prategang, beban *crane*, vibrasi, kejutan, susut, rangkai, perubahan suhu, perbedaan penurunan, dan beban-beban khusus lainnya yang mungkin bekerja.

#### 4.3.3 Perencanaan berdasarkan beban dan kekuatan terfaktor (PBKT)

Perencanaan komponen struktur jembatan harus didasarkan pada cara Perencanaan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT), yang harus memenuhi kriteria keamanan untuk semua jenis gaya dalam. Kekuatan rencana tidak kurang dari pengaruh aksi rencana sebagai berikut :

$$\phi R_n \geq \text{dampak dari } \sum \gamma_i Q_i \quad (4.3-1)$$

di mana pada sisi kiri mewakili kekuatan rencana dari penampang komponen struktur jembatan, yang bisa dihitung dari  $R_n$  (besaran ketahanan atau kekuatan nominal dari penampang komponen struktur) dikalikan dengan suatu faktor reduksi kekuatan  $\phi$ ; dan sisi kanan mewakili dampak batas ultimit atau yang paling membahayakan dari beban-beban, yang dihitung berdasarkan penjumlahan terkombinasi dari jenis-jenis beban yang berbeda  $Q_i$ , yang masing-masing diberikan suatu faktor beban  $\gamma_i$ .

Perencanaan secara PBKT dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas ultimit, yang terjadi antara lain :

- a. Terjadi keruntuhan lokal pada satu atau sebagian komponen struktur jembatan.
- b. Kehilangan keseimbangan statis akibat keruntuhan atau kegagalan pada sebagian komponen struktur atau keseluruhan struktur jembatan.
- c. Keadaan purna-elastis atau purna-teknik di mana satu bagian komponen jembatan atau lebih mencapai kondisi runtuh.
- d. Kerusakan akibat fatik dan/atau korosi sehingga terjadi kehancuran.
- e. Kegagalan dari pondasi yang menyebabkan pergeseran yang berlebihan atau keruntuhan bagian utama dari jembatan.

#### 4.3.4 Perencanaan berdasarkan batas layan (PBL)

Cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL), yang pada umumnya dibatasi oleh suatu nilai tegangan ijin dari material struktur, dan/atau suatu nilai deformasi ijin, atau perilaku lainnya yang diijinkan pada komponen struktur bersangkutan dapat digunakan untuk perencanaan komponen struktur jembatan yang mengutamakan suatu pembatasan tegangan kerja, seperti untuk perencanaan terhadap lentur dari komponen-komponen

struktur baja yang dianggap sesuai kebutuhan perilaku deformasinya, atau sebagai cara perhitungan alternatif.

Perencanaan berdasarkan batas layan (PBL) dilakukan untuk mengantisipasi suatu kondisi batas layan, antara lain :

- a. Tegangan kerja dari suatu komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai tegangan yang diijinkan, sehingga berpotensi mengakibatkan kelelahan pada komponen baja.
- b. Deformasi permanen dari komponen struktur jembatan, yang melampaui nilai deformasi ijinnya, atau hal-hal lain yang menyebabkan jembatan tidak layak pakai pada kondisi layan, atau hal-hal yang menyebabkan kekhawatiran umum terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan akibat beban kerja.
- c. Vibrasi yang terjadi sehingga menimbulkan instabilitas atau kekhawatiran struktural lainnya terhadap keamanan jembatan pada kondisi layan.
- d. Bahaya permanen termasuk korosi dan fatik yang mengurangi kekuatan struktur dan umur layan jembatan.
- e. Bahaya banjir di daerah sekitar jembatan.

#### 4.3.5 Metode perencanaan khusus

Bila suatu analisis perencanaan yang rasional diusulkan untuk menggantikan ketentuan yang ada dalam standar ini, atau bila diusulkan menyimpang dari persyaratan yang digunakan dalam standar ini, terutama untuk suatu jenis atau sistem struktur jembatan yang khusus, maka usulan dan analisis rinci harus diserahkan kepada yang berwenang beserta semua pembuktian kebenarannya.

Beberapa batasan dan ketentuan umum untuk perencanaan struktur jembatan khusus dapat dilihat pada bagian 12, jembatan khusus tersebut antara lain :

- a. Jembatan busur
- b. Jembatan gelagar boks (*box girder*)
- c. Jembatan kabel
- d. Jembatan gantung

#### 4.3.6 Metode analisis

Analisis untuk semua keadaan batas harus didasarkan pada anggapan-anggapan elastis linier, kecuali bila cara-cara non-linier secara khusus memang dianggap perlu atau secara tidak langsung dinyatakan dalam standar ini, dan/atau bila disetujui oleh yang berwenang.

Di samping itu, perhitungan struktur baja juga harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a. Analisis perhitungan struktur harus dilakukan dengan cara mekanika teknik yang baku.
- b. Bila dilakukan analisis struktur dengan menggunakan program komputer yang khusus, maka perlu disampaikan penjelasan prinsip dan alur kerja dari program bersangkutan.
- c. Percobaan model komponen atau keseluruhan struktur jembatan terhadap suatu pembebanan khusus bisa dilakukan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis.
- d. Analisis dengan menggunakan model matematik bisa dilakukan, asalkan model tersebut memang bisa diterapkan pada struktur jembatan dan dapat dibuktikan kebenarannya, atau sudah teruji kehandalannya dalam analisis-analisis struktur terdahulu.

#### 4.4 Sifat dan karakteristik material baja

##### 4.4.1 Sifat mekanis baja

Sifat mekanis baja struktural yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel 1.

**Tabel 1 Sifat mekanis baja struktural**

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, $f_u$ [MPa]	Tegangan leleh minimum, $f_y$ [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

Sifat-sifat mekanis baja struktural lainnya untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

Modulus elastisitas	:	$E = 200.000 \text{ MPa}$
Modulus geser	:	$G = 80.000 \text{ MPa}$
Angka poisson	:	$\mu = 0,3$
Koefisien pemuaian	:	$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$

##### 4.4.2 Baja struktural

###### 4.4.2.1 Syarat penerimaan baja

Laporan uji material baja dari pabrik yang disahkan oleh lembaga yang berwenang dapat dianggap sebagai bukti yang cukup untuk memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar ini.

###### 4.4.2.2 Baja yang tidak teridentifikasi

Baja yang tidak teridentifikasi boleh digunakan selama memenuhi ketentuan berikut ini:

- bebas dari cacat permukaan;
- sifat fisik material dan kemudahannya untuk dilas tidak mengurangi kekuatan dan kemampuan layan strukturnya;
- diuji sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Tegangan leleh ( $f_y$ ) untuk perencanaan tidak boleh diambil lebih dari 170 MPa sedangkan tegangan putusnya ( $f_u$ ) tidak boleh diambil lebih dari 300 MPa.

###### 4.4.2.3 Kurva tegangan-regangan

Kurva tegangan-regangan untuk baja tulangan diambil berdasarkan ketentuan:

- dianggap mempunyai bentuk seperti yang diperoleh dari persamaan-persamaan yang disederhanakan dari hasil pengujian dalam bentuk bilinier
- ditentukan dari data pengujian yang memadai
- dianggap linier, dengan harga modulus elastisitas seperti yang diberikan pada sub-pasal 4.4.1.

#### 4.4.3 Alat sambung

##### 4.4.3.1 Baut, mur dan ring

Alat sambung yang umum digunakan untuk struktur baja adalah baut, mur dan ring.

##### 4.4.3.2 Alat sambung mutu tinggi

Alat sambung mutu tinggi boleh digunakan bila memenuhi ketentuan berikut:

- komposisi kimiawi dan sifat mekanisnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
- diameter batang, luas tumpu kepala baut, dan mur atau penggantinya, harus lebih besar dari nilai nominal yang ditetapkan dalam ketentuan yang berlaku. Ukuran lainnya boleh berbeda;
- persyaratan gaya tarik minimum alat sambung ditentukan pada tabel 2 di bawah ini:

**Tabel 2 Gaya tarik baut minimum**

Diameter nominal baut [mm]	Gaya tarik minimum [kN]
16	95
20	145
24	210
30	335
36	490

#### 4.4.4 Las

Material pengelasan dan logam las harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

##### 4.4.4.1 Penghubung geser jenis paku yang dilas

Semua penghubung geser jenis paku yang dilas harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

##### 4.4.4.2 Baut angkur

Baut angkur yang memenuhi ketentuan-ketentuan akan disampaikan lengkap pada penyusunan standar rinci.

#### 4.5 Faktor beban dan kekuatan

##### 4.5.1 Faktor beban dan kombinasi pembebanan

Untuk besaran beban dan kombinasi pembebanan, diambil mengacu kepada Standar Pembebanan untuk Jembatan Jalan Raya.

##### 4.5.2 Faktor reduksi kekuatan

Faktor reduksi kekuatan,  $\phi$  diambil dari nilai-nilai yang dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3 Faktor reduksi kekuatan untuk keadaan batas ultimit**

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, $\phi$
a. Lentur	0,90
b. Geser	0,90
c. Aksial tekan	0,85
d. Aksial tarik	
1. terhadap kuat tarik leleh	0,90
2. terhadap kuat tarik fraktur	0,75
e. Penghubung geser	0,75
f. Sambungan baut	0,75
g. Hubungan las	
1. Las tumpul penetrasi penuh	0,90
2. Las sudut dan las tumpul penetrasi sebagian	0,75

#### 4.5.3 Kekuatan rencana penampang struktur baja

Perencanaan kekuatan pada penampang terhadap semua pembebanan dan gaya dalam, yaitu momen lentur, geser, aksial, dan torsi, harus didasarkan pada kekuatan nominal yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan.

#### 4.6 Korosi pada struktur baja

Dalam hal suatu struktur baja pada jembatan harus menghadapi lingkungan yang korosif, maka struktur baja tersebut harus diberi perlindungan terhadap korosi. Tingkat perlindungan yang digunakan harus ditentukan berdasarkan pertimbangan atas fungsi jembatan, pemeliharaan dan kondisi iklim/cuaca serta kondisi setempat lainnya.

#### 4.7 Persyaratan dan pembatasan lendutan pada balok

##### 4.7.1 Beban

Persyaratan dan pembatasan lendutan pada balok adalah dihitung akibat beban layan yaitu beban hidup yang ditambah dengan beban kejut.

##### 4.7.2 Balok

Balok di atas dua tumpuan atau gelagar menerus, lendutan maksimumnya adalah  $1/800 \times$  bentang. Kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah  $1/1.000 \times$  bentang.

##### 4.7.3 Kantilever

Lendutan di ujung kantilever tidak boleh melampaui  $1/300 \times$  panjang kantilever. Kecuali pada jembatan di daerah sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah  $1/375 \times$  bentang.

##### 4.7.4 Kerjasama antara gelagar

Jika di dalam bentang ada rangka melintang atau diafragma antara gelagar-gelagar yang cukup kaku untuk menjamin distribusi lateral dari beban, maka masing-masing gelagar

dianggap memikul bagian yang sama dari beban dan lendutan yang timbul sama untuk semua gelagar.

#### 4.7.5 Momen inersia penampang

Momen inersia bruto dipakai untuk menghitung lendutan. Jika gelagar merupakan bagian dari penampang komposit, maka beban layan dianggap dipikul oleh penampang komposit.

#### 4.7.6 Rangka batang

Penampang bruto dari tiap anggota rangka dipakai untuk menghitung lendutan dari gelagar rangka batang. Jika batang terbuat dari susunan pelat-pelat berlubang (*perforated-plate*), maka luas penampang efektif harus diambil dengan menghitung volume bersih (volume bruto dikurang volume lubang) dibagi jarak sumbu ke sumbu lubang.

#### 4.7.7 Penyimpangan

Persyaratan pembatasan lendutan untuk balok atau gelagar di atas boleh dilampaui atas pertimbangan yang seksama oleh perencana.

### 4.8 Ketahanan api

Pasal ini berlaku untuk komponen struktur baja yang disyaratkan mempunyai Tingkat Ketahanan Api (TKA). Untuk komponen struktur dan sambungan yang dilindungi terhadap api, tebal bahan pelindung harus lebih besar atau minimal sama dengan tebal yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu Periode Kelayakan Struktural (PKS) yang sama dengan TKA yang diperlukan.

Untuk komponen struktur dan sambungan yang tidak dilindungi terhadap api, maka rasio luas permukaan terekspos berbanding massa ( $k_{sm}$ ) harus tidak lebih besar dari rasio yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu PKS yang sama dengan TKA yang diperlukan.

## 5 Perencanaan komponen struktur tarik

### 5.1 Persyaratan kuat tarik dan kuat tarik rencana

Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial terfaktor,  $N_u$ , harus memenuhi:

$$N_u \leq \phi N_n \quad (5.1-1)$$

dengan  $N_n$  adalah kuat tarik nominal yang besarnya diambil sebagai nilai terendah di beberapa persamaan di bawah ini:

a. kuat tarik nominal berdasarkan kelelahan pada penampang bruto :

$$N_n = A_g f_y \quad (5.1-2)$$

b. kuat tarik nominal berdasarkan fraktur pada penampang efektif :

$$N_n = A_e f_u \quad (5.1-3)$$

c. kuat tarik nominal berdasarkan perencanaan *rupture* pada penampang :

1. kuat geser ruptur nominal :

$$N_n = 0,6 A_{ev} f_u \quad (5.1-4)$$

2. kuat tarik ruptur nominal :

$$N_n = A_{et} f_u \quad (5.1-5)$$

3. kuat tarik dan geser ruptur nominal :

a). untuk  $A_{et} f_u \geq 0,6 A_{ev} f_u$

$$N_n = 0,6 A_{gv} f_y + A_{et} f_u \quad (5.1-6)$$

b). untuk  $0,6 A_{ev} f_u \geq A_{et} f_u$

$$N_n = 0,6 A_{nv} f_u + A_{gt} f_y \quad (5.1-7)$$

dengan pengertian :

$A_g$  adalah luas penampang bruto, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$A_{gt}$  adalah luas penampang bruto terhadap tarik, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$A_{gv}$  adalah luas penampang bruto terhadap geser, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$A_{et}$  adalah luas penampang efektif terhadap tarik, dinyatakan dalam milimeter persegi, ( $\text{mm}^2$ );

$A_{ev}$  adalah luas penampang efektif terhadap geser, dinyatakan dalam milimeter persegi, ( $\text{mm}^2$ );

$f_y$  adalah tegangan leleh, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$f_u$  adalah tegangan tarik putus, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa).

Nilai  $\phi$  dalam persamaan (5.1-1) diambil sebesar 0,9 untuk hubungan dengan persamaan (5.1-2), dan  $\phi$  diambil sebesar 0,75 untuk hubungan dengan persamaan (5.1-3), (5.1-4), (5.1-5), (5.1-6) dan (5.1-7).

## 5.2 Penampang efektif

Luas penampang efektif komponen struktur yang mengalami gaya tarik ditentukan sebagai berikut:

$$A_e = AU \quad (5.2-1)$$

dengan pengertian :

$A$  adalah luas penampang menurut sub-pasal 5.2.1 sampai dengan 5.2.4, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$U$  adalah faktor reduksi

$$= 1 - (x/L) \leq 0,90, \text{ atau menurut butir 5.2.3 dan 5.3.4.}$$

$x$  adalah eksentrisitas sambungan, jarak tegak lurus arah gaya tarik, antara titik berat penampang komponen yang disambung dengan bidang sambungan, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

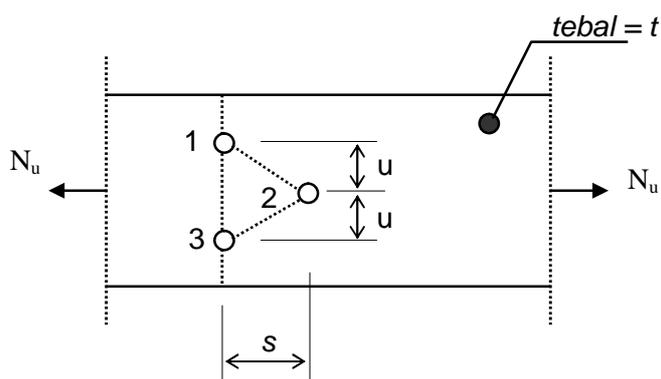
$L$  adalah panjang sambungan dalam arah gaya tarik, yaitu jarak antara dua baut terjauh pada suatu sambungan atau panjang las dalam arah gaya tarik, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

### 5.3.1 Kasus gaya tarik hanya disalurkan oleh baut

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh baut :

$$A = A_{nt} \quad (5.2-2)$$

Adalah luas penampang netto terkecil antara potongan 1-3 dan potongan 1-2-3,



**Gambar 1 Gaya tarik hanya disalurkan oleh baut**

Potongan 1-3:  $A_{nt} = A_g - n d t \quad (5.2-3)$

Potongan 1-2-3:  $A_{nt} = A_g - n d t + \sum \frac{s^2 t}{4u} \quad (5.2-4)$

dengan pengertian :

$A_g$  adalah luas penampang bruto, dinyatakan dalam milimeter persegi, ( $\text{mm}^2$ );

$t$  adalah tebal penampang, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$d$  adalah diameter lubang baut, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$n$  adalah banyaknya lubang dalam satu garis potongan.

$s$  adalah jarak antara sumbu lubang antara dua lubang yang bersebelahan pada arah sejajar sumbu komponen struktur, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$u$  adalah jarak antara sumbu lubang pada arah tegak lurus sumbu komponen struktur.

### 5.3.2 Kasus gaya tarik disalurkan oleh las memanjang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan memanjang ke komponen struktur yang bukan pelat, atau oleh kombinasi pengelasan memanjang dan melintang:

$$A = A_g \quad (5.2-6)$$

$A$  adalah luas penampang bruto komponen struktur, dinyatakan dalam milimeter persegi, [ $\text{mm}^2$ ].

### 5.3.3 Kasus gaya tarik disalurkan oleh las melintang

Bila gaya tarik hanya disalurkan oleh pengelasan melintang, maka  $A$  pada persamaan 5.2-1 adalah jumlah luas penampang netto yang dihubungkan secara langsung dan  $U = 1,0$ .

### 5.3.4 Kasus gaya tarik disalurkan oleh las sepanjang dua sisi

Bila gaya tarik disalurkan ke sebuah komponen struktur pelat dengan pengelasan sepanjang kedua sisi pada ujung pelat, dengan  $l \geq w$  :

$A$  adalah luas pelat, (5.2-6)

untuk  $l \geq 2w$        $U = 1,00$  (5.2-6a)

untuk  $2w > l \geq 1,5w$        $U = 0,87$  (5.2-6b)

untuk  $1,5w \geq l \geq w$        $U = 0,75$ . (5.2-6c)

dengan pengertian :

$l$  adalah panjang pengelas, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$w$  adalah lebar pelat (atau jarak antara sumbu pengelasan ), dinyatakan dalam milimeter, (mm).

Nilai  $U$  dapat diambil lebih besar bila dapat dibuktikan melalui pengujian atau ketentuan lain yang dapat diterima. Untuk batang berulir, luas penampang netto diambil sebesar luas penampang inti.

## 5.3 Komponen struktur tersusun dari dua buah profil atau lebih

### 5.3.1 Umum

Komponen struktur tarik tersusun yang terdiri dari dua elemen utama atau lebih yang diharapkan berperilaku sebagai satu kesatuan harus memenuhi persyaratan pada sub-pasal 5.3.2 sampai dengan 5.3.4.

### 5.3.2 Beban rencana untuk sambungan

Jika komponen struktur tarik tersusun dari dua elemen utama atau lebih, sambungan antar elemen harus direncanakan mampu untuk memikul gaya dalam akibat bekerjanya gaya-gaya luar termasuk momen lentur (jika ada). Untuk batang berikatan diagonal, digunakan beban terfaktor rencana maupun momen lentur (jika ada). Untuk pelat kopel, harus dibagi merata di antara bidang sambung yang sejajar dengan arah gaya.

### 5.3.3 Komponen struktur tarik tersusun dari dua buah profil yang saling membelakangi

Komponen struktur tarik tersusun dari dua profil sejenis yang saling membelakangi baik secara kontak langsung ataupun dengan perantara pelat kopel dengan jarak yang memenuhi syarat, harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. dengan las atau baut pada interval tertentu sehingga kelangsingan untuk setiap elemen tidak melebihi 300; atau

- b. dengan sistem sambungan yang direncanakan sedemikian sehingga komponen struktur tersebut terbagi atas paling sedikit tiga bentang sama panjang. Sistem sambungan harus direncanakan dengan menganggap bahwa pada sepanjang komponen struktur terdapat gaya lintang sebesar 0,02 kali gaya aksial yang bekerja pada komponen struktur tersebut.

### 5.3.4 Komponen struktur tarik dengan ikatan diagonal

Komponen struktur tarik tersusun dari dua buah profil yang dihubungkan dengan ikatan diagonal harus memenuhi:

- Kelangsingan maksimum dan unsur ikatan diagonal adalah 200;
- Kelangsingan komponen utama dengan memperhitungkan jarak antara dua ikatan diagonal yang berdekatan pada komponen utama yang ditinjau, tidak lebih dari 240 untuk komponen struktur utama, dan tidak lebih dari 300 untuk komponen sekunder.

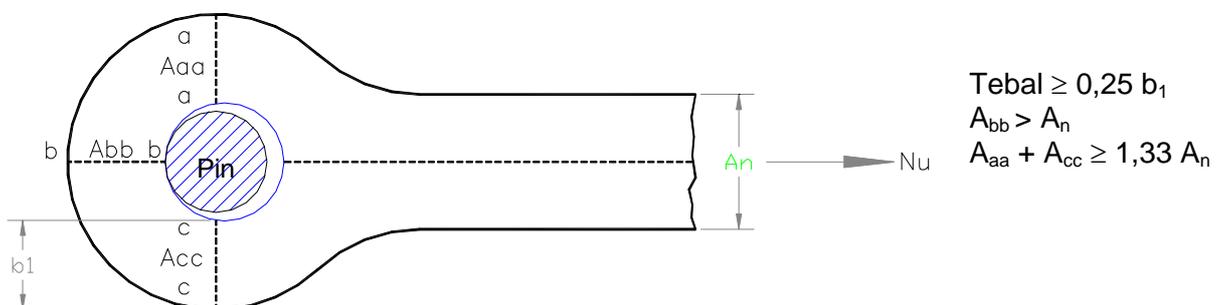
### 5.3.5 Komponen struktur tarik dengan pelat kopel

Komponen struktur tarik tersusun dari dua buah profil yang dihubungkan dengan pelat kopel harus memenuhi:

- Kelangsingan komponen utama dengan memperhitungkan jarak antar pelat kopel yang berdekatan, tidak lebih dari 240 untuk komponen struktur utama, dan tidak lebih dari 300 untuk komponen sekunder;
- Tebal elemen penghubung tidak kurang dari 0,02 kali jarak antara garis sambungan pelat penghubung dengan komponen utama;
- Panjang pelat kopel tidak kurang dari 0,67 kali jarak antara garis sambungan pelat kopel dengan komponen utama;
- Pelat kopel yang disambung dengan baut harus menggunakan paling sedikit dua buah baut yang diletakkan memanjang searah sumbu komponen struktur tarik.

### 5.4 Komponen struktur tarik dengan sambungan pen

Komponen struktur tarik dengan sambungan pen harus direncanakan menurut pasal 5.1. Komponen yang disambung seperti pada gambar di bawah ini harus memenuhi persyaratan tambahan sebagai berikut:



**Gambar 2** Komponen struktur tarik dengan sambungan pen

- Tebal komponen struktur tanpa pengaku yang mempunyai lubang sambungan pen harus lebih besar atau sama dengan 0,25 kali jarak antara tepi lubang pen ke tepi

- komponen struktur yang diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur. Batasan ini tidak berlaku untuk tebal lapisan-lapisan yang menyusun komponen struktur tarik yang digabung menggunakan baut;
- Luas irisan pada bagian ujung komponen struktur tarik di luar lubang pen, sejajar, atau di dalam sudut  $45^\circ$  dari sumbu komponen struktur tarik, harus lebih besar atau sama dengan luas bersih yang diperlukan oleh komponen struktur tarik;
  - Jumlah luas sebuah lubang pen, pada potongan tegak lurus sumbu komponen tarik, harus lebih besar atau sama dengan 1,33 kali luas bersih yang diperlukan oleh komponen struktur tarik;
  - Pelat pen yang direncanakan untuk memperbesar luas bersih komponen struktur, atau untuk menaikkan daya dukung pen, harus disusun sehingga tidak menimbulkan eksentrisitas dan harus direncanakan mampu menyalurkan gaya dari pen ke komponen struktur tarik.

Bagian ujung dari komponen struktur dengan bentuk lainnya harus dihitung dengan analisis yang dapat diterima.

### 5.5 Komponen struktur yang menerima gaya tarik dengan sambungan terletak tidak simetris terhadap sumbu komponen yang disambungkan

Komponen struktur yang menerima gaya tarik dengan sambungan terletak tidak simetris terhadap sumbu komponen yang disambungkan harus direncanakan menurut bagian 7.

## 6 Perencanaan komponen struktur tekan

### 6.1 Perencanaan akibat gaya tekan

Suatu komponen struktur yang mengalami gaya tekan konsentris akibat beban terfaktor,  $N_u$ , harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

$$a. \quad N_u \leq \phi_n N_n \quad (6.1-1)$$

dengan pengertian:

$\phi$  adalah faktor reduksi sesuai Sub-pasal 4.5.2

$N_n$  adalah kuat tekan nominal komponen struktur tekan yang ditentukan berdasarkan Sub-pasal 6.2 dan 6.3, dinyatakan dalam Newton (N).

b. Perbandingan kelangsingan :

$$1. \quad \text{kelangsingan elemen penampang (lihat Tabel 4)} < \lambda_r \quad (6.1-2a)$$

$$2. \quad \text{kelangsingan komponenstruktur tekan, } \lambda = \frac{L_k}{r} \leq 140 \quad (6.1-2b)$$

c. Komponen struktur tekan yang elemen penampangnya mempunyai perbandingan lebar terhadap tebal lebih besar nilai  $\lambda_r$  yang ditentukan dalam tabel 4 harus direncanakan dengan analisis rasional yang dapat diterima.

Tabel 4 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen tertekan

Jenis Elemen		$\lambda$	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			$\lambda_p$ (kompak)	$\lambda_r$ (tak-kompak)
Elemen tanpa pengaku	Pelat sayap balok-I dan kanal dalam lentur	$b/t$	$\frac{170}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{370}{\sqrt{f_y - f_r}}$ [e]
	Pelat sayap balok-I hibrida atau balok tersusun yang di las dalam lentur	$b/t$	$\frac{170}{\sqrt{f_{yf}}}$	$\frac{420}{\sqrt{(f_{yf} - f_r)/k_e}}$ [e][f]
	Pelat sayap dari komponen-komponen struktur tersusun dalam tekan	$b/t$	-	$\frac{290}{\sqrt{f_y/k_e}}$ [f]
	Sayap bebas dari profil siku kembar yang menyatu pada sayap lainnya, pelat sayap dari komponen struktur kanal dalam aksial tekan, profil siku dan pelat yang menyatu dengan balok atau komponen struktur tekan	$b/t$	-	$\frac{250}{\sqrt{f_y}}$
	Sayap dari profil siku tunggal pada penyokong, sayap dari profil siku ganda dengan pelat kopel pada penyokong, elemen yang tidak diperkaku, yaitu yang ditumpu pada salah satu sisinya.	$b/t$	-	$\frac{200}{\sqrt{f_y}}$
	Pelat badan dari profil T	$d/t$	-	$\frac{335}{\sqrt{f_y}}$

**Tabel 4 Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal untuk elemen Tertekan (lanjutan)**

Jenis Elemen		$\lambda$	Perbandingan maksimum lebar terhadap tebal	
			$\lambda_p$ (kompak)	$\lambda_r$ (tak-kompak)
Elemen dengan Pengaku	Pelat sayap dari penampang persegi panjang dan bujursangkar berongga dengan ketebalan seragam yang dibebani lentur atau tekan; pelat penutup dari pelat sayap dan pelat diafragma yang terletak di antara baut-baut atau las	$b/t$	$\frac{500}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{625}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian lebar yang tak terkekang dari pelat penutup berlubang [b]	$b/t$	-	$\frac{830}{\sqrt{f_y}}$
	Bagian-bagian pelat badan dalam tekan akibat lentur [a]	$h/t_w$	$\frac{1.680}{\sqrt{f_y}}$ [c]	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}}$ [g]
	Bagian-bagian pelat badan dalam kombinasi tekan dan lentur	$h/t_w$	Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} \leq 0,125$ [c] $\frac{1.680}{\sqrt{f_y}} \left( 1 - \frac{2,75 N_u}{\phi_b N_y} \right)$  Untuk $\frac{N_u}{\phi_b N_y} > 0,125$ [c] $\frac{500}{\sqrt{f_y}} \left( 2,33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right) \geq \frac{665}{\sqrt{f_y}}$	$\frac{2.550}{\sqrt{f_y}} \left( 1 - \frac{0,74 N_u}{\phi_b N_y} \right)$ [g]
	Elemen-elemen lainnya yang diperkaku dalam tekan murni; yaitu dikekang sepanjang kedua sisinya.	$b/t$ $h/t_w$	-	$\frac{665}{\sqrt{f_y}}$
	Penampang bulat berongga	$D/t$	[d]	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada tekan aksial</li> <li>• Pada lentur</li> </ul>		- $14.800/f_y$	$22.000/f_y$ $62.000/f_y$

[a] Untuk balok hibrida, gunakan tegangan leleh pelat sayap  $f_{yf}$  sebagai  $f_y$ .  
 [b] Ambil luas netto pelat pada lubang terbesar.

- [c] Dianggap kapasitas rotasi inelastis sebesar 3.  
Untuk struktur-struktur pada zona tinggi diperlukan kapasitas rotasi yang lebih besar.
- [d] Untuk perencanaan plastis gunakan  $9.000/f_y$ .
- [e]  $f_r$  = tegangan tekan residual pada pelat sayap.  
= 70 MPa untuk penampang dirol.  
= 115 MPa untuk penampang dilas.
- [f]  $k_e = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$  ;  $0,35 \leq k_e \leq 0,763$
- [g]  $f_y$  adalah tegangan leleh minimum ( dinyatakan dalam satuan Mega Pascal [MPa] )

## 6.2 Kuat tekan nominal akibat tekuk lentur

Kuat tekan nominal akibat tekuk-lentur,  $N_n$ , dari komponen struktur tekan dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar-tebal,  $\lambda_r$ , lebih kecil dari yang ditentukan dalam Tabel 4, ditentukan sebagai berikut :

$$N_n = (0,66^{\lambda_c^2}) A_g f_y \quad \text{untuk } \lambda_c \leq 1,5 \quad (6.2-1)$$

$$N_n = \frac{(0,88)}{\lambda_c^2} A_g f_y \quad \text{untuk } \lambda_c \geq 1,5 \quad (6.2-2)$$

$$\lambda_c = \frac{L_k}{r\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (6.2-3a)$$

$$L_k = k_c L \quad (6.2-3b)$$

dengan pengertian :

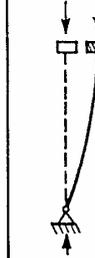
$A_g$  adalah luas penampang bruto, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$f_y$  adalah tegangan leleh, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa);

$\lambda_c$  adalah parameter kelangsingan

$k_c$  adalah faktor panjang tekuk untuk komponen struktur jembatan rangka dapat pada Gambar 3.  $L$  adalah panjang teoritis kolom, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$E$  adalah modulus elastisitas bahan baja, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa).

	Kolom Tak Bergoyang			Kolom Bergoyang		
Bentuk tekuk						
Faktor panjang efektif (k)	0.70	0.85	1.00	1.2	2.2	2.2
Simbol untuk keadaan penahan ujung	 = Rotasi terjepit, translasi terjepit	 = Rotasi terjepit, translasi bebas	 = Rotasi terjepit, translasi bebas	 = Rotasi terjepit, translasi bebas	 = Rotasi terjepit, translasi bebas	 = Rotasi terjepit, translasi bebas

Gambar 3 Faktor panjang efektif

### 6.3 Kuat tekan rencana akibat tekuk lentur-puntir

Kuat tekan rencana akibat tekuk-lentur puntir,  $\phi N_{nlt}$ , dari komponen struktur tekan yang terdiri dari siku-ganda atau berbentuk T, dengan elemen-elemen penampangnya mempunyai rasio lebar-tebal,  $\lambda_r$ , lebih kecil dari yang ditentukan dalam Tabel 4, harus memenuhi :

$$N_u \leq \phi_n N_{nlt} \quad (6.3-1a)$$

$$N_{nlt} = A_g f_{clt} \quad (6.3-1b)$$

$$f_{clt} = \left( \frac{f_{cry} + f_{crz}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4f_{cry}f_{crz}H}{(f_{cry} + f_{crz})^2}} \right] \quad (6.3-1c)$$

$$f_{crz} = \frac{GJ}{A\bar{r}_0^2} \quad (6.3-1d)$$

$$\bar{r}_0^2 = \frac{I_x + I_y}{A} + x_0^2 + y_0^2, \quad (6.3-1e)$$

$$H = 1 - \left( \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2} \right) \quad (6.3-1f)$$

dengan pengertian:

$A_g$  adalah luas penampang bruto, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$\bar{r}_0$  adalah jari-jari girasi polar terhadap pusat geser

$x_0, y_0$  adalah koordinat pusat geser terhadap titik berat,  $x_0=0$  untuk siku ganda dan profil T (sumbu y-sumbu simetris)

$f_{cry}$  adalah dihitung sesuai persamaan (6.2.2), untuk tekuk lentur terhadap sumbu lemah y-y, dengan menggunakan harga  $\lambda_c$ , yang dihitung dengan rumus :

$$\lambda_c = \frac{L_{ky}}{\pi r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (6.3-1g)$$

dengan  $L_{ky}$  adalah panjang tekuk dalam arah sumbu lemah y-y.

6.4 Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh pelat melintang dan memikul gaya sentris

- a. Komponen struktur tersusun dari beberapa elemen yang disatukan pada seluruh panjangnya boleh dihitung sebagai komponen struktur tunggal;
- b. Pada komponen struktur tersusun yang terdiri dari beberapa elemen yang dihubungkan pada tempat-tempat tertentu, kekuatannya harus dihitung terhadap sumbu bahan dan sumbu bebas bahan. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur itu; sedangkan, sumbu bebas bahan adalah sumbu yang sama sekali tidak, atau hanya memotong sebagian dari elemen komponen struktur itu. Sumbu bahan adalah sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur (lihat Gambar 5).
- c. Kelangsingan pada arah tegak lurus sumbu x-x dihitung dengan persamaan:

$$\lambda_x = \frac{L_{kx}}{r_x}$$

(6.4-1)

dengan pengertian :

$L_{kx}$  adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$r_x$  adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu x-x, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

Pada arah tegak lurus sumbu bebas bahan y-y, harus dihitung kelangsingan idiil  $\lambda_{iy}$  dengan persamaan:

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_l^2} \quad (6.4-2)$$

$$\lambda_y = \frac{L_{ky}}{r_y} \quad (6.4-3)$$

$$\lambda_l = \frac{L_l}{r_{\min}} \quad (6.4-4)$$

dengan pengertian :

$m$  adalah konstanta seperti tercantum pada Gambar 7

- $L_{ky}$  adalah panjang tekuk komponen struktur tersusun pada arah tegak lurus sumbu y-y, dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, dan kondisi jepitan ujung-ujung komponen struktur, dinyatakan dalam milimeter, (mm);
- $r_y$  adalah jari-jari girasi komponen struktur tersusun terhadap sumbu y-y, dinyatakan dalam milimeter, (mm);
- $L_l$  adalah spasi antar pelat kopel pada arah komponen struktur tekan, dinyatakan dalam milimeter, (mm);
- $r_{min}$  adalah jari-jari girasi elemen komponen struktur tersusun terhadap sumbu yang memberikan nilai yang terkecil (sumbu l-l), dinyatakan dalam milimeter, (mm).

Agar persamaan (6.4-2) dapat dipakai, harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

1. Pelat-pelat kopel membagi komponen struktur tersusun menjadi beberapa bagian yang sama panjang atau dapat dianggap sama panjang;
2. Banyaknya pembagian komponen struktur minimum adalah 3;
3. Hubungan antara pelat kopel dengan elemen komponen struktur tekan harus kaku;
4. Pelat kopel harus cukup kaku, sehingga memenuhi persamaan:

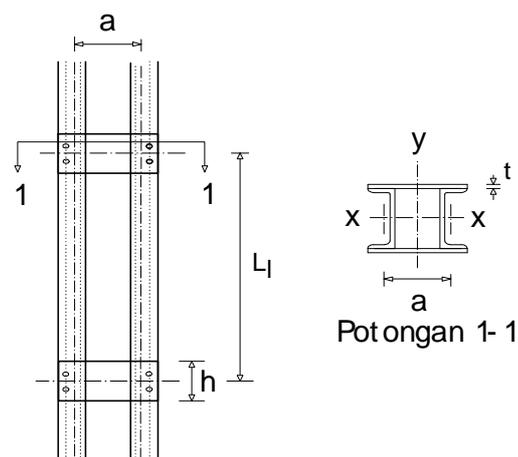
$$\frac{I_p}{a} \geq 10 \frac{I_l}{L_l} \quad (6.4-5)$$

dengan pengertian :

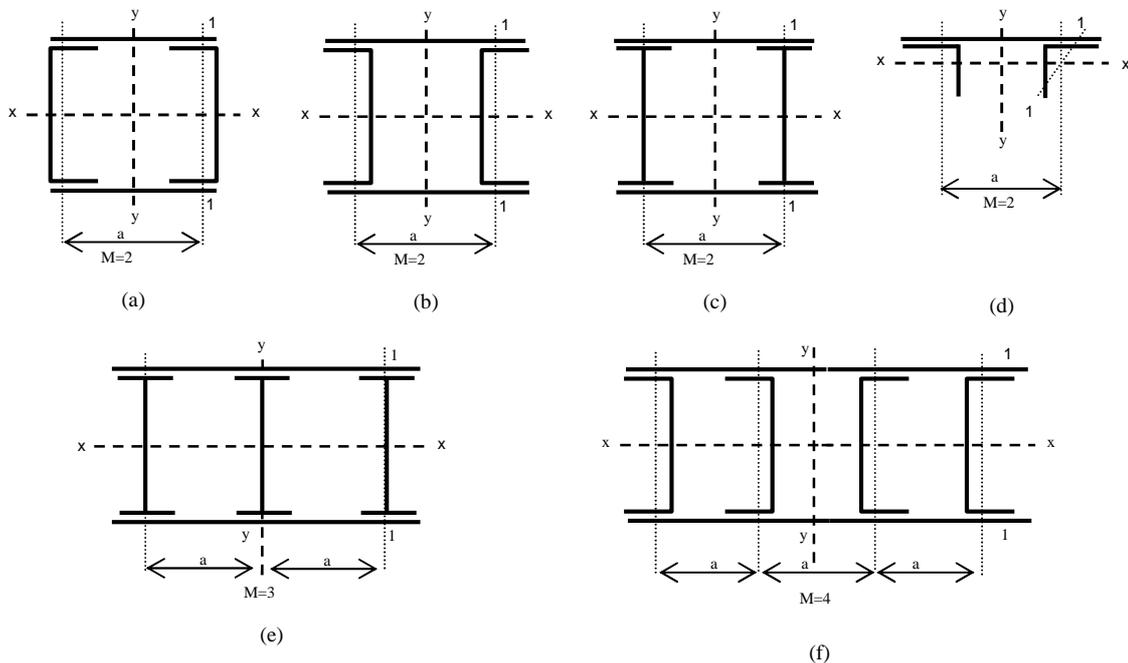
$I_p$  adalah momen inersia pelat kopel; untuk pelat kopel dimuka dan dibelakang yang tebalnya t dan tingginya h, maka  $I_p = 2 \times \frac{1}{12} th^3$ , mm<sup>4</sup>

$I_l$  adalah momen inersia elemen komponen struktur terhadap sumbu l-l, mm<sup>4</sup>

a adalah jarak antara dua pusat titik berat penampang elemen komponen struktur (Gambar 4 dan 5), dinyatakan dalam milimeter, (mm).



**Gambar 4** Jarak antara dua pusat titik berat penampang komponen struktur



**Gambar 5 Sumbu yang memotong semua elemen komponen struktur**

- d. dengan menggunakan persamaan (6.2-1) atau (6.2-2), diperoleh kuat tekan nominal yang diambil berdasarkan nilai yang terkecil dengan :

$$\lambda_c = \frac{L_{kx}}{\pi r_x} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (6.4-6a)$$

$$\lambda_c = \frac{L_{ky}}{\pi r_y} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (6.4-6b)$$

- e. Selanjutnya, perencanaan komponen struktur tersusun ini dihitung sesuai dengan persamaan (6.1-1);  
 f. Untuk menjaga kestabilan elemen-elemen penampang komponen struktur tersusun maka harga-harga  $\lambda_x$  dan  $\lambda_{iy}$  pada persamaan (6.4-1) dan (6.4-2) harus memenuhi:

$$\lambda_x \geq 1,2\lambda_l \quad (6.4-7a)$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda_l \quad (6.4-7b)$$

dan

$$\lambda_l \leq 50 \quad (6.4-7c)$$

- g. Pelat-pelat kopel harus dihitung dengan menganggap bahwa pada seluruh panjang komponen struktur tersusun itu bekerja gaya lintang sebesar:

$$D_u = 0,02 N_u \quad (6.4-8)$$

dengan  $N_u$ , adalah kuat tekan perlu komponen struktur tersusun akibat beban - beban terfaktor. Anggapan di atas tidak boleh dipakai apabila komponen struktur yang ditinjau dibebani oleh gaya-gaya tegak lurus sumbu komponen struktur atau dibebani oleh momen. Jadi tidak berlaku untuk komponen struktur tersusun yang bebannya bukan hanya tekan sentris saja. Dalam hal ini komponen struktur tersebut harus direncanakan terhadap gaya lintang yang terbesar di antara yang dihitung dengan persamaan (6.4-8) di atas dan gaya lintang yang sebenarnya terjadi.

### 6.5 Komponen struktur tersusun prismatis dengan elemen yang dihubungkan oleh unsur diagonal dan memikul gaya sentris

- a. Untuk menghitung kelangsingan komponen tersusun yang dihubungkan oleh unsur diagonal seperti pada Gambar 6a, 6b, 6c, dan 6d, berlaku persamaan (6.4-1), (6.4-2), dan (6.4-3) dengan:

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{AL_d^3}{zA_d L_l a^2}} \quad (6.5-1)$$

dengan pengertian:

$\lambda_l$  adalah kelangsingan komponen tersusun yang dihubungkan oleh unsur diagonal

$A$  adalah luas penampang komponen struktur tersusun, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

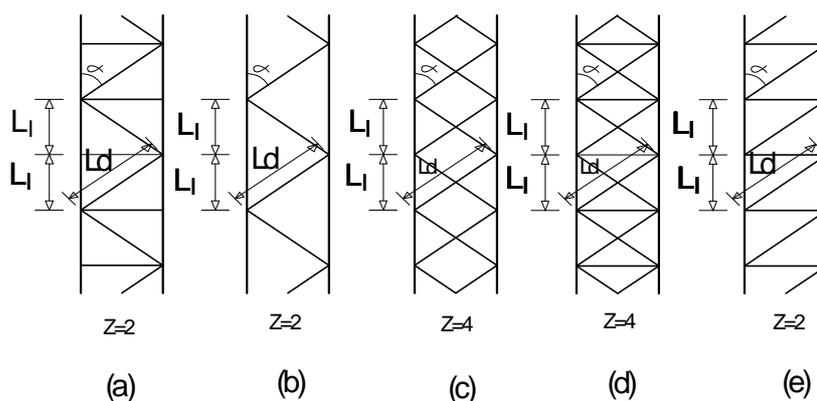
$A_d$  adalah luas penampang unsur diagonal, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$L_d$  adalah panjang unsur diagonal, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$L_l$  adalah panjang komponen struktur pada kedua ujungnya yang dibatasi oleh unsur penghubung, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$a$  adalah jarak antara dua pusat titik berat elemen komponen struktur, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$z$  adalah konstanta yang tercantum pada masing-masing gambar (Gambar 6).



**Gambar 6 Kelangsingan komponen tersusun yang dihubungkan oleh unsur diagonal**

Pada komponen struktur tersusun yang dihubungkan dengan unsur diagonal seperti terlihat pada Gambar 6e, berlaku persamaan:

$$\lambda_l = \pi \sqrt{\frac{AL_d^3}{zA_d L_l a^2} + \frac{Aa}{2A_h L_l}} \quad (6.5-2)$$

dengan  $A_h$  adalah luas penampang satu unsur penghubung horizontal.

- b. Koefisien tekuk  $\omega_x$  dan  $\omega_{iy}$  selanjutnya dapat ditentukan dari harga-harga  $\lambda_x$  dan  $\lambda_{iy}$ , sehingga pemeriksaan kekuatan dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (6.1-1) dan (6.4-6);
- c. Kuat perlu unsur diagonal,  $S_u$ , dihitung dengan persamaan :

$$S_u = \frac{D_u}{n \sin \alpha} \quad (6.5-3)$$

dengan pengertian :

$D_u$  adalah gaya lintang akibat beban terfaktor, dinyatakan dalam newton, (N);

$n$  adalah jumlah unsur diagonal pada suatu potongan mendatar;

$\alpha$  adalah sudut antara unsur diagonal dengan vertikal, dinyatakan dalam derajat, ( $^\circ$ ).

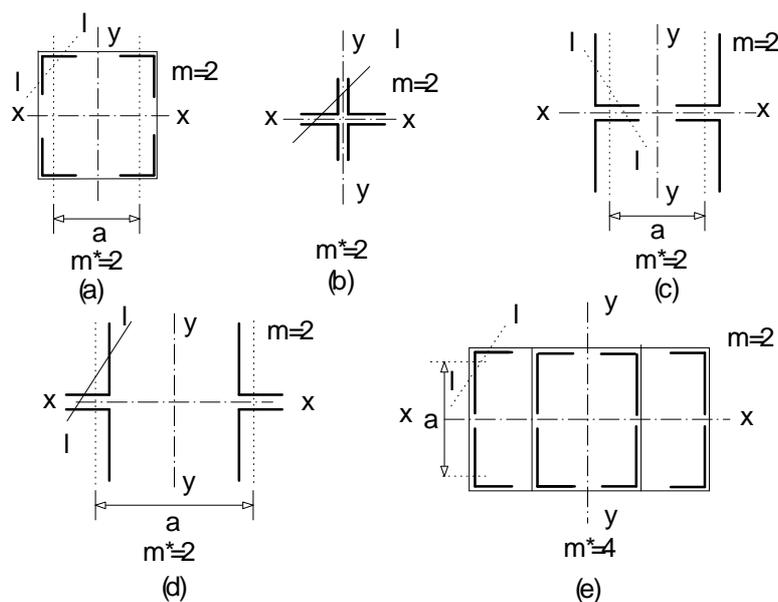
## 6.6 Komponen struktur tersusun yang tidak mempunyai sumbu bahan

- a. Kelangsingan idiiil dari komponen struktur tersusun terhadap sumbu-x dan sumbu-y dihitung sebagai berikut:

$$\lambda_{ix} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2} \lambda_l^2} \quad (6.6-1a)$$

$$\lambda_{iy} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m^*}{2} \lambda_l^2} \quad (6.6-1b)$$

Harga  $\lambda_l$  dapat dihitung dengan persamaan (6.4-4) atau (6.5-1) atau (6.5-2) dan nilai-nilai  $m$  dan  $m^*$  tertera pada Gambar 7.



**Gambar 7 Kelangsingan idiol dari komponen struktur tersusun tertera nilai-nilai  $m$  dan  $m^*$**

- b. dengan menggunakan persamaan (6.2-1) atau (6.2-2), diperoleh kuat tekan nominal yang diambil berdasarkan nilai yang terkecil sesuai dengan modifikasi persamaan (6.4-6) dengan :

$$\lambda_c = \frac{L_{kx}}{\pi r_{ix}} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (6.6-2a)$$

$$\lambda_c = \frac{L_{ky}}{\pi r_{iy}} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad (6.6-2b)$$

Selanjutnya pemeriksaan kekuatan dapat dihitung sesuai dengan persamaan (6.1-1).

- c. Untuk menjamin stabilitas komponen struktur maka harga-harga  $\lambda_{ix}$ , dan  $\lambda_{iy}$  pada persamaan (6.6-1) harus memenuhi:

$$\lambda_{ix} \geq 1,2\lambda_1 \quad (6.6-3a)$$

$$\lambda_{iy} \geq 1,2\lambda_1 \quad (6.6-3b)$$

dan

$$\lambda_1 \leq 50 \quad (6.6-3c)$$

- d. Seperti pada butir 6.4.7, pada komponen struktur tersusun yang tidak mempunyai sumbu bahan, harus dianggap bekerja gaya lintang pada kedua arah sumbu penampangnya:

$$D_{xu} = 0,02 N_u \quad (6.6-4a)$$

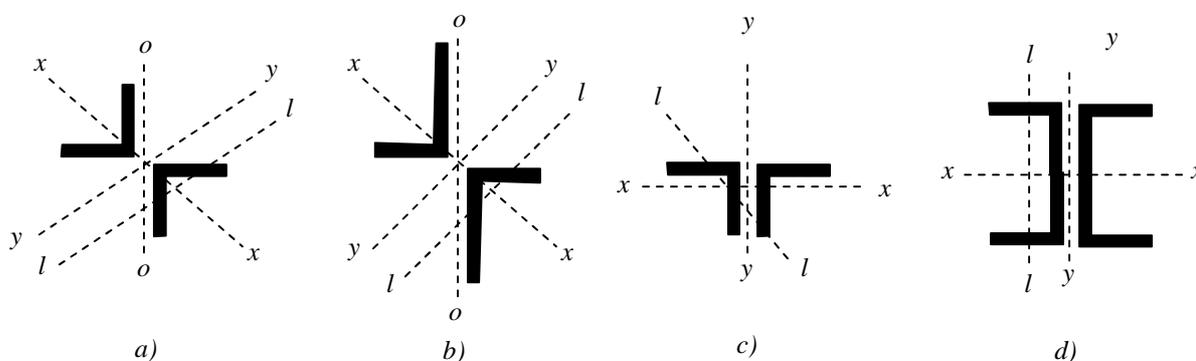
$$D_{yu} = 0,02 N_u \quad (6.6-4b)$$

6.7 Komponen struktur tersusun yang jarak antarannya sama dengan tebal pelat kopel

- Komponen struktur tersusun yang terdiri dari dua baja siku seperti pada Gambar 8a dan 8b, hanya perlu dihitung terhadap tekuk pada arah sumbu bahan  $x$ - $x$ ;
- Jika komponen struktur terdiri dari dua baja siku tidak sama kaki seperti pada Gambar 8b maka dapat dipakai persamaan pendekatan sebagai berikut:

$$r_x = 0,87r_0 \quad (6.7-1)$$

dengan  $r_0$  adalah jari-jari girasi penampang komponen struktur tersusun terhadap sumbu 0-0. Rumus yang lebih teliti senantiasa dapat dipergunakan.



**Gambar 8** Komponen struktur tersusun yang jarak antarannya sama dengan tebal pelat kopel

- Komponen struktur tersusun yang terdiri dari dua buah profil baja seperti pada Gambar 8c dan 8d, perlu dihitung terhadap tekuk pada arah+ sumbu bebas bahan dan arah sumbu bahan;
- Untuk komponen struktur tersusun menurut Gambar 8c dan 8d, maka  $\lambda_{iy}$  dapat diambil sama dengan  $\lambda_y$ ;
- Selanjutnya, perhitungan kekuatan dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (6.1-1) dengan memperhatikan syarat-syarat panjang tekuk.

### 6.8 Komponen struktur tak-prismatis dengan gaya tekan sentris

- Komponen struktur yang penampangnya membesar ke tengah bentang, boleh dihitung sebagai komponen struktur prismatis dengan jari-jari girasi dari penampang yang terbesar dan panjang tekuk idiiil (lihat Gambar 9a) sebesar:

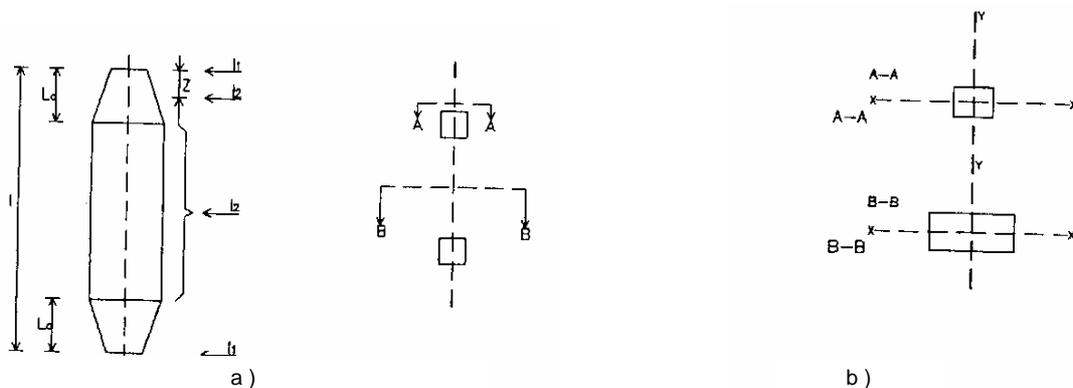
$$L_{ki} = c_i L \quad (6.8-1a)$$

- Apabila ada kemungkinan tekuk pada arah  $x$  dan  $y$ , harus diperiksa dengan panjang tekuk idiiil:

$$L_{kix} = c_{ix} L \quad (6.8-1b)$$

$$L_{kiy} = c_{iy}L \tag{6.8-1c}$$

- c. Harga  $c_l$ ,  $c_{lx}$ ,  $c_{ly}$  untuk komponen struktur dengan kedua ujungnya bersendi yang penampangnya berubah secara mendadak seperti pada Gambar 9b tercantum pada Tabel 5;

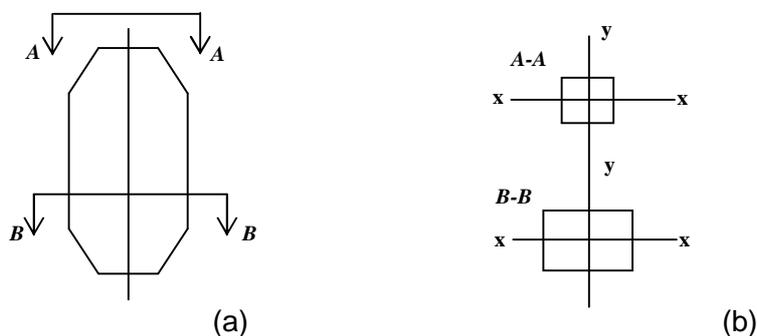


**Gambar 9** Komponen struktur tak-prismatis dengan gaya tekan sentris

**Tabel 5** Nilai-nilai  $c_l, c_{lx}$ , dan  $c_{ly}$  untuk Gambar 9b

$L_2/L$	$I_1/I_2$					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,4	2,60	1,90	1,40	1,20	1,10	1
0,3	2,10	1,56	1,30	1,12	1,08	1
0,2	1,50	1,22	1,12	1,08	1,04	1
0,1	1,10	1,06	1,04	1,02	1,01	1
0	1	1	1	1	1	1

- d. Nilai  $c_l$ ,  $c_{lx}$ ,  $c_{ly}$  untuk komponen struktur dengan penampang yang tebal dan lebarnya berubah secara linier seperti pada Gambar 10, tercantum pada Tabel 6.

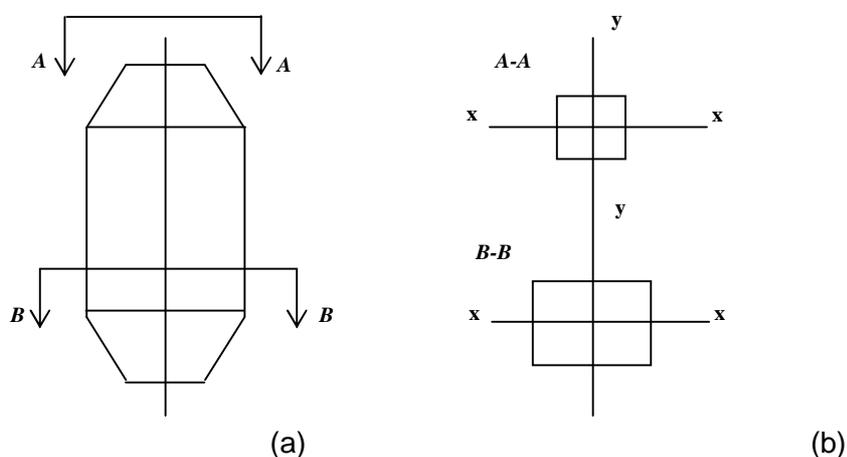


**Gambar 10** Nilai  $c_l, c_{lx}$ , dan  $c_{ly}$  untuk komponen struktur dengan penampang yang tebal dan lebarnya berubah secara linier

Tabel 6 Nilai-nilai  $c_i$ ,  $c_{ix}$ , dan  $c_{iy}$  untuk Gambar 10

$L_e/L$	$l_1/l_2$					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,5	1,43	1,28	1,15	1,08	1,03	1
0,4	1,27	1,18	1,09	1,05	1,02	1
0,3	1,14	1,08	1,04	1,02	1,01	1
0,2	1,04	1,03	1,02	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1

- e. Untuk komponen struktur dengan penampang yang lebarnya berubah secara linier, sedangkan tebalnya tetap, seperti pada Gambar 11, harga  $c_{ix}$ , dan  $c_{iy}$  tercantum pada Tabel 11a dan 11b



Gambar 11 Komponen struktur dengan penampang yang lebarnya berubah secara linier

Tabel 7a Nilai  $c_{ix}$  untuk Gambar 11

$L_e/L$	$l_1/l_2$					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,5	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03	1
0,4	1,14	1,12	1,07	1,04	1,02	1
0,3	1,07	1,05	1,04	1,02	1,01	1
0,2	1,03	1,02	1,02	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1

Tabel 7b Nilai  $c_{ly}$  untuk Gambar 10

$L_e/L$	$I_1/I_2$					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,5	1,40	1,27	1,15	1,08	1,04	1
0,4	1,20	1,16	1,09	1,05	1,03	1
0,3	1,13	1,08	1,05	1,03	1,02	1
0,2	1,04	1,03	1,02	1	1	1
0,1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1

- f. Dalam Tabel 5, 6, 7a, dan 7b,  $I_1$  adalah momen inersia penampang ujung dan  $I_2$  adalah momen inersia penampang tengah. Untuk tekuk pada arah sumbu-x, momen inersianya adalah  $I_{y1}$  dan  $I_{y2}$ . Untuk tekuk pada arah sumbu-y, momen inersianya adalah  $I_{x1}$  dan  $I_{x2}$ ;
- g. Untuk nilai-nilai  $L_e/L$  dan  $I_1/I_2$  yang berada di antara nilai-nilai yang tercantum pada tabel-tabel itu, nilai  $c_x$ ,  $c_{lx}$ ,  $c_{ly}$  ditentukan dengan cara interpolasi;
- h. Dalam hal pemeriksaan tekuk terhadap sumbu-x dan sumbu-y;

$$\lambda_{ix} = \frac{L_{kix}}{r_{x2}} \quad (6.8-1d)$$

$$\lambda_{iy} = \frac{L_{kiy}}{r_{y2}} \quad (6.8-1e)$$

Nilai koefisien tekuk  $\omega$  ditentukan dari nilai  $\lambda$  yang terbesar;

- i. Selanjutnya perhitungan kekuatan struktur keseluruhan dapat dilakukan sesuai dengan persamaan (6.1-1) dengan memperhatikan syarat-syarat panjang tekuk

## 6.9 Kolom pada bangunan portal

Selain harus memenuhi ketentuan pada bagian ini, komponen struktur yang menerima gaya tekan aksial atau kombinasi lentur dan tekan aksial harus juga memenuhi persyaratan-persyaratan yang ditetapkan pada bagian 7.

## 7 Perencanaan komponen struktur lentur

### 7.1 Perencanaan untuk lentur

#### 7.1.1 Umum

Dalam bagian ini yang dimaksud sumbu kuat adalah sumbu utama maksimum dan disebut juga sumbu-x, sedangkan yang dimaksud sumbu lemah adalah sumbu utama minimum dan disebut juga sumbu-y.

#### 7.1.2 Momen lentur terhadap sumbu kuat

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu kuat (sumbu-x), dan dianalisis dengan metode elastis, harus memenuhi :

$$M_{ux} \leq \phi M_n \quad (7.1-1)$$

dengan pengertian :

$M_{ux}$  adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm);

$\phi$  adalah faktor reduksi = 0,90;

$M_n$  adalah kuat nominal dari momen lentur penampang;  $M_n$  diambil nilai yang lebih kecil dari kuat nominal penampang untuk momen lentur terhadap sumbu-x yang ditentukan oleh sub-pasal 7.2, atau kuat nominal komponen struktur untuk momen lentur terhadap sumbu-x yang ditentukan oleh sub-pasal 7.3 pada balok biasa, atau 7.4 khusus untuk balok pelat berdinding penuh, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm).

#### 7.1.3 Momen lentur terhadap sumbu lemah

Suatu komponen struktur yang memikul momen lentur terhadap sumbu lemah (sumbu-y), dan dianalisis dengan metode elastis harus memenuhi:

$$M_{uy} \leq \phi M_n \quad (7.1-2)$$

dengan pengertian :

$M_{uy}$  adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu-y, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm);

$M_n$  adalah kuat lentur nominal penampang terhadap sumbu-y yang ditentukan pada sub-pasal 7.2, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm).

#### 7.1.4 Analisis plastis

Suatu komponen struktur yang dianalisis dengan metode plastis harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Berpenampang kompak (lihat Tabel 4);
- Memenuhi  $L \leq L_p$  (lihat Tabel 8), dimana  $L$  adalah panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan;
- Memenuhi sub-pasal 7.10.6;
- Memenuhi persyaratan berikut ini:

$$M_u \leq \phi M_n \quad (7.1-3)$$

dengan pengertian :

$M_u$  adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu-y, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm);

$M_n$  adalah kuat lentur nominal penampang yang ditentukan pada sub-pasal 7.2, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm).

### 7.1.5 Momen lentur terhadap sumbu sembarang (bukan sumbu utama)

- Suatu komponen struktur yang karena adanya kekangan, melentur pada suatu sumbu yang bukan sumbu utamanya harus memenuhi ketentuan pada pasal 7.16;
- Suatu komponen struktur yang tanpa dikekang melentur terhadap suatu sumbu yang bukan sumbu utamanya harus memenuhi ketentuan pada pasal 7.16.

### 7.1.6 Kombinasi lentur dengan gaya geser atau aksial

- Suatu komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan gaya geser harus memenuhi ketentuan pasal 7.1 dan 7.9;
- Suatu komponen struktur yang dibebani kombinasi lentur dan gaya tekan atau tarik aksial harus memenuhi ketentuan pada pasal 7.16.

## 7.2 Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal

### 7.2.1 Batasan momen

- Momen leleh  $M_y$  adalah momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh yaitu diambil sama dengan  $f_y S$  dan  $S$  adalah modulus penampang elastis yang ditentukan menurut sub-pasal 7.2.1(d);
- Kuat lentur plastis  $M_p$  momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh harus diambil yang lebih kecil dari  $f_y Z$  atau  $1,5 M_y$ , dan  $Z$  adalah modulus penampang plastis yang ditentukan dalam sub-pasal 7.2.1(d);
- Momen batas tekuk  $M_r$  diambil sama dengan  $S(f_y - f_r)$  dan  $f_r$  adalah tegangan sisa;
- Perhitungan modulus penampang elastis dan plastis harus dilakukan secermat mungkin dengan memperhitungkan adanya lubang-lubang, perbedaan tegangan leleh pada penampang hibrida, letak pelat tarik dan tekan, dan arah/sumbu lentur yang ditinjau sedemikian sehingga kuat momen yang dihasilkan berada dalam batas-batas ketelitian yang dapat diterima.

### 7.2.2 Kelangsingan penampang

Pengertian penampang kompak, tak-kompak, dan langsing suatu komponen struktur yang memikul lentur, ditentukan oleh kelangsingan elemen-elemen tekannya yang ditentukan pada Tabel 4.

### 7.2.3 Penampang kompak

Untuk penampang-penampang yang memenuhi  $\lambda \leq \lambda_p$ , kuat lentur nominal penampang adalah

$$M_n = M_p \quad (7.2-1a)$$

dengan pengertian :

$M_p$  adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm).

#### 7.2.4 Penampang tidak kompak

Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang ditentukan sebagai berikut:

$$M_n = M_p - (M_p - M_r) \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \quad (7.2-1b)$$

dengan pengertian:

$M_p$  adalah momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh disebut juga momen lentur plastis penampang, dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm);

$M_r$  adalah momen batas tekuk,  $M_{cr}$ , jika  $\lambda = \lambda_r$ , dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm);

$\lambda$  adalah parameter kelangsingan;

$\lambda_r$  adalah batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang tidak kompak;

$\lambda_p$  adalah batas maksimum parameter kelangsingan untuk penampang kompak.

#### 7.2.5 Penampang langsing

Untuk pelat sayap yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang adalah,

$$M_n = M_r (\lambda_r / \lambda)^2 \quad (7.2-1c)$$

Untuk pelat badan yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$  kuat lentur nominal penampang ditentukan pada pasal 7.4.

### 7.3 Kuat lentur nominal penampang dengan pengaruh tekuk lateral

#### 7.3.1 Batasan momen

- Untuk pelat badan yang memenuhi  $\lambda \geq \lambda_r$  dengan  $\lambda = h/t_w$  kuat lentur nominal penampang ditentukan pada pasal 7.4;
- Batasan  $M_y$ ,  $M_p$ , dan  $M_r$  dianut sesuai dengan sub-pasal 7.2.1;
- Momen kritis  $M_{cr}$  ditentukan dapat diambil sebagai berikut :
  - Untuk profil-I dan kanal ganda:

$$M_{cr} = C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w} \quad (7.3-1a)$$

- Untuk profil kotak pejal atau berongga:

$$M_{cr} = 2C_b E \frac{\sqrt{JA}}{L/r_y} \quad (7.3-1b)$$

dengan pengertian :

$E$  adalah modulus elastisitas baja, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$I_y$  adalah momen inersia pada sumbu-y, ( $\text{mm}^4$ );

$G$  adalah modulus geser baja, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$L$  adalah panjang bentang diantara dua pengekang lateral, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$I_w$  adalah konstanta warping, ( $\text{mm}^6$ );

$J$  adalah konstanta torsi, ( $\text{mm}^4$ );

$r_y$  adalah jari-jari girasi pada sumbu-y, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

d. Faktor pengali momen  $C_b$  ditentukan oleh persamaan (7.3-1c) :

$$C_b = \frac{12,5M_{\max}}{2,5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3 \quad (7.3-1c)$$

dengan pengertian :

$M_{\max}$  adalah momen maksimum absolut pada bentang yang ditinjau serta  $M_A$ ,  $M_B$ , dan  $M_C$  adalah masing-masing momen absolut pada  $\frac{1}{4}$  bentang, tengah bentang, dan  $\frac{3}{4}$  bentang komponen struktur yang ditinjau.

### 7.3.2 Pengekang lateral

Kuat komponen struktur dalam memikul momen lentur tergantung dari panjang bentang antara dua pengekang lateral yang berdekatan,  $L$ . Batas-batas bentang pengekang lateral ditentukan dalam Tabel 7.3-1.

### 7.3.3 Bentang pendek

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $L \leq L_p$  kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = M_p \quad (7.3-2a)$$

### 7.3.4 Bentang menengah

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $L_p \leq L \leq L_r$  kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur adalah

$$M_n = C_b \left[ M_r + (M_p - M_r) \frac{L_r - L}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad (7.3-2b)$$

dengan pengertian :

$L$  adalah panjang bentang diantara dua pengekang lateral terhadap displacement lateral dari sayap tekan, atau diantara dua pengekang untuk menahan potongan terhadap twist, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

### 7.3.5 Bentang panjang

Untuk komponen struktur yang memenuhi  $L \geq L_r$ , kuat nominal komponen struktur terhadap lentur adalah

$$M_n = M_{cr} \leq M_p \quad (7.3-2c)$$

Momen kritis  $M_{cr}$  ditentukan berdasarkan persamaan 7.3-1.

**Tabel 8 Panjang bentang untuk pengekanan lateral**

Profil	$L_p$	$L_r$
Profil-I dan kanal ganda	$1,76r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ <p>dengan</p> $r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$	$r_y \left[ \frac{X_1}{f_L} \right] \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$ <p>dengan</p> $f_L = f_y - f_r$ $X_1 = \frac{\pi}{S} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$ $X_2 = 4 \left( \frac{S}{GJ} \right)^2 \frac{I_w}{I_y}$
Profil kotak pejal atau berongga	$0,13Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_p}$	$2Er_y \frac{\sqrt{JA}}{M_r}$

## 7.4 Kuat lentur nominal balok pelat berdinding penuh

### 7.4.1 Batasan momen

- a. Balok pelat berdinding penuh dalam hal ini adalah balok yang mempunyai ukuran  $h/t_w > \lambda_r$ . Kuat lentur nominal komponen struktur dinyatakan dengan

$$M_n = K_g S f_{cr} \quad (7.4-1a)$$

Koefisien balok pelat berdinding penuh,  $K_g$  ditentukan sebagai berikut:

$$K_g = 1 - \left[ \frac{a_r}{1.200 + 300a_r} \right] \left[ \frac{h}{t_w} - \frac{2.550}{\sqrt{f_{cr}}} \right] \quad (7.4-1b)$$

dengan pengertian :

$S$  adalah modulus penampang, dinyatakan dalam milimeter kubik, ( $\text{mm}^3$ );

$f_{cr}$  adalah tegangan kritis yang ditentukan pada sub-pasal 7.4.3, 7.4.4 atau 7.4.5, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$a_r$  adalah perbandingan luas pelat badan terhadap pelat sayap tekan;

$h$  adalah tinggi bersih balok berdinging penuh (dua kali jarak dari garis netral ke tempat mulai antara alat penyambung di sisi tekan), dinyatakan dalam milimeter, (mm).

b. Faktor pengali momen  $C_b$  ditentukan oleh persamaan (7.3-1c).

#### 7.4.2 Kuat lentur berdasarkan faktor kelangsingan

Untuk kuat lentur balok pelat berdinging penuh diambil nilai terkecil dari keruntuhan akibat tekuk torsi lateral yang tergantung panjang bentang dan akibat tekuk lokal yang ditentukan oleh tebal pelat sayap.

##### 7.4.2.1 Faktor kelangsingan berdasarkan panjang bentang

Faktor kelangsingan berdasarkan panjang bentang dinyatakan dengan persamaan,

$$\lambda_G = L / r_t \quad (7.4-2a)$$

dengan pengertian :

$L$  adalah jarak antara pengekang lateral, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$r_t$  adalah jari-jari girasi daerah pelat sayap ditambah sepertiga bagian pelat badan yang mengalami tekan, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

Batas-batas kelangsingannya adalah:

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.4-2b)$$

$$\lambda_r = 4,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.4-2c)$$

##### 7.4.2.2 Faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap

Faktor kelangsingan berdasarkan tebal pelat sayap dinyatakan dengan persamaan,

$$\lambda_G = \frac{b_f}{2t_f} \quad (7.4-2d)$$

dengan pengertian :

$b_f$  adalah lebar pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$t_f$  adalah tebal pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

Batas-batas kelangsingannya adalah

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.4-2e)$$

$$\lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{k_e E}{f_y}} \quad (7.4-2f)$$

dengan  $k_e = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}$  dan  $0,35 \leq k_e \leq 0,763$

#### 7.4.3 Kasus $\lambda_G \leq \lambda_p$

Komponen struktur yang memenuhi  $\lambda_G \leq \lambda_p$  maka

$$f_{cr} = f_y \quad (7.4-3)$$

#### 7.4.4 Kasus $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$

Komponen struktur yang memenuhi  $\lambda_p \leq \lambda_G \leq \lambda_r$  maka

$$f_{cr} = C_b f_y \left( 1 - \frac{(\lambda_G - \lambda_p)}{2(\lambda_r - \lambda_p)} \right) \leq f_y \quad (7.4-4)$$

#### 7.4.5 Kasus $\lambda_r \leq \lambda_G$

Komponen struktur yang memenuhi  $\lambda_r \leq \lambda_G$  maka

$$f_{cr} = f_c \left( \frac{\lambda_r}{\lambda_G} \right)^2 \quad (7.4-5a)$$

$$f_c = \frac{C_b f_y}{2} \leq f_y \quad (7.4-5b)$$

jika ditentukan oleh tekuk torsi lateral (Sub-pasal 7.4.2.1); atau

$$f_c = \frac{f_y}{2} \quad (7.4-5c)$$

jika ditentukan oleh tekuk lokal (Sub-pasal 7.4.2.2)

### 7.5 Kasus-kasus lain

#### 7.5.1 Batasan perhitungan

Perhitungan-perhitungan yang ditentukan dalam pasal 7.2, 7.3, dan 7.4 berlaku bagi kasus-kasus umum, penampang simetris, prismatis, serta kondisi-kondisi pembebanan, perletakan, dan pengekangan yang ideal dengan menggunakan penyederhanaan-penyederhanaan lainnya.

#### 7.5.2 Cara perhitungan

Jika diperlukan ketelitian yang lebih tinggi ataupun bagi kasus yang tidak tercakup dalam sub-pasal 7.5.1, maka cara perhitungan untuk menentukan kuat lentur nominal dapat dilakukan dengan menggunakan analisis yang baku atau rujukan lain yang dapat diterima dan tidak bertentangan dengan ketentuan-ketentuan dalam standar ini.

## 7.6 Pelat badan

### 7.6.1 Persyaratan

- Ukuran dan susunan pelat badan balok pelat berdinging penuh, termasuk pengaku melintang dan memanjang, harus memenuhi sub-pasal 7.7;
- Pelat badan yang mengalami gaya geser harus memenuhi sub-pasal 7.8;
- Pelat badan yang mengalami gaya geser dan momen lentur harus memenuhi pasal 7.9;
- Pelat badan yang mengalami gaya tumpu harus memenuhi sub-pasal 7.10;
- Pengaku gaya tumpu dan tiang ujung harus memenuhi sub-pasal 7.11;
- Pengaku melintang di tengah harus memenuhi sub-pasal 7.12;
- Pengaku memanjang harus memenuhi sub-pasal 7.13;
- Untuk kasus yang tidak tercakup dalam butir-butir tersebut di atas, dapat dilakukan analisis yang rasional lainnya.

### 7.6.2 Definisi panel pelat badan

Panel pelat badan dengan tebal ( $t_w$ ) harus dianggap mencakup luas pelat yang tidak diperkaku dengan ukuran dalam arah memanjang,  $a$ , dan ukuran dalam arah tinggi balok,  $h$ . Batas-batas pelat badan adalah pelat sayap, pengaku memanjang, pengaku vertikal, atau tepi bebas.

### 7.6.3 Tebal minimum panel pelat badan

Kecuali dianalisis secara cermat untuk menghasilkan ukuran yang lebih kecil, tebal panel pelat badan harus memenuhi sub-pasal 7.7.1, 7.7.4, 7.7.5, dan 7.7.6.

## 7.7 Perencanaan pelat badan

### 7.7.1 Pelat badan yang tidak diperkaku

Ketebalan pelat badan yang tidak diperkaku dan dibatasi di kedua sisi memanjangnya oleh pelat sayap harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 3,57 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.7-1a)$$

Jika  $b/t$  dan  $h/t_w$  adalah 75% dari syarat batas, maka digunakan persamaan :

$$\frac{h}{t_w} + 4,68 \left( \frac{b}{t_f} \right) \leq 6,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.7-1b)$$

dengan pengertian :

$t_w$  adalah tebal pelat badan profil baja, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$h$  adalah tinggi bersih pelat sayap profil baja, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

$b$  adalah lebar pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$t_f$  adalah tebal pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

### 7.7.2 Pengaku pemikul beban

Pengaku pemikul beban harus diberikan berpasangan di tempat pembebanan jika gaya tumpu tekan yang disalurkan melalui pelat sayap melebihi kuat tumpu rencana ( $\phi R_b$ ) pelat badan yang ditentukan dalam sub-pasal 7.10.3, 7.10.4, 7.10.5 atau 7.10.6.

### 7.7.3 Pelat penguat samping

Pelat penguat samping tambahan dapat diberikan untuk menambah kekuatan pelat badan. Jika menjadi tidak simetris, maka pengaruhnya harus dipertimbangkan. Perhitungan gaya geser yang diterima dengan adanya pelat ini sedemikian rupa sehingga tidak melebihi jumlah gaya horisontal yang dapat disalurkan oleh alat sambung ke pelat badan dan pelat sayap.

### 7.7.4 Pelat badan dengan pengaku vertikal

Ketebalan pelat badan dengan pengaku vertikal tetapi tanpa pengaku memanjang harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 1,0 \leq a/h \leq 3,0 \quad (7.7-2)$$

$$(a/t_w) \leq 7,07 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 0,74 \leq a/h \leq 1,0 \quad (7.7-3)$$

$$(h/t_w) \leq 9,55 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } a/h \leq 0,74 \quad (7.7-4)$$

Semua pelat badan yang mempunyai  $a/h > 3,0$  harus dianggap tidak diperkaku, dengan  $h$  adalah tinggi panel yang terbesar di bentang tersebut.

### 7.7.5 Pelat badan dengan pengaku memanjang dan vertikal

Ketebalan pelat badan yang diberi pengaku-pengaku memanjang yang ditempatkan di salah satu sisi atau di kedua sisi pada jarak  $0,2h$  dari pelat sayap tekan harus memenuhi:

$$(h/t_w) \leq 8,83 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 1,0 \leq a/h \leq 3,0 \quad (7.7-5a)$$

$$(a/t_w) \leq 8,83 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } 0,74 \leq a/h \leq 1,0 \quad (7.7-5b)$$

$$(h/t_w) \leq 12,02 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } a/h \leq 0,74 \quad (7.7-5c)$$

Ketebalan pelat badan dengan pengaku-pengaku memanjang tambahan yang ditempatkan pada salah satu sisi atau di kedua sisi pelat badan pada sumbu netral harus memenuhi:

$$(h/t_w) \leq 14,14 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \text{jika } a/h \leq 1,5 \quad (7.7-5d)$$

### 7.7.6 Ketebalan pelat untuk komponen struktur yang dianalisis secara plastis

Tebal pelat badan yang mempunyai sendi plastis harus memenuhi

$$(h/t_w) \leq 2,90 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.7-6a)$$

Pengaku penumpu beban harus dipasang jika ada gaya tumpu atau gaya geser yang bekerja dalam jarak  $h/2$  dari lokasi sendi plastis dan beban tumpu perlu atau gaya geser perlu melewati 0,1 kali kuat geser rencana ( $\phi V_f$ ) suatu komponen yang ditentukan dengan sub-pasal 7.8.3.

Pengaku-pengaku ini harus ditempatkan dalam jarak  $h/2$  dari lokasi sendi plastis di kedua sisi sendi plastis tersebut dan harus direncanakan sesuai dengan pasal 7.11 untuk memikul gaya yang lebih besar di antara gaya tumpu atau gaya geser. Jika pengaku terbuat dari pelat lurus, kekakuannya ( $\lambda$ ) seperti didefinisikan dalam sub-pasal 7.2.2, dengan menggunakan tegangan leleh pengaku, harus lebih kecil dari batas plastisitas ( $\lambda_p$ ) yang ditentukan dalam sub-pasal 7.2.2.

Untuk penampang pipa, maka ketebalannya harus memenuhi

$$(D/t) \leq 0,045 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.7-6b)$$

dengan D adalah diameter pipa dan t ketebalan pipa.

### 7.7.7 Lubang di pelat badan

Kecuali untuk balok dengan kastelasi, lubang pada pelat badan boleh saja tidak diperkaku selama ukuran lubang bagian dalam yang terbesar ( $L_w$ ) memenuhi salah satu syarat berikut:

$$L_w/d \leq 0,10 \quad (\text{untuk pelat badan tanpa pengaku memanjang}), \text{ atau} \quad (7.7-7a)$$

$$L_w/d \leq 0,33 \quad (\text{untuk pelat badan dengan pengaku memanjang}) \quad (7.7-7b)$$

Jarak memanjang antara batas lubang yang berdekatan paling tidak tiga kali lebih besar daripada ukuran lubang bagian dalam yang terbesar. Di samping itu hanya satu bagian berlubang yang boleh tanpa pengaku, kecuali jika hasil analisis menunjukkan bahwa pengaku tidak dibutuhkan.

Perencanaan balok dengan kastelasi atau balok dengan lubang diperkaku harus berdasarkan analisis yang rasional.

## 7.8 Kuat geser pelat badan

### 7.8.1 Kuat geser

Pelat badan yang memikul gaya geser terfaktor ( $V_u$ ) harus memenuhi:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (7.8-1)$$

dengan pengertian :

$V_u$  adalah gaya geser terfaktor, dinyatakan dalam newton, (N);

$\phi$  adalah faktor reduksi sesuai Sub-pasal 4.5-2;

$V_n$  adalah kuat geser nominal pelat badan berdasarkan Sub-pasal 7.8.2, dinyatakan dalam newton, (N).

### 7.8.2 Kuat geser nominal

Kuat geser nominal ( $V_n$ ) pelat badan harus diambil seperti yang ditentukan di bawah ini:

a. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $h/t_w$  memenuhi;

$$(h/t_w) \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (7.8-2a)$$

dengan pengertian :

$$k_n = 5 + \frac{5}{(a/h)^2} \quad (7.8-2b)$$

Kuat geser nominal pelat badan harus diambil seperti seperti ditentukan dalam sub-pasal 7.8.3.

b. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $h/t_w$  memenuhi;

$$1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq (h/t_w) \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \quad (7.8-2c)$$

Kuat geser nominal pelat badan ditentukan dalam sub-pasal 7.8.4.

c. Jika perbandingan maksimum tinggi terhadap tebal panel  $h/t_w$  memenuhi;

$$1,37 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \leq (h/t_w) \quad (7.8-2d)$$

Kuat geser nominal pelat badan ditentukan dalam sub-pasal 7.8.5.

### 7.8.3 Kuat Geser

Kuat geser nominal pelat badan harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = 0,6f_y A_w \quad (7.8-3a)$$

dengan  $A_w$  adalah luas kotor pelat badan.

Kuat geser nominal ( $V_n$ ) penampang pipa harus dihitung sebagai berikut:

$$V_n = 0,36f_y A_e \quad (7.8-3b)$$

Dengan luas efektif penampang ( $A_e$ ) harus diambil sebagai luas kotor penampang bulat berongga jika tidak ada lubang yang besarnya lebih dari yang dibutuhkan untuk alat sambung atau luas bersih lebih besar dari 0,9 luas kotor. Jika tidak, luas efektif diambil sama dengan luas bersih.

### 7.8.4 Kuat tekuk geser elasto-plastis

Kuat tekuk geser elasto-plastis pelat badan adalah sebagai berikut:

$$V_n = 0,6f_y A_w \left[ 1,10 \sqrt{\frac{k_n E}{f_y}} \right] \frac{1}{(h/t_w)} \quad (7.8-4a)$$

atau

$$V_n = 0,6f_y A_w \left[ C_v + \frac{(1-C_v)}{1,15\sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \quad (7.8-4b)$$

dengan

$$C_v = 1,10 \frac{\sqrt{k_n E / f_y}}{(h/t_w)} \quad (7.8-4c)$$

### 7.8.5 Kuat tekuk geser elastis

Kuat tekuk geser elastis adalah sebagai berikut:

$$V_n = \frac{0,9A_w k_n E}{(h/t_w)^2} \quad (7.8-5a)$$

atau

$$V_n = 0,6f_y A_w \left[ C_v + \frac{(1-C_v)}{1,15\sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \quad (7.8-5b)$$

dengan

$$C_v = 1,5 \frac{k_n E}{f_y} \frac{1}{(h/t_w)^2} \quad (7.8-5c)$$

## 7.9 Interaksi geser dan lentur

### 7.9.1 Kuat geser pelat badan dengan adanya momen lentur

Kuat geser nominal pelat badan dengan adanya momen lentur harus dihitung menggunakan ketentuan sub-pasal 7.9.2 atau 7.9.3.

### 7.9.2 Metode distribusi

Jika momen lentur dianggap dipikul hanya oleh pelat sayap dan momen lentur terfaktor ( $M_u$ ) harus memenuhi:

$$M_u \leq \phi M_f \quad (7.9-2a)$$

dengan  $M_f$  adalah kuat lentur nominal dihitung hanya dengan pelat sayap saja dan ditentukan sebagai berikut:

$$M_f = A_f d_f f_y \quad (7.9-2b)$$

dengan pengertian :

$A_f$  adalah luas efektif pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$d_f$  adalah jarak antara titik berat pelat-pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

Balok harus memenuhi:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (7.9-2c)$$

dengan  $V_n$  adalah kuat geser nominal pelat badan yang ditentukan pada sub-pasal 7.8.2 dan  $\phi$  adalah faktor reduksi sesuai Sub-pasal 4.5.2.

### 7.9.3 Metode interaksi geser dan lentur

Jika momen lentur dianggap dipikul oleh seluruh penampang, maka selain memenuhi sub-pasal 7.1.1 dan 7.8.1, balok harus direncanakan untuk memikul kombinasi lentur dan geser yaitu:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \quad (7.9-3)$$

dengan pengertian :

$V_n$  adalah kuat geser nominal pelat badan akibat geser saja (lihat sub-pasal 7.8.2), dinyatakan dalam newton, (N);

$M_n$  adalah kuat lentur nominal balok (lihat sub-pasal 7.2 & 7.3, atau 7.4), dinyatakan dalam newton milimeter (N-mm).

## 7.10 Gaya tekan tumpu

### 7.10.1 Kuat tumpu

Kuat tumpu perlu ( $R_u$ ) pada pelat badan harus memenuhi

$$R_u \leq \phi R_b \quad (7.10-1)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi sesuai Sub-pasal 4.5.2;

$R_b$  adalah kuat tumpu nominal pelat badan akibat beban terpusat atau setempat, yang harus diambil nilai yang terkecil dari kuat tumpu yang ditentukan oleh Sub-pasal 7.10.3, 7.10.4, 7.10.6, 7.10.6 atau 7.10.7, dinyatakan dalam newton, (N).

### 7.10.2 Lentur pelat sayap

Kuat tumpu terhadap lentur pelat sayap adalah:

$$R_b = 6,25 t_f^2 f_y \quad (7.10-2)$$

dengan  $t_f$  adalah tebal pelat sayap yang dibebani gaya tekan tumpu.

### 7.10.3 Kuat leleh pelat badan

Kuat tumpu terhadap leleh suatu pelat badan adalah:

(a). bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih besar dari tinggi balok;

$$R_b = (5k + N) f_y t_w \quad (7.10-3a)$$

(b). bila jarak beban terpusat terhadap ujung balok lebih kecil atau sama dengan tinggi balok;

$$R_b = (2,5k + N) f_y t_w \quad (7.10-3b)$$

dengan pengertian :

$k$  adalah tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$N$  adalah dimensi longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar  $k$ , dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$t_w$  adalah tebal pelat badan, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

### 7.10.4 Kuat tekuk dukung pelat badan

Kuat pelat badan terhadap tekuk di sekitar pelat sayap yang dibebani adalah:

a. bila beban terpusat dikenakan pada jarak lebih dari  $d/2$  dari ujung balok:

$$R_b = 0,8 t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \quad (7.10-4a)$$

- b. bila beban terpusat dikenakan pada jarak kurang dari  $d/2$  dari ujung balok dan untuk  $N/d \leq 0,2$ :

$$R_b = 0,4t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \quad (7.10-4b)$$

atau, untuk  $N/d > 0,2$ :

$$R_b = 0,4t_w^2 \left[ 1 + \left\{ 4 \left( \frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E f_y t_f}{t_w}} \quad (7.10-4c)$$

### 7.10.5 Kuat tekuk lateral pelat badan

Kuat pelat badan terhadap tekuk lateral adalah:

- a. untuk pelat sayap yang dikekang terhadap rotasi dan dihitung bila  $(h/t_w)(L/b_f) \leq 2,3$ ;

$$R_b = \frac{C_r E t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 1 + 0,4 \frac{(h/t_w)^3}{(L/b_f)^3} \right] \quad (7.10-5a)$$

- b. untuk pelat sayap yang tidak dikekang terhadap rotasi dan dihitung jika  $(h/t_w)(L/b_f) \leq 1,7$ ;

$$R_b = \frac{C_r E t_w^3 t_f}{h^2} \left[ 0,4 \frac{(h/t_w)^3}{(L/b_f)^3} \right] \quad (7.10-5b)$$

dengan pengertian :

$C_r$  adalah 3,25 untuk  $M \leq My$

adalah 1,62 untuk  $M > My$

### 7.10.6 Kuat tekuk lentur pelat badan

Kuat pelat badan terhadap tekuk lentur akibat gaya tekan adalah

$$R_b = \frac{24,08 t_w^3}{h} \sqrt{E f_y} \quad (7.10-6)$$

### 7.10.7 Kuat geser daerah panel

Daerah panel adalah pelat badan yang keempat sisinya dibatasi oleh pelat-pelat sayap balok dan kolom pada sambungan balok-kolom. Kuat geser daerah panel ditentukan sesuai pasal 7.14.

## 7.11 Perencanaan pengaku penumpu beban

### 7.11.1 Ukuran pengaku

Jika kekuatan pelat badan  $R_b$  yang dihitung dalam sub-pasal 7.10.3, 7.10.4, 7.10.5, dan 7.10.6 tidak memenuhi syarat, maka harus dipasang pengaku sedemikian sehingga

$$R_u - \phi R_b \leq A_s f_y \quad (7.11-1)$$

dengan  $A_s$  adalah luas pengaku.

### 7.11.2 Lebar pengaku

Lebar pengaku pada setiap sisi pelat badan harus lebih besar dari sepertiga lebar pelat sayap dikurangi setengah tebal pelat badan.

### 7.11.3 Tebal pengaku

Tebal pengaku harus lebih tebal dari setengah tebal pelat sayap dan memenuhi

$$\frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (7.11-2)$$

dengan pengertian:

$t_s$  adalah ketebalan pengaku, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$b_s$  adalah lebar pengaku, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

## 7.12 Perencanaan pengaku vertikal

### 7.12.1 Pemasangan pengaku

Bila kuat geser pelat badan pada sub-pasal 7.8.4 dan 7.8.5 tidak memenuhi syarat maka pengaku vertikal dipasang untuk mengubah ukuran panel pelat badan. Pengaku vertikal pada pelat badan harus berada di antara kedua pelat sayap dan jarak ujungnya dari pelat sayap tidak boleh lebih dari empat kali tebal pelat badan. Pengaku vertikal dipasang di salah satu sisi atau di kedua sisi pelat badan.

### 7.12.2 Luas minimum

Pengaku vertikal yang tidak menerima beban luar secara langsung atau momen harus mempunyai luas  $A_s$  yang memenuhi:

$$A_s \geq 0,5 \cdot \gamma \cdot A_w (1 - C_v) \left\{ (a/h) - \frac{(a/h)^2}{\sqrt{1 + (a/h)^2}} \right\} \quad (7.12-1)$$

dengan pengertian :

$C_v$  adalah perbandingan antara kuat geser yang ditentukan pada Sub-pasal 7.8.4 atau 7.8.5 terhadap kuat geser yang ditentukan oleh Sub-pasal 7.8.3;

$A_w$  adalah luas pelat badan, dinyatakan dalam milimeter per segi, (mm<sup>2</sup>);

$\gamma = 1,0$  untuk sepasang pengaku;

$= 1,8$  untuk pengaku siku tunggal;

$= 2,4$  untuk pengaku pelat tunggal.

### 7.12.3 Kekakuan minimum

Pengaku vertikal pada pelat badan yang tidak menerima beban luar secara langsung atau momen harus mempunyai momen inersia ( $I_s$ ) terhadap garis tengah bidang pelat badan

$$I_s \geq 0,75ht_w^3 \quad \text{untuk } (a/h) \leq \sqrt{2} \quad (7.12-2a)$$

$$I_s \geq \frac{1,5h^3t_w^3}{a^2} \quad \text{untuk } (a/h) > \sqrt{2} \quad (7.12-2b)$$

## 7.13 Perencanaan pengaku memanjang

### 7.13.1 Pemasangan

Pengaku memanjang dipasang jika pelat badan tidak memenuhi syarat yang ditetapkan pada sub-pasal 7.7.5. Pengaku memanjang pada pelat badan harus menerus dan harus mencapai pengaku melintang pada pelat badan.

### 7.13.2 Kekakuan minimum

Jika pengaku memanjang diperlukan pada jarak  $0,2h$  dari pelat sayap tekan, pengaku tersebut harus mempunyai momen inersia ( $I_s$ ) terhadap muka pelat badan sedemikian sehingga

$$I_s \geq 4ht_w^3 \left[ 1 + \frac{4A_s}{A_w} \left( 1 + \frac{A_s}{A_w} \right) \right] \quad (7.13-1)$$

dengan  $A_s$  adalah luas pengaku memanjang.

Jika pada garis netral penampang dibutuhkan pengaku memanjang yang kedua, pengaku tersebut harus mempunyai momen inersia ( $I_s$ ) terhadap muka pelat badan

$$I_s \geq ht_w^3 \quad (7.13-2)$$

## 7.14 Daerah panel

Daerah panel adalah pelat badan yang keempat sisinya dibatasi oleh pelat-pelat sayap balok dan kolom pada sambungan balok-kolom.

### 7.14.1 Kuat geser daerah panel

Jika gaya geser terfaktor yang terjadi pada daerah panel tersebut melebihi  $R_v$ , maka harus dipasang pelat pengganda atau pengaku diagonal.

### 7.14.2 Perhitungan $R_v$

- a. Jika dalam analisis rangka stabilitas daerah panel tidak diperhitungkan, maka, untuk  $N_u \leq 0,4 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \quad (7.14-2a)$$

untuk  $N_u > 0,4 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \left( 1,4 - \frac{N_u}{N_y} \right) \quad (7.14-2b)$$

- b. Jika dalam analisis rangka stabilitas daerah panel diperhitungkan, maka untuk  $N_u \leq 0,75 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \left( 1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \quad (7.14-2c)$$

untuk  $N_u > 0,75 N_y$

$$R_v = 0,6 f_y d_c t_w \left( 1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_w} \right) \left( 1,9 - \frac{1,2 N_u}{N_y} \right) \quad (7.14-2d)$$

### 7.14.3 Syarat pelat perkuatan

Jika digunakan pelat pengganda maka harus memenuhi syarat-syarat pasal 7.8 sedangkan jika digunakan pengaku diagonal maka harus memenuhi syarat-syarat sub-pasal 7.1 1.

## 7.15 Pengekang lateral

### 7.15.1 Pengekang lateral berupa batang harus mampu memikul gaya tekan terfaktor $N_u$ sebesar:

$$N_u = 0,01 A_t f_y \frac{L}{L_{kr}} \quad (7.15-1)$$

dengan pengertian:

$A_t$  adalah luas sayap tertekan penampang komponen struktur yang dikekang jika berpenampang kompak atau luas bagian tertekan jika berpenampang tak kompak, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

$f_y$  adalah tegangan leleh batang pengekang, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$L$  adalah jarak antara pengekang lateral, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$L_{kr}$  adalah panjang tekuk batang pengekang lateral, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

Jarak pengekang lateral ke tepi luar sayap tertekan tidak boleh lebih dari 1/3 tinggi penampang komponen struktur yang dikekang.

## 7.16 Interaksi aksial dan lentur

### 7.16.1 Umum

Ketentuan pada sub-pasal ini berlaku untuk komponen struktur prismatis yang mengalami kombinasi gaya aksial, momen lentur (terhadap satu atau kedua sumbu simetris penampang), dan torsi.

### 7.16.2 Gaya dan momen terfaktor

Dalam sub-pasal ini:

- $N_u$  merupakan gaya aksial terfaktor (tarik atau tekan) yang terbesar yang bekerja pada komponen struktur;
- $M_u$ , yaitu  $M_{ux}$  dan  $M_{uy}$ , merupakan momen lentur terfaktor (terhadap sumbu-x dan sumbu-y) yang terbesar yang dihasilkan oleh beban pada rangka dan beban lateral pada komponen struktur, dan telah memperhitungkan kontribusi momen lentur orde kedua yang terjadi pada konfigurasi struktur yang telah berdeformasi.

### 7.16.3 Komponen struktur dengan penampang simetris yang mengalami momen lentur dan gaya aksial

Komponen struktur yang mengalami momen lentur dan gaya aksial harus direncanakan memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_c N_n} \geq 0,2 :$$

$$\frac{N_u}{\phi_c N_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (7.16.1a)$$

$$\text{Untuk } \frac{N_u}{\phi_c N_n} < 0,2 :$$

$$\frac{N_u}{2\phi_c N_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1,0 \quad (7.16.1b)$$

dengan pengertian :

$N_u$  adalah gaya aksial (tarik atau tekan) terfaktor, dinyatakan dalam newton, (N);

$N_n$  adalah kuat nominal penampang, dinyatakan dalam newton, (N);

- sesuai sub-pasal 5.1 bila  $N_u$  adalah gaya aksial tarik, atau
- sesuai sub-pasal 6-2 atau 6-3 bila  $N_u$  adalah gaya aksial tekan

$\phi_c$  adalah faktor reduksi kekuatan komponen tekan;

$M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu-x dan sumbu-y sesuai sub-pasal

7.16.2(b), dinyatakan dalam newton milimeter, (N-mm);

$M_{nx}$ ,  $M_{ny}$  adalah kuat nominal lentur penampang terhadap sumbu-x dan sumbu-y menurut bagian 6 untuk kasus yang relevan, dinyatakan dalam newton milimeter, (N-mm);

$\phi_b = 0,90$  adalah faktor reduksi kuat lentur

**7.16.3.1** Komponen struktur berpenampang I dengan rasio  $b_f/d \leq 1,0$  dan komponen struktur berpenampang kotak, apabila komponen struktur tersebut merupakan bagian dari struktur rangka dengan ikatan (bresing).

$$\left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M'_{px}} \right)^\zeta + \left( \frac{M_{uy}}{\phi_b M'_{py}} \right)^\zeta \leq 1,0 \quad (7.16-2)$$

$$\left( \frac{c_{mx} M_{ux}}{\phi_b M'_{nx}} \right)^\eta + \left( \frac{c_{my} M_{uy}}{\phi_b M'_{ny}} \right)^\eta \leq 1,0 \quad (7.16-3)$$

a. Komponen struktur berpenampang I :

$$\text{untuk } b_f/d < 0,5: \quad \zeta = 1,0 \quad (7.16-4)$$

$$\text{untuk } 0,5 \leq b_f/d \leq 1,0: \quad \zeta = 1,6 - \frac{N_u/N_y}{2 \ln(N_u/N_y)} \quad (7.16-5)$$

$$\text{untuk } b_f/d < 0,3: \quad \eta = 1,0 \quad (7.16-6)$$

$$\text{untuk } 0,3 \leq b_f/d \leq 1,0: \quad \eta = 0,4 + \frac{N_u}{N_y} + \frac{b_f}{d} \geq 1,0 \quad (7.16-7)$$

dengan pengertian :

$b_f$  adalah lebar pelat sayap, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$d$  adalah tinggi penampang, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$c_m$  adalah koefisien lentur kolom.

$$M'_{px} = 1,2 M_{px} \left[ 1 - \left( \frac{N_u}{N_y} \right) \right] \leq M_{px} \quad (7.16-8)$$

$$M'_{py} = 1,2 M_{py} \left[ 1 - \left( \frac{N_u}{N_y} \right)^2 \right] \leq M_{py} \quad (7.16-9)$$

$$M'_{nx} = M_{nx} \left( 1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left( 1 - \frac{N_u}{N_{crx}} \right) \quad (7.16-10)$$

$$M'_{ny} = M_{ny} \left( 1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left( 1 - \frac{N_u}{N_{cry}} \right) \quad (7.16-11)$$

b. Komponen struktur berpenampang boks:

$$\zeta = 1,7 - \frac{N_u/N_y}{\ln(N_u/N_y)} \quad (7.16-12)$$

$$\eta = 1,7 - \frac{N_u/N_y}{\ln(N_u/N_y)} - a\lambda_x \left( \frac{N_u}{N_y} \right)^b > 1,1 \quad (7.16-13)$$

untuk  $N_u/N_y \leq 0,4$ :  $a = 0,06$ ;  $b = 1,0$

untuk  $N_u/N_y > 0,4$ :  $a = 0,15$ ;  $b = 2,0$

$$M'_{px} = 1,2M_{px} \left[ 1 - \left( \frac{N_u}{N_y} \right) \right] \leq M_{px} \quad (7.16-14)$$

$$M'_{py} = 1,2M_{py} \left[ 1 - \left( \frac{N_u}{N_y} \right) \right] \leq M_{py} \quad (7.16-15)$$

$$M'_{nx} = M_{nx} \left( 1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left( 1 - \frac{N_u}{N_{crx}} \frac{1,25}{(B/H)^{1/3}} \right) \quad (7.16-16)$$

$$M'_{ny} = M_{ny} \left( 1 - \frac{N_u}{\phi_c N_n} \right) \left( 1 - \frac{N_u}{N_{cry}} \frac{1,25}{(B/H)^{1/2}} \right) \quad (7.16-17)$$

$$N_y = A_g f_y \quad (7.16-18)$$

dan

$$N_{cr} = \frac{A_g f_y}{\lambda_c^2} \quad (7.16-19)$$

dengan pengertian :

$\lambda_c$  adalah parameter kelangsingan menurut pasal 6.2 atau 6.3;

$M_{px}$  adalah momen plastis terhadap sumbu-x  $\leq 1,5 f_y S_x$ , dinyatakan dalam newton milimeter, (N-mm);

$M_{py}$  adalah momen plastis terhadap sumbu-y  $\leq 1,5 f_y S_y$ , dinyatakan dalam newton milimeter, (N-mm);

$S_x$  dan  $S_y$  adalah modulus penampang terhadap sumbu-x dan -y, dinyatakan dalam milimeter kubik, (mm<sup>3</sup>);

$B$  adalah lebar luar penampang kotak, sejajar sumbu utama x, dinyatakan dalam milimeter, (mm);

$H$  adalah tinggi luar penampang kotak, tegak lurus sumbu utama x, dinyatakan dalam milimeter, (mm).

Perencanaan dengan menggunakan persamaan interaksi yang berbeda dari ketentuan di atas dapat dilakukan bila dapat dibuktikan dengan perhitungan yang dapat diterima.

#### 7.16.4 Komponen struktur dengan penampang tak-simetris, dan komponen struktur yang mengalami pembebanan puntir dan kombinasi

Ketentuan berikut ini berlaku bagi jenis komponen struktur dan jenis pembebanan yang tidak termasuk dalam uraian sub-pasal 7.16.3 di atas, yaitu:

- komponen struktur yang tak-simetris,
- pembebanan puntir,
- pembebanan kombinasi: puntir, lentur, gaya lintang, dan/atau gaya aksial.

Kuat rencana dari komponen struktur,  $\phi f_y$ , harus selalu lebih besar atau sama dengan kuat perlu komponen struktur yang dinyatakan dengan tegangan normal,  $f_{un}$ , atau tegangan geser,  $f_{uv}$ :

- Untuk kondisi batas pada kasus leleh akibat tegangan normal:

$$f_{un} \leq \phi f_y, \text{ dengan } \phi = 0,90$$

- Untuk kondisi batas pada kasus leleh akibat gaya geser:

$$f_{uv} \leq 0,6\phi f_y, \text{ dengan } \phi = 0,90$$

- Untuk kondisi batas pada kasus tekuk:

$$f_{un} \text{ atau } f_{uv} \leq \phi_c f_{cr}, \text{ dengan } \phi_c = 0,85$$

## 8 Perencanaan gelagar komposit

### 8.1 Umum

Unsur komposit dalam lentur terdiri dari gelagar baja dan lantai beton, tahanan geser pada permukaan antara lantai dan gelagar diadakan dengan hubungan mekanikal. Kekuatan lentur gelagar komposit ditentukan dengan cara rencana keadaan batas ultimit.

### 8.2 Analisis gelagar komposit

#### 8.2.1 Lebar efektif sayap beton

Pengaruh geser dalam lantai beton harus diperhitungkan. Kecuali Ahli Teknik Perencana melakukan analisis lengkap, geser dapat diperhitungkan dengan menggunakan suatu lebar efektif lantai seperti yang dijelaskan dalam pasal ini.

Bila lantai beton meliputi kedua sisi badan gelagar, lebar efektif lantai harus diambil sebagai nilai terkecil dari:

- $1/5$  x panjang bentang gelagar untuk bentang sederhana atau  $1/7$  panjang bentang gelagar untuk bentang menerus;
- jarak pusat-pusat antara badan gelagar, dan
- $1/12$  x tebal minimum lantai.

Bila lantai beton hanya ada pada satu sisi dari gelagar, lebar efektif lantai harus diambil sebagai setengah dari nilai yang dihitung dalam butir-butir a, b atau c di atas.

Lebar efektif lantai harus digunakan untuk menghitung besaran penampang gelagar komposit pada keadaan batas layan dan ultimit.

### 8.2.2 Lendutan pada beban layan

Dalam perhitungan lendutan pada keadaan batas layan atau keadaan tegangan kerja, Perencana harus memperhatikan urutan pelaksanaan dan pengaruh setiap beban yang bekerja pada gelagar baja sebelum terjadi aksi komposit penuh.

Lendutan dapat dihitung dengan menggunakan teori elastis dengan menganggap interaksi penuh antara beton dan gelagar baja dan mengabaikan beton yang tertarik. Modulus elastisitas beton pada umur tertentu,  $E_{cj}$  bisa diambil dari salah satu seperti berikut :

a. diambil berikut :

$$E_{cj} = W_c^{1,5} (0,043 \sqrt{f'_c}) \quad (8.2-1)$$

dengan  $W_c$  dikatakan dengan  $\text{kg/m}^3$  dan  $f'_c$  dikatakan dengan MPa, dengan pertimbangan bahwa kenyataannya harga ini berkisar  $\pm 20 \%$ ; atau

b. ditentukan dari hasil pengujian sehubungan dengan bagian - bagian yang cocok dari spesifikasi yang dikeluarkan.

Bila beban tetap bekerja pada gelagar komposit, pengaruh rangkai beton harus diperhitungkan dengan menggunakan nilai reduksi dari modulus elastis beton.

### 8.2.3 Gelagar komposit menerus

Analisis untuk momen lentur memanjang dan gaya geser serta reaksi yang berkaitan, harus dihitung dengan menggunakan momen inersia transformasi dari penampang komposit dengan menganggap:

- Beton tidak retak dalam daerah momen positif maupun negatif.
- Lantai beton mempunyai lebar efektif yang ditentukan sesuai sub-pasal 8.2.1
- Beton telah mencapai kekuatan minimal  $0,5 f'_c$  sebelum beban bekerja.

## 8.3 Kekuatan lentur gelagar komposit

### 8.3.1 Rencana keadaan batas ultimit

#### 8.3.1.1 Kekuatan gelagar

Gelagar komposit harus memenuhi syarat yang berikut ini:

$$M^* \leq \phi M_s \quad (8.3-1)$$

### 8.3.1.2 Daerah momen positif

Dalam daerah momen positif di mana lantai beton berada dalam tekanan, boleh dianggap bahwa lantai beton menyediakan kekangan menerus kepada sayap atas gelagar baja. Dalam hal ini penampang komposit harus direncanakan sesuai ketentuan dibawah ini.

#### a. Penampang kompak

Untuk penampang komposit dalam daerah momen positif (sub-pasal 8.3.1.2) dengan gelagar tanpa menggunakan pengaku badan memanjang dan tanpa lubang pada pelat sayap profil baja yang tertarik serta sumbu garis netral momen plastis berada di atas bagian badan, harus direncanakan memenuhi persyaratan pada persamaan dibawah ini :

$$\frac{2h_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} \quad (8.3-2)$$

dengan pengertian :

$h_{cp}$  adalah tinggi badan profil baja yang tertekan pada perhitungan plastis yang dihitung dengan persamaan 8.3-9 dan 8.3-10 , dinyatakan dalam milimeter (mm),

$t_w$  adalah ketebalan pelat badan profil pelat baja, dinyatakan dalam milimeter (mm),

$$\frac{h_{cp}}{h'} \leq 5$$

dengan pengertian :

$$h' = \beta \frac{(H + t_p + t_h)}{7,5}$$

$\beta$  adalah  $\beta = 0,9$ , untuk  $f_y \leq 250$  MPa dan  $\beta = 0,7$ , untuk  $f_y > 250$  MPa.

$H$  adalah tinggi total girder (dari serat atas sampai serat bawah), dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$t_p$  adalah ketebalan pelat lantai, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$t_h$  adalah tebal bantalan antara pelat lantai dengan serat atas profil baja, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

Untuk distribusi tekanan plastis dihitung sebagai berikut:

1. Kekuatan tekanan pada pelat lantai C, sama dengan yang paling kecil untuk nilai-nilai yang diberi oleh persamaan berikut:

$$C = 0,85f'_c b_p t_p + (Afy)_c \quad (8.3-5)$$

dengan pengertian :

$b_p$  adalah lebar pelat lantai efektif, yang ditetapkan pasal 8.2.1

$t_p$  adalah ketebalan pelat lantai, dinyatakan dalam milimeter, mm

$(Afy)_c$  adalah  $A$ , luas daerah pelat lantai beton yang tertekan, dinyatakan dalam milimeter persegi ( $\text{mm}^2$ ); dan  $f_y$  adalah tegangan leleh baja tulangan yang tertekan pada pelat lantai, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$$C = (Afy)_{bf} + (Afy)_{tf} + (Afy)_w \quad (8.3-6)$$

dengan pengertian :

$(Afy)_{bf}$  adalah  $A$ , luas daerah pelat baja serat bawah, dinyatakan dalam milimeter persegi ( $\text{mm}^2$ ); dan  $f_y$  adalah tegangan leleh pelat baja serat bawah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$(Afy)_{tf}$  adalah  $A$ , luas daerah pelat baja serat atas, dinyatakan dalam milimeter persegi ( $\text{mm}^2$ ); dan  $f_y$  adalah tegangan leleh pelat baja serat atas, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

$(Afy)_w$  adalah  $A$ , luas daerah badan, dinyatakan dalam milimeter persegi ( $\text{mm}^2$ ); dan  $f_y$  adalah tegangan leleh pelat baja serat atas, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);

2. Kedalaman daerah tekan pada pelat lantai,  $a$ , yang dinyatakan dalam milimeter (mm) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$a = \frac{C - (Afy)_c}{0,85 f_c' b_p} \quad (8.3-7)$$

3. Ketika kekuatan tekan pada pelat lantai kurang dari nilai yang diberi oleh persamaan (8.3-6), maka bagian serat atas profil baja akan tertekan dengan nilai yang diberi oleh persamaan yang berikut:

$$C' = \frac{\Sigma(Afy) - C}{2} \quad (8.3-8)$$

4. Penempatan garis netral, di dalam profil baja yang diukur dari puncak profil baja adalah ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } C' < (Afy)_{tf} , \quad \bar{y} = \frac{C'}{(Afy)_{tf}} t_f \quad (8.3-9)$$

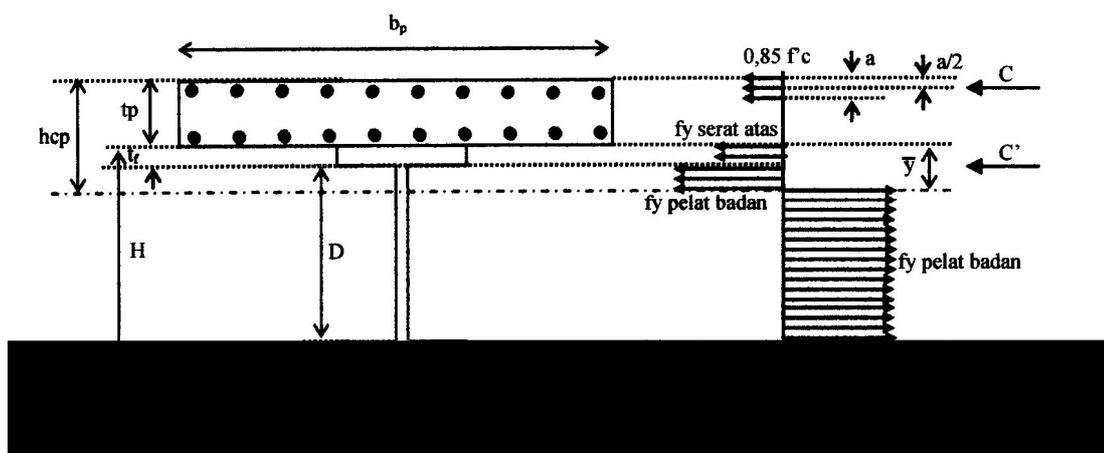
$$\text{Untuk } C' \geq (Afy)_{tf} , \quad \bar{y} = t_f + \frac{C' - (Afy)_{tf}}{(Afy)_w} D \quad (8.3-10)$$

dengan pengertian :

$\bar{y}$  adalah garis netral dari serat atas profil pelat baja, dinyatakan dalam milimeter (mm),

$t_f$  adalah ketebalan profil pelat baja pada daerah serat atas, dinyatakan dalam milimeter (mm),

$D$  adalah tinggi bersih badan profil baja, dinyatakan dalam milimeter (mm),



**Gambar 12 Distribusi tegangan plastis**

Untuk kekuatan lentur nominal penampang  $M_s$ , harus ditentukan dari rumus sebagai berikut:

1. untuk  $h_{cp} \leq h'$

$$M_s = M_p \quad (8.3-11)$$

dengan  $M_p$  adalah kekuatan lentur nominal penampang yang ditentukan dengan teori plastis sederhana.

2. untuk  $h' \leq h_{cp} \leq 5h'$

$$M_s = \frac{5M_p - 0,85M_y}{4} + \frac{0,85M_y - M_p}{4} \left( \frac{h_{cp}}{h'} \right) \quad (8.3-12)$$

dengan pengertian :

- $M_p$  adalah kekuatan lentur nominal penampang yang ditentukan dengan teori plastis sederhana, dinyatakan dalam Newton-meter, (N-m)  
 $M_y$  adalah momen kapasitas pada saat terjadi leleh pertama pada gelagar baja komposit akibat momen positif,  $f_y.Z$ , dinyatakan dalam Newton-meter, (N-m)  
 $Z$  adalah modulus penampang bagian profil gelagar yang tertarik, dan untuk transformasi penampang beton menjadi baja dapat digunakan modulus rasio,  $n$ .  
 $H$  adalah tinggi total girder (dari serat atas sampai serat bawah), dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $t_p$  adalah ketebalan pelat lantai, dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $t_h$  adalah tebal bantalan antara pelat lantai dengan serat atas profil baja, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

- b. Penampang tidak kompak

Penampang tidak kompak adalah suatu dimana serat-serat tertekan akan menekuk setempat setelah mencapai tegangan leleh, tetapi sebelum pengerasan regangan. Penampang tidak kompak memiliki daktilitas terbatas dan mungkin tidak mampu mengembangkan kekuatan lentur plastis penuh. Untuk penampang yang memenuhi  $\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$ , kuat lentur nominal penampang ditentukan menurut pasal 7.2.4.

### 8.3.1.3 Daerah momen negatif

#### a. Penampang kompak

Untuk penampang komposit kompak dalam daerah momen negatif dengan gelagar tanpa menggunakan pengaku badan memanjang dan tanpa lubang pada pelat sayap profil baja yang tertarik serta sumbu garis netral momen plastis berada di atas bagian badan, harus direncanakan memenuhi persyaratan pada pasal 7.6.

Untuk kekuatan lentur nominal penampang  $M_s$ , harus menghitung resultan momen pada distribusi tegangan plastis penuh dan memperhitungkan tulangan baja pelat lantai komposit.

Jika jarak dari sumbu garis netral terhadap pelat sayap tertekan adalah  $D/2$ , maka harus memenuhi persamaan 7.7-1 dengan modifikasi  $D$  menjadi  $2h_{cp}$ .

#### b. Penampang tidak kompak

Dalam daerah momen negatif di mana lantai beton mengalami tarik, penampang komposit harus direncanakan sesuai pasal 7.2.4, tergantung pada kelangsingan penampang.

### 8.3.2 Gelagar hibrida

Kekuatan lentur nominal penampang,  $M_s$ , atau momen efektif kedua dari luas,  $I_{se}$ ,  $I_{pe}$  dan  $I_{te}$  dari gelagar hibrid harus ditentukan dengan mengalikan nilai relevan yang diperoleh dari sub-pasal 8.3.1. Dalam daerah momen positif dimana lantai beton berada dalam tekanan boleh dianggap bahwa lantai beton mengadakan tahanan menerus pada flens atas dari gelagar baja. Dalam hal ini, penampang komposit harus direncanakan yang sesuai, dengan faktor reduksi,  $\alpha_n$ , untuk penampang tidak simetris.

### 8.3.3 Kekuatan lentur dengan penahan lateral penuh

Kekuatan lentur nominal gelagar dari segmen dengan penahan lateral penuh harus diambil sebagai kekuatan lentur nominal penampang pada potongan kritis.

### 8.3.4 Kekuatan lentur tanpa penahan lateral penuh

Kekuatan lentur gelagar dari segmen tanpa sokongan lateral penuh harus ditentukan, dengan mengabaikan pengaruh lantai beton.

### 8.4 Kapasitas geser vertikal

Kapasitas geser vertikal penampang komposit harus ditentukan hanya untuk penampang baja, dengan mengabaikan setiap aksi komposit.

### 8.5 Permasalahan cara pelaksanaan

Dalam peninjauan kekuatan dan kekakuan balok komposit perlu diperhatikan cara pelaksanaan seperti *unshored* dan *shored construction*.

## 8.6 Perencanaan hubungan geser

### 8.6.1 Umum

Hubungan geser dan tulangan melintang harus disediakan sepanjang gelagar untuk menyalurkan gaya geser memanjang dan gaya pemisah antara lantai beton dan gelagar baja, dengan mengabaikan pengaruh ikatan antara kedua bahan tersebut.

### 8.6.2 Cara perencanaan

Geser memanjang per satuan panjang gelagar komposit  $V_L^*$  harus ditentukan dengan cara sebagai berikut :

- a. Untuk cara perencanaan keadaan batas.

$$V_L^* = \frac{V^* A_t Y_c}{I_t} \quad (8.6-1)$$

dengan pengertian :

$V_L^*$  adalah gaya geser longitudinal rencana persatuan panjang pada salah satu keadaan batas ultimit atau keadaan batas kelayakan, dinyatakan dalam Newton, (N)

$V^*$  adalah gaya geser rencana untuk keadaan batas sesuai akibat lentur pada potongan yang ditinjau, dinyatakan dalam Newton, (N)

- b. Untuk rencana tegangan kerja :

$$V_L = \frac{V A_t Y_c}{I_t} \quad (8.6-2)$$

dengan pengertian :

$V_L$  adalah gaya geser longitudinal rencana persatuan panjang pada rencana beban tegangan kerja, dinyatakan dalam Newton, (N)

$V$  adalah gaya geser rencana pada beban tegangan kerja, akibat lentur pada potongan yang ditinjau, dinyatakan dalam Newton, (N)

dalam kedua kasus :

$A_t$  adalah Luas transformasi dari lantai beton, diperhitungkan untuk lebar efektif, dinyatakan dalam milimeter persegi, ( $\text{mm}^2$ )

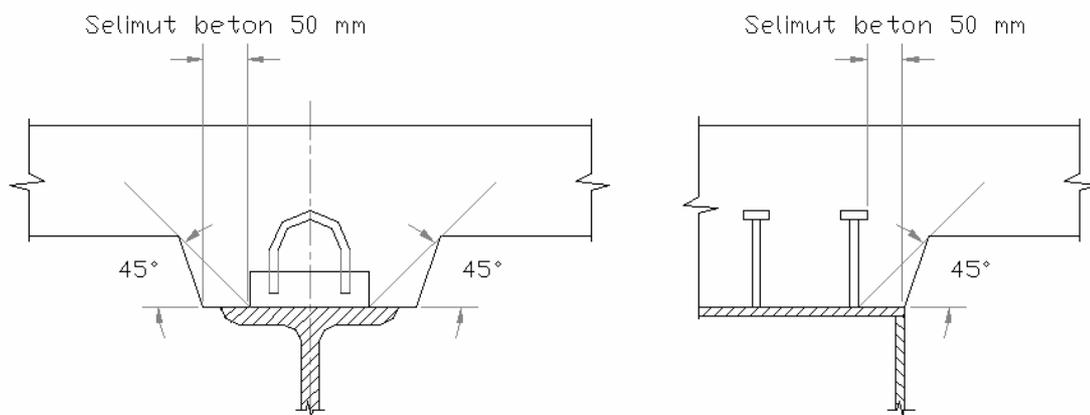
$Y_c$  adalah jarak garis netral penampang komposit terhadap titik berat luas  $A_t$ , dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$I_t$  adalah momen kedua dari luas penampang komposit transformasi, menganggap beton tanpa retak dan memperhitungkan lebar efektif lantai

Apabila momen kedua dari luas penampang komposit bervariasi cukup besar sepanjang segmen harus diperhatikan variasi kekakuan dalam perhitungan aliran geser. Hubungan geser sendiri harus direncanakan dengan cara perencanaan keadaan batas.

### 8.6.3 Detil hubungan geser

- a. Permukaan hubungan yang menahan gaya pemisah (yaitu tepi bawah kepala paku penghubung atau sayap atas dari kanal) harus diteruskan tidak kurang dari 40 mm bersih di atas tulangan melintang bawah, dan tidak kurang dari 40 mm ke dalam daerah tekan sayap dalam daerah momen positif memanjang. Sebagai alternatif, apabila digunakan peninggian beton antara gelagar baja dan dasar lantai, permukaan dari hubungan yang menahan gaya pemisah dapat ditempatkan tidak kurang dari 40 mm di atas tulangan dalam peninggian dengan syarat tulangan tersebut adalah cukup untuk memenuhi persyaratan penyaluran geser memanjang yang diberikan dalam sub-pasal 8.6.5.
- b. Bila digunakan peninggian beton antara sayap baja dan dasar lantai beton, sisi peninggian harus berada di luar suatu garis pada  $45^\circ$  dari ujung luar dasar penghubung lihat gambar 13.



**Gambar 13 Dimensi peninggian**

- c. Tebal bebas selimut beton di atas tepi atas penghubung geser tidak boleh kurang dari 50 mm. Selimut beton bebas horisontal pada tiap penghubung geser juga tidak boleh kurang dari 60 mm.
- d. Bila hubungan geser berada dekat pada ujung memanjang dari lantai beton, tulangan melintang harus disediakan sesuai sub-pasal 8.6.5 dan harus dijangkar penuh ke dalam beton antara ujung lantai dan baris penghubung yang berdekatan.
- e. Pendetilan penghubung geser harus sedemikian rupa agar beton dapat dipadatkan dengan baik sekeliling dasar penghubung.
- f. Pada ujung suatu kantilever, sebagai contoh dalam kantilever dan bentang struktur gantung, tulangan melintang dan memanjang yang jumlahnya memadai harus ditempatkan berdekatan pada ujung bebas lantai beton untuk menyalurkan beban penghubung geser memanjang ke lantai.
- g. Jarak memanjang antara penghubung tidak boleh lebih besar dari setiap nilai berikut ini:
  1. 600 mm; atau
  2. dua kali tebal lantai, atau
  3. empat kali tinggi penghubung.

Sebagai alternatif, penghubung dapat ditempatkan dalam kelompok dengan jarak antar-kelompok yang lebih besar dari ketentuan penghubung tunggal, dengan syarat telah dipertimbangkan dalam perencanaan masalah di bawah ini:

1. aliran tidak merata dari geser memanjang, dan
2. kemungkinan yang lebih besar akan terjadinya gelincir dan pemisahan antara lantai dan unsur baja.

- h. Kedalaman minimum dari paku penghubung geser dalam tiap arah adalah 75 mm. Kedalaman paku penghubung geser sepanjang sayap sebaiknya tidak kurang dari tinggi paku penghubung geser.
- i. Jarak bebas antara ujung sayap gelagar dan ujung penghubung geser tidak boleh kurang dari 25 mm.
- j. Diameter paku penghubung yang dilas pada pelat sayap tidak boleh melebihi:
  1. 1,5 kali tebal pelat sayap bila pelat sayap memikul tegangan tarik, atau
  2. 2,0 kali tebal pelat sayap bila tidak terdapat tegangan tarik.
- k. Panjang kaki dari sambungan las jenis penghubung lain pada pelat sayap tidak boleh melebihi setengah tebal pelat sayap. Kanal penghubung geser harus mempunyai paling sedikit 5 mm las sudut yang ditempatkan sepanjang tumit dan kaki kanal (pengadaan tersebut melarang pemasangan kanal penghubung geser pada pelat dengan tebal kurang dari 10 mm).
- l. Jarak antara batang tulangan bawah yang direncanakan sesuai sub-pasal 8.6.5 harus kurang dari empat kali proyeksi vertikal penghubung diatas dasar tulangan melintang.

#### 8.6.4 Perencanaan penghubung geser

##### 8.6.4.1 Umum

Penghubung geser harus direncanakan agar memenuhi Keadaan Batas Layan sesuai sub-pasal 8.6.4.2. Perencanaan fatik penghubung harus sesuai dengan pembebanan fatigue bersama dengan persyaratan sub-pasal 8.6.4.3 yang resmi. Kecuali yang disyaratkan dalam sub-pasal 8.6.4.3, tidak perlu diadakan pemeriksaan kekuatan statik penghubung geser pada Keadaan Batas Kekuatan Ultimit. Kekuatan geser statik nominal dari paku dan kanal penghubung yang dilas pada gelagar.

##### 8.6.4.2 Perencanaan untuk geser memanjang

Gaya geser memanjang rencana per satuan panjang,  $V_L^*$ , harus memenuhi:

$$V_L^* \leq \phi V_{Ls} \quad (8.6-3)$$

$$V_{Ls} = 0,55 n V_{su} \quad (8.6-4)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi sesuai Sub-pasal 4.5.2

$n$  adalah jumlah penghubung geser persatuan panjang

$V_{su}$  adalah kekuatan geser statik dari penghubung, dinyatakan dalam Newton, N

Ukuran dan jarak antara penghubung dapat dipertahankan konstan pada setiap panjang dimana gaya geser rencana maksimum per satuan panjang tidak melebihi kapasitas geser dengan lebih dari 10%.

Ukuran dan jarak antara penghubung geser pada ujung tiap bentang harus dipertahankan untuk paling sedikit 10% panjang tiap bentang.

##### 8.6.4.3 Perencanaan untuk geser dan tarik antar permukaan

Bila penghubung geser memikul tarik langsung berarti yang dapat dihitung akibat salah satu:

- a. gaya yang cenderung memisahkan lantai dari gelagar, atau
- b. momen melintang pada kelompok penghubung yang dihasilkan oleh lentur melintang dari lantai, khususnya dalam daerah diafragma atau ikatan melintang.

maka pengikat tambahan, yang cukup terjangkau, harus disediakan untuk menahan gaya-gaya tersebut.

Sebagai alternatif, paku penghubung geser dapat digunakan dengan syarat:

- a. Gaya geser total rencana antar permukaan per satuan panjang pada Keadaan Batas Ultimit memenuhi:

$$V_L^* < \phi n \left( V_{su} - \frac{N^*}{\phi \sqrt{3}} \right) \quad (8.6-5)$$

- b. Ketentuan fatik harus terpenuhi untuk umur rencana struktur. Nilai gaya geser longitudinal rencana,  $V^*$ , yang digunakan untuk perhitungan batas variasi geser harus diambil sesuai rumus berikut ini:

$$V^* = \sqrt{(V^*)^2 + \left( \frac{N^*}{3} \right)^2} \quad (8.6-6)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi sesuai Sub-pasal 4.5.2

$n$  adalah jumlah penghubung geser persatuan panjang

$V_{su}$  adalah kekuatan geser statik dari penghubung, dinyatakan dalam Newton, (N)

$N$  adalah tarik aksial rencana persatuan panjang pada keadaan batas ultimit, dinyatakan dalam Newton/m, (N/m)

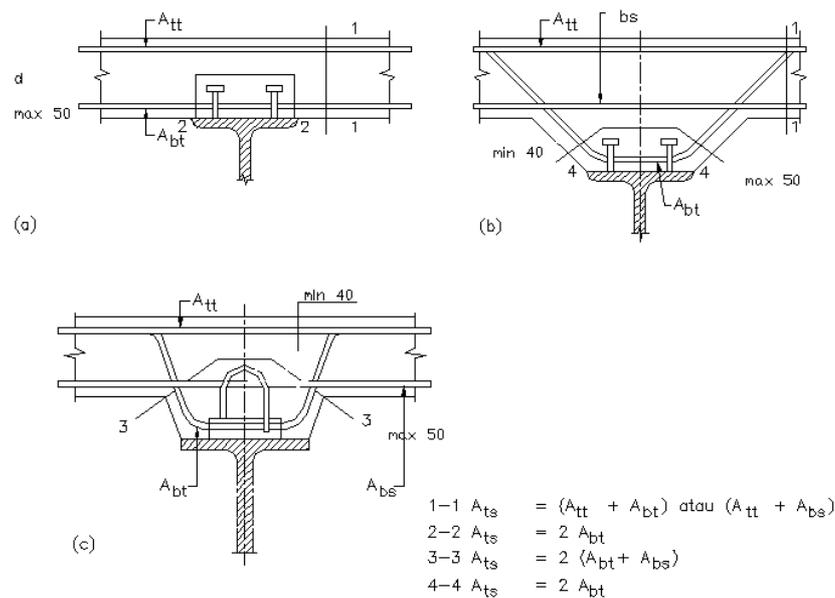
## 8.6.5 Perencanaan tulangan melintang

### 8.6.5.1 Umum

Tulangan melintang terhadap gelagar baja harus disediakan, untuk memotong kedua sisi bidang keruntuhan geser memanjang yang mungkin terjadi bidang geser, lihat Gambar 14.

Tulangan melintang harus dijangkar pada kedua sisi bidang geser. Gaya yang dihitung dalam baja tulangan pada setiap penampang harus disalurkan pada masing-masing sisi dari penampang tersebut.

Ukuran dan jarak antara tulangan melintang pada ujung tiap bentang harus dipertahankan untuk minimal 10% panjang tiap bentang. Di lain tempat, ukuran dan jarak antara tulangan melintang dapat dipertahankan konstan pada tiap panjang dimana gaya geser maksimum per satuan panjang tidak melebihi kapasitas geser dengan lebih dari 10%.



**Gambar 14 Bidang geser dan tulangan melintang**

#### 8.6.5.2 Perencanaan untuk geser antar permukaan

Gaya geser total rencana antar permukaan per satuan panjang  $V_L^*$  pada Keadaan Batas Ultimit di setiap bidang geser melalui beton harus memenuhi salah satu dari rumus berikut ini:

$$V_L^* \leq 0,9 b_{sh} + 0,7 f_{ly} \frac{A_{ts}}{1.000} \quad (8.6-7)$$

$$V_L^* \leq 0,15 b_{sh} f'_c \quad (8.6-8)$$

dengan pengertian :

$A_{ts}$  adalah luas penampang dari tulangan melintang per satuan panjang gelagar, dinyatakan dalam milimeter persegi per meter, ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )

$b_{sh}$  adalah lebar bidang geser yang ditinjau, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$f_{ly}$  adalah kekuatan leleh karakteristik tulangan melintang, dinyatakan dalam Mega Pascal, MPa.

$f'_c$  adalah kekuatan karakteristik beton, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)

Dalam gelagar dengan peninggian, paling sedikit 50% dari tulangan yang diperlukan untuk memenuhi rumus (8.6-7) mengingat bidang geser melalui peninggian (bidang 3-3 dan 4-4 dalam Gambar 14) harus ditempatkan pada tepi bawah lantai atau peninggian. Tulangan bawah tersebut harus mempunyai jarak bersih maksimum sebesar 50 mm terhadap permukaan terdekat dari gelagar baja.

Bila kedalaman peninggian tidak melebihi, 50 mm, tulangan pada tepi bawah lantai dapat termasuk dengan syarat ditempatkan pada:

- jarak bersih minimum sebesar 40 mm di bawah permukaan dari tiap penghubung geser yang menahan gaya angkat, dan
- jarak bersih maksimum sebesar 80 mm terhadap permukaan terdekat dari gelagar baja.

### 8.6.5.3 Interaksi antara geser antar permukaan dan lentur melintang

Untuk bidang geser yang melewati seluruh tinggi penuh dari lantai, interaksi geser antar permukaan dan lentur melintang boleh diabaikan.

Dalam gelagar tanpa peninggian di mana lentur melintang menyebabkan tarik dalam daerah penghubung geser, gaya geser antar permukaan per satuan panjang,  $V_L^*$  (kN per m) pada tiap bidang geser melalui beton harus memenuhi rumus berikut:

$$V_L^* \leq 0,9 b_{sh} + 1,4 f_{ry} \frac{A_{bv}}{1.000} \quad (8.6-9)$$

Dalam gelagar tanpa peninggian di mana lentur melintang menyebabkan tekan dalam daerah penghubung geser gaya geser antar permukaan per satuan panjang,  $V_L^*$  pada tiap bidang geser melalui beton harus memenuhi rumus berikut:

$$V_L^* \leq 0,9 b_{sh} + 0,7 f_{ry} \frac{A_{ts}}{1.000} + 1,6 N_t^* \quad (8.6-10)$$

Hanya beban tetap harus diperhitungkan untuk  $N_t^*$

dengan pengertian :

$A_{bv}$  adalah luas penampang dari tulangan melintang per satuan panjang gelagar yang ditempatkan pada tepi bawah lantai atau peninggian, dinyatakan dalam milimeter persegi per meter, ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )

$N_t^*$  adalah gaya tarik minimum per satuan panjang gelagar dalam tulangan melintang pada tepi atas lantai, akibat lentur melintang dalam lantai, dinyatakan dalam Newton/m, (N/m)

Untuk gelagar dengan peninggian yang memikul lentur melintang, tidak perlu diperhitungkan interaksi geser antar permukaan dan lentur melintang dengan syarat sisi peninggian berada diluar suatu garis pada  $45^\circ$  dari ujung luar penghubung seperti ditunjukkan dalam Gambar 8.6-2.

### 8.6.5.4 Tulangan melintang minimum

Luas penampang total per satuan panjang gelagar ( $\text{mm}^2$  per m), dari tulangan lantai yang melintang pada gelagar baja harus memenuhi:

$$A_{te} > \frac{800d_s}{f_{ry}} \quad (8.6-11)$$

dengan pengertian :

$d_s$  adalah tinggi lantai beton yang membentuk flens gelagar komposit, dinyatakan dalam milimeter, mm

Tidak kurang dari 50% luas tulangan tersebut harus ditempatkan dekat tepi bawah lantai sehingga memenuhi ketentuan  $A_{bv}$ , yang diberikan sub-pasal 8.6.5.3.

Bila panjang bidang keruntuhan geser yang mungkin sekeliling penghubung (bidang geser 2-2 dalam gambar 8.6-2) adalah lebih dari dua kali tebal lantai, penambahan tulangan pada yang diperlukan untuk lentur harus disediakan pada tepi bawah lantai (melintang terhadap gelagar baja) untuk mencegah retak memanjang sekitar penghubung. Luas penampang tulangan tambahan tersebut per satuan panjang gelagar tidak boleh kurang dari  $A_{te}$ . Tulangan tambahan tidak perlu disediakan apabila gaya tekan minimum per satuan panjang gelagar, yang bekerja tegak lurus pada dan meliputi permukaan bidang geser, adalah lebih besar dari  $1,4d_s$  kN/m.

#### 8.6.5.5 Tulangan melintang minimum dalam gelagar dengan peninggian

Luas penampang per satuan panjang gelagar ( $\text{mm}^2$  per m), dari tulangan melintang pada daerah peninggian harus memenuhi:

$$A_{bv} \geq \frac{400b_{sh}}{f_{ry}} \quad (8.6-12)$$

dengan pengertian :

$b_{sh}$  adalah panjang bidang keruntuhan geser yang mungkin sekeliling penghubung (lihat bidang geser jenis 3-3 atau 4-4 pada Gambar 6.8-2), dinyatakan dalam milimeter, (mm)

#### 8.6.5.6 Pemberhentian tulangan melintang

Tulangan melintang yang disediakan untuk menahan geser antar permukaan dapat dihentikan dengan menganggap bahwa gaya geser antar permukaan,  $v_L$ , berkurang secara linier, dalam arah melintang, dari nilai maksimum bidang geser sampai nol pada salah satu tempat dibawah ini:

- a. ujung bebas dari lantai; atau
- b. garis tengah antara gelagar berdekatan.

### 8.7 Komponen dan penahan melintang

#### 8.7.1 Umum

Sistem komponen dan penahan melintang yang cukup harus disediakan antara unsur-unsur agar menjamin bahwa semua beban luar dan pengaruh beban dapat disalurkan kepada struktur pendukung, dan bahwa penahan yang memadai disediakan di mana penahan demikian dianggap ada dalam perencanaan.

## 9 Perencanaan jembatan rangka

### 9.1 Umum

Pengaruh interaksi antara elemen rangka utama dan sistem ikatan lateral struktur jembatan harus diperhatikan.

## 9.2 Pengaruh beban global

Pengaruh beban global pada struktur harus dihitung sesuai dengan teori elastis dan azas-azas Mekanika Teknik.

- a. Sebagai penyederhanaan untuk jembatan rangka yang denahnya bukan miring (*skew*) atau lengkung, diperkenankan analisis struktur sebagai struktur bidang (*2D*), sedangkan beban yang bekerja merupakan akibat dari beban-beban pada elemen-elemen melintang.
- b. Momen-momen sekunder pada titik buhul yang disebabkan oleh deformasi aksial dari elemen rangka dapat diabaikan apabila titik buhul mempunyai kapasitas rotasi yang cukup.
- c. Untuk rangka yang memenuhi butir (b), tanpa adanya eksentrisitas pada titik buhul, boleh dianggap bahwa semua titik buhul adalah sendi.

## 9.3 Pengaruh beban lokal

### 9.3.1 Beban yang bekerja di luar titik buhul

- a. Apabila terdapat beban di antara titik buhul batang tepi atas, batang tersebut harus dimodelisasi sebagai balok menerus serta kedua ujung batang diagonal dan/atau batang vertikal dianggap sendi.
- b. Semua elemen rangka harus direncanakan agar mampu menahan semua gaya dalam hasil dari model tersebut di atas.
- c. Momen lentur serta momen puntir pada elemen rangka yang disebabkan oleh kekakuan sambungan antara gelagar melintang dan elemen rangka seperti batang diagonal dan/atau batang vertikal, perlu diperhatikan dan jika perlu ikut diperhitungkan.

### 9.3.2 Eksentrisitas pada titik buhul

- a. Jika sumbu garis berat batang diagonal dan/atau batang vertikal dan batang tepi tidak bertemu pada suatu titik, maka batang tepi dapat dimodelisasi sebagai balok menerus serta kedua ujung batang diagonal dan/atau batang vertikal dianggap sendi.
- b. Semua elemen rangka harus direncanakan terhadap semua gaya dalam hasil dari model tersebut di atas.
- c. Jika perbedaan letak sumbu batang tepi atas yang bersebelahan tidak lebih dari 3 mm, maka momen lentur akibat eksentrisitas tersebut tidak perlu diperhitungkan.

## 9.4 Panjang efektif batang tekan

### 9.4.1 Umum

Panjang efektif  $L_e$  batang tekan harus diperoleh dari Tabel 9 atau ditentukan dengan analisis tekuk elastis kritisal rangka.

Tabel 9 Panjang efektif  $L_e$  untuk unsur tekan dalam rangka

UNSUR RANGKA		TEKUK DALAM BIDANG RANGKA	TEKUK TEGAK LURUS BIDANG RANGKA	
			Batang Tekan Terikat Efektif oleh Sistim Lateral	Batang Tekan Tidak Terikat
BATANG		0,85 x jarak antara pertemuan dengan unsur batang	0,85 x jarak antara pertemuan dengan unsur ikatan lateral atau balok melintang yang dihubungkan kaku	Lihat pasal 9.5.1
BADAN	Sistim segitiga tunggal	0,70 x jarak antara pertemuan dengan unsur batang	0,85 x jarak antara pertemuan dengan unsur batang	Jarak antara pertemuan dengan unsur batang
	Sistim pertemuan majemuk dengan hubungan memadai pada semua pertemuan	0,85 x jarak terbesar antara tiap dua hubungan dengan berurutan	0,70 x jarak antara pertemuan dengan unsur batang	0,85 x jarak pertemuan dengan unsur batang

#### 9.4.2 Sokongan lateral batang tekan tepi oleh lantai

Batang tekan tepi, yang mendukung secara menerus lantai baja atau beton bertulang, boleh dianggap disokong secara efektif ke arah lateral pada seluruh panjangnya, apabila hubungan friksi atau hubungan lain antara lantai dan batang tersebut dapat menahan gaya lateral, yang terbagi rata sepanjang batang, sebesar 2,5 % gaya maksimum batang tersebut.

Panjang efektif,  $L_e$  batang tekan tersebut harus diambil sama dengan nol apabila gesekan memberikan sokongan memadai, atau harus diambil sama dengan jarak antara hubungan individual apabila disediakan.

#### 9.5 Batang tepi atas yang tidak disokong

##### 9.5.1 Panjang efektif

Bila batang tepi atas tidak diberi sistem ikatan lateral, tetapi disokong secara lateral oleh portal U yang terdiri dari elemen melintang dan batang tegak (lihat Gambar 9.5.1), maka stabilitas lateral batang tersebut dapat dihitung sebagai balok menerus dengan tumpuan per dalam arah lateral di tempat portal-portal U tersebut.

Panjang efektif,  $L_e$  batang tersebut harus dihitung sebagai berikut:

$$L_e = 2,5 k_e (EI_o a \delta)^{\frac{1}{4}} \quad \text{di mana } L_e \geq a \quad (9.5-1)$$

dengan pengertian :

$k_e$  adalah faktor panjang efektif,  $k_e = 1,0$ , kecuali bila batang tekan ditahan terhadap lentur dalam bidang pada potongan di atas perletakan rangka, nilai ke lebih kecil dan dapat diperoleh dari Tabel 4.

$E$  adalah modulus elastisitas bahan baja, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa).

$I_o$  adalah momen kedua maksimum dari luas batang terhadap sumbu y ditunjukkan dalam Gambar 15.

$a$  adalah antara portal U ditunjukkan dalam Gambar 15.

$\delta$  adalah lendutan lateral yang dapat terjadi dalam portal U, pada ketinggian titik berat batang yang ditinjau, dinyatakan dalam milimeter, mm

Untuk portal U simetris, dimana elemen melintang dan batang vertikal masing-masing mempunyai momen inersia tetap sepanjang seluruh panjangnya, dapat dianggap bahwa:

$$\delta = \frac{d_1^3}{3EI_1} + \frac{usd_2^2}{EI_2} + Fd_2^2 \quad (9.5-2)$$

dengan pengertian :

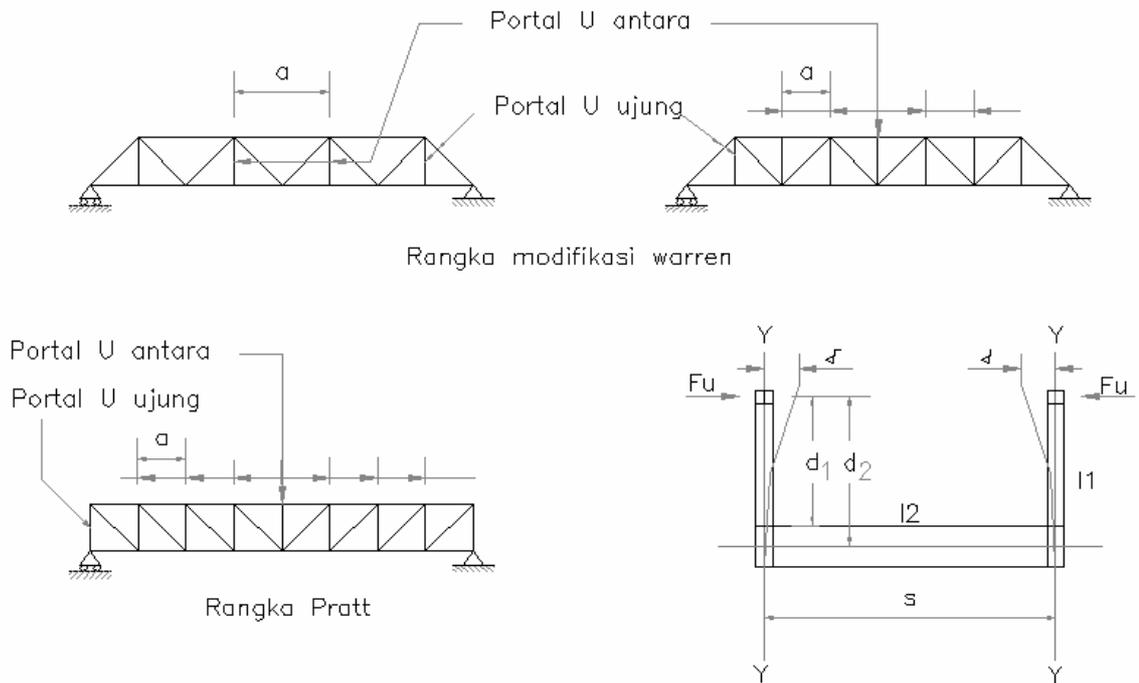
$d_1$  adalah jarak titik berat batang tekan terhadap permukaan terdekat dari unsur melintang portal U, dinyatakan dalam milimeter, mm

$d_2$  adalah jarak titik berat batang tekan terhadap sumbu titik berat unsur melintang portal U, dinyatakan dalam milimeter, mm

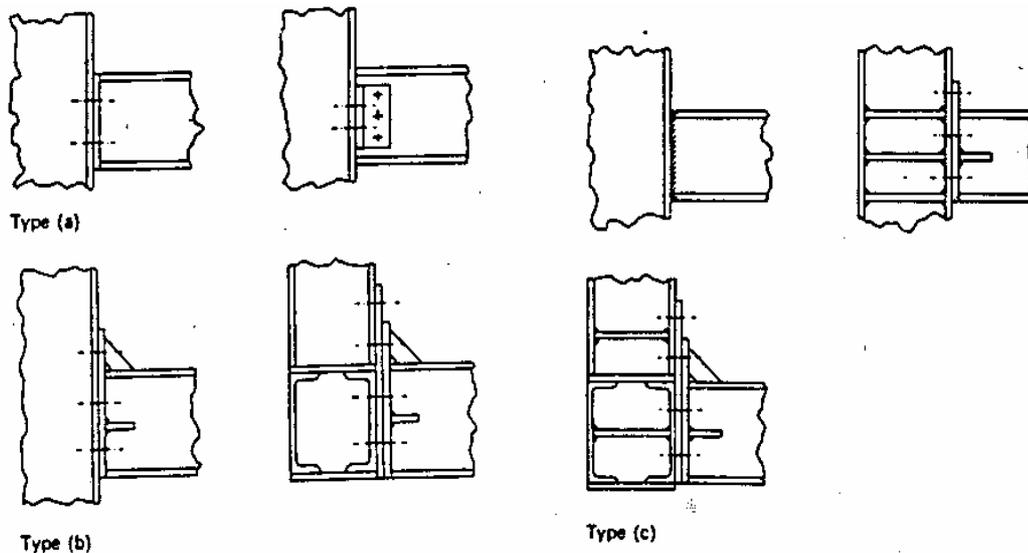
$I_1$  adalah momen kedua dari luas unsur badan yang membentuk lengan portal U dalam bidang lenturnya.

$F$  adalah fleksibilitas hubungan antara unsur melintang vertikal portal U, dinyatakan dalam radian per satuan momen,  $F$  dapat diambil sebesar :

- a.  $0,5 \times 10^{-10}$  rad/kNm bila unsur melintang dibaut atau keling melalui pelat-pelat ujung atau sambungan yang tidak diperkaku (Gambar 16 (a))
- b.  $0,2 \times 10^{-10}$  rad/kNm bila unsur melintang dibaut atau keling melalui pelat-pelat ujung yang diperkaku (Gambar 16 (b))
- c.  $0,1 \times 10^{-10}$  rad/kNm bila unsur melintang dilas tepat keliling potongan melintang atau hubungan adalah dengan baut atau keling antara pelat-pelat ujung diperkaku pada unsur melintang dan bagian diperkaku dari vertikal atau bagian diperkaku dari batang (Gambar 16 (c))



Gambar 15 Tahanan lateral oleh portal U



Gambar 16 Hubungan sambungan Portal U

9.5.2 Pengaruh beban pada elemen melintang

Apabila batang tepi atas di atas tumpuan jembatan, dalam bidang rangka, diikat oleh elemen ujung, maka momen lentur lateral pada batang tersebut akibat beban pada elemen melintang, harus diperhitungkan. Bila tidak dilakukan analisis lengkap dari interaksi gelagar utama dan elemen melintang, nilai rencana momen lentur lateral,  $M_y^*$  dari batang tepi atas tersebut, harus diambil sebesar:

$$M_y^* = \frac{5EI_c \theta d_2}{L L_e \left(1 - \frac{P_c^*}{P_E}\right)} \left[ 1 + \frac{\frac{L}{L_e} - 1,25}{2,8 + 3,5 \left(\frac{P_c^*}{P_E}\right)^2} \right] \quad (9.5-3)$$

dengan syarat bahwa tiap gelagar utama berada dalam bidang vertikal, dan kedua gelagar utama letaknya sejajar.

dengan pengertian :

$\theta$  adalah rotasi (dalam rad) unsur melintang pada sambungannya dengan gelagar utama yang ditinjau, pada pembebanan yang digunakan bila menghitung  $P_c$ .  $\theta$  dapat dihitung dengan mengabaikan tiap interaksi antara unsur melintang dan gelagar utama. Bila karena pembebanan tidak merata,  $\theta$  bervariasi antara unsur-unsur melintang nilai rata-rata  $\theta$  untuk unsur melintang yang berada dalam bagian bentang yang dibebani harus digunakan.

$L$  adalah bentang gelagar utama yang ditinjau

$P_c^*$  adalah gaya maksimum rencana dalam batang tekan dari bentang yang ditinjau.

$P_E$  diambil sebagai berikut :

a. Bila  $L_e$  kurang dari tiga kali jarak antara portal U :

$$P_E = \frac{\pi^2 EI_c}{L_e^2} \quad (9.5-4)$$

b. Bila  $L_e$  kurang lebih dari empat kali jarak antara portal U :

$$P_E = 1,25 \frac{\pi^2 EI_c}{L_e^2} \quad (9.5-5)$$

c.  $P_E$  diperoleh dengan interpolasi linier untuk nilai antara dari  $L_e$ .

Untuk setiap beban terbagi rata yang ditempatkan pada seluruh bentang, momen rencana,  $M_y^*$ , sesuai rumus di atas, harus dianggap bekerja di tempat manapun dalam jarak horisontal  $L_e$  dari setiap perletakan balok. Di tempat lain momen harus dianggap sebesar  $0,5 M_y^*$ . Untuk kasus pembebanan lain harus dianggap bahwa  $M_y^*$  bekerja di tempat manapun dalam bentangnya.

### 9.5.3 Portal U dan portal ujung

#### 9.5.3.1 Portal U antara

Setiap portal  $U$  antara beserta sambungannya harus direncanakan agar dapat memikul beban-beban berikut:

- Gaya angin dan gaya lain yang bekerja.
- Gaya-gaya horisontal,  $F_u^*$ , yang bekerja tegak lurus pada batang tepi atas pada titik beratnya, yang besarnya adalah:

$$F_u^* = \left( \frac{P_c^*}{P_E - P_c^*} \right) \frac{L_e}{667\delta} \quad (9.5-4)$$

tetapi

$$F_u^* \leq \left( \frac{P_c^*}{P_E - P_c^*} \right) \frac{EI_c}{16,7a^2} \quad (9.5-5)$$

Dalam kasus adanya beberapa rangka yang saling dihubungkan, dua gaya  $F_u^*$  harus dianggap bekerja searah atau berlawanan arah, sedemikian rupa agar menghasilkan pengaruh paling berbahaya untuk bagian yang ditinjau.

- Gaya horisontal,  $F_c^*$ , yang bekerja pada portal U pada titik-titik yang sama dan cara yang sama seperti pada butir (b) di atas untuk gaya  $F_u^*$ ,  $F_c^*$  hasil interaksi antara lentur elemen melintang dan elemen vertikal portal U, dan jika tidak dilakukan analisis lengkap, besarnya adalah:

$$F_c^* = \frac{3EI_1\theta}{d_2^2} \quad (9.5-6)$$

#### 9.5.3.2 Portal U ujung

Portal  $U$  ujung dari rangka yang tertahan secara lateral oleh suatu sistem yang terdiri atas beberapa portal  $U$ , harus direncanakan agar dapat menahan semua gaya yang bekerja, dan, ditambah gaya lateral yang masing-masing besarnya sama dengan  $2(F_u^* + F_c^*)$  dimana besarnya  $F_u^*$  dan  $F_c^*$  dan cara bekerjanya diberikan dalam sub-pasal 9.5.3.1.

Dalam hal rangka jenis Warren, dimana titik buhul paling ujung dari batang tepi atas tertahan dalam arah lateral oleh portal  $U$  baik dalam bidang batang diagonal ujung maupun dalam bidang batang vertikal ujung, gaya lateral total yang diberikan di atas boleh dianggap dipikul rata oleh kedua portal  $U$  tersebut.

#### 9.5.3.3 Portal ujung berbentuk rangka tertutup

Jembatan rangka tertutup (*through-truss*) harus diberi portal ujung yang terdiri atas balok, yang sedapatnya merupakan tipe dua bidang atau kotak, yang diikat secara kaku ke batang vertikal ujung dan sayap batang tepi atas. Tinggi rangka portal diusahakan setinggi mungkin asal masih memenuhi persyaratan tinggi ruang bebas.

Portal ujung harus dapat memikul reaksi ujung dari ikatan angin atas dan meneruskannya ke tumpuan. Selain portal ujung, di setiap titik buhul pada batang tepi atas di mana ada batang

vertikalnya, harus dipasang ikatan melintang (*sway-bracing*) dengan tinggi 1,50 m. Batang melintang atas harus mempunyai tinggi paling sedikit sama seperti batang tepi atas.

Pada jembatan rangka dengan lantai kendaraan di atas harus dipasang rangka melintang di setiap batang vertikal. Rangka tersebut harus mempunyai tinggi yang sama dengan rangka utama di tempat tersebut.

## 9.6 Ikatan lateral

### 9.6.1 Umum

Ikatan yang cukup harus disediakan antara rangka-rangka utama untuk menjamin bahwa:

- Semua beban dan pengaruh beban yang dihitung dapat disalurkan pada struktur pendukung.
- Sokongan tersedia pada semua titik buhul, konsisten dengan anggapan yang dipergunakan dalam penentuan panjang efektif batang tekan.
- Sokongan tersedia pada setiap titik dimana gaya tekan bekerja pada batang diagonal dan/atau vertikal, akibat perubahan arah batang tepi (tanpa memperdulikan apakah batang tersebut batang tarik atau tekan).

Elemen ikatan dan sambungannya dengan batang tepi atas, atau dengan portal U yang menyokong batang tepi atas, harus direncanakan agar dapat menahan gaya-gaya yang diberikan dalam sub-pasal 9.6.2. Portal U harus sesuai dengan sub-pasal 9.5.3.

### 9.6.2 Gaya rencana ikatan

Sokongan lateral harus disediakan untuk batang tekan sedemikian rupa agar gaya geser lateral berikut ini dapat ditahan pada semua potongan melintang dari jembatan:

- $\Sigma P_c^*/80$  apabila kombinasi beban mencakup gaya lateral (seperti beban angin).
- $\Sigma P_c^*/40$  apabila kombinasi beban tidak mencakup gaya lateral.

Di mana  $\Sigma P_c^*$  merupakan jumlah gaya aksial rencana terbesar yang terjadi bersamaan dalam setiap dua batang tepi pada potongan yang ditinjau.

## 9.7 Elemen lengkung

Elemen tarik atau tekan yang dilengkungkan menjadi busur lingkaran boleh direncanakan sesuai bagian 6 dengan syarat bahwa:

- Deviasi,  $\delta$ , dari garis lurus yang menghubungkan titik-titik pertemuan pada ujung elemen tidak melebihi seperduabelas panjang garis lurus tersebut.
- Penampang melintang adalah kompak (lihat pasal 7.2.3).
- Jarak dari tepi badan ke ujung luar sayap, jika ada, memenuhi:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{R}{6b} \quad (9.7-1)$$

dengan pengertian :

$b$  adalah lebar bagian luar, diukur dari ujungnya terhadap :

- baris pengencang terdekat yang menghubungkannya dengan bagian pendukung dari unsur, atau
- permukaan bagian pendukung demikian dalam hak konstruksi las atau
- akar dari penampang digiling

- $t$  adalah tebal rata-rata bagian luar, atau tebal total dimana dua atau lebih bagian dihubungkan  
 $R$  adalah jari-jari lengkung

d. Lebar sayap yang tidak disokong memenuhi:

$$\frac{b}{t} \leq \frac{R}{2b} \quad (9.7-2)$$

dengan pengertian :

- $b$  adalah lebar flens tidak terdukung antara baris pengencangan yang menghubungkan pelat dengan bagian pendukung unsur, atau antara permukaan bagian pendukung demikian dalam hal konstruksi las, atau antara akar sudut dari penampang digiling, dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $t$  adalah tebal rata-rata bagian luar dari flens, atau tebal total dimana dua atau lebih bagian dihubungkan, dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $R$  adalah jari-jari lengkung, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

e. Beban melintang dengan intensitas merata dianggap bekerja dalam bidang lengkung sepanjang elemen, dan bekerja pada sisi cembung elemen tarik, atau sisi cekung elemen tekan, dan mempunyai nilai  $P^*/R$ , dengan  $P^*$  adalah gaya aksial rencana dari elemen tersebut.

Momen lentur elemen akibat beban tersebut harus dihitung berdasarkan anggapan bahwa kedua ujung elemen tersebut adalah sendi, dan harus ditambah pada momen lentur akibat kekakuan titik buhul yang ditentukan dari analisis (lihat pasal 9.2(b)).

## 9.8 Pelat pertemuan

Pengikatan ujung-ujung batang pada titik buhul sebaiknya mempergunakan pelat pertemuan. Alat-alat pengikat untuk setiap batang sebaiknya letaknya simetris terhadap sumbunya. Dan pengalihan gaya secara merata kepada seluruh penampang batang sedapatnya terlaksana.

### 9.8.1 Kekuatan

Setiap anggapan yang rasional tentang pembagian tegangan dalam suatu pelat buhul dapat dipergunakan asal tegangan yang digunakan di atas seimbang dengan gaya-gaya dari elemen yang bertemu di titik buhul tersebut dan seluruh sambungan direncanakan sesuai bagian 11.

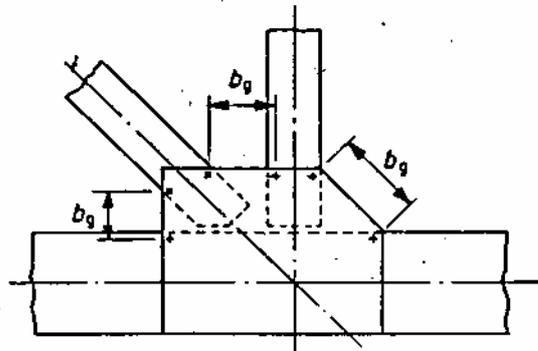
### 9.8.2 Pendetilan

Pelat buhul harus mempunyai bentuk yang teratur dan sambungan harus direncanakan sedemikian rupa agar tidak terjadi pemusatan tegangan. Panjang  $b_g$  dari sisi bebas yang tidak diperkaku seperti dapat dilihat pada Gambar 17 harus memenuhi:

$$\frac{b_g}{t} \leq 60 \sqrt{\frac{250}{f_y}} \quad (9.8-1)$$

dengan pengertian :

- $t$  adalah tebal pelat pertemuan, dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $f_y$  adalah tegangan leleh nominal bahan pelat pertemuan, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)



**Gambar 17 Pelat pertemuan**

## **10 Perencanaan lantai kendaraan**

### **10.1 Umum**

Lantai kendaraan dapat direncanakan dari pelat beton bertulang atau balok/papan kayu. Pelat beton bertulang direncanakan sebagai pelat menerus di atas balok-balok memanjang. Tata cara perencanaan dan pelaksanaan pelat beton bertulang diatur dalam Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Jika pelat beton diikat pada balok memanjang dengan hubungan geser, maka perhitungannya dapat dilihat pada Bagian 8 mengenai perencanaan gelagar komposit.

### **10.2 Balok memanjang**

Balok memanjang diikat pada balok melintang. Jika balok memanjang dipasang menumpang di atas balok melintang, sebaiknya dipasang menerus melampaui dua atau lebih bentang antara balok melintang.

### **10.3 Balok melintang**

Balok melintang sebaiknya tegak lurus arah balok induk atau balok rangka dan diikat kaku kepadanya.

Ikatan ini sebaiknya demikian sehingga ikatan lateral dapat mengikat baik balok melintang maupun balok induk.

#### **10.3.1 Balok melintang ujung**

Harus ada balok melintang ujung di semua jembatan rangka yang tepi ujung pelat lantainya berakhir tegak lurus arah balok induk atau balok rangka batang.

Pada perancangannya harus dimungkinkan pemasangan dongkrak (*jack*) di bawahnya, untuk kepentingan pengangkatan jembatan pada saat perbaikan/ penggantian konstruksi tumpuan di kemudian hari. Untuk keperluan itu tegangan ijin boleh ditingkatkan sampai 50%.

### 10.3.2 Konsol pemikul lantai pejalan kaki

Jika jalur untuk pejalan kaki berada di luar balok utama, maka konsol pemikulnya harus menyambung pada balok melintang, sehingga momen konsol dapat dipikul oleh balok melintang sebagai momen kantilever.

### 10.4 Rangka melintang

Pada jembatan dengan lantai kendaraan dari kayu dan balok memanjang baja, rangka melintang (atau diafragma) harus dipasang jika panjang balok memanjang lebih dari 6,0 meter panjangnya.

### 10.5 Sambungan ekspansi

Untuk memungkinkan gerakan ekspansi dan kontraksi, sambungan ekspansi harus dipasang pada akhir lantai kendaraan di ujung-ujung jembatan atau di tempat-tempat lain yang dianggap perlu.

### 10.6 Acuan tetap

#### 10.6.1 Acuan panel pracetak

Jika digunakan panel pracetak-pratekan sebagai acuan tetap yang membentang antara balok melintang dan balok memanjang balok induk, maka persyaratan untuk perencanaan beton harus dipenuhi.

#### 10.6.2 Acuan dek gelombang

Jika digunakan dek gelombang metal sebagai acuan tetap yang membentang antara balok melintang dan balok memanjang atau balok induk, maka acuan itu harus dirancang dapat memikul: berat sendiri beton tulang (termasuk yang ada di dalam gelombang), beban konstruksi  $2400 \text{ N/m}^2$  dan berat sendiri dek gelombang.

Acuan harus masih elastis akibat beban-beban tersebut. Lendutan yang timbul akibat beban mati tidak boleh melampaui  $L/180$  atau 13 mm untuk bentangan acuan  $L \leq 3,00 \text{ m}$ . atau  $L/240$  atau 19 mm, untuk  $L > 3,00 \text{ m}$ .

## 11 Perencanaan sambungan

### 11.1 Umum

#### 11.1.1 Persyaratan sambungan

Elemen sambungan terdiri dari komponen sambungan (pelat penyambung, pelat buhul, pelat pendukung, pelat isi) dan penghubung (baut, pen dan las). Ukuran dan perbandingan dimensi sambungan dalam struktur harus konsisten dengan anggapan dalam analisis struktur, dan memenuhi bagian 11.

Sambungan harus mampu menyalurkan gaya dalam rencana.

### 11.1.2 Klasifikasi sambungan

#### 11.1.2.1 Sambungan kaku

Pada struktur rangka kaku, sambungan dianggap memiliki kekakuan yang cukup untuk mempertahankan sudut-sudut di antara komponen-komponen struktur yang disambung.

Deformasi pelat penyambung harus sedemikian rupa sehingga tidak terlalu berpengaruh terhadap distribusi gaya maupun terhadap deformasi keseluruhan struktur.

#### 11.1.2.2 Sambungan tidak kaku

Pada struktur sederhana, sambungan pada kedua ujung komponen struktur dianggap bebas 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. Detil sambungan harus dapat memikul gaya dalam yang bekerja dengan memperhitungkan eksentrisitas yang sesuai dengan detil sambungannya.

#### 11.1.3 Sambungan dalam unsur utama

Sambungan dalam unsur utama hanya boleh dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi dalam sambungan gesek atau las.

Syarat tersebut tidak berlaku untuk sambungan unsur sekunder, seperti ikatan dan kerangka melintang, atau untuk sambungan unsur sekunder dengan unsur utama.

#### 11.1.4 Perencanaan sambungan

Kuat rencana setiap komponen sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Perencanaan sambungan harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja dengan memperhitungkan sambungan;
- b. deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan;
- c. sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja dengan memperhitungkannya.

#### 11.1.5 Gaya rencana minimum pada sambungan

Sambungan struktural (tidak termasuk di dalamnya sambungan tralis dan wartel mur, gording dan spalk) harus direncanakan agar sedikitnya dapat menerima gaya sebesar:

- a. gaya-gaya yang berasal dari komponen struktur, dan
- b. gaya minimum yang dinyatakan dalam nilai atau fraksi kuat rencana komponen struktur dengan nilai minimum yang diuraikan di bawah ini:
  1. sambungan kaku: momen lentur sebesar 0,5 kali momen lentur rencana komponen struktur;
  2. sambungan sendi pada balok sederhana: gaya geser sebesar 25 kN; dianggap sebagai beban nominal
  3. sambungan pada ujung komponen struktur tarik atau tekan: suatu gaya sebesar 0,3 kali kuat rencana komponen struktur, kecuali pada batang berulir dengan wartel mur

- yang bekerja sebagai batang pengikat, gaya tarik minimum harus sama dengan kuat rencana batang;
4. sambungan lewatan komponen struktur tarik: suatu gaya sebesar 0,3 kali kuat rencana komponen struktur tarik;
  5. sambungan lewatan komponen struktur tekan: jika ujungnya dirancang untuk kontak penuh maka gaya tekan boleh dipikul melalui tumpuan pada bidang kontak dan jumlah alat pengencang harus cukup untuk memikul semua bagian ditempatnya dan harus cukup untuk menyalurkan gaya sebesar 0,15 kali kuat rencana komponen struktur tekan. Bila komponen struktur tersebut tidak dipersiapkan untuk kontak penuh, penyambung dan pengencangnya harus dirancang untuk memikul semua komponennya tetap lurus dan harus direncanakan untuk menyalurkan gaya sebesar 0,3 kali kuat rencana komponen struktur tekan.
  6. sambungan lewatan balok: suatu momen lentur sebesar 0,3 kali kuat lentur rancangan balok, kecuali pada sambungan yang direncanakan untuk menyalurkan gaya geser saja. Sambungan yang memikul gaya geser saja harus direncanakan untuk menyalurkan gaya geser dan momen lentur yang ditimbulkan oleh eksentrisitas gaya terhadap titik berat kelompok alat pengencang;
  7. sambungan lewatan komponen struktur yang memikul gaya kombinasi : sambungan komponen struktur yang memikul kombinasi antara gaya tarik atau tekan aksial dan momen lentur harus memenuhi (4), (5), dan (6) sekaligus.

#### 11.1.6 Pertemuan

Komponen struktur yang menyalurkan gaya-gaya pada sambungan, sumbu netralnya harus direncanakan untuk bertemu pada suatu titik. Bila terdapat eksentrisitas pada sambungan, komponen struktur dan sambungannya harus dapat memikul momen yang diakibatkannya.

Pada sambungan yang mencakup siku tunggal, siku rangkap dan penampang serupa, yang memikul beban fatik perlu dirancang las sudut untuk mengimbangi gaya rencana terhadap sumbu garis netral. Pengimbangan tersebut tidak perlu untuk sambungan yang dibebani statik.

Eksentrisitas antara sumbu garis netral unsur siku dan garis baut sambungan ujung boleh diabaikan pada beban statik, tetapi harus dipertimbangkan pada unsur dan komponen sambungan yang memikul beban fatik.

#### 11.1.7 Pengencang tidak gelincir

##### 11.1.7.1 Umum

Bila gelincir pada beban layan harus dicegah dalam sambungan baut mutu tinggi dalam sambungan geser (kategori 8,8/TF), atau baut pas atau las harus digunakan.

Bila sambungan memikul kejutan atau getaran, baut mutu tinggi dalam sambungan gesek (kategori 8,8/TF), atau perlengkapan pengunci atau las harus digunakan.

##### 11.1.7.2 Gesek pada permukaan kontak

Pada bagian ini berlaku untuk permukaan kontak pada sambungan gesek termasuk pelat pengisi. Nilai faktor gelincir maksimum harus seperti diberikan dalam Tabel 10.

Tabel 10 Faktor gelincir

Persiapan Permukaan	Faktor Gelincir Maksimum, $\mu$
Tidak dicat :	
Giling bersih	0,35
Pembersihan api	0,41
Pembersihan abrasip	0,45
Dicat :	
Merah oksida/ seng chromat	0,09
Seng silikat tidak organik	0,43
Galvanisasi panas :	
Galvanisasi	0,16
Pembersihan abrasip ringan	0,30

Nilai faktor gelincir lebih tinggi hanya boleh digunakan bila berdasarkan hasil pengujian yang disetujui oleh yang berwenang.

Sambungan gesek yang menyangkut kategori baut 8,8/TF harus dicantumkan sedemikian, dan gambar harus jelas menunjukkan perawatan permukaan yang diperlukan pada sambungan tersebut dan apakah penutupan permukaan sambungan diperlukan selama pelaksanaan pengecatan.

#### 11.1.8 Sambungan kombinasi

Bila digunakan pengencang tidak gelincir dalam sambungan bersama dengan pengencang jenis gelincir (seperti baut kencang tangan, atau baut mutu tinggi dikencangkan dalam sambungan tumpuan), semua beban layan harus dianggap dipikul oleh pengencang tidak gelincir. Pada keadaan batas ultimit dapat dianggap bahwa sambungan gesek akan gelincir dan semua baut dapat direncanakan untuk tumpuan.

Bila perpaduan pengencang tidak gelincir digunakan, pembagian gaya rencana dapat dianggap. Bagaimanapun, bila pengelasan digunakan dalam sambungan bersama dengan pengencang tidak gelincir:

- tiap gaya rencana yang mula-mula bekerja langsung pada las tidak boleh disebar ke pengencang yang ditambahkan setelah bekerjanya gaya rencana, dan
- tiap gaya rencana yang bekerja setelah pengelasan harus dianggap dipikul oleh las.

#### 11.1.9 Gaya unkit

Baut yang digunakan untuk memikul gaya tarik terfaktor harus dapat memikul setiap gaya tarik tambahan akibat gaya unkit yang terjadi akibat komponen yang diungkit.

#### 11.1.10 Komponen sambungan

Komponen sambungan (antara lain pelat pengisi, pelat buhul, pelat pendukung) kecuali alat pengencang, kekuatannya harus diperhitungkan sesuai dengan persyaratan pada bagian 5, 6 dan 7.

### 11.1.11 Pengurangan untuk lubang pengencang

#### 11.1.11.1 Luas lubang

Dalam menghitung pengurangan akibat lubang pengencang (termasuk lubang baut rata permukaan), luas penuh dari lubang dalam bidang sumbunya harus digunakan.

#### 11.1.11.2 Lubang tidak selang-seling

Untuk lubang yang tidak diselang-seling, luas yang dikurangi adalah jumlah maksimum luas lubang dalam tiap penampang melintang tegak lurus pada arah gaya rencana unsur.

#### 11.1.11.3 Lubang selang-seling

Bila lubang dibuat selang-seling, luas yang dikurangi harus yang terbesar dari:

- Pengurangan untuk lubang tidak selang-seling, atau
- Jumlah luas semua lubang dalam tiap garis selang-seling yang menerus melintang unsur atau bagian unsur, dengan pengurangan untuk tiap jarak baris dalam rangkaian lubang sebesar berikut:

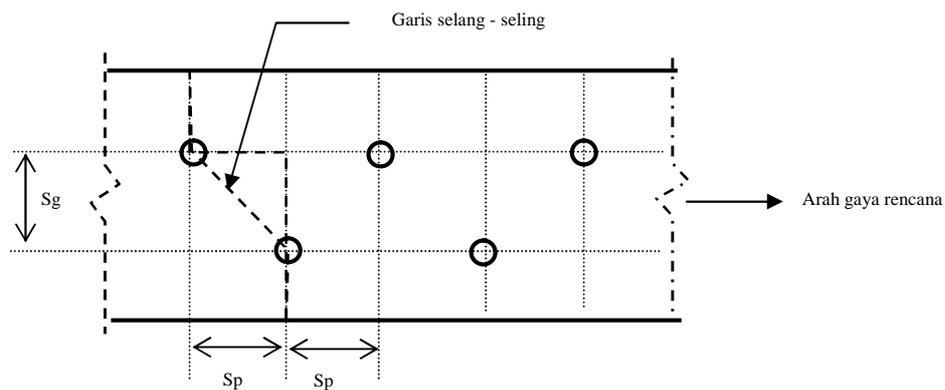
$$\frac{s_p^2 t}{4s_g} \quad (11.1-5)$$

dengan pengertian

$s_p$  adalah jarak selang-seling (lihat Gambar 18), dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$t$  adalah tebal bahan yang dilubangi, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$s_g$  adalah jarak garis baut (lihat Gambar 18), dinyatakan dalam milimeter, (mm)



**Gambar 18 Lubang selang-seling**

## 11.1.12 Sambungan penampang berongga

Bila gaya rencana dari suatu unsur diterapkan pada penampang berongga di suatu sambungan, pertimbangan harus diberikan terhadap pengaruh lokal pada penampang berongga.

## 11.2 Perencanaan baut

## 11.2.1 Kategori baut dan pembautan

Kategori baut dan pembautan yang disusun pada gambar 18 harus direncanakan sesuai pasal 11.3 dan pasal 11.4. Jenis baut yang dapat digunakan pada ketentuan-ketentuan pasal 11.3 dan 11.4 adalah baut yang jenisnya ditentukan dalam SII (0589-81, 0647-91 dan 0780-83, SII 0781-83) atau SNI (0541-89-A, 0571-89-A, dan 0661-89-A) yang sesuai atau penggantinya.

## 11.2.2 Luas baut dan tarikan minimum

Luas baut metrik umum diberikan dalam Tabel 11 Tarikan baut minimum diperlukan untuk baut metrik dalam sambungan, geser diberikan dalam Tabel 2.

Tabel 11 Luas baut

Diameter Nominal Baut $d_f$ (1)	Luas Baut $\text{mm}^2$		
	$A_e$ (2)	$A_s$ (3)	$A_o$ (4)
M16	144	157	201
M20	225	245	314
M24	324	353	452
M30	519	561	706
M36	759	817	1016

Catatan :

$A_e$  (2) = Luas inti baut, diukur pada diameter lebih kecil dari benang.

$A_s$  (3) = Luas untuk menghitung kekuatan tarik.

$A_o$  (4) = Luas bagian polos nominal baut berdasarkan diameter nominal baut.

## 11.2.3 Cara perencanaan

Kekuatan sambungan baut harus ditentukan dengan cara rencana keadaan batas ultimit

## 11.2.4 Kekuatan nominal baut

## 11.2.4.1 Kekuatan geser nominal baut

Kekuatan geser  $V_f$  dari baut harus dihitung sebagai berikut:

$$V_f = 0,62 f_{uf} k_r (n_n A_c + n_x A_o) \quad (11.3-1)$$

dengan pengertian :

- $f_{uf}$  adalah kekuatan tarik minimum baut (Tabel 2), dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)  
 $k_r$  adalah faktor reduksi, untuk memperhitungkan panjang sambungan lebih  $L_j$  yang dibaut dapat dilihat pada Tabel 12, untuk semua sambungan lain,  $k_r = 1,0$ .  
 $n_n$  adalah jumlah bidang geser melalui bagian baut  
 $A_e$  adalah luas diameter lebih kecil pada baut, dinyatakan dalam milimeter per segi, (mm)<sup>2</sup>  
 $n_x$  adalah jumlah bidang geser melalui bagian baut  
 $A_o$  adalah luas batang polos nominal pada baut, dinyatakan dalam milimeter per segi, (mm<sup>2</sup>)

**Tabel 12 Faktor reduksi untuk sambungan lebih yang dibaut**

Panjang	Faktor Reduksi, $K_r$
$L_j < 300$	1,0
$300 < L_j < 1300$	$1,075 - L_j/4000$
$L_j > 1300$	0,75

#### 11.2.4.2 Kekuatan tarik nominal baut

Kekuatan tarik nominal baut,  $N_{tf}$ , harus dihitung sebagai berikut:

$$N_{tf} = A_s f_{uf} \quad (11.3-2)$$

dengan  $A_s$  sebagai luas tegangan tarik baut (lihat Tabel 11)

#### 11.2.4.3 Kekuatan tumpuan nominal pelat lapis

Kekuatan tumpuan nominal pelat lapis,  $V_b$ , harus dihitung sebagai berikut:

$$V_b = 3,2 d_f t_p f_{up} \quad (11.3-3)$$

Dengan syarat bahwa, untuk pelat lapis yang memikul komponen gaya yang bekerja menuju suatu sisi, kekuatan tumpuan nominal pelat lapis harus diambil nilai terkecil dari rumus (11.3-3) dan rumus (11.3-4)

$$V_b = a_e t_p f_{up} \quad (11.3-4)$$

dengan pengertian :

- $d_f$  adalah diameter baut, dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $t_p$  adalah tebal pelat lapis, dinyatakan dalam milimeter, (mm)  
 $f_{up}$  adalah kekuatan tarik pelat lapis, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)  
 $a_e$  adalah jarak minimum dari ujung lubang ke ujung pelat lapis diukur dalam arah komponen gaya ditambah setengah diameter baut, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

#### 11.2.4.4 Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek

Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek,  $V_{sf}$ , harus dihitung sebagai berikut:

$$V_{sf} = \mu n_{ei} N_{ti} k_h \quad (11.3-5)$$

dengan pengertian :

$\mu$  adalah faktor gelincir, Tabel 10.

$n_{ei}$  adalah jumlah permukaan antara efektif

$n_{ti}$  adalah tarikan baut minimum, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)

$k_h$  adalah faktor untuk berbagai jenis baut, seperti yang dijelaskan pada pasal 11.6-5, yaitu  
 = 1,00 untuk lubang standar  
 = 0,85 untuk lubang sela pendek dan kebesaran  
 = 0,70 untuk lubang sela panjang

#### 11.2.5 Keadaan batas ultimit baut

##### 11.2.5.1 Baut dalam geser

Baut yang memikul gaya geser rencana,  $V_f^*$ , harus memenuhi:

$$V_f^* \leq \phi V_f \quad (11.3-6)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_f$  adalah Kekuatan tarik nominal baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

##### 11.2.5.2 Baut dalam tarik

Baut yang memikul gaya geser rencana,  $(N)_{tf}^*$ , harus memenuhi:

$$N_{tf}^* \leq \phi N_{tf} \quad (11.3-7)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$N_{tf}$  adalah Kekuatan tarik nominal baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

##### 11.2.5.3 Baut yang memikul kombinasi geser dan tarik

Baut yang harus menahan gaya geser rencana,  $V_f^*$ , dan gaya tarik rencana,  $(N)_{tf}^*$ , pada waktu sama harus memenuhi:

$$\left( \frac{V_f^*}{\phi V_f} \right)^2 + \left( \frac{N_{tf}^*}{\phi N_{tf}} \right)^2 \leq 1,0 \quad (11.3-8)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_f$  adalah Kekuatan tarik nominal baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

$N_{tf}$  adalah Kekuatan tarik nominal baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

##### 11.2.5.4 Pelat lapis dalam tumpuan

Pelat lapis yang memikul gaya tumpuan rencana,  $V_b^*$ , akibat baut dalam geser harus memenuhi:

$$V_b^* \leq \phi V_b \quad (11.3-9)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_b$  adalah Kekuatan tumpuan nominal pelat lapis, dinyatakan dalam Newton, (N)

#### 11.2.6 Keadaan batas kelayakan baut

##### 11.2.6.1 Baut dalam geser

Pasal 11.3.6 hanya berlaku untuk sambungan gesek yang menggunakan baut kekuatan tinggi (kategori baut 8,8/TF) pada mana gelincir untuk keadaan batas kelayakan perlu dibatasi.

Keadaan batas ultimit untuk sambungan gesek harus juga diperkirakan sesuai pasal 11.3.5.

Untuk sambungan gesek, baut yang hanya memikul gaya geser rencana,  $V_{sf}^*$ , dalam bidang permukaan antara harus memenuhi:

$$V_{sf}^* \leq \phi V_{sf} \quad (11.3-10)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_{sf}$  adalah Kekuatan geser nominal baut dalam sambungan gesek, dinyatakan dalam Newton, (N)

##### 11.2.6.2 Kombinasi geser dan tarik

Baut dalam sambungan gesek yang memikul gaya tarik rencana,  $(N)_{tf}^*$ , harus memenuhi:

$$\left( \frac{V_{sf}^*}{\phi V_{sf}} \right)^2 + \left( \frac{N_{tf}^*}{\phi N_{tf}^*} \right)^2 \leq 1,0 \quad (11.3-11)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_{sf}$  adalah Kekuatan geser nominal baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

$V_{sf}^*$  adalah gaya geser rencana baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

$N_{tf}$  adalah Kekuatan tarik nominal baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

$N_{tf}^*$  adalah gaya tarik rencana baut, dinyatakan dalam Newton, (N)

#### 11.2.7 Pelat pengisi

Untuk sambungan di mana tebal pelat pengisi melebihi 6 mm, tetapi kurang dari 20 mm, kekuatan geser nominal baut yang dispesifikasi dalam sub-pasal 11.3.5.1 atau 11.3.7.3 harus direduksi dengan 15 persen. Untuk sambungan bidang geser majemuk dengan lebih dari satu pelat pengisi yang dilalui baut, reduksi harus ditentukan dengan menggunakan tebal pelat pengisi maksimum pada tiap bidang geser yang dilalui baut.

### 11.3 Pendekatan kekuatan kelompok baut

#### 11.5.1 Kelompok baut yang memikul pembebanan dalam bidang

Gaya rencana kelompok baut harus ditentukan dengan analisis berdasarkan anggapan berikut:

- a. Pelat penghubung harus dianggap kaku dan berputar relatif terhadap satu sama lain terhadap suatu titik yang diketahui sebagai pusat perputaran langsung dari kelompok baut.
- b. Dalam hal kelompok baut hanya memikul kopel murni, pusat langsung dari perputaran sama dengan titik berat kelompok baut.

Dalam hal kelompok baut memikul gaya geser dalam bidang yang bekerja dengan memperhitungkan titik berat kelompok, pusat langsung untuk perputaran berada di tak terhingga dan gaya geser rencana dibagi rata kepada kelompok.

Dalam hal lain, diambil salah satu:

- a. hasil analisis tersendiri untuk:
  1. kopel murni saja, dan
  2. suatu gaya geser dalam bidang yang bekerja dengan memperhitungkan titik berat kelompok baut, di mana hasilnya harus saling ditambahkan, atau
- b. cara analisis yang sudah lazim digunakan.

Gaya geser rencana dalam tiap baut harus dianggap bekerja tegak lurus pada jari-jari dari baut ke pusat langsung, dan harus diambil berbanding lurus dengan jari-jari tersebut. Untuk keadaan batas ultimit, tiap baut harus memenuhi persyaratan sub-pasal 4.5.2 di mana faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , harus diambil untuk kelompok baut (lihat Tabel 3), dan pelat lapis dalam tumpuan harus memenuhi sub-pasal 11.3.5.4.

Untuk keadaan batas layan (sambungan gesek), tiap baut harus memenuhi persyaratan sub-pasal 11.3.6.1.

#### 11.5.1 Kelompok baut yang memikul pembebanan luar bidang

Gaya rencana dalam tiap baut dalam kelompok baut yang memikul pembebanan luar bidang harus ditentukan sesuai pasal 11.1.4.

Untuk cara rencana keadaan batas: untuk keadaan batas ultimit, tiap baut harus memenuhi sub-pasal 11.3.5.1, 11.3.5.2 dan 11.3.5.3 di mana faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , harus diambil untuk kelompok baut (lihat Tabel 3) dan pelat lapis dalam tumpuan harus memenuhi sub-pasal 11.3.5.4.

#### 11.5.1 Kelompok baut yang memikul kombinasi pembebanan dalam dan luar bidang gambar

Gaya rencana pada tiap baut dalam kelompok baut harus ditentukan sesuai pasal 11.4.1 dan 11.4.2

Untuk cara rencana keadaan batas: untuk keadaan batas ultimit, tiap baut harus memenuhi sub-pasal 11.3.5.1, 11.3.5.2 dan 11.3.5.3 di mana faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , harus diambil untuk kelompok baut (lihat Tabel 3) dan pelat lapis dalam tumpuan harus memenuhi sub-pasal 11.3.5.4.

Untuk keadaan batas layan (sambungan gesek), tiap baut harus memenuhi persyaratan sub-pasal 11.3.6.2.

## 11.4 Rencana sambungan pen

### 11.4.1 Cara perencanaan

Kekuatan sambungan pen harus ditentukan dengan cara rencana keadaan batas ultimit.

### 11.4.2 Kekuatan nominal pen

#### 11.4.3.4 Kekuatan geser nominal pen

Kekuatan geser nominal pen harus sebagai berikut:

$$V_f = 0,62 f_{yp} n_s A_p \quad (11.5-1)$$

dengan pengertian :

$f_{yp}$  adalah kekuatan leleh pen, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)

$n_s$  adalah jumlah bidang geser

$A_p$  adalah luas penampang melintang pen, dinyatakan dalam mimimeter persegi, (mm)<sup>2</sup>

#### 11.4.3.4 Kekuatan tumpuan nominal pen

Kekuatan tumpuan nominal pen harus dihitung sebagai berikut:

$$V_b = 1,4 f_{yp} d_t t_p k_p \quad (11.5-2)$$

dengan pengertian :

$f_{yp}$  adalah kekuatan leleh pen, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)

$d_t$  adalah diameter pen, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$t_p$  adalah tebal pelat penghubung, dinyatakan dalam milimeter, (mm)

$k_p$  adalah 1,0 untuk pen tanpa rotasi dan 0,5 untuk pen dengan rotasi

#### 11.4.3.4 Kekuatan lentur nominal pen

Kekuatan lentur nominal pen harus dihitung sebagai berikut:

$$M_p = f_{yp} S \quad (11.5-3)$$

dengan pengertian :

$f_{yp}$  adalah kekuatan leleh pen, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa)

$S$  adalah Modulus penampang plastis dari pen

## 11.5.1 Rencana keadaan batas ultimit

### 11.4.3.1 Pen dalam geser

Pen yang memikul gaya geser rencana,  $V_f^*$ , harus memenuhi:

$$V_f^* \leq \phi V_f \quad (11.5-4)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_f$  adalah Kekuatan tarik nominal pen, dinyatakan dalam Newton, (N)

#### 11.4.3.2 Pen dalam tumpuan

Pen yang memikul gaya tumpuan rencana,  $V_b^*$ , harus memenuhi:

$$V_b^* \leq \phi V_b \quad (11.5-5)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_b$  adalah Kekuatan tumpuan nominal pelat lapis, dinyatakan dalam Newton, (N)

#### 11.4.3.3 Pen dalam lentur

Pen yang memikul momen lentur rencana,  $M^*$ , harus memenuhi:

$$M^* \leq \phi M_p \quad (11.5-6)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3.

$M_p$  adalah kekuatan nominal pen dalam lentur, dinyatakan dalam Newton-meter, (kN.m).

#### 11.4.3.4 Pelat lapis dalam tumpuan

Pelat lapis yang memikul gaya tumpuan rencana,  $V_b^*$ , akibat pen dalam geser harus memenuhi sub-pasal 11.5.3.4.

### 11.5 Detil perencanaan baut dan pen

#### 11.5.1 Jarak minimum

Jarak antara pusat lubang pengencang tidak boleh kurang dari 2,5 dikali diameter nominal pengencang.

#### 11.5.2 Jarak tepi minimum

Jarak minimum dari pusat pengencang ke tepi pelat atau sayap penampang giling harus sesuai spesifikasi dalam Tabel 13.

**Tabel 13 Jarak tepi minimum**

Pemotongan Tepi dengan Geser atau Tangan dan Api	Pelat Giling, Pemotongan Mesin dengan Api, Gergaji atau Tepi Diratakan	Tepi Hasil Giling dari Penampang Giling
1,75 $d_f$	1,50 $d_f$	1,25 $d_f$

Catatan :

$d_f$  adalah diameter pengencangan nominal

#### 11.5.3 Jarak maksimum

Jarak maksimum antara pusat pengencang harus nilai terkecil dari 15  $t_p$  (di mana  $t_p$  adalah tebal pelat lapis tertipis didalam sambungan) atau 200 mm.

Bagaimanapun, dalam hal berikut, jarak maksimum harus sebagai berikut:

- a. Untuk pengencang yang tidak perlu memikul gaya rencana dalam daerah yang tidak mudah berkarat, nilai terkecil dari  $32t_p$  atau 300 mm
- b. Untuk baris luar dari pengencang dalam arah gaya rencana, nilai terkecil dari  $4t_p + 100$  mm, atau 200 mm.

#### 11.5.4 Jarak tepi maksimum

Jarak maksimum dari pusat tiap pengencang ke tepi terdekat dari bagian yang saling bersambungan harus sebesar 12 dikali tebal pelat lapis luar tertipis dalam hubungan, tetapi tidak boleh melebihi 150 mm.

#### 11.5.5 Lubang-lubang

Diameter nominal lubang yang selesai harus 2 mm lebih besar dari diameter nominal baut untuk baut dengan diameter tidak melebihi 24 mm, dan tidak lebih dari 3 mm lebih besar untuk baut dengan diameter lebih besar.

Lubang yang kebesaran dapat digunakan dalam tiap atau semua pelat lapis dari sambungan tumpuan atau gesek dengan syarat bahwa dipasang pelat cincin keras di atas lubang kebesaran yaitu di bawah kepala baut dan mur. Diameter lubang kebesaran tidak boleh melebihi nilai terbesar dari:

$$1,25 d_f \text{ atau } (d_f + 8) \text{ mm} \quad (11.6-1)$$

Lubang sela pendek dapat digunakan dalam tiap atau semua pelat lapis dari sambungan tumpuan atau gesek, dengan syarat bahwa dipasang pelat cincin keras di atas lubang sela yaitu di bawah kepala baut dan mur, lubang sela pendek tidak boleh lebih panjang dari nilai terbesar:

$$1,33 d_f \text{ atau } (d_f + 10) \text{ mm} \quad (11.6-2)$$

Lubang sela panjang hanya dapat digunakan dalam pelat lapis bergantian dalam sambungan tumpuan atau gesek dengan syarat bahwa digunakan pelat cincin dengan tebal minimum 8 mm untuk menutup seluruh lubang sela panjang dibawah kepala baut dan murnya. Lubang sela panjang tidak boleh lebih panjang dari  $2,5 d_f$ .

Sambungan yang memikul gaya geser dapat mempunyai lubang kebesaran, sela pendek atau sela panjang dengan pembatasan berikut:

- a. untuk sambungan gesek, tidak dibatasi
- b. untuk sambungan tumpuan, lubang sela hanya boleh digunakan bila sambungan tidak dibebani eksentris dan bila baut dapat menumpu merata, dan bila sela adalah tegak lurus pada arah beban.

#### 11.5.6 Penguncian mur

Pasal ini tidak berlaku untuk baut kekuatan tinggi dalam sambungan gesek.

Bila baut memikul getaran, kejutan atau gaya tarik, mur harus dikunci secara efektif dalam kedudukan setelah pengencangan.

### 11.5.7 Jumlah baut minimum

Kecuali untuk unsur ikatan ringan dan sandaran, sambungan baut harus mempunyai minimum dua baut.

### 11.5.8 Ukuran baut

Baut untuk unsur yang memikul beban tidak boleh kurang dari diameter nominal 16 mm. Diameter baut tidak boleh lebih dari 2 kali ketebalan bagian tertipis dalam sambungan. Persyaratan ini tidak berlaku untuk pelat pengisi.

Diameter baut dalam siku yang memikul beban tidak boleh lebih dari seperempat lebar kaki pada mana baut ditempatkan.

## 11.6 Sambungan gesek

### 11.6.1 Pemasangan

Pelat pengisi harus diadakan di mana perlu agar menjamin bahwa pelat lapis yang menyalurkan beban berada dalam kontak efektif bila sambungan dikencangkan sampai kondisi kencang tangan yang ditentukan dalam pasal 11.2.

### 11.6.2 Cara pengencangan

#### 11.6.2.1 Umum

Cara pengencangan harus sesuai dengan salah satu sub-pasal 11.7.2.2 atau 11.7.2.3. Patokan alat pengencang puntir (*torque wrench settings*) tidak boleh digunakan untuk pengencangan.

Dalam sambungan yang sudah selesai dikencangkan, semua baut harus mempunyai paling sedikit tarikan baut minimum yang disyaratkan dalam Tabel 2.

#### 11.6.2.2 Cara pengencangan fraksi putaran

Pengencangan baut dengan cara fraksi-putaran harus sesuai tahapan berikut:

- a. Pada pemasangan, semua baut dalam sambungan harus mula-mula dikencangkan sampai kondisi kencang tangan untuk menjamin bahwa pelat lapis yang menyalurkan beban dibawa ke dalam kontak efektif.
- b. Kencang tangan adalah kekencangan yang dicapai dengan beberapa pukulan alat pengencang *impact* atau dengan kekuatan penuh seorang menggunakan alat pengencang standar.
- c. Setelah pengencangan tangan selesai, patokan tanda pada baut dan mur harus ditentukan untuk menunjukkan kedudukan relatif baut dan mur, serta untuk memeriksa putaran mur akhir.
- d. Pengamatan putaran mur akhir dapat dicapai dengan menggunakan tanda pada soket alat pengencang tetapi patokan seharusnya tetap ada untuk keperluan pemeriksaan.
- e. Baut akhirnya harus dikencangkan dengan putaran mur sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan.

### 11.6.2.3 Pengencangan dengan menggunakan indikator tarik langsung

Pengencangan baut dengan menggunakan indikator tarik langsung harus sesuai dengan tahapan berikut:

- a. Kelayakan indikator harus ditunjukkan melalui pengujian benda contoh yang representatif (untuk tiap diameter baut) dalam alat kalibrasi yang mampu mengukur tarikan baut.

Pengujian kalibrasi harus menunjukkan secara statistik bahwa:

1. pada beban percobaan sama dengan beban sebenarnya, tidak boleh terjadi lebih dari 5% kemungkinan bahwa nilai rata-rata beban yang ditunjukkan oleh tiap kelompok dari 4 indikator adalah lebih besar dari beban sebenarnya.

Hal ini dijamin dengan terpenuhi rumus berikut:

$$T_{av} - 0,83 s_t \leq T_p \quad (11.7-1)$$

2. pada beban percobaan sama dengan 0,9 beban putus minimum baut, tidak boleh terdapat lebih dari 5% kemungkinan bahwa beban yang ditunjukkan oleh suatu indikator adalah kurang dari beban percobaan.

Hal ini dijamin dengan terpenuhi rumus berikut:

$$T_{av} + 1,65 s_t \geq 0,9 T_u \quad (11.7-2)$$

dengan beban sebenarnya sebagai tarikan baut minimum yang dispesifikasi dalam Tabel 2 untuk diameter baut relevan.

- b. Pada pemasangan, semua baut dan mur dalam sambungan harus mula-mula dikencangkan sampai kondisi kencang tangan yang ditentukan dalam sub-pasal 11.7.2.2.
- c. Setelah pengencangan tangan selesai, baut harus dikencangkan agar mengadakan tarikan baut minimum yang dispesifikasi dalam Tabel 2. Hal ini ditunjukkan oleh indikator tarik.

## 11.7 Perencanaan las

### 11.7.1 Lingkup

#### 11.7.1.1 Umum

Pengelasan harus memenuhi standar sesuai yang dispesifikasi oleh yang berwenang.

#### 11.7.1.2 Jenis las

Untuk maksud bagian ini, jenis las adalah tumpul, sudut, pengisi, atau tersusun.

#### 11.7.1.3 Cara perencanaan

Las harus direncanakan sesuai dengan cara rencana keadaan batas ultimit. Kekuatan kelompok las yang menahan beban yang bekerja, harus diperkirakan sesuai pasal 11.9. Dalam pendekatan ini, kekuatan las yang ditentukan sesuai sub-pasal 11.8.2.7, 11.8.3.10 atau 11.8.4.2 harus dikalikan dengan faktor sebagai berikut:

- a. las tumpul penetrasi penuh..... 0,55
- b. jenis las lain..... 0,44

## 11.7.2 Las tumpul penetrasi penuh dan sebagian

## 11.7.2.1 Ukuran las

Ukuran las tumpul penetrasi penuh, selain dari las tumpul penetrasi penuh pada sambungan T atau sambungan sudut, dan ukuran las penetrasi sebagian adalah jarak antara ujung luar sampai dengan ujung dalam persiapan las, tidak termasuk perkuatan.

Ukuran las tumpul penetrasi penuh untuk sambungan T atau sambungan sudut adalah tebal bagian yang menumpu pada bagian yang lain.

## 11.7.2.2 Tebal rencana leher

Tebal rencana leher harus sebagai berikut:

- a. Las tumpul penetrasi penuh  
Tebal rencana leher untuk las tumpul penetrasi penuh adalah ukuran las.
- b. Las tumpul penetrasi sebagian  
Tebal rencana leher untuk las tumpul penetrasi sebagian harus sebagai dispesifikasi dalam Tabel 14.

**Tabel 14 Tebal leher dari las tumpul penetrasi sebagian**

Jenis Las Tumpul Penetrasi Sebagian	Sudut Persiapan $\theta$	Tebal Leher Rencana (mm)
V tunggal	$\theta < 60^\circ$	$d - 3 \text{ mm}$
	$\theta > 60^\circ$	$d$
V ganda	$\theta < 60^\circ$	$d_3 + d_4 - 6 \text{ mm}$
	$\theta > 60^\circ$	$d_3 + d_4$
$d$ = kedalaman persiapan, ( $d_3$ dan $d_4$ adalah untuk nilai untuk tiap sisi las) $\theta$ = sudut persiapan		

## 11.7.2.3 Panjang efektif

Panjang efektif las tumpul adalah jumlah dari panjang las ukuran penuh.

## 11.7.2.4 Luas efektif

Luas efektif las tumpul adalah perkalian panjang efektif dengan tebal rencana leher.

## 11.7.2.5 Peralihan tebal atau lebar

Sambungan las tumpul antara bagian dengan tebal berbeda atau lebar tidak sama yang memikul tarik harus mempunyai peralihan halus antara permukaan atau tepi. Peralihan harus dibuat dengan melandaikan bagian lebih tebal atau dengan melandaikan permukaan las atau dengan kombinasi dari keduanya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 19. Kelandaian peralihan antara bagian-bagian tidak boleh melebihi 1:1. Namun, ketentuan untuk fatik mensyaratkan kelandaian lebih kecil dari ini atau suatu peralihan lengkung antara bagian untuk beberapa kategori detil fatik.

### 11.7.2.6 Penentuan kekuatan las tumpul

Penentuan kekuatan las tumpul harus sebagai berikut:

a. Las tumpul penetrasi penuh

Kekuatan rencana las tumpul penetrasi penuh harus diambil sama dengan kapasitas nominal bagian lebih lemah pada bagian-bagian tersambung dikalikan faktor reduksi kekuatan sesuai untuk las tumpul (lihat Tabel 3) dengan syarat bahwa cara pengelasan sesuai dengan kualifikasi yang disyaratkan oleh yang berwenang.

b. Las tumpul penetrasi sebagian

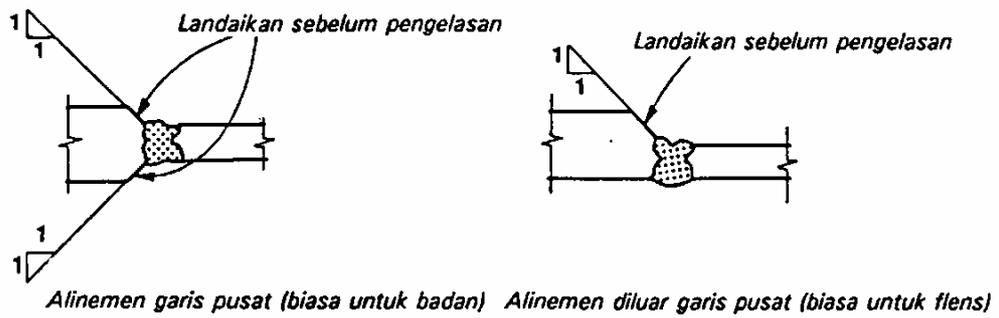
Kekuatan rencana las tumpul penetrasi sebagian harus dihitung seperti untuk las sudut (lihat sub-pasal 11.8.3.10) dengan menggunakan tebal rencana leher yang ditentukan sesuai sub-pasal 11.8.2.3(ii).

Las tumpul penetrasi sebagian tidak boleh digunakan untuk menyalurkan beban tarik atau tekan.

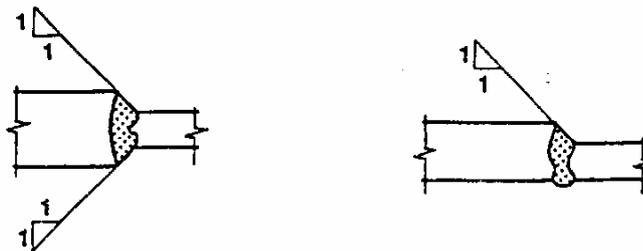
### 11.7.3 Las sudut

#### 11.7.3.1 Ukuran las sudut

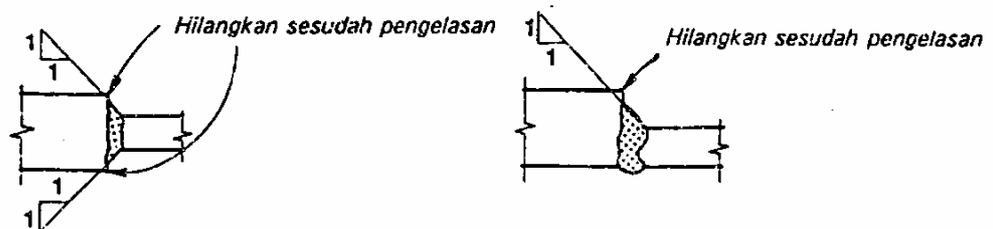
Ukuran las sudut dinyatakan oleh panjang kakinya. Panjang kaki harus ditentukan sebagai panjang,  $t_{w1}$ ,  $t_{w2}$ , dari sisi yang terletak sepanjang kaki segitiga yang terbentuk oleh penampang melintang las (lihat Gambar 20(a) dan (b)). Apabila kaki sama panjang, ukuran dinyatakan oleh dimensi tunggal,  $t_w$ . Bila terdapat sela akar, ukuran,  $t_w$ , diberikan oleh panjang kaki segitiga yang terbentuk dengan mengurangi sela akar seperti ditunjukkan dalam Gambar 20(c).



(i) Peralihan dengan Melandaikan Bagian Lebih Tebal

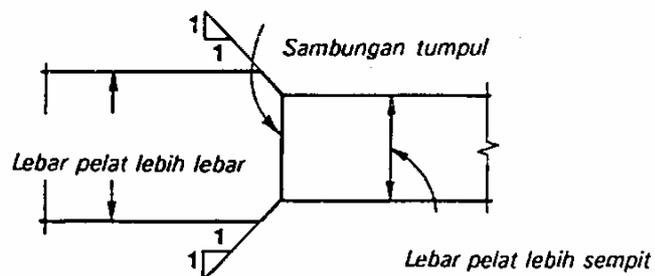


(ii) Peralihan dengan Melandaikan Permukaan Las



(iii) Peralihan dengan Melandaikan Permukaan Las dan Bagian Lebih Tebal

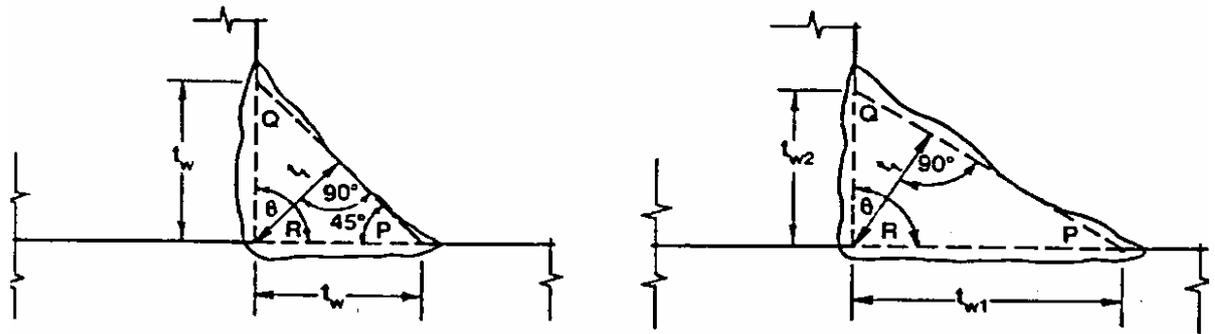
(a) Peralihan Sambungan Tumpul pada Bagian dengan Tebal Tidak Sama



(b) Peralihan Sambungan Tumpul pada Bagian dengan Lebar Tidak Sama - Peralihan dengan Melandaikan Bagian Lebih Lebar

Catatan : Landai peralihan digambarkan pada (a) dan (b) adalah maksimum diperbolehkan

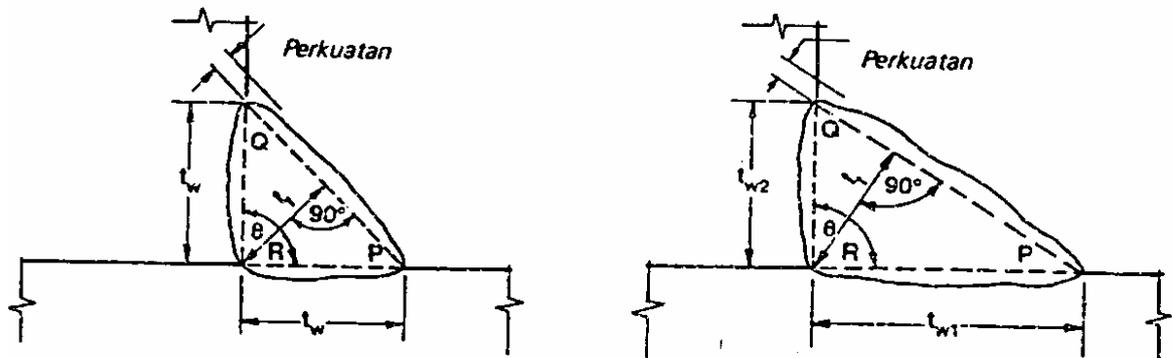
**Gambar 19 Peralihan sambungan las**



*Las sudut kaki sama*

*Las sudut kaki tidak sama*

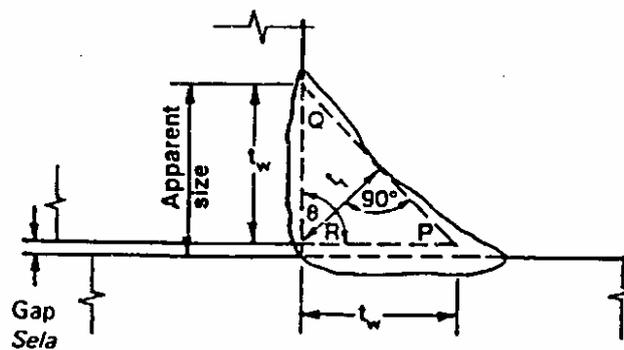
a) Las Sudut Cekung



*Las sudut kaki sama*

*Las sudut kaki tidak sama*

b). Las Sudut Cembung



c). Las sudut sama kaki dengan sela

- PQR = segitiga yang terbentuk dalam penampang melintang las
- $l_w, l_{w1}, l_{w2}$  = ukuran las sudut
- $t_t$  = lebar rencana leher

**Gambar 20 Ukuran las sudut**

## 11.7.3.2 Ukuran minimum las sudut

Ukuran minimum las sudut, selain dari las sudut yang digunakan untuk memperkuat las tumpul, harus sesuai Tabel 15, kecuali bahwa ukuran las tidak boleh lebih besar dari bagian yang paling tipis dalam sambungan.

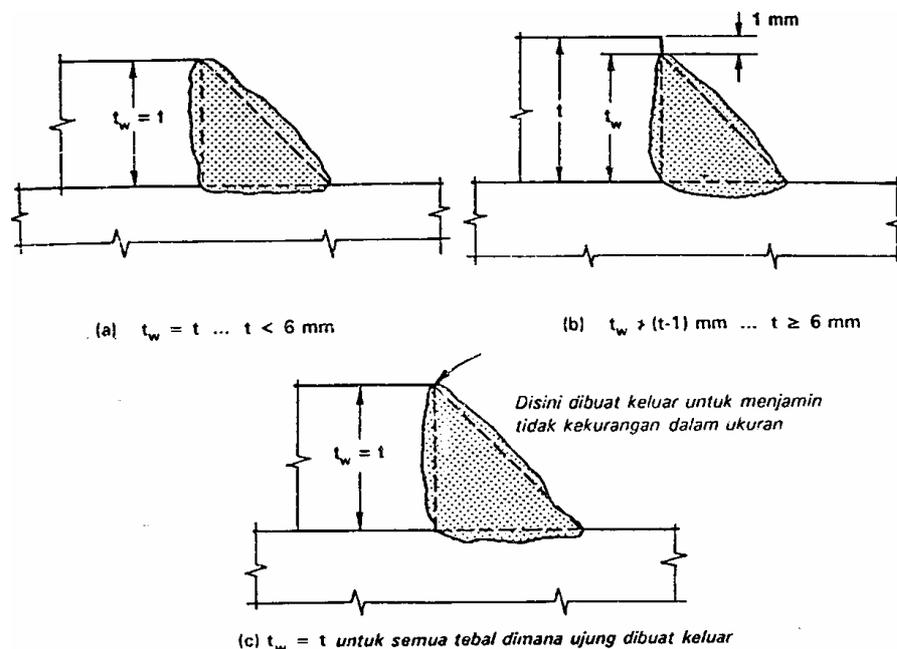
Tabel 15 Ukuran minimum las sudut

Tebal Bagian Paling Tebal $t$ mm	Ukuran Minimum Las Sudut $t_w$ mm
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t \leq 15$	5
$15 < t \leq 20$	6
$20 < t \leq 40$	8
$40 < t \leq 60$	10
$60 < t \leq 70$	12

## 11.7.3.3 Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi

Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi bahan adalah:

- untuk bahan dengan tebal kurang dari 6 mm, diambil tebal bahan (lihat Gambar 21 (a))
- untuk bahan dengan tebal 6 mm atau lebih (lihat Gambar 21 (b)), kecuali tebal rencana leher disyaratkan lain pada gambar (lihat Gambar 21 (c)), ukuran las harus diambil sebesar tebal bahan dikurangi 1 mm.



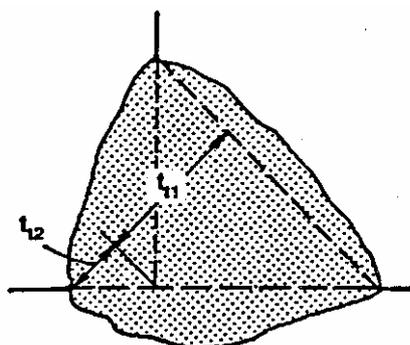
$t_w$  = ukuran las sudut  
 $t$  = tebal bagian lebih tipis dalam sambungan

Gambar 21 Ukuran maksimum las sudut sepanjang tepi

#### 11.7.3.4 Tebal rencana leher

Tebal rencana leher,  $t_t$  dari las sudut adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 20.

Untuk las yang dibuat dengan cara pengelasan otomatis, suatu peningkatan tebal rencana leher B dapat diijinkan seperti ditunjukkan dalam Gambar 22, dengan syarat bahwa dapat dibuktikan melalui pengujian makro pada hasil las bahwa penetrasi yang disyaratkan telah tercapai. Bila penetrasi demikian tercapai, ukuran las yang disyaratkan dapat dikurangi sebanding dengan tebal rencana leher yang disyaratkan.



Tebal rencana leher untuk las penetrasi  
Dalam yang dibuat dengan cara otomatis :

$$t_t = t_{t1} + 0,85 t_{t2}$$

**Gambar 22 Las penetrasi dalam**

#### 11.7.3.5 Panjang efektif

Panjang efektif las sudut adalah seluruh panjang las sudut berukuran penuh, termasuk putaran ujung. Tidak perlu mengadakan reduksi panjang efektif untuk permulaan atau kawah las bila las adalah berukuran penuh pada seluruh panjang.

Panjang efektif minimum las sudut adalah 4 kali ukuran las. Namun, bila perbandingan panjang efektif las terhadap ukuran las tidak sesuai persyaratan ini, ukuran las untuk perencanaan harus diambil sebesar 0,25 kali panjang efektif. Persyaratan panjang minimum berlaku juga untuk sambungan lewatan.

Tiap segmen dari las sudut tidak menerus harus mempunyai panjang efektif tidak kurang dari 40 mm atau 4 kali ukuran nominal las, diambil yang lebih besar.

#### 11.7.3.6 Luas efektif

Luas efektif las sudut adalah perkalian panjang efektif dan tebal rencana leher.

#### 11.7.3.7 Jarak melintang antar las sudut

Bila dua las sudut sejajar menghubungkan 2 komponen dalam arah gaya rencana untuk membentuk unsur tersusun, jarak melintang antar las tidak boleh melebihi  $32 t_p$ , kecuali pada ujung unsur tarik jika dipergunakan las sudut terputus-putus, jarak melintang tidak boleh melebihi  $16 t_p$  atau 200 mm, di mana  $t_p$  adalah tebal terkecil dari 2 komponen yang disambung.

Agar persyaratan di atas terpenuhi, diizinkan untuk mempergunakan las sudut dalam sela dan atau lubang dalam arah gaya rencana.

## 11.7.3.8 Jarak antar las sudut tidak menerus

Kecuali pada ujung unsur tersusun, jarak bersih antara las sudut terputus-putus, sepanjang garis las, tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- a. untuk elemen yang mengalami tekan  $16 t_p$  dan 300 mm.
- b. untuk elemen yang mengalami tarikan  $24 t_p$  dan 300 mm.

## 11.7.3.9 Unsur tersusun-las sudut terputus-putus

Las sudut yang terputus-putus tidak boleh digunakan untuk sambungan, atau pada tempat dimana korosi dapat membahayakan struktur. Bila las sudut terputus-putus menghubungkan komponen untuk membentuk unsur tersusun, las harus memenuhi persyaratan berikut:

- a. Pada ujung komponen tarik atau tekan dari balok, atau pada ujung unsur tarik, bila hanya digunakan las sudut pada sisi komponen, panjang las pada tiap garis sambungan paling sedikit sama dengan lebar komponen yang di sambung. Bila lebar komponen yang sambung adalah tirus, panjang las adalah nilai terbesar dari:
  1. lebar bagian yang paling besar, dan
  2. panjang bagian yang tirus
- b. Pada pelat penutup atau pelat dasar unsur tekan, las harus mempunyai panjang pada setiap garis sambungan sebesar paling sedikit lebar maksimum unsur pada permukaan kontak.
- c. Bila balok dihubungkan pada permukaan unsur tekan, las yang menghubungkan komponen unsur tekan harus mencakup melewati tepi atas dan tepi bawah balok dan disamping itu:
  1. untuk sambungan tidak terkekang, suatu jarak  $d$  di bawah permukaan bawah dari gelagar, dan
  2. untuk sambungan terkekang, suatu jarak  $d$  di atas dan di bawah permukaan atas dan bawah gelagar, di mana  $d$  adalah dimensi maksimum penampang melintang dari unsur tekan.

## 11.7.3.10 Keadaan batas ultimit untuk las sudut

Las sudut yang memikul gaya rencana per satuan panjang las,  $V_w^*$ , harus memenuhi:

$$V_w^* \leq \phi V_w \quad (11.8-1)$$

Gaya rencana per satuan panjang,  $V_w^*$ , adalah jumlah vektor gaya rencana per satuan panjang pada luas efektif las.

Kekuatan nominal las sudut per satuan panjang harus dihitung sebagai berikut:

$$V_w = 0,6 f_{uw} t_t k_r \quad (11.8-2)$$

dengan pengertian :

- $\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3
- $f_{uw}$  adalah kekuatan nominal las sudut per satuan panjang, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa).
- $t_t$  adalah lebar rencana leher, dinyatakan dalam milimeter, (mm)
- $k_r$  adalah faktor reduksi yang dapat dilihat pada Tabel 16 untuk memperhitungkan panjang hubungan lebih yang di las,  $L_w$ . Untuk semua jenis hubungan lain,  $k_r=1,0$

Tabel 16 Faktor reduksi untuk hubungan lebih yang dilas,  $k_r$ 

Panjang las, $L_w$ , (m)	$L_w \leq 1,7$	$1,7 \leq L_w \leq 8,0$	$L_w > 8,0$
$k_r$	1,00	$1,10 - 0,06 L_w$	0,62

#### 11.7.4 Las pengisi

##### 11.7.4.1 Las pengisi dalam bentuk las sudut keliling lubang atau sela

Las pengisi harus dianggap sebagai las sudut dengan panjang efektif yang ditentukan dalam sub-pasal 11.8.3.5, dan kekuatan nominal yang ditentukan dalam sub-pasal 11.8.3.10. Ukuran minimum harus seperti untuk las sudut (lihat sub-pasal 11.8.3.2).

##### 11.7.4.2 Las pengisi dalam bentuk lubang terisi dengan logam las

Luas geser efektif,  $A_w$ , dari las pengisi dalam bentuk lubang terisi dengan logam las harus dianggap sebagai luas penampang melintang nominal lubang atau sela dalam bidang dari permukaan antara komponen yang di sambung.

Las pengisi demikian yang memikul gaya geser rencana,  $V_w^*$ , harus memenuhi:

$$V_w^* \leq \phi V_w \quad (11.8-3)$$

Kekuatan geser nominal ultimit las harus dihitung sebagai berikut:

$$V_w = 0,6 f_{uw} A_w \quad (11.8-4)$$

dengan pengertian :

$\phi$  adalah faktor reduksi kekuatan sesuai dengan Tabel 3

$V_w$  adalah kekuatan geser nominal ultimit las, dinyatakan dalam Newton, (N)

$f_{uw}$  adalah kekuatan nominal las sudut per satuan panjang, dinyatakan dalam Mega Pascal, (MPa).

##### 11.7.4.3 Pembatasan

Las pengisi hanya boleh digunakan untuk menyalurkan geser dalam sambungan lewatan atau untuk mencegah tekuk dari bagian yang lewat atau untuk menyambung bagian komponen dari unsur tersusun.

#### 11.7.5 Las tersusun

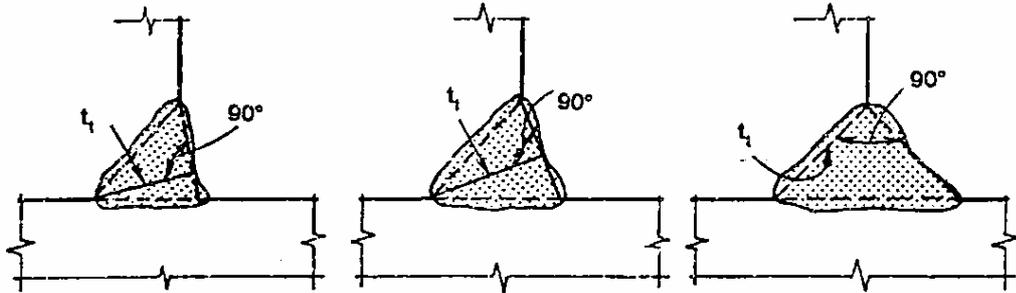
##### 11.7.5.1 Deskripsi

Las tersusun ditentukan sebagai las sudut yang ditambah pada las tumpul.

## 11.7.5.2 Tebal rencana leher

Tebal rencana leher dari las tersusun, untuk dipergunakan pada perhitungan rencana, adalah:

- Untuk las tumpul penetrasi penuh, ukuran las tumpul tanpa perkuatan, dan
- Untuk las tumpul penetrasi sebagian, jarak terpendek dari akar las tumpul penetrasi sebagian terhadap permukaan las sudut seperti ditentukan oleh segitiga dalam terbesar dalam penampang melintang las total, dengan nilai maksimum sama dengan tebal bagian yang ujung atau sisinya menumpu pada permukaan bagian lainnya (lihat Gambar 23).



Catatan :

Tebal rencana leher,  $t_t$  dari las adalah ja minimum dari akar las terhadap permukaan dikurangi tiap perkuatan. Tiga sketsa diatas menggambarkan konsep tersebut.

**Gambar 23** Tebal rencana leher dari las tersusun

## 11.7.5.3 Keadaan batas kekuatan ultimit

Las harus memenuhi persyaratan sub-pasal 11.8.2.7.

## 11.8 Penentuan kekuatan kelompok las

## 11.8.1 Kelompok las yang memikul pembebanan dalam bidang

## 11.8.1.1 Cara analisis umum

Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut yang memikul pembebanan dalam bidang harus ditentukan sesuai dengan yang berikut ini:

- Pelat sambungan harus dipertimbangkan kaku dan berputar relatif satu sama lainnya terhadap suatu titik yang diketahui sebagai pusat perputaran langsung dari kelompok las.  
Dalam hal kelompok las hanya memikul kopel murni, pusat perputaran langsung adalah titik berat kelompok las.
- Dalam hal kelompok las memikul gaya geser dalam bidang yang bekerja dengan memperhitungkan titik berat kelompok, pusat perputaran langsung berada pada tak terhingga dan gaya rencana per satuan panjang,  $V_w$  dibagi rata pada kelompok.  
Dalam hal lain, hasil analisis tersendiri untuk kopel murni saja dan untuk gaya geser dalam bidang yang bekerja dengan memperhitungkan titik berat kelompok las, hasilnya harus saling ditambahkan, atau digunakan cara analisis yang lazim.

- c. Gaya rencana per satuan panjang,  $V_w$  pada tiap titik dalam kelompok las sudut harus dianggap bekerja tegak lurus pada jari-jari dari titik tersebut terhadap pusat langsung, dan harus diambil berbanding lurus dengan jari-jari tersebut. Las sudut harus memenuhi persyaratan sub-pasal 11.8.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai untuk kelompok las (lihat Tabel 3). Dalam hal kelompok las sudut dengan tebal leher tetap, cukup untuk hanya memeriksa titik dalam kelompok yang ditentukan oleh nilai maksimum jari-jari terhadap pusat langsung.

#### 11.8.1.2 Analisis alternatif

Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut dapat secara alternatif ditentukan dengan menganggap kelompok las sudut sebagai perluasan unsur yang disambung dan mengambil gaya rencana sebanding per satuan panjang dalam kelompok las sudut untuk memenuhi keseimbangan antara kelompok las sudut dan elemen unsur yang disambung. Las sudut harus memenuhi persyaratan pasal 11.8.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan untuk kelompok las (lihat Tabel 3).

### 11.8.2 Kelompok las yang memikul pembebanan luar bidang

#### 11.8.2.1 Cara analisis umum

Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut yang memikul pembebanan luar bidang harus ditentukan sesuai dengan yang berikut:

- kelompok las sudut harus ditinjau secara terpisah dari elemen yang dihubungkan, dan
- gaya rencana per satuan panjang dalam las sudut yang dihasilkan dari momen lentur rencana harus dianggap bervariasi linier dengan jarak terhadap sumbu garis netral relevan. Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut yang dihasilkan dari tiap gaya geser atau gaya aksial harus dianggap dibagi rata pada panjang kelompok las sudut.

Las sudut harus memenuhi persyaratan sub-pasal 11.8.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut, dan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai untuk kelompok las (lihat Tabel 3).

#### 11.8.2.2 Analisis alternatif

Gaya rencana per satuan panjang dalam kelompok las sudut dapat secara alternatif ditentukan dengan menganggap kelompok las sudut sebagai perluasan unsur yang disambung dan menyebar gaya rencana antara las dari kelompok las sudut sedemikian agar memenuhi keseimbangan kelompok las sudut dan elemen unsur yang disambung.

Las sudut harus memenuhi persyaratan sub-pasal 11.8.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut dan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai untuk kelompok las (lihat Tabel 3).

### 11.8.3 Kelompok las yang memikul pembebanan dalam dan luar bidang

#### 11.8.3.1 Cara analisis umum

Gaya rencana per satuan panjang seperti ditentukan dari analisis sesuai sub-pasal 11.9.1.1 dan 11.9.2.1 harus memenuhi sub-pasal 11.8.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut, dan menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai untuk kelompok las (lihat Tabel 3).

#### 11.8.3.2 Analisis alternatif

Gaya rencana per satuan panjang seperti ditentukan dari analisis sesuai dengan pasal 11.9.1.2 dan 11.9.2.2, harus memenuhi sub-pasal 11.8.3.10 pada semua titik dalam kelompok las sudut, menggunakan faktor reduksi kekuatan sesuai untuk kelompok las (lihat Tabel 3).

### 11.8.4 Kombinasi jenis las

Bila dua atau lebih jenis las dikombinasikan dalam sambungan tunggal, kapasitas rencana tiap jenis.

### 11.9 Pelat pengisi dalam pelaksanaan

Bila pelat pengisi dilas antara dua unsur dan adalah kurang tebal dari 6 mm, atau terlalu tipis untuk rnengijinkan pengadaaan las memadai atau untuk mencegah tekuk, pengisi harus diratakan tepat dengan tepi elemen yang memikul gaya rencana dan ukuran las sepanjang tepi harus ditingkatkan lebih dari ukuran persyaratan dengan besaran sama dengan tebal pengisi. Atau cara lain, pengisi harus melewati tepi dan harus dilas pada elemen di mana pengisi terpasang.

## 12 Ketentuan untuk perencanaan struktur khusus

### 12.1 Umum

Apabila bentang jembatan lebih besar dari yang ditentukan dalam bagian I sub-pasal 1.1.1 atau letaknya di tikungan, atau bila tidak dikehendaki adanya tumpuan di tengah sungai, maka dapat dipergunakan jembatan dengan sistem struktur seperti dibawah ini:

- a. Jembatan busur
- b. Jembatan gelagar boks (*box girder*)
- c. Jembatan kabel
- d. Jembatan gantung

### 12.2 Jembatan busur

#### 12.2.1 Jembatan dengan busur kaku

Jika lantai kendaraan hanya berfungsi untuk meneruskan beban ke busur, sehingga busur menerima momen, maka jembatan busur demikian disebut jembatan dengan busur yang kaku.

### 12.2.2 Jembatan dengan busur yang tidak kaku

Jika lantai kendaraan direncanakan sebagai gelagar pengaku yang memikul momen besar, maka jembatan busur demikian disebut jembatan dengan busur yang diperkaku.

Gaya utama yang timbul pada busur hanyalah gaya aksial tekan, sehingga ukuran busur menjadi ramping.

### 12.2.3 Jembatan busur dengan batang tarik

Jika reaksi horisontal busur dipikul oleh lantai kendaraan maka jembatan busur demikian disebut jembatan busur dengan batang tarik.

Dalam hal ini gelagar utama pemikul lantai kendaraan harus direncanakan memikul momen lentur dan gaya aksial tarik.

## 12.3 Jembatan gelagar boks (*box girder*)

### 12.3.1 Umum

Apabila gelagar utama akibat jenis struktur atau akibat beban luar harus menerima momen puntir yang besar, seperti misalnya untuk jembatan pada tikungan, maka sistem gelagar boks merupakan pemecahan yang baik.

### 12.3.2 Perencanaan gelagar boks komposit

Dalam perencanaannya, gelagar boks komposit harus memperhatikan ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- a. Tegangan ijin untuk shear lag.
- b. Distorsi dan penyimpangan tegangan.
- c. Redistribusi dari tegangan badan pada gelagar memanjang yang diperkaku.
- d. Ketebalan efektif badan untuk analisis tegangan lentur.
- e. Tahanan menerus.

Selain itu juga harus memenuhi ketentuan-ketentuan:

- a. Jarak dari tengah-tengah sayap pada boks yang satu ke sayap pada boks yang lain harus sama.
- b. Jarak rata-rata dari tengah-tengah sayap ke tengah-tengah sayap pada boks yang berdekatan tidak boleh lebih besar dari 1,2 kali dan tidak boleh kurang dari 0,8 kali jarak dari tengah-tengah sayap ke tengah-tengah sayap yang lain pada setiap boks.
- c. Mengacu pernyataan di atas, ketika menggunakan gelagar tidak paralel, jarak dari tengah-tengah sayap ke tengah-tengah sayap yang lain tidak boleh lebih besar dari 1,35 kali dan tidak kurang dari 0,65 kali jarak dari tengah-tengah sayap ke tengah-tengah sayap yang lain pada setiap boks.
- d. Kantilever pada pelat lantai kendaraan, termasuk tahanan dan sandaran, harus dibatasi pada 60 % dari jarak rata-rata dari tengah-tengah sayap ke tengah-tengah sayap pada boks yang berdekatan, tapi tidak melebihi jarak 6 feet.

### 12.3.3 Gelagar boks komposit tanpa pengaku memanjang

Gelagar boks komposit tanpa pengaku memanjang perlu direncanakan untuk memenuhi ketentuan-ketentuan pada gelagar baja dan juga ketentuan-ketentuan pada sub-pasal 12.3.7 dan 12.3.8.

### **12.3.4 Sayap pada gelagar dengan pengaku memanjang**

#### **12.3.4.1 Umum**

Mengacu kepada perencanaan bagian boks dengan sayap yang diperkaku, dengan satu atau lebih pengaku memanjang yang memenuhi kebutuhan geometris pada sub-pasal 12.3.9.

#### **12.3.4.2 Tegangan pada sayap tertekan dengan pengaku memanjang**

Tegangan memanjang pada sayap tertekan dengan pengaku memanjang perlu ditentukan baik pada tengah-tengah permukaan dari pelat sayap (ketika memeriksa kelelahan) maupun pada titik tengah bagian efektif dari pengaku (ketika memeriksa tekuk).

#### **12.3.4.3 Kekuatan dari sayap yang diperkaku**

Dalam menentukan kekuatan dari sayap yang diperkaku harus memperhatikan:

- kelelahan pada pelat sayap;
- bagian efektif untuk pengaku sayap memanjang;
- kekuatan dari pengaku sayap memanjang ;
- variasi momen memanjang.

#### **12.3.4.4 Sayap dengan pengaku memanjang tanpa pengaku melintang**

Untuk perumusan yang lebih rinci akan diberikan kemudian dalam penyusunan peraturan rinci.

#### **12.3.4.5 Pengurangan pengaku memanjang**

Ketika pengaku memanjang dikurangi, bagian pengaku perlu ditingkatkan melebihi titik potong teoritis pada setiap bagian dengan pertimbangan melebihi jarak yang sama dengan lebar gelagar.

### **12.3.5 Badan pada gelagar dengan pengaku memanjang**

#### **12.3.5.1 Umum**

Perencanaan dari panel badan yang berlaku untuk setiap bagiannya perlu memenuhi kriteria kelelahan dan kriteria tekuk pada sub-pasal 12.3.5.2 dan 12.3.5.3.

#### **12.3.5.2 Kelelahan pada panel badan**

Perumusan rinci akan diberikan kemudian dalam penyusunan peraturan rinci.

#### **12.3.5.3 Tekuk pada panel badan**

Tegangan melintang pada setiap panel badan harus diambil pada tepi panel yang terdekat dengan beban.

Untuk menghitung koefisien tekuk yang dibutuhkan, batas tahanan ruang efektif pada panel perlu dipertimbangkan sesuai ketentuan yang akan diberikan kemudian dalam penyusunan peraturan rinci.

#### **12.3.5.4 Pengaku badan memanjang**

Dalam merencanakan pengaku badan memanjang perlu memperhatikan:

- a. Daerah efektif untuk pengaku badan memanjang.
- b. Kekuatan dari pengaku badan memanjang.

#### **12.3.5.5 Pengurangan pengaku badan memanjang**

Ketika pengaku memanjang dikurangi, bagian pengaku perlu ditingkatkan melebihi titik potong teoritis. Penggabungan peningkatan pengaku ini dibutuhkan untuk mengembangkan beban pada pengaku yang dihitung sebagai titik potong teoritisnya.

#### **12.3.5.6 Pengaku melintang dari pengaku badan memanjang**

Dalam perencanaannya perlu disesuaikan dengan persyaratan yang terdapat pada perencanaan pengaku badan arah melintang dan keberadaan analisis rasional.

Pengaku badan melintang harus disediakan pada semua lokasi di mana badan yang menyambung dengan balok silang dan di mana kemiringan sayap berubah arah.

### **12.3.6 Unsur melintang pada sayap yang diperkaku**

#### **12.3.6.1 Umum**

Unsur melintang dari sayap yang diperkaku harus direncanakan untuk memiliki kekakuan dan kekuatan yang cukup untuk mencegah tekuk pada sayap dan juga untuk memikul semua beban yang diletakkan secara langsung.

Unsur melintang pada sayap yang tertekan harus didukung oleh pengaku badan melintang pada badan gelagar utama.

#### **12.3.6.2 Daerah efektif untuk unsur melintang**

Dalam merencanakan daerah efektif untuk unsur melintang perlu memperhatikan:

- daerah efektif untuk kekakuan.
- daerah efektif untuk perhitungan kekuatan dan tegangan.
- daerah kompak.

Untuk penjelasan yang lebih rinci akan diberikan kemudian pada penyusunan peraturan rinci.

#### **12.3.6.3 Kekakuan unsur melintang pada sayap yang tertekan**

Supaya sub-pasal 12.3.6.1 dapat terpenuhi, khususnya untuk unsur melintang yang mendukung sayap tertekan, maka seluruh panjang dari unsur efektif harus dibagi menjadi beberapa segmen untuk tujuan analisis, sebagai berikut:

- a. Tipe I, segmen antara badan interior dari gelagar utama.
- b. Tipe II, segmen yang merupakan bagian dari kantilever dan panjang yang berdekatan dengan badan gelagar interior yang pertama.

Untuk ketentuan dan rumusan yang lebih rinci akan diberikan kemudian dalam penyusunan peraturan rinci.

#### 12.3.6.4 Kekuatan unsur melintang pada sayap yang tertekan

Unsur melintang pada sayap tertekan perlu direncanakan kekuatannya agar memenuhi persyaratan pada bagian gelagar baja, dengan menggunakan daerah efektif yang sesuai dengan ketentuan pada daerah efektif untuk unsur melintang.

#### 12.3.7 Diafragma pada perletakan

##### 12.3.7.1 Umum

Diafragma harus disediakan pada daerah perletakan dari gelagar boks untuk memindahkan beban yang ada ke pemikul. Diafragma harus digunakan bila gaya luar vertikal dan melintang akan disalurkan dari satu unsur ke lain unsur. Diafragma pada perletakan harus di dimensi sebanding untuk membagi gaya-gaya yang bekerja padanya dan sebagai gaya tambahan, untuk menahan gaya melintang rencana harus terbagi sama antara diafragma-diafragma.

##### 12.3.7.2 Batasan geometris

Dalam perencanaan diafragma perlu diperhatikan batasan geometris sebagai berikut:

- a. Diafragma dan perletakan.
- b. Bukaan pada diafragma yang tidak diperkaku.
- c. Bukaan pada diafragma yang diperkaku.

#### 12.4 Jembatan kabel (*cable stayed*)

##### 12.4.1 Dasar perencanaan

##### 12.4.1.1 Umum

Sebuah jembatan *cable stayed* adalah suatu sistem struktur statis tidak tertentu berderajat tinggi, di mana gaya-gaya dalam yang bekerja dipengaruhi bersama oleh kekakuan komponen penunjang utama jembatan, yaitu sistem lantai kendaraan (pelat, balok memanjang, balok melintang) bersama-sama dengan kabel penggantung dan menara utamanya.

Untuk menahan beban mati jembatan, kabel penggantung merupakan penunjang utama, yang tingkah lakunya (akibat beban mati) banyak ditentukan oleh cara pelaksanaan jembatan. Bila pelaksanaan jembatan dilakukan segmen per segmen, maka setiap kabel penggantung harus dianggap bekerja menahan berat satu interval sistem lantai jembatan (pada arah memanjangnya) antara dua kabel. Dalam hal ini, perlu dihitung tegangan kabel yang diperlukan untuk membentuk geometris memanjang lantai jembatan sesuai dengan yang direncanakan, dengan sudah memperhitungkan semua *superimposed dead load*, serta juga akibat dari deformasi kabel dan lantai kendaraan, baik elastis (sesaat) maupun "jangka panjang" seperti susut, rangkak, relaksasi dan lain sebagainya.

Pada saat bekerjanya beban hidup, maka jembatan harus direncanakan sebagai suatu sistem struktur bersama antara lantai kendaraan, kabel penggantung, dan menara utamanya. Gaya-gaya dalam pada semua komponen struktur yang didapat dari perhitungan akibat beban hidup, selanjutnya perlu disuperposisikan dengan gaya dalam yang didapat dari perhitungan akibat beban mati.

Demikian pula perlu diteliti deformasi komponen struktur pada semua tahapan pembebanan, dimana deformasi tersebut jangan sampai mengganggu kompatibilitas struktur jembatan secara keseluruhan.

#### 12.4.1.2 Modelisasi struktur memanjang

Bila tidak ditetapkan lain oleh yang berwenang, maka dalam menahan bekerjanya beban mati, struktur jembatan dapat dimodelisir berupa balok memanjang diatas banyak perletakan. Komponen gaya vertikal pada kabel penggantung dalam hal ini bisa diambil sama dengan reaksi perletakan balok menerus. Gaya-gaya kabel ini selanjutnya akan diteruskan pada menara utama, yang harus diperhitungkan baik gaya dalam maupun deformasinya dalam menahan beban mati jembatan secara keseluruhan. Dalam menerima bekerjanya beban hidup, jembatan perlu dimodelisir sebagai balok diatas banyak perletakan elastis (yaitu kabel penggantung yang relatif fleksibel). Beban hidup ini akan menimbulkan pula gaya-gaya dalam balok memanjang dan menara utama, yang perlu disuperposisikan dengan gaya dalam akibat beban mati. Di samping itu, tidak dapat diabaikan pula deformasi normal (tekan) yang terjadi pada sistem lantai kendaraan (terutama balok memanjang), sebagai akibat adanya komponen gaya horisontal dari kabel penggantung.

#### 12.4.1.3 Analisis dinamika struktur

Peranan analisis dinamik pada jembatan *cable stayed* bisa sangat penting, dan bisa menjadi suatu aspek yang menentukan untuk jembatan dengan bentang sangat panjang, karena sifat jembatan yang relatif lebih fleksibel.

Pada umumnya, ada dua aspek pokok dinamika struktur yang harus ditinjau;

- aspek stabilitas aero-dinamik
- aspek struktur anti-seismik (tahan gempa).

Seperti telah disebutkan di atas, tingkah laku aero-dinamik dan anti-sismik dari struktur jembatan, terutama kabel penggantungnya, pada kondisi tertentu, bisa menjadi pendukung utama faktor keamanan jembatan, yang terutama berhubungan dengan tingkah laku getaran, resonansi, dan fatik dari komponen kabel, menara utama, dan balok memanjang.

Analisis pengaruh dari kedua aspek dinamik ini, membutuhkan penelitian atas tingkah laku dinamik struktur jembatan, frekuensi alaminya, serta moda getarannya, yang kesemuanya ini hanya bisa didapat dari analisis dinamika struktur.

#### 12.4.1.4 Tingkah laku aero-dinamik

Dalam perencanaan sebuah jembatan *cable stayed*, tingkah laku aero-dinamik dari struktur jembatan merupakan suatu faktor yang harus diperhatikan dan diteliti dengan baik. Angin, yang meniup dengan sudut tertentu ke arah struktur jembatan, bisa mengakibatkan efek puntir dan momen lentur secara bersamaan, yang dapat merupakan kombinasi berbahaya bagi keamanan jembatan.

Satu aspek yang juga perlu diperhatikan dalam analisis aero-dinamik, adalah kemungkinan terjadinya turbulensi pada aliran angin yang mengenai penampang struktur dengan bentuk tertentu, yang memungkinkan terjadinya fenomena resonansi pada getaran struktur jembatan.

## 12.4.2 Kabel penggantung

Kabel pada jembatan *cable stayed*, harus diperhitungkan baik pada kondisi batas layan maupun kondisi batas ultimit. Dalam hal ini, aksi dari suhu harus diperhitungkan juga dalam Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL) dan demikian pula verifikasi keadaan batas fatik. Dalam hal beban suhu, harus termasuk memperhitungkan perbedaan suhu antara kabel (yang mempertimbangkan warna dari kabel-kabel), lantai, dan *pylon*, termasuk gradien suhu untuk lantai dan *pylon*.

### 12.4.2.1 Cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL)

Di bawah kombinasi beban berulang, tegangan tarik dalam kabel tidak boleh melebihi  $0,45 f_{pu}$ .

### 12.4.2.2 Cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT)

Ketahanan tarik dari kabel harus diperiksa di bawah kombinasi beban-beban yang berhubungan dengan keadaan batas ultimit, dengan faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0,80$  yang diterapkan kepada kekuatan tarik karakteristik,  $f_{ps}$ , dari baja prategang.

### 12.4.2.3 Keadaan batas fatik

- Kegagalan fatik dari kabel biasanya dipengaruhi oleh pengaruh lokal di angkur, dudukan dan alat penyambung, sehingga bila memungkinkan harus dilakukan verifikasi dengan pengujian.
- Kecuali untuk jembatan pejalan kaki, komponen-komponen tarik utama dari kabel harus diperiksa dengan berdasarkan kepada ketahanan fatik.
- Verifikasi untuk keadaan batas fatik dari kabel harus dilakukan dengan kombinasi dari beban-beban yang sama yang digunakan untuk pemeriksaan ketahanan fatik dari komponen-komponen jembatan yang lain.
- Perubahan tegangan dalam kabel di bawah kombinasi beban yang relevan untuk fatik harus sudah termasuk tegangan lentur yang sama akibat pergerakan angkur.

### 12.4.3 Batasan dari kehancuran akibat aksi yang tidak disengaja

- Bahaya dari runtuhnya struktur akibat kegagalan dari satu atau lebih kabel, di bawah aksi yang tidak disengaja seperti *impact*, kebakaran, atau ledakan dari kendaraan harus diperkirakan.
- Jika tidak ditetapkan secara khusus, harus diperiksa bahwa dalam peristiwa dari suatu kegagalan, kabel-kabel dalam satu baris kabel pada suatu interval panjang sejarak 20 meter, jembatan tidak akan runtuh di bawah kombinasi dari aksi-aksi yang tidak disengaja dengan menggunakan faktor keamanan parsial  $\gamma_s = 1,3$  untuk baja prategang pada kondisi batas layan.
- Perencanaan harus sudah memperhitungkan kehilangan sementara dari satu kabel acak tanpa perlu mengurangi beban lalu lintas selama masa perbaikan kabel tersebut.

#### **12.4.4 Angkur, sadel dan penyambung kabel**

##### **12.4.4.1 Perencanaan angkur, sadel dan penyambung kabel**

Perencanaan angkur, sadel dan penyambung kabel harus sudah memperhatikan kemungkinan dan kemudahan untuk penggantian komponen-komponen tersebut, maupun juga untuk penyesuaian/penegangan kembali gaya kabel.

##### **12.4.4.2 Kegagalan angkur, sadel dan penyambung kabel**

Angkur, sadel dan penyambung kabel harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tidak terjadi kegagalan yang mendahului kegagalan dari kabel prategang.

#### **12.5 Jembatan gantung**

Pengujian dengan terowongan angin, khusus untuk struktur jembatan gantung diharuskan mengadakan pengujian dengan terowongan angin.

#### **12.6 Kabel**

Kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum  $1800 \text{ N/mm}^2$ .

#### **12.7 Analisis struktur**

Setiap analisis struktur yang rasional dapat digunakan untuk struktur yang disebutkan dalam pasal 12.1 pada bagian ini, dengan catatan bahwa untuk struktur pada pasal 12.4 dan pasal 12.5, perilaku kabel harus diperhitungkan.

#### **12.8 Penggunaan standar ini**

Elemen-elemen struktur yang terdapat dalam bagian ini harus direncanakan berdasarkan pasal-pasal yang sesuai dalam standar ini.

Untuk elemen yang tidak terdapat dalam standar ini harus digunakan tata cara perencanaan yang lazim dan rasional.

### **13 Pemeriksaan perencanaan terhadap fatik**

#### **13.1 Umum**

##### **13.1.1 Persyaratan**

Bab ini berlaku untuk perencanaan struktur dan elemen struktur yang memikul fatik.

Pengaruh tidak dicakup dalam bagian ini adalah :

- a. Pengurangan umur fatik akibat korosi atau terendam
- b. Tegangan tinggi - fatik siklus rendah
- c. Fatik suhu
- d. Retak korosi tegangan

Perencana harus memeriksa bahwa pada tiap titik dalam struktur, persyaratan pada bagian 13 terpenuhi untuk umur rencana struktur dalam sub-pasal 4.1. Struktur atau elemen struktural yang direncanakan memenuhi persyaratan sub-pasal ini, adalah untuk Keadaan Batas Kekuatan dan Layan.

Persyaratan yang harus dipenuhi untuk perencanaan struktur dan elemen struktur yang memikul fatik :

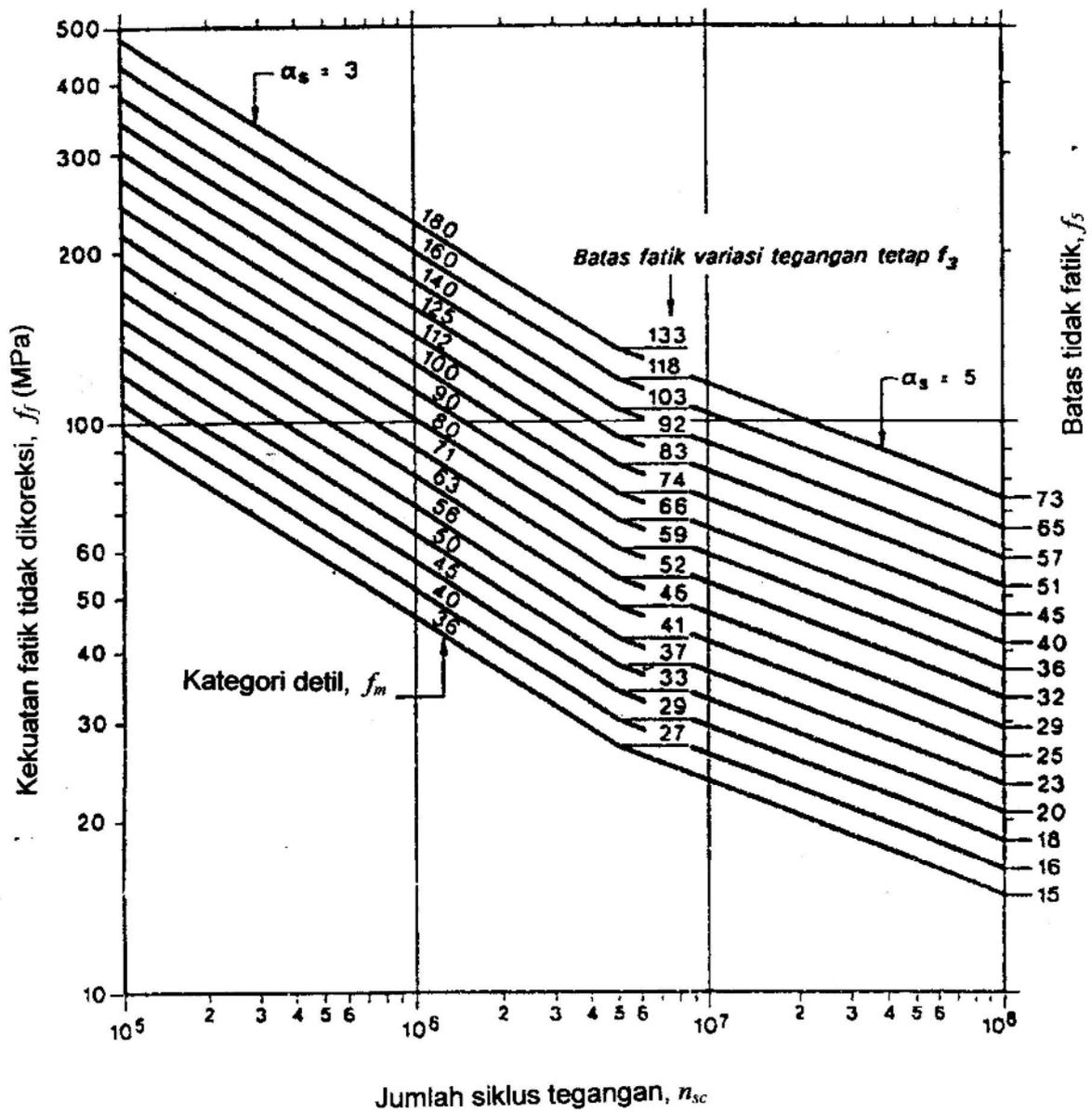
- a. Batas Fatik Variasi Tegangan Tetap - batas variasi tegangan tetap tertinggi untuk tiap kategori detil di mana retak fatik tidak diharapkan berkembang (lihat Gambar 24).
- b. Batas Tidak Fatik - untuk tiap kategori detil, batas variasi tegangan variabel tertinggi yang tidak memerlukan pertimbangan bila melakukan perhitungan kerusakan kumulatif (lihat Gambar 24 dan Gambar 25).
- c. Kekuatan Fatik - batas variasi tegangan yang ditentukan dalam pasal 13.6 untuk tiap kategori detil (lihat gambar 24 dan gambar 25) yang bervariasi dengan jumlah siklus tegangan.

### **13.1.2 Pembatasan**

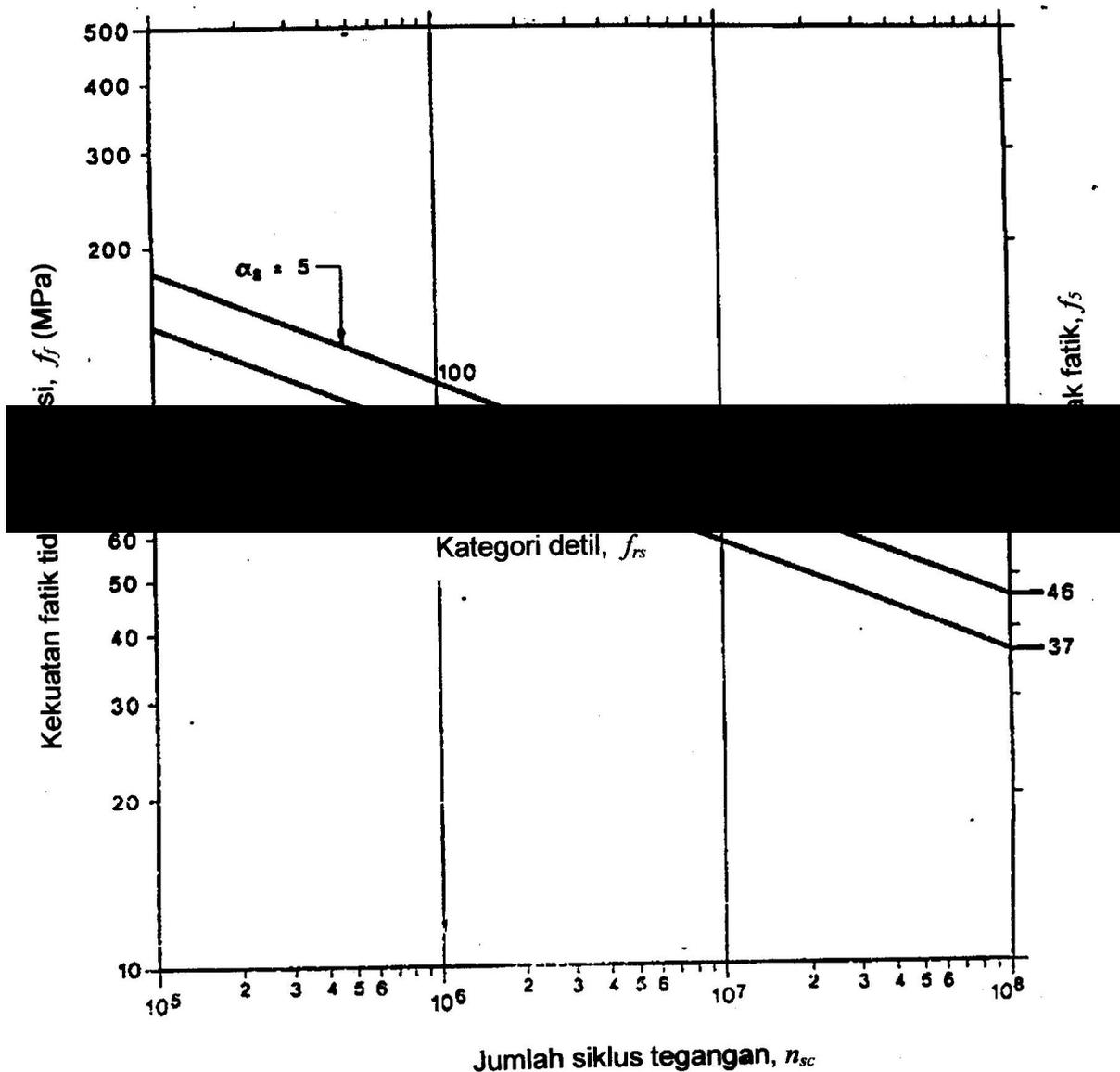
Pada semua siklus tegangan, besarnya tegangan rencana tidak boleh melebihi  $f_y$  dan batas variasi tegangan tidak boleh melebihi  $1,5 f_y$ .

### **13.2 Pembebanan fatik**

Pembebanan yang digunakan dalam pendekatan fatik adalah Beban Layan Aktual termasuk pengaruh dinamik.



Gambar 24 Kurva S-N untuk tegangan biasa



Gambar 25 Kurva S-N untuk tegangan geser

### 13.3 Spektrum Rencana

#### 13.3.1 Penentuan tegangan

Tegangan rencana harus ditentukan dari analisis elastis struktur atau dari riwayat tegangan yang diperoleh dari pengukuran regangan.

Tegangan rencana harus ditentukan sebagai tegangan normal atau geser dengan memperhitungkan semua beban rencana pada unsur, tetapi tidak termasuk pemusatan tegangan akibat geometri dari detail seperti yang diuraikan dalam Tabel 19 sampai Tabel 22. Pengaruh pemusatan tegangan yang tidak karakteristik dari detail harus diperhitungkan secara terpisah.

Bila tidak ditentukan lain, tiap panah dalam Tabel 20 sampai Tabel 22 menunjukkan kedudukan dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar pada bidang tegak lurus

terhadap panah di mana variasi tegangan akan dihitung.

Untuk pendekatan fatik dari rangka yang menggunakan penampang terbuka di mana sambungan bukan sendi, pengaruh momen lentur sekunder harus diperhitungkan kecuali, bila:

$$\frac{L}{d_x} > 40 \text{ atau } \frac{L}{d_y} > 40 \quad (13.3-1)$$

Untuk rangka yang menggunakan penampang berongga, batas variasi tegangan dalam unsur boleh dihitung tanpa mempertimbangkan pengaruh kekakuan sambungan dan eksentrisitas dari akibat sebagaimana yang disebutkan di bawah ini:

- Untuk rangka yang menggunakan penampang bulat berongga, batas variasi tegangan harus dikalikan dengan faktor yang sesuai dengan yang diberikan dalam Tabel 17.
- Untuk rangka yang menggunakan penampang persegi berongga, batas variasi tegangan yang dihitung harus dikalikan dengan faktor yang sesuai dengan yang diberikan dalam Tabel 18.
- Tebal rencana leher las sudut harus melebihi tebal dinding unsur yang dihubungkan.

**Tabel 17 Faktor pengali untuk penampang bulat berongga**

Jenis Hubungan		Batang	Vertikal	Diagonal
Hubungan dengan sela	Jenis K	1,5	1,0	1,3
	Jenis N	1,5	1,8	1,4
Hubungan dengan sambungan lebih	Jenis K	1,5	1,0	1,2
	Jenis N	1,5	1,65	1,25

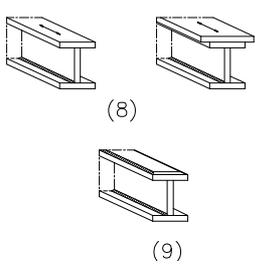
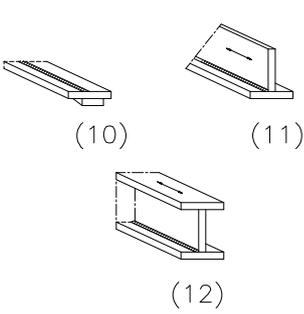
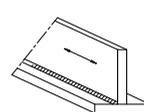
**Tabel 18 Faktor pengali untuk penampang persegi berongga**

Jenis Hubungan		Batang	Vertikal	Diagonal
Hubungan dengan sela	Jenis K	1,5	1,0	1,5
	Jenis N	1,5	2,2	1,6
Hubungan dengan sambungan lebih	Jenis K	1,5	1,0	1,3
	Jenis N	1,5	2,0	1,4

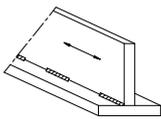
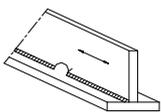
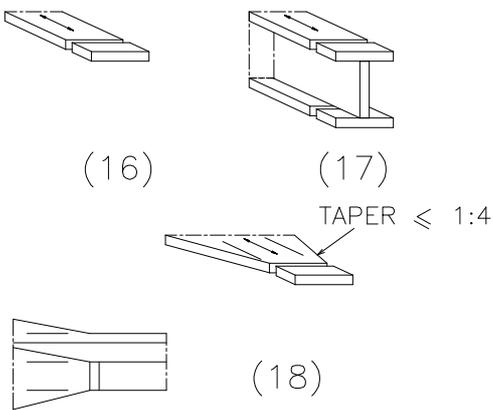
Tabel 19 Kategori Detil : kelompok 1 – detil tanpa las

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
<b>Produk Giling atau Dibentuk</b>		
160		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pelat dan bidang rata</li> <li>2. Penampang giling</li> <li>3. Pipa tanpa sambungan</li> </ol> <p>Ujung tajam, aliran permukaan dan aliran giling dihilangkan dengan gerinda dalam arah penggunaan tegangan.</p>
<b>Hubungan yang Dibaut</b>		
140		<ol style="list-style-type: none"> <li>4 dan 5.</li> </ol> <p>Batas variasi tegangan terhitung pada penampang penuh untuk kategori baut 8.8/TF dan pada penampang bersih dalam hal lain. Hubungan pelat penutup satu sisi tidak terdukung harus dihindari atau pengaruh eksentrisitas diperhitungkan dalam perhitungan tegangan.</p>
<b>Bahan dimana Ujung Dipotong Secara Gas atau Geser Tanpa Garis Sisa</b>		
140		<ol style="list-style-type: none"> <li>6.</li> </ol> <p>Semua bahan diperkeras dan tanda ketidak rataan ujung yang terlihat dihilangkan dengan mesin atau gerinda dalam arah penggunaan tegangan.</p>
<b>Bahan dimana Ujung Dipotong Gas Mesin dengan Garis Sisa atau Bahan Dipotong dengan Gas biasa</b>		
125		<ol style="list-style-type: none"> <li>7.</li> </ol> <p>Sudut dan tanda ketidak rataan ujung yang terlihat dihilangkan dengan gerinda dalam arah penggunaan tegangan.</p>
<p>Catatan : Panah menunjukkan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah.</p>		

**Tabel 20 Kategori Detil : kelompok 2 – detil las tidak dalam penampang berongga**

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Penampang I Pelat Dilas dan Gelagar Boks dengan Las Memanjang Meneruss		
125	 <p>(8)</p> <p>(9)</p>	<p>8 dan 9</p> <p>Daerah las sudut atau tumpul otomatis memanjang menerus yang dilaksanakan dari kedua sisi dan semua las tidak mempunyai kedudukan berhenti mulai.</p>
112	 <p>(10)</p> <p>(11)</p> <p>(12)</p>	<p>10 dan 11</p> <p>Daerah las tumpul otomatis menerus dibuat hanya dari satu sisi dengan batang penunjang menerus dan semua las tidak mempunyai kedudukan berhenti mulai.</p> <p>12</p> <p>Daerah las sudut atau tumpul memanjang menerus yang dilaksanakan dari kedua sisi tetapi mempunyai kedudukan berhenti mulai.</p>
90	 <p>(13)</p>	<p>13</p> <p>Daerah las memanjang menerus yang dilaksanakan hanya dari satu sisi dengan atau tanpa kedudukan berhenti mulai.</p>
<p>Catatan : Panah menunjukkan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah.</p>		

Tabel 20 Kategori Detil : kelompok 2 – (lanjutan)

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Las memanjang tidak menerus		
80		14 Daerah umum.
71	 (15)	15. Daerah yang mempunyai lubang lengkung dalam sambungan T dilas memanjang. Lubang lengkung tidak diisi oleh las.
Las tumpul melintang (penetrasi penuh)		
112		16. Sambungan melintang dalam pelat, penampang rata dan giling mempunyai perkuatan las yang digerinda rata dengan permukaan pelat. Pemeriksaan tanpa merusak (NDT) 100 % dan permukaan las bebas dari keropos terbuka dalam metal las.  17 Gelagar pelat dilas seperti (16) pemasangan sebelumnya.  18 Sambungan melintang seperti (16) dengan peralihan lengkung atau penyempitan $\leq 1 : 4$ .
Catatan : Panah menunjukkan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah. Digunakan pelat pemerata las, yang kemudian dipindahkan dan ujung las digerinda rata dalam arah tegangan. Las dibuat dari 2 sisi.		

Tabel 20 Kategori Detil : kelompok 2 – (lanjutan)

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Las tumpul melintang (Penetrasi Penuh)		
80		<p>19 Sambungan melintang dari pelat, penampang giling atau gelagar pelat.</p> <p>20 Sambungan melintang dari penampang giling atau gelagar pelat dilas, tanpa lubang lengkung. Dengan lubang lengkung gunakan kategori detil 71, seperti untuk 15.</p> <p>21 Sambungan melintang dalam pelat atau bidang rata yang lebarnya atau tebalnya berkurang dimana penyempitan adalah <math>\leq 1 : 4</math>.</p>
80		<p>22. Sambungan melintang seperti untuk (21) dengan penyempitan lebar atau tebal <math>&gt; 1 : 4</math> dan <math>\leq 1 : 2,5</math>.</p>
71		<p>23 Sambungan las tumpul melintang dibuat pada pelat penunjang. Ujung las sudut dari pelat penunjang harus lebih besar dari 10 mm terhadap ujung pelat dalam tegangan.</p> <p>24 Las tumpul melintang seperti untuk (23) dengan penyempitan lebar atau tebal <math>&lt; 1 : 2,5</math></p>
<p>Catatan : Panah menunjukan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah. Digunakan pelat pemerata las, yang kemudian dipindahkan dan ujung las digerinda rata dalam arah tegangan. Las dibuat dari 2 sisi.</p>		

Tabel 20 Kategori Detil : kelompok 2 – (lanjutan)

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Las tumpul melintang (penetrasi penuh)		
50	<p>(25)</p> <p><math>\pm 10 \text{ mm}</math> (min)</p>	<p>25</p> <p>Las tumpul melintang seperti (23) dimana las sudut berakhir lebih dekat dari 10 mm terhadap ujung pelat.</p>
Sambungan salib dengan las pemikul beban		
71	<p>(26)</p>	<p>26</p> <p>Las penetrasi penuh dengan pelat antara diperiksa dengan cara tidak merusak (NDT) dan bebas cacat. Kekurangan alinemen maksimum pelat pada tiap sisi sambungan diijinkan <math>&lt; 0.15 \times</math> tebal pelat antara.</p> <p>27</p> <p>Penetrasi sebagian atau las sudut dengan batas variasi tegangan dihitung pada luas pelat.</p> <p>28</p> <p>Penetrasi sebagian atau las sudut dengan batas variasi tegangan dihitung pada luas leher las.</p>
56	<p>(27)</p>	
36	<p>Daerah tegangan pada pelat utama</p> <p>Taper <math>\leq 1:2</math></p> <p>(28)</p>	
Sambungan lebih dilas sudut yang dilas		
63		<p>29</p> <p>Las dan elemen lebih yang mempunyai kekuatan rencana lebih dari pelat utama. Tegangan dalam pelat utama dihitung berdasarkan luas dalam gambar.</p>
56	<p><math>b</math></p> <p><math>b &lt; Bt</math></p> <p><math>&gt; 10 \text{ mm}</math></p> <p>(30)</p>	<p>30</p> <p>Las dan pelat utama keduanya mempunyai kekuatan rencana lebih besar dari elemen sambungan lebih.</p>

45		31 Pelat utama dan elemen sambungan lebih keduanya mempunyai kekuatan rencana lebih besar dari las.
Catatan : Panah menunjukan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah.		

Tabel 20 Kategori Detil : kelompok 2 – (lanjutan)

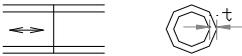
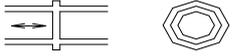
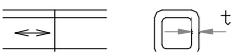
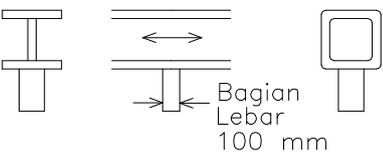
Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Tambahan yang dilas		
90 $L \leq 1/3$		32 Las sudut memanjang yang tidak memikul beban. Kelas detil bervariasi sesuai panjang las. Satuan L adalah milimeter.
80 $L \leq 50 \text{ mm}$		33 Pelat pertemuan dilas pada ujung pelat atau flens balok. Jari-jari peralihan ( r ) dibentuk oleh mesin atau pemotongan api ditambah perataan gerinda. Kelas detil bervariasi sesuai perbandingan r/b.
71 $50 < L \leq 100$		
50 $L > 100$		
45 $r/b < 1/6$		
80	(34)	34 Penghubung geser pada bahan dasar (bahan dasar runtuh).
Las melintang		

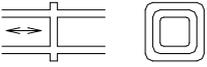


Tabel 20 Kategori Detil : kelompok 2 – (lanjutan)

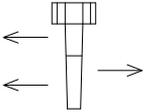
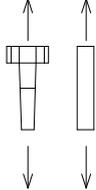
Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Pelat penutup balok dan gelagar pelat		
50 $t_f$ dan $t_p$ $\leq 25$ mm  36 $t_f$ dan $t_p$ $> 25$ mm	 (38)	38 Daerah ujung dari pelat penutup tunggal atau majemuk, dengan atau tanpa las melintang ujung. Untuk pelat penguat yang lebih besar dari flens, diperlukan las sekelilingnya. Lihat (35) untuk fatik dalam las sendiri.
Las dibebani dalam geser		
80	 (39)	39 Las sudut menerus menyalurkan aliran geser menerus (badan keflens dalam gelagar pelat).  40 Penghubung geser selain paku yang dibebani dalam geser (keruntuhan dalam las).  41 Penghubung geser paku yang dilas dan dibebani dalam geser (keruntuhan dalam las). Tegangan geser dihitung pada penampang nominal.
Catatan : Panah menunjukan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah.		

Tabel 21 Kategori Detil : kelompok 3 – Penampang Berongga

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
<b>Las memanjang otomatis menerus</b>		
140	 <p style="text-align: center;">(44)</p>	44 Tidak ada berhenti mulai atau seperti dari pabrik
<b>Las tumpul melintang</b>		
90 $t \geq 8 \text{ mm}$ 71 $t < 8 \text{ mm}$	 <p style="text-align: center;">(45)</p>	45 Las tumpul ujung ke ujung, hubungan penampang bulat berongga.
71 $t \geq 8 \text{ mm}$ 56 $t < 8 \text{ mm}$	 <p style="text-align: center;">(46)</p>	46 Las tumpul ujung ke ujung, hubungan penampang persegi berongga.
56 $t \geq 8 \text{ mm}$ 50 $t < 8 \text{ mm}$	 <p style="text-align: center;">(47)</p>	47 Penampang bulat berongga, las tumpul ujung ke ujung dengan pelat antara.
50 $t \geq 8 \text{ mm}$ 41 $t < 8 \text{ mm}$	 <p style="text-align: center;">(48)</p>	48 Penampang persegi berongga, las tumpul ujung ke ujung dengan pelat antara.
<b>Tambahan yang dilas (tidak memikul beban)</b>		
71	 <p style="text-align: center;">(49)</p>	49 Penampang bulat atau persegi berongga, dilas sudut pada anggota lain. Lebar potongan sejajar dengan arah tegangan adalah $\leq 100 \text{ mm}$ .
<b>Las sudut melintang (memikul beban)</b>		
45 $t \geq 8 \text{ mm}$ 40 $t < 8 \text{ mm}$	 <p style="text-align: center;">(50)</p>	50 Penampang bulat berongga, dilas sudut ujung ke ujung dengan pelat antara

40 $t \geq 8 \text{ mm}$		51 Penampang persegi berongga, dilas sudut ujung ke ujung dengan pelat antara.
36 $t < 8 \text{ mm}$		(51)
Catatan : Panah menunjukkan lokasi dan arah tegangan yang bekerja dalam bahan dasar untuk mana batas variasi tegangan akan dihitung. Tegangan ini bekerja pada bidang tegak lurus terhadap panah.		

Tabel 22 Kategori Detil : kelompok 4 – Baut

Kategori Detil	Detil Konstruksi	
	Gambar	Deskripsi
Baut dalam geser (hanya 8,8/TB baut kategori)		
100		42 Batas variasi tegangan geser dihitung pada luas diameter lebih kecil dari baut ( $A_c$ )
Baut dan batang berbenang dalam tarikan		
36		43 Tegangan tarik dihitung pada luas tegangan tarik $A_s$ . Gaya tambahan akibat pengaruh melenting harus diperhitungkan. Untuk baut dalam tarikan (8,8/TF dan 8,8/TB), batas variasi tegangan tergantung pada pada tingkat prategang dan geometri hubungan.

### 13.3.2 Perhitungan spektrum rencana

Spektrum tegangan dari suatu pembebanan nominal yang menghasilkan siklus tegangan yang tidak teratur harus diperoleh dengan cara perhitungan siklus tegangan yang rasional. Dapat digunakan cara perhitungan curah hujan (*rain flow*) atau ekuivalen.

### 13.4 Pengecualian untuk penilaian

Penilaian fatik tidak diperlukan untuk unsur sambungan atau detil apabila rencana batas variasi tegangan normal dan geser,  $f$ , memenuhi:

$$f < 26 \text{ MPa} \quad (13.4-1)$$

atau bila jumlah siklus tegangan,  $n_{sc}$ , memenuhi:

$$n_{sc} < 2 \times 10^6 \left( \frac{36}{f^*} \right) \quad (13.4-2)$$

### 13.5 Kategori detil

#### 13.5.1 Kategori detil untuk tegangan normal

Kategori detil untuk tegangan normal harus ditentukan untuk tiap unsur struktural, hubungan atau detil struktur. Kategori detil ditentukan dalam Tabel 19 sampai Tabel 22. Klasifikasi dalam tabel ini dibagi dalam 4 bagian yang berhubungan dengan 4 kelompok dasar

- Kelompok 1 : Detil tanpa las bahan polos dan pelat yang dibaut (lihat Tabel 19)
- Kelompok 2 : Detil dengan las - bukan penampang berongga (lihat Tabel 20)
- Kelompok 3 : Detil dengan las - penampang berongga (lihat Tabel 21)
- Kelompok 4 : Baut (lihat Tabel 22)

Detil yang tidak diklasifikasi dalam Tabel 19 sampai Tabel 22 harus dianggap sebagai kategori detil paling rendah dari detil serupa, kecuali dapat dibuktikan dengan pengujian atau analisis dan pengujian bahwa kekuatan fatiknya lebih besar.

#### 13.5.2 Kategori detil untuk tegangan geser

Kategori detil untuk tegangan geser harus ditentukan untuk tiap detil relevan dalam struktur. Kategori detil untuk tegangan geser diberikan dalam Tabel 19 dan Tabel 22.

### 13.6 Kekuatan fatik

#### 13.6.1 Definisi kekuatan fatik untuk tegangan normal

Kekuatan fatik yang belum dikoreksi,  $f_f$ , untuk tiap kategori detil,  $f_m$ , yang memikul tegangan normal ditentukan oleh:

$$f_f^3 = 2 \times 10^6 \left( \frac{f_m^3}{n_{sc}} \right) \quad \text{jika } n_{sc} \leq 5 \times 10^6 \quad (13.6-1a)$$

$$f_f^5 = 1 \times 10^8 \left( \frac{f_m^5}{n_{sc}} \right) \quad \text{jika } 5 \times 10^6 < n_{sc} \leq 10^6 \quad (13.6-1b)$$

dengan  $n_{sc}$  sebagai jumlah siklus tegangan.

Nilai  $f_1$ ,  $f_3$  dan  $f_5$  diberikan dalam Gambar 24 untuk tiap kategori detil,  $f_m$ .

#### 13.6.2 Definisi kekuatan fatik untuk tegangan geser

Kekuatan fatik yang belum dikoreksi,  $f_f$  untuk tiap kategori detil,  $f_{rs}$  yang memikul tegangan geser ditentukan oleh:

$$f_f^5 = 2 \times 10^6 \left( \frac{f_{rs}^5}{n_{sc}} \right); \quad n_{sc} \leq 10^8 \quad (13.6-2)$$

Nilai  $f_f$  dan  $f_s$  untuk tiap kategori detil.

### 13.7 Pengecualian dari pendekatan lanjutan

Pada tiap titik dalam struktur di mana batas variasi tegangan normal kurang dari batas fatik variasi tegangan tetap,  $f_3$ , untuk kategori detil relevan, tidak diperlukan penilaian lebih lanjut pada titik tersebut.

### 13.8 Pengaruh tebal

Kekuatan fatik yang belum dikoreksi,  $f_f$ , dari sambungan dengan las sudut atau las tumpul yang menyangkut tebat pelat,  $t_p$ , lebih dari 25 mm, harus direduksi sampai kekuatan fatik terkoreksi,  $f_c$ , dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$f_c = f_f \left( \frac{25}{t_p} \right)^{0,25} \quad (13.8-1)$$

Untuk tebal pelat,  $t_p$ , kurang dari atau sama dengan 25 mm, kekuatan fatik yang sudah dikoreksi diberikan oleh rumus berikut:

$$f_c = f_f \quad (13.8-2)$$

### 13.9 Penilaian fatik

#### 13.9.1 Cara penilaian

Untuk patokan kondisi rencana, faktor reduksi kekuatan,  $\phi$ , harus diambil sebesar 1,0. Patokan kondisi rencana mencakup hal berikut ini:

- Detil terletak pada jalur beban yang tidak perlu, dalam keadaan di mana keruntuhan pada titik tersebut saja, tidak akan mengakibatkan keruntuhan seluruh struktur.
- Riwayat tegangan diperkirakan dengan cara konvensional.
- Detil memberikan informasi yang baik untuk pelaksanaan pemeriksaan yang teratur.

Faktor reduksi kekuatan harus dikurangi apabila salah satu kondisi diatas tidak dipenuhi..

Untuk jalur beban utama, faktor reduksi kekuatan harus kurang atau sama dengan 0,70.

#### 13.9.2 Batas variasi tegangan tetap

Batas variasi tegangan rencana,  $f^r$ , pada tiap titik pada struktur yang hanya memikul siklus batas variasi tegangan tetap harus memenuhi:

$$\frac{n_{sc} (f^*)^{\alpha_s}}{n_r (\phi f_c)^{\alpha_s}} \leq 1,0 \quad (13.9-1)$$

### 13.10 Pembatasan pons

Untuk unsur dan sambungan yang memerlukan pendekatan fatik sesuai Bagian ini, lubang pons hanya diperbolehkan pada bahan di mana tebal tidak melebihi 12,0 mm.

## 14 Ketentuan untuk perencanaan struktur tahan gempa

### 14.1 Ruang lingkup dan persyaratan umum

#### 14.1.1 Umum

Bagian peraturan ini memuat ketentuan untuk perencanaan jembatan yang menggunakan komponen struktur baja akibat gempa bumi.

Jembatan yang dimaksud adalah jembatan jalan raya dan jembatan pejalan kaki di Indonesia sesuai dengan ketentuan pada bagian I dari standar ini.

Ketentuan-ketentuan pada bagian ini harus digunakan bersama-sama dengan ketentuan-ketentuan yang berlaku dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung serta Standar Pembebanan Gempa untuk Jembatan.

#### 14.1.2 Pembebanan gempa rencana

Beban rencana lateral akibat gerakan gempa untuk suatu daerah harus dihitung berdasarkan koefisien percepatan gempa dasar, faktor keutamaan, faktor lokasi dan faktor modifikasi respon struktur seperti disyaratkan dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung serta Tata Cara Pembebanan Gempa untuk Jembatan.

Beban rencana lateral ini harus ditinjau dalam dua arah horisontal utama dengan kombinasi linier 30 % dan 100 %.

Kombinasi beban gempa dengan beban-beban lainnya yang bekerja pada jembatan mengacu pada Standar Pembebanan.

#### 14.1.3 Klasifikasi berdasarkan kinerja seismik

Setiap jembatan harus ditetapkan dalam salah satu dari tiga kategori kinerja seismik A, B atau C.

Klasifikasi ini berdasarkan atas koefisien percepatan gempa dasar serta faktor keutamaan seperti tercantum dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 23 Klasifikasi berdasarkan kinerja seismik**

Koefisien percepatan gempa ( C )	<i>Faktor keutamaan</i>	
	<i>Jembatan penting</i>	<i>Jembatan lain</i>
$C \leq 0,10$	A	A
$0,10 < C \leq 0,20$	B	B
$0,20 < C \leq 0,30$	C	B
$C > 0,30$	C	C

#### 14.1.4 Analisis seismik

Efek gempa bumi pada jembatan dapat dianalisis berdasarkan salah satu prosedur yaitu metode beban seragam, metode spektral dengan pola getar tunggal, metode spektral dengan pola getar majemuk atau metode riwayat waktu.

Semua kolom, tiang, atau kepala jembatan dianggap mengalami percepatan tanah yang sama pada saat yang bersamaan.

Untuk jembatan-jembatan biasa dengan jumlah bentang tidak melebihi enam dapat menggunakan metode beban seragam atau metode spektral dengan pola getar tunggal. Sedangkan jembatan-jembatan yang mempunyai jumlah bentang lebih dari 6 atau jembatan-jembatan khusus dianjurkan menggunakan metode spektral dengan pola getar majemuk. Metode riwayat waktu biasanya digunakan dalam analisis non-linier.

#### 14.1.5 Isolasi dasar dan peredam mekanikal

Perencanaan gempa pada jembatan yang mempunyai isolasi dasar atau peredam mekanikal dapat berbeda dari ketentuan ini jika dapat dibuktikan kebenarannya serta disetujui oleh yang berwenang.

#### 14.1.6 Likuifaksi

Potensi dan kondisi likuifaksi pada tanah akibat gempa bumi harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan tahan gempa, khususnya jembatan dengan kinerja seismik tipe B dan C.

### 14.2 Ketentuan untuk jembatan kinerja seismik tipe A

#### 14.2.1 Umum

Jembatan yang dapat dikelompokkan sebagai kinerja seismik tipe A harus memenuhi persyaratan pada sub-pasal 14.1.3 dan 14.1.4 serta ketentuan di bawah ini.

#### 14.2.2 Persyaratan gaya rencana

Jika alat mekanikal digunakan untuk menghubungkan struktur atas dan struktur bawah, alat mekanikal ini harus direncanakan dapat menahan beban gempa horisontal, dalam masing-masing arah yang ditinjau, sekurang-kurangnya 20 % dari beban mati.

Dalam arah longitudinal beban mati yang dimaksud adalah berat sendiri segmen yang dipikul oleh perletakan. Sedangkan dalam arah transversal beban mati ini adalah reaksi perletakan akibat beban mati.

### 14.2.3 Persyaratan jarak bebas horisontal

Jarak bebas minimum horisontal dalam ketentuan ini harus dipenuhi untuk mengantisipasi pemuaian ujung-ujung gelagar. Dudukan perletakan gelagar harus direncanakan sehingga memberikan jarak bebas horisontal sekurang-kurangnya

$$N_A = (0,203 + 0,00167 L + 0,00666 H) (1 + 0,000125 S^2) \quad (14.2-1)$$

dengan pengertian :

$L$  adalah panjang dari dek jembatan ke titik ekspansi terdekat, atau ke ujung dari dek jembatan, dinyatakan dalam meter, (m);

$H$  adalah untuk kepala jembatan, ketinggian rata-rata dari kolom yang memikul dek jembatan ke sambungan ekspansi berikutnya, dinyatakan dalam meter, (m);

$S$  adalah sudut dari perletakan yang terputar yang diukur secara normal dari suatu garis ke bentang., dinyatakan dalam derajat, ( $^{\circ}$ );

$N_A$  adalah jarak bebas horisontal, dinyatakan dalam meter, (m).

### 14.2.4 Persyaratan pondasi dan kepala jembatan

Untuk jembatan tipe ini, tidak ada persyaratan khusus untuk perencanaan seismik pondasi dan kepala jembatan.

Namun pondasi dan kepala jembatan harus memenuhi persyaratan untuk menahan gaya-gaya vertikal dan lateral lainnya selain gempa bumi. Gaya-gaya ini termasuk dan tidak terbatas pada akibat penyelidikan tanah yang lebih luas, timbunan tanah, stabilitas lereng, tekanan tanah vertikal maupun lateral, drainase, penurunan tanah atau kapasitas dan persyaratan tiang.

### 14.2.5 Persyaratan detail

Untuk jembatan tipe ini, tidak ada persyaratan khusus untuk perencanaan seismik pada detail struktur.

Perencanaan struktur baja maupun faktor integritas komponen-komponen struktural ataupun keseluruhan jembatan didasarkan terutama pada cara Perencanaan berdasarkan Beban dan Kekuatan Terfaktor (PBKT) seperti dijelaskan pada pasal 4.

Jika menggunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL), tegangan ijin boleh ditingkatkan 30 % dari nilai tegangan ijin pada pembebanan tetap.

## 14.3 Ketentuan untuk jembatan kinerja seismik tipe B

### 14.3.1 Umum

Jembatan yang dapat dikelompokkan sebagai kinerja seismik tipe B harus memenuhi persyaratan pada sub-pasal 14.1.3 dan 14.1.4 serta ketentuan di bawah ini.

### 14.3.2 Persyaratan gaya rencana

#### 14.3.2.1 Gaya rencana untuk komponen struktur dan sambungan

Gaya rencana seismik yang dimaksud berlaku untuk struktur atas, sambungan dilatasi, komponen yang menghubungkan struktur atas dengan bawah, komponen yang

menghubungkan struktur atas dengan kepala jembatan, struktur bawah, kepala kolom, tiang tetapi tidak termasuk pondasi telapak, pondasi tiang dan kepala tiang.

Gaya rencana seismik yang dihitung berdasarkan peninjauan dua arah horisontal utama sesuai ketentuan sub-pasal 14.1.2 harus dikombinasikan dengan beban-beban lainnya sesuai Standar Pembebanan dan kombinasi tambahan di bawah ini :

$$\text{Gaya rencana} = 1,0 ( D + B + SF + E + EQM ) \quad (14.3-1)$$

dengan pengertian :

- D* adalah beban mati, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);
- B* adalah gaya apung, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);
- SF* adalah tekanan aliran sungai, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);
- E* adalah tekanan tanah, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);
- EQM* adalah gaya gempa elastis yang dimodifikasi dengan faktor R yang sesuai, dinyatakan dalam kilo newton, (kN).

Jika menggunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL), tegangan ijin boleh ditingkatkan 30 % dari nilai tegangan ijin pada pembebanan tetap.

#### 14.3.2.2 Gaya rencana untuk pondasi

Gaya rencana seismik yang dimaksud berlaku untuk pondasi telapak, kepala tiang dan pondasi tiang.

Gaya rencana seismik yang dihitung berdasarkan peninjauan dua arah horisontal utama sesuai ketentuan sub-pasal 14.1.2 harus dikombinasikan dengan beban-beban lainnya sesuai standar pembebanan dan kombinasi tambahan di bawah ini :

$$\text{Gaya rencana} = 1,0 ( D + B + SF + E + EQF ) \quad (14.3-2)$$

dengan pengertian :

- D* adalah beban mati, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);
- B* adalah gaya apung, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);
- SF* adalah tekanan aliran sungai, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);
- E* adalah tekanan tanah, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);
- EQF* adalah gaya gempa elastis yang dibagi faktor R = 1, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);

#### 14.3.2.3 Gaya rencana untuk kepala jembatan dan dinding penahan

Gaya rencana seismik untuk komponen yang menghubungkan struktur atas dan kepala jembatan harus mengacu pada sub-pasal 14.3.2.2.

Persyaratan perencanaan kepala jembatan mengacu pada sub bab di bawah ini.

#### 14.3.3 Persyaratan komponen penghubung

Jika memungkinkan struktur atas harus direncanakan sebagai struktur menerus. Jika gelagar-gelagar dihubungkan secara sendi maka panjang pelat penghubung antar gelagar

sekurang-kurangnya 600 mm. Sedangkan ruang bebas antar gelagar sekurang-kurangnya 400 mm.

Pada kepala jembatan harus diadakan penahan logitudinal kecuali bila terdapat jarak bebas minimum antara struktur atas dan struktur bawah.

Perlengkapan penahan vertikal harus diadakan pada semua perletakan atau tumpuan dan harus direncanakan mampu menahan gaya vertikal sebesar 10 % beban mati.

Sambungan dilatasi harus direncanakan sehingga mampu menahan kombinasi beban yang mungkin terjadi serta mudah diperbaiki.

#### 14.3.4 Persyaratan jarak bebas horisontal

Jarak bebas minimum horisontal dalam ketentuan ini harus dipenuhi untuk mengantisipasi pemuaian ujung-ujung gelagar.

Dudukan perletakan gelagar harus direncanakan sehingga memberikan jarak bebas horisontal sekurang-kurangnya:

dengan pengertian :

- $L$  adalah panjang dari dek jembatan ke titik ekspansi terdekat, atau ke ujung dari dek jembatan, dinyatakan dalam meter, (m);
- $H$  adalah untuk kepala jembatan, ketinggian rata-rata dari kolom yang memikul dek jembatan ke sambungan ekspansi berikutnya, dinyatakan dalam meter, (m);
- $S$  adalah sudut dari perletakan yang terputar yang diukur secara normal dari suatu garis ke bentang, dinyatakan dalam derajat, ( $^{\circ}$ ).
- $N_B$  adalah jarak bebas horisontal, dinyatakan dalam meter, (m).

#### 14.3.5 Persyaratan pondasi

##### 14.3.5.1 Penyelidikan tanah

Untuk perencanaan struktur bawah harus dilakukan penyelidikan tanah yang normal. Resiko gempa terhadap struktur jembatan harus sungguh-sungguh dipertimbangkan dengan melakukan penyelidikan tanah yang lebih mendalam yang berhubungan dengan instabilitas lereng, likuifaksi, penurunan timbunan dan peningkatan tekanan tanah lateral.

##### 14.3.5.2 Perencanaan pondasi

Kapasitas ultimit pondasi harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah. Pondasi harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan dari kombinasi pembebanan yang ditentukan dalam sub-pasal 14.3.2.2.

Ketentuan-ketentuan lain yang berhubungan dengan perencanaan pondasi harus mengacu pada bagian 7 dari Standar Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.

##### 14.3.5.3 Persyaratan pondasi tiang

Pondasi tiang dapat digunakan untuk menahan gaya aksial maupun gaya lateral. Kedalaman tiang dan kapasitas tiang dalam menahan gaya aksial maupun lateral harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah.

Pengangkuran tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya tarik sekurang-kurangnya 10 % dari kekuatan tekannya. Pengangkuran dilakukan dengan sekurang-kurangnya 4 (empat) buah tulangan dowel dengan rasio tulangan dowel tidak boleh kurang dari 1 %.

Pada sepertiga panjang (minimum 2,5 m) tiang yang dicor setempat harus dipasang tulangan longitudinal 0,5 % tetapi tidak boleh kurang dari empat batang. Tulangan spiral atau sengkang dengan diameter 6 mm atau lebih besar harus dipasang dengan spasi tidak melebihi 225 mm kecuali pada ujung atas tiang harus diberikan pengekangan yang memadai sepanjang dua kali diameter tiang tetapi tidak boleh kurang dari 600 mm dengan jarak spasi maksimum sebesar 75 mm.

Untuk tiang pracetak, rasio tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1 % sedangkan tulangan spiral atau sengkang tidak boleh kurang dari persyaratan tiang yang dicor setempat.

### **14.3.6 Persyaratan kepala jembatan**

#### **14.3.6.1 Kepala jembatan yang berdiri bebas**

Tekanan tanah aktif lateral akibat gempa bumi pada kepala jembatan yang bebas bergerak dapat dihitung dengan menggunakan metode Mononobe–Okabe dengan menggunakan koefisien gempa sebesar  $k_h = 0,5 A_0$ . Jika kepala jembatan ini ditahan dalam arah horisontal oleh angkur atau tiang, koefisien gempa yang dianjurkan sebesar  $k_h = 1,5 A_0$ .

Simpangan kepala jembatan harus dibatasi sebesar  $0,25 A_0$ .

Perencanaan kepala jembatan harus juga memperhitungkan penambahan tekanan tanah akibat gempa, efek inersia dari dinding serta transfer gaya gempa melalui perletakan karet.

#### **14.3.6.2 Kepala jembatan monolitik**

Kepala jembatan monolitik merupakan bagian integral dari struktur atas. Tekanan tanah lateral maksimum yang bekerja pada kepala jembatan dapat dianggap sama dengan gaya lateral maksimum akibat gempa bumi.

Untuk mengurangi kerusakan, kepala jembatan harus direncanakan dapat menahan tekanan tanah pasif akibat tanah urugan yang ikut termobilisasi secara dinamik.

### **14.3.7 Persyaratan detail**

#### **14.3.7.1 Umum**

Mutu struktur baja yang disyaratkan dalam ketentuan ini harus sesuai dengan ketentuan dalam bagian 4.

#### **14.3.7.2 Rencana sambungan artikulasi**

Hubungan pada kepala jembatan dan pada sambungan dilatasi harus direncanakan sesuai dengan pasal 11.

### 14.3.7.3 Efek P-delta

Efek P-delta harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur baja di mana kombinasi momen dan gaya aksial menimbulkan momen sekunder.

Pengaruh P-delta dapat diperhitungkan melalui analisis non-linier struktural atau melalui koefisien pembesaran momen.

## 14.4 Ketentuan untuk jembatan kinerja seismik tipe C

### 14.4.1 Umum

Jembatan yang dapat dikelompokkan sebagai kinerja seismik tipe C harus memenuhi persyaratan pada sub-pasal 14.1.3 dan 14.1.4 serta ketentuan di bawah ini.

### 14.4.2 Persyaratan gaya rencana

#### 14.4.2.1 Gaya rencana untuk komponen struktur dan sambungan

Gaya rencana seismik yang dimaksud berlaku untuk struktur atas, sambungan dilatasi, komponen yang menghubungkan struktur atas dengan bawah, komponen yang menghubungkan struktur atas dengan kepala jembatan, struktur bawah, kepala kolom, tiang tetapi tidak termasuk pondasi telapak, pondasi tiang dan kepala tiang.

Gaya rencana seismik yang dihitung berdasarkan peninjauan dua arah horisontal utama sesuai ketentuan sub-pasal 14.1.2 harus dikombinasikan dengan beban-beban lainnya sesuai standar pembebanan dan kombinasi tambahan di bawah ini :

$$\text{Gaya rencana} = 1,0 ( D + B + SF + E + EQM ) \quad (14.4-1)$$

dengan pengertian :

*D* adalah beban mati, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);

*B* adalah gaya apung, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);

*SF* adalah tekanan aliran sungai, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);

*E* adalah tekanan tanah, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);

*EQM* adalah gaya gempa elastis yang dimodifikasi dengan faktor R yang sesuai, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);

Jika menggunakan cara Perencanaan berdasarkan Batas Layan (PBL), tegangan ijin boleh ditingkatkan 30 % dari nilai tegangan ijin pada pembebanan tetap.

#### 14.4.2.2 Gaya rencana untuk pondasi

Gaya rencana seismik yang dimaksud berlaku untuk pondasi telapak, kepala tiang dan pondasi tiang.

Gaya rencana seismik yang dihitung berdasarkan peninjauan dua arah horisontal utama sesuai ketentuan sub-pasal 14.1.2 harus dikombinasikan dengan beban-beban lainnya sesuai Standar Pembebanan dan kombinasi tambahan di bawah ini :

$$\text{Gaya rencana} = 1,0 ( D + B + SF + E + EQF ) \quad (14.4-2)$$

dengan pengertian :

- D* adalah beban mati, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);
- B* adalah gaya apung, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);
- SF* adalah tekanan aliran sungai, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);
- E* adalah tekanan tanah, dinyatakan dalam kilo newton per meter persegi, (kN/m<sup>2</sup>);
- EQM* adalah gaya gempa elastis yang dimodifikasi dengan faktor R yang sesuai, dinyatakan dalam kilo newton, (kN);

#### **14.4.2.3 Gaya akibat sendi plastis pada kolom, tiang dan portal**

##### a. Kolom dan tiang tunggal

Momen dan gaya aksial rencana pada kolom dan tiang dihitung berdasarkan ketentuan pada sub-pasal 14.4.2.1. dalam dua arah utama horisontal.

Kapasitas momen plastis pada kedua ujung dari penampang kolom dan tiang dapat dihitung dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar satu dan faktor kekuatan lebih sama dengan 1,25.

Gaya geser rencana pada kolom dan tiang dihitung berdasarkan kapasitas momen plastisnya.

##### b. Portal dengan dua kolom atau lebih

Gaya-gaya rencana pada portal dengan dua kolom atau lebih harus dihitung dalam arah sejajar bidang maupun tegak lurus bidang. Dalam arah tegak lurus bidang, gaya-gaya rencana dapat dihitung seperti pada kolom dan tiang tunggal.

Dalam arah sejajar bidang, gaya-gaya rencana dapat dihitung sebagai berikut :

- a. Rencanakan tulangan longitudinal berdasarkan momen rencana yang diperoleh berdasarkan ketentuan pada sub-pasal 14.4.2.1
- b. Hitung kapasitas momen plastis pada kedua ujung dari penampang kolom dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar satu dan faktor kekuatan lebih sama dengan 1,25
- c. Hitung gaya geser rencana pada kolom berdasarkan kapasitas momen plastisnya
- d. Kerjakan gaya geser rencana total pada pusat massa struktur atas, kemudian hitung gaya aksial rencana yang bekerja pada portal tersebut.

#### **14.4.2.4 Gaya rencana pada kolom dan portal tiang**

Gaya rencana pada portal tiang harus mengacu pada sub-pasal 14.4.2.3.

#### **14.4.2.5 Gaya rencana pada pilar**

Gaya rencana pada pilar harus mengacu pada sub-pasal 14.4.2.2., kecuali dalam sumbu lemah dimana tiang dapat direncanakan sebagai kolom maka gaya rencana harus mengikuti ketentuan dalam sub-pasal 14.4.2.4.

#### **14.4.2.6 Gaya rencana pada komponen penghubung**

Persyaratan untuk komponen penghubung harus mengacu pada sub-pasal 14.3.3. dengan ketentuan tambahan di bawah ini.

Komponen penghubung longitudinal harus mampu menahan gaya rencana sebesar koefisien percepatan dikalikan berat teringan dari dua bentang yang berdekatan.

Perlengkapan penahan vertikal harus diadakan pada semua perletakan atau tumpuan dan harus direncanakan mampu menahan gaya vertikal ke atas sebesar 10 % dari beban mati jika efek vertikal akibat gempa horisontal kurang dari beban mati dan gaya vertikal ke atas sebesar 20 % dari beban mati jika efek vertikal akibat gempa horisontal lebih atau sama dengan beban mati.

#### 14.4.2.7 Gaya rencana pada pondasi

Gaya rencana pada pondasi harus mengacu pada sub-pasal 14.4.2.2. Jika dasar tiang atau kolom direncanakan mengalami sendi plastis, gaya rencana harus dihitung berdasarkan sub-pasal 14.4.2.3 dan 14.4.2.4.

#### 14.4.2.8 Gaya rencana pada kepala jembatan dan dinding penahan tanah

Gaya rencana pada kepala jembatan dan dinding penahan tanah harus mengacu pada sub-pasal 14.4.2.2.

#### 14.4.3 Persyaratan jarak bebas horisontal

Jarak bebas minimum horisontal dalam ketentuan ini harus dipenuhi untuk mengantisipasi pemuaian ujung-ujung gelagar.

Dudukan perletakan gelagar harus direncanakan sehingga memberikan jarak bebas horisontal sekurang-kurangnya

$$N_c = (0,305 + 0,0025 L + 0,01 H) (1 + 0,000125 S^2) \quad (14.4-3)$$

dengan pengertian :

- $L$  adalah panjang dari dek jembatan ke titik ekspansi terdekat, atau ke ujung dari dek jembatan, dinyatakan dalam meter, (m);
- $H$  adalah untuk kepala jembatan, ketinggian rata-rata dari kolom yang memikul dek jembatan ke sambungan ekspansi berikutnya, dinyatakan dalam meter, (m);
- $S$  adalah sudut dari perletakan yang terputar yang diukur secara normal dari suatu garis ke bentang, dinyatakan dalam derajat, ( $^{\circ}$ ).
- $N_c$  adalah jarak bebas horisontal, dinyatakan dalam meter, (m).

#### 14.4.4 Persyaratan pondasi

##### 14.4.4.1 Penyelidikan tanah

Untuk perencanaan struktur bawah harus dilakukan penyelidikan tanah yang normal. Resiko gempa terhadap struktur jembatan harus sungguh-sungguh dipertimbangkan dengan melakukan penyelidikan tanah yang lebih mendalam yang berhubungan dengan instabilitas lereng, likuifaksi, penurunan timbunan dan peningkatan tekanan tanah lateral.

##### 14.4.4.2 Perencanaan pondasi

Kapasitas ultimit pondasi harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah. Pondasi harus mampu menahan gaya-gaya yang dihasilkan dari kombinasi pembebanan yang ditentukan dalam sub-pasal 14.3.2.2.

Ketentuan-ketentuan lain yang berhubungan dengan perencanaan pondasi harus mengacu pada bagian 7 dari standar perencanaan struktur beton untuk jembatan.

#### 14.4.4.3 Persyaratan pondasi tiang

Pondasi tiang dapat digunakan untuk menahan gaya aksial maupun gaya lateral. Kedalaman tiang dan kapasitas tiang dalam menahan gaya aksial maupun lateral harus dihitung berdasarkan laporan penyelidikan tanah.

Pengangkutan tiang harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya tarik sekurang-kurangnya 10 % dari kekuatan tekannya. Pengangkutan dilakukan dengan sekurang-kurangnya 4 (empat) buah tulangan dowel dengan rasio tulangan dowel tidak boleh kurang dari 1%.

Pada dua pertiga panjang tiang yang dicor setempat harus dipasang tulangan longitudinal 0,75 % tetapi tidak boleh kurang dari empat batang. Tulangan spiral atau sengkang dengan diameter 6 mm atau lebih besar harus dipasang dengan spasi tidak melebihi 225 mm kecuali pada ujung atas tiang harus diberikan pengekanan yang memadai sepanjang dua kali diameter tiang tetapi tidak boleh kurang dari 1200 mm dengan jarak spasi maksimum sebesar 75 mm.

Untuk tiang pracetak, rasio tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1% sedangkan tulangan spiral atau sengkang tidak boleh kurang dari persyaratan tiang yang dicor setempat.

#### 14.4.5 Persyaratan kepala jembatan

Persyaratan kepala jembatan harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku untuk jembatan kinerja seismik tipe B.

#### 14.4.6 Persyaratan detail

##### 14.4.6.1 Umum

Mutu baja struktural yang disyaratkan dalam ketentuan ini mengacu pada ketentuan dalam bagian 4. Penggunaan baja tegangan tinggi memerlukan pertimbangan khusus. Sedangkan penggunaan baut tipe tumpu tidak diperbolehkan. Komponen yang bersendi plastis harus terbuat dari penampang kompak. Sambungan kolom harus ditempatkan di pertengahan tinggi kolom. Pengelasan di lapangan sedapat mungkin dihindarkan. Sambungan baut maupun las harus ditempatkan di luar daerah sendi plastis.

##### 14.4.6.2 Kapasitas geser

Dalam daerah sendi plastis, kapasitas geser penampang baja harus memenuhi:

$$[P_o / (A_s f_y)]^2 + [V_w / (0,55 A_w f_y)]^2 < 1 \quad (14.4-4)$$

dengan pengertian :

- $P_o$  adalah gaya geser pada batang tekan yang ditinjau, dinyatakan dalam newton (N);
- $A_s$  adalah luas tegangan (tarik), dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );
- $f_y$  adalah tegangan leleh baja, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa);
- $V_w$  adalah gaya geser terfaktor, dinyatakan dalam newton (N);

$A_w$  adalah luas geser efektif, dinyatakan dalam milimeter per segi, ( $\text{mm}^2$ );

#### **14.4.6.3 Sambungan dari komponen bersendi plastis**

Perencanaan sambungan dari komponen sendi plastis harus memperhitungkan beban aksial dan pengerasan las.

Konsentrasi tegangan yang terjadi tidak boleh lebih besar dari 85 % kekuatan batas.

#### **14.4.6.4 Kapasitas momen**

Kapasitas momen penampang baja dapat dihitung berdasarkan persyaratan umum dalam struktur baja.

#### **14.4.6.5 Efek P-delta**

Efek P-delta harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur baja di mana kombinasi momen dan gaya aksial menimbulkan momen sekunder.

Pengaruh P-delta dapat diperhitungkan melalui analisis non-linier struktural atau melalui koefisien pembesaran momen.