

RSNI 3

REVISI PKKI NI – 5

Standar Nasional Indonesia

Tata cara perencanaan konstruksi kayu indonesia (PKKI NI – 5)

DAFTAR ISI

Daftar isi	i
Prakata	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Persyaratan-persyaratan	3
4.1 Struktur	3
4.2 Penanggung jawab perhitungan	4
5 Kuat acuan	5
5.1 Kuat acuan berdasarkan atas pemilihan secara mekanis	5
5.2 Kuat acuan berdasarkan pemilihan secara visual	5
6 Ketentuan umum	8
6.1 Ruang lingkup	8
6.2 Beban dan kombinasi pembebanan	8
6.3 Dasar perencanaan	8
7 Syarat-syarat perencanaan	13
7.1 Ruang lingkup	13
7.2 Luas bruto dan netto	13
7.3 Stabilitas	13
7.4 Pengekang lateral	13
7.5 Kondisi acuan	13
7.6 Tahanan terkoreksi	14
8 Komponen struktur tarik	18
8.1 Umum	18
8.2 Tahanan tarik sejajar serat	18
8.3 Tahanan tarik tegak lurus serat	18
8.4 Tahanan komponen struktur tersusun dan komponen struktur komposit	19
9 Komponen struktur tekan dan tumpu	20
9.1 Umum	20
9.2 Panjang efektif dan kelangsingan	20

9.3	Tahanan kolom masif yang memikul gaya tekan kosentris	25
9.4	Tahanan kolom berspasi, kolom tersusun, dan kolom komposit	25
9.5	Tahanan tumpu	29
9.6	Tekan radial pada komponen struktur melengkung	31
10	Komponen struktur lentur, momen dan geser	32
10.1	Umum	32
10.2	Kekangan lateral	37
10.3	Tahanan lentur komponen struktur gabungan	42
10.4	Tahanan geser	44
10.5	Tahanan puntir	47
10.6	Kuat tarik dan tekan radial pada balok melengkung	48
10.7	Genangan	57
11	Kombinasi beban lentur dan aksial pada komponen struktur	58
11.1	Umum	58
11.2	Tahanan penampang yang dibebani kombinasi lentur dan tarik aksial	58
11.3	Balok, kolom, dan komponen struktur rangka	59
11.4	Kolom dengan konsol pendek	62
11.5	Struktur busur	62
11.6	Rangka batang	63
12	Sambungan mekanis	65
12.1	Umum	65
12.2	Tinjauan sifat material	67
12.3	Tinjauan konfigurasi sambungan	68
12.4	Paku, pasak, dan sekrup	72
12.5	Baut, sekrup kunci, pen, dan pasak	79
12.6	Kombinasi a	87
13	Panel struktural	94
13.1	Ruang lingkup	94
13.2	Syarat-syarat perencanaan	94
13.3	Tahanan acuan	94
13.4	Sifat penampang rencana	95
13.5	Perencanaan	95

14	Dinding geser dan diafragma	97
14.1	Umum	97
14.2	Perencanaan didnding geser dan diafragma	97
14.3	Tahanan perlu	98
14.4	Tahanan acuan	98
14.5	Ketentuan Lain-lain	98
15	Tinjauan kamampuan layan	99
15.1	Ketentuan umum	99
15.2	Bahan dan kekaluan komponen struktur	99
	Lampiran A : Daftar notasi	100
	Lampiran B : Faktor-faktor koreksi	108

Prakata

Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu merupakan standar sebagai pengganti dari Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia (PKKI) yang diterbitkan pada tahun 1961 dan sampai saat ini belum direvisi.

Standar ini disusun dan disempurnakan sejalan dengan perkembangan pembangunan gedung-gedung dewasa ini, serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terjadi akhir-akhir ini.

Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu dapat digunakan sebagai acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam melakukan pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan struktur kayu agar dapat mewujudkan suatu pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan konstruksi yang memenuhi ketentuan minimum serta mendapatkan hasil pekerjaan yang aman, nyaman, dan ekonomis.

Dalam menyusun standar ini Sub Panitia Teknik dibantu oleh Tim Kerja dan Nara Sumber yang terdiri dari pakar-pakar yang ahli di bidangnya, yaitu :

2	Ir. Aim Abdurachim Idris, M.Sc.	Penanggung Jawab	Pusat Litbang Permukiman
3	Ir. Anita Firmanti, MT.	Ketua	Pusat Litbang Permukiman
1	Dr. Ir. Sindur P. Mangkoesoebroto, M.Sc	Koordinator Materi	Institut Teknologi Bandung
2	Cecep Bakheri, Dipl. E.Eng	Sekretaris	Puslitbang Permukiman
3	Dr. Ir. Naresworo Nugroho	Anggota	Institut Pertanian Bogor
4	Dr. Ir. Bambang Suryoatmono	Anggota	Universitas Parahyangan
5	Dr. Ir. Muslinang Moestopo, MSEM	Anggota	Institut Teknologi Bandung
6	Dr. Ir. Saptahari	Anggota	Institut Teknologi Bandung
7	Dr. Ir. Iswandi Imran, M.Sc.	Anggota	Institut Teknologi Bandung
8	Ir. Rd. M. Sadikin Rasad, Dipl. E.Eng	Anggota	Puslitbang Permukiman
9	Ir. Lutfi Faisal	Anggota	Puslitbang Permukiman
10	Ir. Wahyu Wuryanti, M.Sc	Anggota	Puslitbang Permukiman
11	Ir. Silvia Fransisca H, MT	Anggota	Puslitbang Permukiman
12	Ir. Sutadji Yuwasdiki, Dipl. E.Eng	Anggota	Puslitbang Permukiman
13	Ir. Maryoko Hadi, Dipl. E.Eng	Anggota	Puslitbang Permukiman
14	Ir. Wong Mei Leng	Anggota	Puslitbang Permukiman
15	Prof. Dr. Mohar Husin	Nara Sumber	Universitas Sumatra Utara
16	Prof. Dr. Ir. H. Soerjono Soerjokusumo, MSF	Nara Sumber	Institut Pertanian Bogor
17	Ir. Adi Subagio	Nara Sumber	Institut Teknologi Bandung
18	Ir. Nugrowarsito	Nara Sumber	Universitas Kristen Indonesia
19	Dr. Ir. Moresco	Nara Sumber	Universitas Gajah Mada
20	Dr. Ir. Bambang Subyanto	Nara Sumber	LIPI Puspitek Serpong
21	Suwandojo Siddiq, Dipl. E.Eng	Nara Sumber	Puslitbang Permukiman

Dalam pemakaiannya standar ini tidak terlepas dari standar-standar lain, baik yang berupa SNI maupun standar asing yang belum diadopsi seperti ASTM.

Panitia Teknik mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Tim Kerja dan Nara Sumber atas tersusunnya standar Tata Cara Perencanaan Konstruksi Kayu untuk Bangunan Gedung yang telah sekian lama bekerja serta menyumbangkan tenaga dan fikirannya dalam menyempurnakan peraturan konstruksi kayu di Indonesia, kami berharap standar ini dapat bermanfaat bagi masyarakat luas.

Jakarta, Agustus 2002

Panitia Teknik
Konstruksi dan Bangunan

Tata cara perencanaan konstruksi kayu Indonesia (PKKI NI – 5)

1 Ruang lingkup

Tata cara ini meliputi persyaratan-persyaratan umum serta ketentuan-ketentuan teknis perencanaan dan pelaksanaan struktur kayu untuk bangunan gedung, atau struktur bangunan lain yang mempunyai kesamaan karakter dengan struktur bangunan gedung.

2 Acuan normative

ENV 1995-1-1, *Design of timber structures. Part 1-1 General rules and rules for building*

ASTM D 4442- 92, *Standard test methods for direct moisture content measurement of wood and wood base materials*

ASTM D9, *Terminology relating to wood*

ASTM D 2395, *Test method for specific gravity of wood and wood-base materials*

ASTM D 4442, *Test methods for direct moisture content measurement of wood-base materials*

SNI 03-3527-1994, *Mutu kayu bangunan*

SNI 14-2023-1990, *Kayu lapis structural*

SNI 03-3972-1995, *Metode pengujian modulus elastisitas lentur kayu konstruksi berukuran struktural*

SNI 03-3973-1995, *Metode pengujian modulus elastisitas tekan dan kuat tekan sejajar serat kayu konstruksi berukuran struktural*

SNI 03-3974-1995, *Metode pengujian modulus geser kayu konstruksi berukuran structural*

SNI 01-2704-1992, *Kayu lapis penggunaan umum*

SNI 03-1726-1989, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung*

SNI 03-1727-1989, *Tata cara perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung*

3 Istilah dan definisi

3.1

kadar air

kandungan air yang terdapat dalam kayu, biasanya dinyatakan dalam persen dari berat kayu kering oven. Kadar air kayu atau bahan berkayu dapat dinyatakan berdasarkan berat kayu kering oven atau berat kayu basah

3.2

kayu struktural

kayu gergajian yang digunakan untuk komponen struktur bangunan yang memikul beban

3.3

isotropis

bahan yang mempunyai sifat yang sama pada ke tiga sumbu

3.4

Modulus elastisitas

Modulus elastisitas yang dihitung berdasarkan beban lentur

3.5

kayu ketrang udara

kayu dengan kadar air maksimal 20%

3.6

gubal

bagian terluar dari kayu yang berbatasan dengan kulit dan merupakan bagian batang yang masih hidup berisi zat makanan cadangan biasanya berwarna terang

3.7

netwon

satuan menurut system internasional (SI) untuk gaya ekuivalen dengan 0,1 kgf dan ditulis dengan notasi N

3.8

Mega pascal

Sepuluh pangkat enam pascal ekuivalen dengan 10 kgf/cm^2 dan ditulis dengan notasi MPa

3.9

Berat jenis

Berat per volume benda tertentu dari suatu bahan dibagi dengan berat air pada volume yang sama

3.10

kayu keras

kelompok kayu yang berasal dari golongan berbiji tertutup (Angiospermac) yang pada umumnya berdaun lebar dengan ciri – ciri kayu memiliki pori-pori dan pembuluh serta struktur anatomi yang kompleks

3.11

kayu lunak

kelompok kayu yang berasal dari golongan berbiji terbuka (Gymnospermac) yang pada umumnya berdaun jarum dengan ciri-ciri kayu terdiri dari trakeid longitudinal dengan struktur anatomi yang relatif lebih sederhana

3.12

mata kayu

bagian dari cabang atau ranting dikelilingi oleh pertumbuhan kayu, penampang lintang berbentuk bukat atau lonjong

4 Persyaratan-persyaratan

4.1 Struktur

Dalam perencanaan struktur kayu harus dipenuhi syarat-syarat berikut:

- 1) Analisis struktur harus dilakukan dengan cara-cara mekanika teknik yang baku.
- 2) Analisis dengan komputer, harus menunjukkan prinsip cara kerja program dan harus ditunjukkan dengan jelas data masukan serta penjelasan data keluaran.
- 3) Percobaan model diperbolehkan bila diperlukan untuk menunjang analisis teoritis.
- 4) Analisis struktur harus dilakukan dengan model-model matematis yang mensimulasikan keadaan struktur yang sesungguhnya dilihat dari segi sifat bahan dan kekakuan unsur-unsurnya.
- 5) Bila cara perhitungan menyimpang dari tata cara ini, maka harus mengikuti persyaratan sebagai berikut:
 - (1) Struktur yang dihasilkan dapat dibuktikan dengan perhitungan dan atau percobaan yang cukup aman.
 - (2) Tanggung jawab atas penyimpangan, dipikul oleh perencana dan pelaksana yang bersangkutan.
 - (3) Perhitungan dan atau percobaan tersebut diajukan kepada panitia yang ditunjuk oleh Pengawas Lapangan, yang terdiri dari ahli-ahli yang diberi wewenang menentukan segala keterangan dan cara-cara tersebut. Bila perlu, panitia dapat meminta diadakan percobaan ulang, lanjutan atau tambahan. Laporan panitia yang berisi syarat-syarat dan ketentuan-ketentuan penggunaan cara tersebut mempunyai kekuatan yang sama dengan tata cara ini.

4.2 Penanggung jawab perhitungan

Perencana bertanggungjawab terhadap seluruh hasil perencanaan. Nama perencana harus ditulis dan dibubuhi tanda tangan serta tanggal yang jelas.

5 Kuat acuan

5.1 Kuat acuan berdasarkan atas pemilahan secara mekanis

Pemilahan secara mekanis untuk mendapatkan modulus elastisitas lentur harus dilakukan dengan mengikuti standar pemilahan mekanis yang baku. Berdasarkan modulus elastisitas lentur yang diperoleh secara mekanis, kuat acuan lainnya dapat diambil mengikuti Tabel 5.1. Kuat acuan yang berbeda dengan Tabel 5.1 dapat digunakan apabila ada pembuktian secara eksperimental yang mengikuti standar-standar eksperimen yang baku.

Tabel 5.1 Nilai kuat acuan (MPa) berdasarkan atas pemilahan secara mekanis pada kadar air 15%

Kode mutu	Modulus Elastisitas Lentur E_w	Kuat Lentur F_b	Kuat tarik sejajar serat F_t	Kuat tekan sejajar serat F_c	Kuat Geser F_v	Kuat tekan Tegak lurus Serat $F_{c\perp}$
E26	25000	66	60	46	6.6	24
E25	24000	62	58	45	6.5	23
E24	23000	59	56	45	6.4	22
E23	22000	56	53	43	6.2	21
E22	21000	54	50	41	6.1	20
E21	20000	56	47	40	5.9	19
E20	19000	47	44	39	5.8	18
E19	18000	44	42	37	5.6	17
E18	17000	42	39	35	5.4	16
E17	16000	38	36	34	5.4	15
E16	15000	35	33	33	5.2	14
E15	14000	32	31	31	5.1	13
E14	13000	30	28	30	4.9	12
E13	14000	27	25	28	4.8	11
E12	13000	23	22	27	4.6	11
E11	12000	20	19	25	4.5	10
E10	11000	18	17	24	4.3	9

5.2 Kuat acuan berdasarkan pemilahan secara visual

Pemilahan secara visual harus mengikuti standar pemilahan secara visual yang baku. Apabila pemeriksaan visual dilakukan berdasarkan atas pengukuran berat jenis, maka kuat acuan untuk kayu berserat lurus tanpa cacat dapat dihitung dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

- a) Kerapatan ρ pada kondisi basah (berat dan volum diukur pada kondisi basah, tetapi kadar airnya lebih kecil dari 30%) dihitung dengan mengikuti prosedur baku. Gunakan satuan kg/m^3 untuk ρ
- b) Kadar air, $m\%$ ($m < 30$), diukur dengan prosedur baku.
- c) Hitung berat jenis pada $m\%$ (G_m) dengan rumus:

$$G_m = \rho / [1.000(1 + m/100)]$$
- d) Hitung berat jenis dasar (G_b) dengan rumus:

$$G_b = G_m / [1 + 0,265aG_m]$$
 dengan $a = (30 - m)/30$
- e) Hitung berat jenis pada kadar air 15% (G_{15}) dengan rumus:

$$G_{15} = G_b / (1 - 0,133 G_b)$$
- f) Hitung estimasi kuat acuan dengan rumus-rumus pada Tabel 5.2, dengan $G = G_{15}$.

Tabel 5.2 Estimasi kuat acuan berdasarkan atas berat jenis pada kadar air 15% untuk kayu berserat lurus tanpa cacat kayu

Kuat Acuan	Rumus estimasi
Modulus Elastisitas Lentur, E_w (MPa)	$16.500G^{0,7}$

Cat.: G adalah berat jenis kayu pada kadar air 15%.

Nilai kuat acuan lainnya dapat diperoleh dari Tabel 5.1 berdasarkan pada nilai modulus elastisitas lentur acuan dari Tabel 5.2

Untuk kayu dengan serat tidak lurus dan/ atau mempunyai cacat kayu, estimasi nilai modulus elastisitas lentur acuan dari Tabel 5.2 harus direduksi dengan mengikuti ketentuan pada SNI 03-3527-1994 UDC 691.11 tentang "Mutu Kayu Bangunan," yaitu dengan mengalikan estimasi nilai modulus elastisitas lentur acuan dari Tabel 5.2 tersebut dengan nilai rasio tahanan yang ada pada Tabel 5.3 yang bergantung pada Kelas Mutu kayu. Kelas Mutu ditetapkan dengan mengacu pada Tabel 5.4.

Tabel 5.3 Nilai rasio tahanan

Kelas Mutu	Nilai Rasio Tahanan
A	0,80
B	0,63
C	0,50

Tabel 5.4 Cacat maksimum untuk setiap kelas mutu kayu

Macam Cacat	Kelas Mutu A	Kelas Mutu B	Kelas Mutu C
Mata kayu: Terletak di muka lebar	1/6 lebar kayu	1/4 lebar kayu	1/2 lebar kayu
Terletak di muka sempit	1/8 lebar kayu	1/6 lebar kayu	1/4 lebar kayu
Retak	1/5 tebal kayu	1/6 tebal kayu	1/2 tebal kayu
Pingul	1/10 tebal atau lebar kayu	1/6 tebal atau lebar kayu	1/4 tebal atau lebar kayu
Arah serat	1 : 13	1 : 9	1 : 6
Saluran damar	1/5 tebal kayu eksudasi tidak diperkenankan	2/5 tebal kayu	1/2 tebal kayu
Gubal	Diperkenankan	Diperkenankan	Diperkenankan
Lubang serangga	Diperkenankan asal terpencar dan ukuran dibatasi dan tidak ada tanda-tanda serangga hidup	Diperkenankan asal terpencar dan ukuran dibatasi dan tidak ada tanda-tanda serangga hidup	Diperkenankan asal terpencar dan ukuran dibatasi dan tidak ada tanda-tanda serangga hidup
Cacat lain (lapuk, hati rapuh, retak melintang)	Tidak diperkenankan	Tidak diperkenankan	Tidak diperkenankan

6 Ketentuan umum

6.1 Ruang lingkup

Tata cara ini menetapkan kriteria perencanaan struktur yang terbuat dari kayu struktural, glulam (kayu laminasi struktural), produk-produk panel, tiang, pancang, dan komponen struktur kayu lainnya, serta sambungannya. Tata cara ini dimaksudkan untuk merencanakan gedung kayu dan struktur lain yang sejenis. Apabila tata cara ini merujuk ke lampiran maka ketentuan dalam lampiran berlaku.

Satuan

Apabila diperlukan satuan dalam menggunakan tata cara ini maka satuan tersebut adalah dalam SI (Sistem Internasional). Sebagian persamaan tidak memerlukan penggunaan satuan secara eksplisit, di dalam persamaan seperti ini perencana dapat menggunakan satuan secara konsisten untuk semua besaran.

6.2 Beban dan kombinasi pembebanan

Beban nominal adalah beban yang ditentukan di dalam Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung, SKBI – 1.3.53.1987, SNI 03-1727-1989 atau penggantinya.

6.2.1 Beban nominal

Beban nominal yang harus ditinjau adalah sebagai berikut:

D beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap;

L beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk pengaruh kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain;

L_s beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak;

H beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air;

W beban angin termasuk dengan memperhitungkan bentuk aerodinamika bangunan dan peninjauan terhadap pengaruh angin topan, puyuh, dan tornado, bila diperlukan;

E beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989, atau penggantinya;

6.2.2 Kombinasi pembebanan

Kecuali apabila ditetapkan lain, struktur, komponen struktur, dan sambungannya harus direncanakan dengan menggunakan kombinasi pembebanan berikut ini:

$$1,4D \quad (6.2-1)$$

$$1,2D + 1,6 L + 0,5 (L_s \text{ atau } H) \quad (6.2-2)$$

$$1,2D + 1,6 (L_s \text{ atau } H) + (0,5L \text{ atau } 0,8W) \quad (6.2-3)$$

$$1,2D + 1,3 W + 0,5 L + 0,5 (L_s \text{ atau } H) \quad (6.2-4)$$

$$1,2D \pm 1,0E + 0,5L \quad (6.2-5)$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ atau } 1,0E) \quad (6.2-6)$$

Pengecualian: Faktor beban untuk L di dalam kombinasi beban pada persamaan (6.2-3), (6.2-4), dan (6.2-5) harus sama dengan 1,0 untuk garasi parkir, daerah yang digunakan untuk pertemuan umum, dan semua daerah di mana beban hidup lebih besar dari pada 5 kPa.

Setiap keadaan batas yang relevan harus ditinjau, termasuk kasus-kasus di mana sebagian beban di dalam kombinasi pembebanan bernilai sama dengan nol. Pengaruh kondisi pembebanan yang tak seimbang harus ditinjau sesuai dengan ketentuan di dalam tata cara gedung yang berlaku.

6.2.3 Beban lainnya

Pengaruh struktural akibat beban-beban lainnya, termasuk tetapi tidak terbatas pada berat dan tekanan lateral tanah, pengaruh temperatur, susut, kelembaban, rangkai, dan beda penurunan tanah, harus ditinjau di dalam perencanaan.

Pengaruh struktural akibat beban yang ditimbulkan oleh fluida (F), tanah (S), genangan air (P), dan temperatur (T) harus ditinjau dalam perencanaan dengan menggunakan faktor beban: $1,3F$; $1,6S$; $1,2P$; dan $1,2T$.

6.2.4 Beban yang berlawanan

Apabila pengaruh suatu beban saling berlawanan di dalam komponen struktur atau sambungannya maka harus ditinjau gaya aksial, geser, dan momen yang mungkin berbalik arah.

6.3 Dasar perencanaan

6.3.1 Perencanaan keadaan batas

Komponen struktur beserta sambungannya harus direncanakan sedemikian sehingga tidak ada keadaan batas yang terlampaui pada saat struktur tersebut memikul beban rencana yang bekerja.

Keadaan batas tahanan meliputi setiap tahanan yang diperlukan (gaya atau tegangan) yang ditinjau pada setiap sistem struktur, komponen struktur, atau sambungannya.

Keadaan batas kemampuan layan mengikuti ketentuan dalam Butir 15.

6.3.2 Analisis struktur

Pengaruh beban terhadap masing-masing komponen struktur dan sambungannya ditentukan dengan metode analisis struktur elastis. Analisis tersebut harus memperhitungkan keseimbangan, stabilitas, kompatibilitas geometris, dan sifat material jangka pendek maupun jangka panjang. Sebagai alternatif, analisis non-linier atau inelastis dapat digunakan selama data yang mendukung perilaku tersebut tersedia dan disetujui oleh pihak berwenang.

6.3.2.1 Modulus elastisitas lentur

Untuk menentukan distribusi beban di dalam struktur statis tak tentu dan untuk perhitungan lendutan dan keadaan layan lainnya, harus digunakan nilai modulus elastisitas lentur rerata terkoreksi, E_w' .

Modulus elastisitas lentur rerata terkoreksi, E_w' , yang digunakan dalam perencanaan, bergantung pada penggunaannya. Dalam kasus perencanaan di mana tahanan struktural atau stabilitas ditentukan berdasarkan perhitungan maka harus digunakan nilai persentil ke lima terkoreksi, E_{05}' , yang ditetapkan sebagai berikut:

$$E_{05}' = 1,03E_w\{1 - 1,645 (KV_E)\} \quad (6.3-1)$$

dengan 1,03 adalah faktor koreksi dari nilai E_w yang ditabelkan kepada nilai E_w bebas-geser, dan $KV_E = \frac{\sigma_E}{E_w'}$ adalah koefisien variasi nilai E_w , yaitu penyimpangan deviasi

standar E_w dibagi dengan nilai rerata E_w .

Pengecualian: Untuk glulam (kayu laminasi struktural), faktor penyesuaian tersebut adalah 1,05, dan bukan 1,03. Modulus elastisitas lentur tidak perlu dikoreksi terhadap faktor waktu, λ .

6.3.2.2 Kekangan ujung

Perencanaan sambungan harus konsisten dengan asumsi yang diambil dalam analisis struktur dan dengan jenis konstruksi yang dipilih dalam gambar rencana. Dalam rangka sederhana semua sambungan harus diasumsikan bersifat sendi kecuali bila dapat ditunjukkan melalui eksperimen atau analisis bahwa sambungan tersebut dapat mengekang rotasi. Pada kondisi beban rencana, sambungan harus mempunyai kapasitas rotasi yang memadai untuk menghindari elemen penyambung terbebani secara berlebihan.

6.3.2.3 Pembebanan jangka panjang

Analisis yang dilakukan pada struktur dan komponen struktur yang mengalami deformasi akibat rangkai pada saat memikul beban kerja, harus memperhitungkan terjadinya tambahan deformasi akibat rangkai dalam masa layannya apabila deformasi tersebut mempengaruhi tahanan atau kemampuan layannya.

6.3.3 Kondisi batas tahanan

Perencanaan sistem struktur, komponen struktur, dan sambungannya harus menjamin bahwa tahanan rencana di semua bagian pada setiap sistem, komponen, dan sambungan struktur sama dengan atau melebihi gaya terfaktor, R_u .

6.3.3.1 Gaya terfaktor

Gaya-gaya pada komponen struktur dan sambungannya, R_u , harus ditentukan dari kombinasi pembebanan sebagaimana diatur dalam Butir 6.2.

6.3.3.2 Tahanan rencana

Tahanan rencana dihitung untuk setiap keadaan batas yang berlaku sebagai hasil kali antara tahanan terkoreksi, R' , faktor tahanan, ϕ , dan faktor waktu, λ . Tahanan rencana harus sama dengan atau melebihi beban terfaktor, R_u :

$$R_u \leq \lambda \phi R' \quad (6.3-2)$$

dengan R' adalah tahanan terkoreksi untuk komponen struktur, elemen, atau sambungan, seperti tahanan lentur terkoreksi, M' , tahanan geser terkoreksi, V' , dan lain-lain. Begitu

pula R_u diganti dengan M_u , V_u , dan sebagainya untuk gaya-gaya pada komponen struktur atau sambungan.

Tahanan terkoreksi, R' , harus meliputi pengaruh semua faktor koreksi yang berasal dari keadaan masa layan dan faktor-faktor koreksi lainnya yang berlaku.

Faktor tahanan, ϕ , yang digunakan dalam tata cara ini dirangkum dalam Tabel 6.3-1.

Kecuali bila ditetapkan lain, faktor waktu yang digunakan dalam kombinasi pembebanan pada Butir 6.2.2 harus sesuai dengan yang tercantum di dalam Tabel 6.3-2.

6.3.4 Keadaan batas kemampuan layan

Sistem struktur dan komponen struktur harus direncanakan dengan memperhatikan batas-batas deformasi, simpangan lateral, getaran, rangkai, atau deformasi lainnya yang dapat mempengaruhi kemampuan layan gedung atau struktur kayu yang bersangkutan. Keadaan batas kemampuan layan diuraikan di dalam Butir 15.

6.3.5 Struktur yang sudah ada

Ketentuan perencanaan dalam tata cara ini dapat diterapkan untuk mengevaluasi struktur yang sudah ada. Apabila gedung atau struktur kayu diubah fungsi atau bentuknya maka harus dilakukan tinjauan terhadap kemungkinan pengaruh-pengaruh akibat kerusakan atau perlemahan yang disebabkan perubahan itu.

Tabel 6.3-1 Faktor tahanan, ϕ

Jenis	Simbol	Nilai
Tekan	ϕ_c	0,90
Lentur	ϕ_b	0,85
Stabilitas	ϕ_s	0,85
Tarik	ϕ_t	0,80
Geser/puntir	ϕ_v	0,75
Sambungan	ϕ_z	0,65

Tabel 6.3-2 Faktor waktu, λ

Kombinasi pembebanan		Faktor Waktu (λ)
1,4D	(6.2-1)	0,6
1,2D + 1,6L + 0,5(L_s atau H)	(6.2-2)	0,7 jika L dari gudang 0,8 jika L dari ruangan umum 1,25 jika L dari kejut
1,2D + 1,6 (L_s atau H) + (0,5L atau 0,8W)	(6.2-3)	0,8
1,2D + 1,3 W + 0,5 L + 0,5 (L_s atau H)	(6.2-4)	1,0
1,2D ± 1,0E + 0,5L	(6.2-5)	1,0
0,9D ± (1,3W atau 1,0E)	(6.2-6)	1,0

Catatan: Untuk sambungan, $\lambda = 1,0$ jika L dari kejut.

7 Syarat-syarat perencanaan

7.1 Ruang lingkup

Butir ini mengatur syarat-syarat yang berlaku untuk semua ketentuan perencanaan dalam tata cara ini.

7.2 Luas bruto dan neto

7.2.1 Luas bruto

Luas bruto, A , komponen struktur kayu pada setiap potongan adalah jumlah luas seluruh elemen penyusun komponen struktur kayu tersebut, yang diukur tegak lurus terhadap sumbu komponen struktur.

7.2.2 Luas neto

Luas neto, A_n , komponen struktur kayu diperoleh dari luas bruto dikurangi dengan jumlah material kayu yang hilang karena adanya lubang bor, baut, paku, coakan, takik, dan lain-lain. Butir 12 membahas luas neto akibat adanya sambungan-sambungan.

7.3 Stabilitas

Stabilitas harus dipenuhi oleh sistem struktur secara keseluruhan maupun oleh komponen struktur pada sistem struktur tersebut. Perencanaan terhadap stabilitas dilakukan dengan memperhitungkan pengaruh beban-beban yang ditimbulkan oleh perubahan bentuk struktur atau komponen struktur sistem pemikul beban lateral.

7.4 Pengekang lateral

Pada titik-titik tumpu balok, rangka, dan komponen struktur kayu lainnya, harus disediakan kekangan pada rotasi terhadap sumbu longitudinalnya, kecuali bila hal tersebut ternyata tidak diperlukan berdasarkan analisis ataupun percobaan. Lihat Butir 10 untuk pembahasan pengekang lateral pada komponen struktur lentur.

7.5 Kondisi acuan

Tahanan acuan, R , dan tahanan acuan sambungan, Z , ditetapkan berdasarkan kondisi acuan berikut ini:

- a) Kondisi kering dengan kadar air setimbang maksimum tidak melebihi 19% untuk kayu masif dan 16% untuk produk-produk kayu yang dilem; serta batas bawah kadar air setimbang tahunan rerata adalah 6%.
- b) Nilai tahanan acuan berlaku untuk kondisi terekspos secara berkelanjutan pada temperatur hingga 38°C; atau temperatur yang dapat mencapai 65°C pada komponen struktur dan sambungan; atau temperatur sesaat yang melebihi 93°C pada panel struktural. Komponen struktur kayu dan sambungannya tidak diperkenankan untuk secara terus menerus berada pada temperatur di atas 65°C. Panel struktural tidak diperkenankan berada pada temperatur di atas 93°C kecuali untuk waktu yang sangat pendek. Untuk kondisi temperatur di atas 38°C secara berkelanjutan maka harus diberlakukan faktor koreksi temperatur.
- c) Produk-produk kayu yang tidak diberi perlakuan khusus, kecuali untuk tiang dan pancang, merujuk kepada Butir 7.6.5.
- d) Produk baru (bukan merupakan material yang diambil untuk digunakan kembali).
- e) Komponen struktur tunggal atau sambungan tanpa pembagi beban (*load sharing*) atau aksi komposit.

Nilai tahanan terkoreksi, R' (atau Z), untuk kondisi lainnya ditetapkan sesuai dengan Butir 7.6.

7.6 Tahanan terkoreksi

Faktor koreksi pada Tabel 7.6-1 dan 12.1-1, bila dimungkinkan, digunakan sesuai dengan yang disyaratkan pada bagian di bawah ini. Tahanan terkoreksi dihitung sebagai berikut:

$$R' = R C_1 C_2 \dots C_n \quad (7.5-1)$$

dengan R' adalah tahanan terkoreksi, R adalah tahanan acuan, C_i adalah faktor-faktor koreksi.

Bila bagian ini tidak mengacu kepada bagian lainnya untuk perhitungan faktor koreksi, maka faktor koreksi untuk kayu gergajian, produk-produk kayu lainnya, dan sambungan, diambil dari Lampiran B tata cara ini.

7.6.1 Faktor koreksi untuk masa layan

Untuk kondisi masa layan yang berbeda dari kondisi acuan pada Butir 7.5, berlaku faktor koreksi berikut ini:

C_M adalah faktor koreksi layan basah, untuk memperhitungkan kadar air masa layan yang lebih tinggi daripada 19% untuk kayu masif dan 16% untuk produk kayu yang dilem;

C_t adalah faktor koreksi temperatur, untuk memperhitungkan temperatur layan lebih tinggi daripada 38°C secara berkelanjutan;

C_{pt} adalah faktor koreksi pengawetan kayu, untuk memperhitungkan pengaruh pengawetan terhadap produk-produk kayu dan sambungan. Nilai faktor koreksi ditetapkan berdasarkan spesifikasi pemasok, ketentuan, atau tata cara yang berlaku;

C_{rt} adalah faktor koreksi tahan api, untuk memperhitungkan pengaruh perlakuan tahan api terhadap produk-produk kayu dan sambungan. Nilai faktor koreksi ditetapkan berdasarkan spesifikasi pemasok, ketentuan, atau tata cara yang berlaku.

7.6.2 Faktor koreksi untuk konfigurasi komponen struktur

Sebagai tambahan dari faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6.1, berlaku pula persyaratan tambahan berikut ini, beserta batasannya untuk semua komponen struktur dan produk-produk kayu.

C_E adalah faktor koreksi aksi komposit, untuk komponen struktur lantai kayu, dinding kayu, dan plafon, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan ketika penutup dan komponen struktur pendukungnya berfungsi sebagai aksi komposit sesuai dengan Butir 10.3.1.1;

C_r adalah faktor koreksi pembagi beban, untuk balok tersusun atau komponen struktur lantai kayu, dinding kayu, dan plafon kayu, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan penampang tersusun sesuai dengan Butir 10.3.1.2 atau tata cara lainnya;

C_F adalah faktor koreksi ukuran, untuk memperhitungkan pengaruh dimensi komponen struktur sesuai dengan tata cara yang berlaku; untuk kayu yang mutunya ditetapkan secara masinal $C_F = 1$;

C_L adalah faktor koreksi stabilitas balok, untuk memperhitungkan pengaruh pengeang lateral parsial sesuai dengan Butir 10.2.5.2;

C_p adalah faktor koreksi stabilitas kolom, untuk memperhitungkan pengaruh pengekang lateral parsial sesuai dengan Butir 9.3.2;

C_b adalah faktor koreksi luas tumpu, untuk memperhitungkan peningkatan luas efektif bidang tumpu balok sesuai dengan Butir 9.5.2;

C_r adalah faktor koreksi bentuk, untuk memperhitungkan pengaruh penampang tak persegi panjang pada perhitungan tahanan lentur sesuai dengan Butir 10.1.7 atau tata cara lainnya yang berlaku.

7.6.3 Faktor koreksi tambahan untuk kayu struktural dan kayu laminasi struktural

Sebagai tambahan dari faktor-faktor yang ditentukan pada Butir 7.6.1 dan 7.6.2, hal-hal berikut ini berlaku untuk kayu struktural dan kayu laminasi struktural.

C_H adalah faktor koreksi tegangan geser, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan geser pada komponen struktur kayu dengan sedikit cacat kayu;

C_I adalah faktor koreksi interaksi tegangan, untuk memperhitungkan peningkatan tegangan pada permukaan yang diiris miring dari kayu laminasi struktural; lihat Butir 10.1.11;

C_T adalah faktor koreksi kekakuan tekuk, untuk memperhitungkan peningkatan kekakuan rangka batang kayu berpenutup; lihat Butir 11.6.1;

C_V adalah faktor koreksi pengaruh volume kayu laminasi struktural yang dibebani tegak lurus sisi lebar lapis, untuk memperhitungkan pengaruh volume komponen struktur terhadap tahanan lentur;

C_c adalah faktor koreksi kelengkungan kayu laminasi struktural, untuk memperhitungkan pengaruh kelengkungan terhadap tahanan lentur;

C_{fu} adalah faktor koreksi penggunaan datar, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan lentur dari komponen struktur kayu yang digunakan secara datar.

7.6.4 Faktor koreksi tambahan untuk panel struktural

Sebagai tambahan dari faktor-faktor koreksi yang dibahas pada Butir 7.6.1 dan 7.6.2, hal-hal berikut ini berlaku untuk panel struktural.

C_w adalah faktor koreksi lebar, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan panel pada komponen struktur dengan lebar yang kecil;

C_G adalah faktor koreksi mutu, untuk panel dengan sifat fisik yang berbeda dari mutu acuan yang digunakan untuk menetapkan nilai tahanannya. Faktor mutu ini

juga berlaku untuk panel dengan susunan lapisan yang nilai tahananannya tidak tercatat.

7.6.5 Faktor koreksi tambahan untuk tiang dan pancang kayu

Sebagai tambahan dari faktor-faktor koreksi yang dibahas pada Butir 7.6.1 dan 7.6.2, hal-hal berikut ini berlaku untuk tiang kayu dan pancang kayu.

C_{cs} adalah faktor koreksi penampang kritis untuk pancang kayu bundar;

C_{sp} adalah faktor koreksi pancang tunggal untuk pancang kayu bundar;

C_u adalah faktor koreksi untuk pancang kayu bundar yang tidak diberi perlakuan khusus.

7.6.6 Faktor koreksi tambahan untuk sambungan struktural

Sebagai tambahan dari faktor-faktor koreksi yang dibahas pada Butir 7.6.1 dan 7.6.2, hal-hal berikut ini berlaku untuk sambungan.

C_d adalah faktor koreksi diafragma, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan paku-paku yang digunakan pada struktur diafragma sesuai dengan Butir 14.1.1;

C_g adalah faktor koreksi aksi kelompok, untuk memperhitungkan pembebanan yang tidak merata dari baris alat pengencang majemuk sesuai dengan Butir 12.3.6.1;

C_Δ adalah faktor koreksi geometri, untuk memperhitungkan geometri sambungan yang tidak lazim sesuai dengan Butir 12.6.3.2;

C_d adalah faktor koreksi penetrasi, untuk memperhitungkan reduksi penetrasi alat pengencang sesuai dengan Butir 12.6.3.2;

C_{eg} adalah faktor koreksi serat-ujung, untuk memperhitungkan reduksi tahanan alat pengencang yang dipasang pada serat-ujung sesuai dengan Butir 12.4.3.3;

C_{st} adalah faktor koreksi pelat baja sisi, untuk sambungan geser dengan pelat baja sisi berukuran 100 mm sesuai dengan Butir 12.4.3.3;

C_m adalah faktor koreksi paku-miring, untuk sambungan paku sesuai dengan Butir 12.

8 Komponen struktur tarik

8.1 Umum

8.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan dalam butir ini berlaku untuk komponen-komponen struktur yang memikul gaya tarik konsentris dan bagian dari komponen struktur yang memikul gaya tarik setempat akibat pengaruh sambungan. Komponen-komponen struktur yang memikul kombinasi lentur dan tarik aksial harus memenuhi persyaratan pada Butir 11.2. Persyaratan tambahan untuk pengaruh gaya tarik pada daerah sambungan dapat dilihat pada Butir 12.

8.1.2 Perencanaan komponen struktur

Komponen struktur tarik harus direncanakan untuk memenuhi ketentuan sebagai berikut:

$$T_u \leq \lambda \phi_t T' \quad (8.1-1)$$

dengan T_u adalah gaya tarik terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.3-2), ϕ_t adalah faktor tahanan tarik sejajar serat = 0,80, dan T' adalah tahanan tarik terkoreksi.

Tahanan terkoreksi adalah hasil dari perkalian tahanan acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6.

8.1.3 Pertimbangan khusus

Komponen-komponen struktur tarik tidak boleh ditakik.

8.2 Tahanan tarik sejajar serat

8.1.1 Tahanan tarik

Tahanan tarik terkoreksi komponen struktur tarik konsentris, T' , ditentukan pada penampang tarik kritis:

$$T' = F_t' A_n \quad (8.2-1)$$

dengan F_t' adalah kuat tarik sejajar serat terkoreksi dan A_n adalah luas penampang neto.

8.1.2 Pertimbangan khusus untuk penampang neto taksimetris

Bilamana, akibat adanya alat pengencang, letak titik berat penampang neto menyimpang dari titik berat penampang bruto sebesar 5% dari ukuran lebar atau lebih maka

eksentrisitas lokal harus ditinjau sesuai dengan prinsip baku mekanika dan prosedur yang dijelaskan pada Butir 11.2.

8.2 Tahanan tarik tegak lurus serat

Bilamana gaya tarik tegak lurus serat tidak dapat dihindari maka perkuatan mekanis harus diadakan untuk mampu memikul gaya tarik yang terjadi. Tarik radial yang timbul pada komponen struktur lengkung dan komponen struktur bersudut serta komponen struktur yang diiris miring harus dibatasi dengan ketentuan-ketentuan pada Butir 10.6.

8.3 Tahanan komponen struktur tersusun dan komponen struktur komposit

8.3.1 Komponen struktur tersusun

Komponen struktur tersusun, termasuk batang majemuk rangka atap, batang diafragma, batang penyokong, dan komponen struktur serupa, adalah komponen struktur yang terdiri dari dua atau lebih elemen sejajar yang digabungkan dari bahan dengan tahanan dan kekakuan yang sama.

Tahanan komponen struktur tersusun tersebut harus ditentukan sebagai jumlah dari tahanan elemen masing-masing selama tahanan sambungannya juga dapat menjamin terjadinya distribusi gaya tarik aksial di antara elemen-elemen tersebut yang sebanding dengan luas masing-masing elemen.

Pengaruh perlemahan akibat sambungan antar elemen harus ditinjau dalam perencanaan.

8.3.2 Komponen struktur komposit

Perencanaan komponen struktur tarik komposit, yaitu komponen struktur yang tersusun dari gabungan kayu gergajian, kayu laminasi struktural, atau dari jenis kayu lain yang berbeda kekakuannya dan bekerja pada arah sejajar serat, atau kombinasi dengan pelat baja, atau batang baja, harus ditinjau berdasarkan konsep penampang transformasi. Elemen-elemen harus digabungkan sehingga dapat bekerja sebagai satu kesatuan dengan gaya-gaya terdistribusi sebanding dengan kekakuan elemen penyusunnya. Tahanan tarik komponen struktur komposit tersebut ditentukan sebagai jumlah tahanan tarik dari setiap elemen penyusun yang dihitung pada saat salah satu elemen mencapai deformasi batasnya.

9 Komponen struktur tekan dan tumpu

9.1 Umum

9.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan-ketentuan dalam butir ini berlaku untuk komponen struktur yang mengalami gaya tekan aksial dan gaya tekan tumpu. Komponen struktur yang memikul kombinasi lentur dan gaya tekan aksial, termasuk komponen struktur yang memikul gaya aksial eksentris, harus memenuhi persyaratan pada Butir 11.3.

9.1.2 Perencanaan komponen struktur

Komponen struktur tekan harus direncanakan sedemikian sehingga:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P' \quad (9.1-1)$$

dengan P_u adalah gaya tekan terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.3-2), $\phi_c = 0,90$ adalah faktor tahanan tekan sejajar serat, dan P' adalah tahanan tekan terkoreksi.

Tahanan terkoreksi adalah hasil dari perkalian tahanan acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6.

Komponen struktur yang memikul gaya-gaya aksial setempat harus mendapatkan pendetailan tahanan dan kestabilan yang cukup pada daerah bekerjanya gaya-gaya tersebut. Begitu pula, komponen struktur harus memiliki tahanan rencana lokal dan stabilitas pelat badan yang cukup pada tumpuan balok dan pada lokasi gaya-gaya transversal bekerja.

9.2 Panjang efektif dan kelangsingan

9.2.1 Panjang efektif kolom





Panjang kolom tak-terkekang atau panjang bagian kolom tak-terkekang, l , harus diambil sebagai jarak pusat-ke-pusat pengekang lateral. Panjang kolom tak-terkekang harus ditentukan baik terhadap sumbu kuat maupun terhadap sumbu lemah dari kolom tersebut. Panjang efektif kolom, l_e , untuk arah yang ditinjau harus diambil sebagai $K_e l$, di mana K_e adalah faktor panjang tekuk untuk komponen struktur tekan. K_e tergantung pada kondisi ujung kolom dan ada atau tidak adanya goyangan.

Untuk kolom tanpa goyangan pada arah yang ditinjau, faktor panjang tekuk, K_e , harus diambil sama dengan satu kecuali jika analisis memperlihatkan bahwa kondisi kekangan

ujung kolom memungkinkan digunakannya faktor panjang tekuk yang lebih kecil daripada satu.

Untuk kolom dengan goyangan pada arah yang ditinjau, faktor panjang tekuk, K_e , harus lebih besar daripada satu dan ditentukan berdasarkan analisis mekanika dengan memperhitungkan kondisi kekangan ujung kolom.

Nilai K_e untuk beberapa jenis kondisi kekangan ujung dan untuk keadaan dengan goyangan serta tanpa goyangan dapat ditentukan menggunakan hubungan pada Gambar 9.2-1

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai K_e teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai K_e yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,4
Kode ujung	<div> Jepit</div> <div> Sendi</div> <div> Rol tanpa putaran sudut</div> <div> Ujung bebas</div>					

Gambar 9.2-1 Nilai K_e untuk kolom-kolom dengan beberapa jenis kekangan ujung.

9.2.2 Kelangsingan kolom

Kelangsingan kolom adalah perbandingan antara panjang efektif kolom pada arah yang ditinjau terhadap jari-jari girasi penampang kolom pada arah itu, atau:

kelangsingan = K_e/l

(9.2-1)

Jari-jari girasi dihitung berdasarkan luas penampang bruto, dan menggunakan penampang transformasi jika digunakan penampang komposit. Untuk kolom yang ditakik atau yang diiris miring, jari-jari girasi ditetapkan sesuai dengan Butir 9.3.3 dan 9.3.4.

Nilai kelangsingan kolom, K_e/r , tidak boleh melebihi 175.

9.3 Tahanan kolom masif yang memikul gaya tekan kosentris

9.3.1 Nilai bahan rencana dan faktor-faktor rencana

Modulus elastisitas lentur yang digunakan dalam persamaan-persamaan pada butir ini adalah nilai persentil ke lima terkoreksi, E_{05}' , seperti yang ditentukan untuk digunakan dalam perhitungan tahanan.

9.3.2 Tahanan kolom prismatis

Tahanan tekan kolom ditentukan berdasarkan kelangsingan penampang kolom pada arah yang paling kritis. Tahanan tekan kolom terkoreksi ditetapkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P' &= C_p A F_c^* \\ &= C_p P_o' \end{aligned} \quad (9.3-1)$$

Faktor kestabilan kolom, C_p , dihitung sebagai berikut:

$$C_p = \frac{1 + \alpha_c}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_c}{2c}\right)^2 - \frac{\alpha_c}{c}} \quad (9.3-2)$$

dengan:

$$\alpha_c = \frac{\phi_s P_e}{\lambda \phi_c P_o'} \quad (9.3-3)$$

$$P_e = \frac{\pi^2 E_{05}' I}{(K_e l)^2} = \frac{\pi^2 E_{05}' A}{\left(K_e \frac{l}{r}\right)^2} \quad (9.3-4)$$

Keterangan:

A adalah luas penampang bruto, mm^2

F_c^* adalah kuat tekan terkoreksi sejajar serat (setelah dikalikan semua faktor koreksi kecuali, C_p), N

E_{05}' adalah nilai modulus elastis lentur terkoreksi pada persentil ke lima, MPa

P_e adalah tahanan tekuk kritis (Euler) pada arah yang ditinjau, N

P_o' adalah tahanan tekan aksial terkoreksi sejajar serat pada kelangsingan kolom sama dengan nol, N

$c = 0,80$ untuk batang masif

$c = 0,85$ untuk tiang dan pancang bundar

$c = 0,90$ untuk glulam (kayu laminasi struktural) dan kayu komposit struktural

ϕ_c adalah faktor tahanan tekan = 0,90

ϕ_s adalah faktor tahanan stabilitas = 0,85

Nilai momen inersia, I , nilai E_{05}' , dan panjang efektif, $K_e l$, harus diambil pada arah yang sedang ditinjau. Nilai c untuk kolom selain glulam (kayu laminasi struktural), tiang, dan pancang, harus diambil 0,80, kecuali bila nilai yang lebih besar dapat digunakan berdasarkan percobaan.

9.3.3 Tahanan kolom prismatis yang ditakik atau dibor

Sebagai tambahan dari ketentuan pada Butir 9.3.2, tahanan tekan terkoreksi dari suatu kolom yang ditakik atau dibor harus dievaluasi sebagai berikut:

9.3.3.1 Takik pada lokasi kritis,

$$P' = C_p A_n F_c^* \quad (9.3-5)$$

dengan C_p dihitung menggunakan besaran-besaran penampang neto untuk kondisi takik atau lubang berada di daerah tengah bentang di antara dua titik belok momen kolom yang tertekuk dan:

- momen inersia penampang neto pada lokasi tersebut kurang daripada 80% dari momen inersia penampang bruto; atau
- dimensi longitudinal takik atau lubang lebih besar daripada dimensi penampang melintang kolom yang terbesar.

9.3.3.2 Takik pada lokasi tak-kritis

Untuk kasus-kasus selain daripada yang disebutkan pada Butir 9.3.3.1, tahanan tekan terkoreksi harus dievaluasi sebagai nilai yang terkecil di antara nilai yang diberikan oleh persamaan (9.3-6) dan (9.3-7):

$$P' = C_p A F_c^* \quad (9.3-6)$$

dengan C_p dihitung menggunakan besaran-besaran penampang bruto;

$$P' = A_n F_c^* \quad (9.3-7)$$

9.3.4 Tahanan kolom yang diiris miring

9.3.4.1 Kolom bundar yang diiris miring

Tahanan tekan terkoreksi dari kolom bundar yang diiris miring secara seragam ditentukan menggunakan persamaan pada Butir 9.3.2. Diameter yang digunakan adalah diameter pada ujung kecil; atau bila diameter pada ujung kecil, D_1 , lebih besar daripada $1/3$ (satu per tiga) diameter pada ujung besar, D_2 , maka diameter yang digunakan ditentukan menurut Tabel 9.3-1.

Tabel 9.3-1 Diameter rencana (D) komponen struktur bundar yang diiris miring, ditentukan sebagai $D = D_1 + X(D_1 - D_2)$

Kasus	Keterangan	X
1	Konstruksi tiang bendera; ujung besar terjepit	$0,52 + 0,18 D_1/D_2$
2	Konstruksi tiang bendera terbalik; ujung kecil terjepit	$0,12 + 0,18 D_1/D_2$
3	Balok yang diiris miring tunggal, kedua ujung tertumpu sederhana	$0,32 + 0,18 D_1/D_2$
4	Balok yang diiris miring ganda, kedua ujung tertumpu sederhana	$0,52 + 0,18 D_1/D_2$

Untuk kondisi ujung lainnya, $X=1/3$.

9.3.4.2 Kolom persegi panjang yang diiris miring

Tahanan tekan terkoreksi dari kolom persegi panjang dengan lebar tetap dan tebalnya diiris miring secara seragam ditentukan menggunakan persamaan pada Butir 9.3.2. Tebal yang digunakan adalah tebal pada ujung kecil; atau jika tebal ujung kecil, d_1 , lebih besar atau sama dengan $1/3$ tebal ujung besar, d_2 , maka tebal yang digunakan ditentukan menurut Tabel 9.3-2.

9.3.4.3 Sebagai tambahan dari ketentuan pada Butir 9.3.4.1 atau Butir 9.3.4.2, tahanan tekan dari komponen struktur yang diiris miring harus ditinjau pada penampang neto kritis pada ujung kecil:

$$P' = A_n F_c^* \quad (9.3-8)$$

Tabel 9.3-2
Tebal (*d*) Komponen struktur persegi panjang yang diiris miring dengan lebar tetap, ditentukan sebagai $d = d_1 + X (d_1 - d_2)$

Kasus	Keterangan	X	
		Bidang tekuk pada arah tebal	Bidang tekuk pada arah lebar
1	Konstruksi tiang bendera, ujung besar terjepit	$0,55 + 0,15 d_1/d_2$	$0,63 + 0,07 d_1/d_2$
2	Konstruksi tiang bendera terbalik (atau pancang); ujung kecil terjepit	$0,15 + 0,15 d_1/d_2$	$0,23 + 0,07 d_1/d_2$
3	Balok yang diiris miring tunggal, kedua ujung tertumpu sederhana; balok yang diiris miring tunggal/ganda, kedua ujung terjepit atau satu ujung terjepit dan ujung lainnya tertumpu sederhana (gunakan kasus 2 bila ujung kecil terjepit)	$0,35 + 0,15 d_1/d_2$	$0,43 + 0,07 d_1/d_2$
4	Balok yang diiris miring ganda, kedua ujung tertumpu sederhana	$0,55 + 0,15 d_1/d_2$	$0,63 + 0,07 d_1/d_2$

9.4 Tahanan kolom berspasi, kolom tersusun, dan kolom komposit

9.4.1 Kolom berspasi

9.4.1.1 Geometri dan batas geometri

Pada kolom berspasi ada dua sumbu utama yang melalui titik berat penampang, yaitu sumbu bebas bahan dan sumbu bahan. Sumbu bebas bahan adalah sumbu yang arahnya sejajar muka yang berspasi (biasanya muka yang lebih lebar) pada kolom, dan sumbu bahan adalah sumbu yang arahnya tegak lurus arah sumbu bebas bahan dan memotong kedua komponen struktur kolom. Lihat Gambar 9.4.1-1. Butir ini meninjau geometri menyeluruh kolom berspasi dan tahanannya yang ditentukan oleh tekuk terhadap sumbu bebas bahan. Tahanan terhadap sumbu bahan ditentukan menurut Butir 9.4.2 atau 9.4.3.

Pada kolom berspasi yang merupakan komponen struktur tekan dari suatu rangka batang, titik kumpul yang dikekang secara lateral dianggap sebagai ujung dari kolom berspasi, dan elemen pengisi pada titik kumpul tersebut dipandang sebagai klos tumpuan. Notasi dan dimensi kolom berspasi ditunjukkan dalam Gambar 9.4.1-1 dan meliputi:

- l_1 adalah panjang total dalam bidang sumbu bebas bahan;
- l_2 adalah panjang total dalam bidang sumbu bahan;

l_3 adalah jarak yang terbesar dari pusat alat sambung pada klos tumpuan ke pusat klos berikutnya;

l_{ce} adalah jarak dari pusat alat sambung pada klos tumpuan ke ujung kolom yang terdekat;

d_1 adalah dimensi kolom tunggal pada bidang sumbu bahan pada kolom berspasi;

d_2 adalah dimensi kolom tunggal pada bidang sumbu bebas bahan pada kolom berspasi.

Klos tumpuan dengan ketebalan minimum sama dengan ketebalan kolom tunggal harus diadakan pada atau dekat ujung kolom berspasi. Klos tumpuan harus mempunyai lebar dan panjang yang memadai sesuai dengan persyaratan sambungan pada Butir 9.4.1.4. Sedikitnya satu klos lapangan, klos yang terletak di antara klos-klos tumpuan, dengan lebar sama dengan lebar klos tumpuan harus dipasang di tengah atau di daerah tengah kolom berspasi sedemikian sehingga $l_3 \leq 0,50l_1$.

Perbandingan panjang terhadap lebar maksimum ditentukan sebagai berikut:

Pada bidang sumbu bahan, l_1/d_1 tidak boleh melampaui 80;

Pada bidang sumbu bahan, l_3/d_1 tidak boleh melampaui 40;

Pada bidang sumbu bebas bahan, l_2/d_2 tidak boleh melampaui 50.

Kolom berspasi yang tidak memenuhi ketentuan dalam butir ini harus direncanakan dengan meninjau masing-masing komponen struktur sebagai kolom berpenampang masif yang terpisah kecuali bila digunakan analisis rasional yang memperhitungkan kondisi penjepitan ujung kolom berspasi.

9.4.1.2 Kondisi penjepitan ujung kolom berspasi

Di dalam bidang sumbu bahan, didefinisikan dua kondisi penjepitan ujung kolom berikut ini:

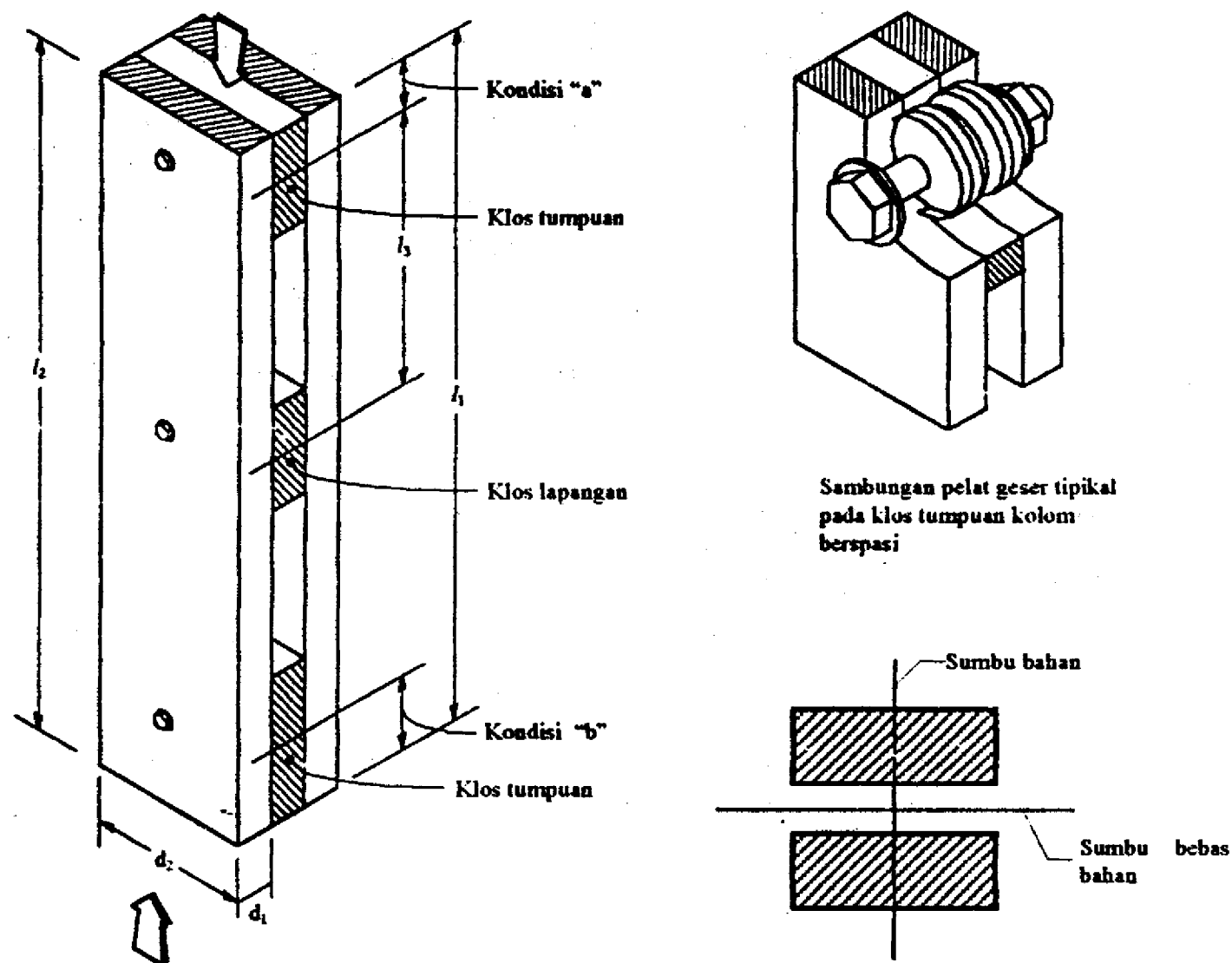
Kasus (a): $l_{ce} \leq 0,05 l_1$.

Kasus (b): $0,05l_1 < l_{ce} \leq 0,10l_1$.

Jika kasus-kasus penjepitan di kedua ujung berbeda maka harus digunakan kasus (a).

Bila tidak ada goyangan terhadap sumbu bebas bahan, maka faktor panjang tekuk, K_e , dalam arah tersebut harus diambil sebesar 0,63 untuk kasus penjepitan (a) dan 0,58 untuk kasus penjepitan (b). Faktor tersebut tidak dapat dikurangi apabila klos tumpuan lebih tebal daripada ketebalan kolom tunggal yang disambungkan padanya, ataupun untuk kondisi penjepitan penuh pada kedua ujung kolom berspasi. Pada kolom berspasi dengan goyangan pada bidang sumbu bahan, nilai $K_e > 1$ yang ditentukan menurut Butir 9.2.1 harus digunakan sebagai ganti dari 0,58 atau 0,63, dan harus ada kekangan terhadap rotasi eksternal sedikitnya pada satu ujung kolom berspasi.

Terhadap sumbu bahan berlaku ketentuan pada Butir 9.2.



Gambar 9.4.1-1 Geometri kolom berspasi.

9.4.1.3 Tahanan kolom berspasi

Tahanan tekan terkoreksi kolom berspasi harus diambil sebagai nilai yang terkecil di antara tahanan tekan terkoreksi terhadap sumbu bebas bahan dan terhadap sumbu bahan. Kedua nilai tahanan tersebut harus ditentukan dari persamaan-persamaan di dalam Butir 9.3 dan dengan faktor-faktor tahanan, faktor waktu, dan faktor-faktor koreksi yang berlaku pada kolom masif.

Momen inersia terhadap sumbu bebas bahan yang digunakan di dalam persamaan (9.3-4) adalah momen inersia untuk komponen struktur tunggal terhadap sumbu bebas bahan dikalikan dengan banyaknya komponen struktur. Luas bruto yang digunakan dalam persamaan (9.3-1) dan (9.3-4) harus sama dengan luas komponen struktur tunggal dikalikan dengan banyaknya komponen struktur. Apabila komponen-komponen tersebut

mempunyai ukuran, tahanan, atau kekakuan bahan, yang berbeda, maka harus digunakan nilai-nilai I , E_w , dan/atau F_{cr} yang terkecil di dalam prosedur di atas, kecuali kalau dilakukan analisis yang lebih rinci.

Ketentuan di atas juga berlaku terhadap sumbu bahan.

9.4.1.4 Persyaratan untuk alat sambung klos

Alat sambung (cincin belah atau pelat geser) di masing-masing bidang kontak antara klos tumpuan dan komponen struktur kolom di setiap ujung kolom berspasi harus mempunyai tahanan geser sebagaimana ditentukan dalam Butir 12, atau:

$$Z = A_1 K_S \quad (9.4.1-1)$$

yang mana Z adalah tahanan geser terkoreksi klos tumpuan, N; A_1 adalah luas komponen struktur tunggal, mm²; dan K_S adalah konstanta klos tumpuan, MPa, yang nilainya bergantung pada l_1/d_1 dan berat jenis komponen-komponen struktur yang disambung (lihat Tabel 9.4.1-1).

Klos-klos lapangan yang berada di daerah sepersepuluh bentang, l_1 , yang di tengah, harus dihubungkan (menggunakan paku, baut, dan lain-lain) secara memadai untuk mengekang komponen-komponen struktur pada tempatnya dan untuk mencegah rotasi klos lapangan. Sambungan klos lapangan yang tidak berada di daerah sepertiga bentang, l_1 , yang di tengah, harus menggunakan alat sambung yang mempunyai kapasitas sesuai dengan persamaan (9.4.1-1).

Tabel 9.4.1-1 Konstanta klos tumpuan

Berat jenis (G)	K_S (MPa)*
$G \geq 0,60$	$(l_1/d_1 - 11)(143)$ tetapi ≤ 7 MPa
$0,50 \leq G < 0,60$	$(l_1/d_1 - 11)(121)$ tetapi ≤ 6 MPa
$0,42 \leq G < 0,50$	$(l_1/d_1 - 11)(100)$ tetapi ≤ 5 MPa
$G < 0,42$	$(l_1/d_1 - 11)(74)$ tetapi ≤ 4 MPa

*Untuk $l_1/d_1 \leq 11$, $K_S = 0$.

Alat sambung yang diperlukan untuk memenuhi persamaan (9.4.1-1) bukan merupakan tambahan dari yang diperlukan pada alat sambung ujung untuk menyalurkan beban. Nilai tahanan geser yang harus digunakan adalah nilai yang terbesar di antara tahanan geser yang diperlukan dalam persamaan (9.4.1-1) dan yang diperlukan untuk menyalurkan beban di dalam sambungan.

9.4.2 Kolom tersusun

Tahanan kolom tersusun harus ditetapkan dengan memperhitungkan geometri setiap elemen dan keefektifan alat pengencang yang menghubungkan setiap elemen penyusun komponen struktur tersusun. Sebagai alternatif, tahanan kolom tersusun dapat ditetapkan sebagai jumlah dari tahanan masing-masing elemen penyusun yang bekerja secara mandiri.

9.4.3 Kolom komposit

Tahanan kolom komposit ditentukan menggunakan konsep penampang transformasi. Elemen penyusun kolom komposit harus dihubungkan sedemikian sehingga gabungan seluruh elemen akan bekerja sebagai satu kesatuan. Bila hubungan antar elemen dilakukan tidak dengan lem maka analisis yang dilakukan harus meninjau pengaruh deformasi alat pengencang; atau bila tidak ditinjau maka tahanan kolom komposit harus dihitung dengan menjumlahkan tahanan masing-masing elemen yang dianggap bekerja secara mandiri.

9.5 Tahanan tumpu

9.5.1 Tahanan tumpu pada ujung komponen struktur

Tahanan tumpu pada ujung komponen struktur ditetapkan sebagai berikut:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P_g' \quad (9.5-1)$$

dengan P_u adalah gaya tekan terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.4-2), $\phi_c = 0,90$ adalah faktor tahanan tekan sejajar serat, dan P_g' adalah tahanan tekan tumpu terkoreksi sejajar serat yang besarnya sama dengan:

$$P_g' = A_n F_g' \quad (9.5-2)$$

dengan A_n adalah luas tumpu neto dan F_g' adalah kuat tumpu terkoreksi pada ujung kolom.

Tahanan terkoreksi adalah hasil dari perkalian tahanan acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6.

Bila beban tekan terfaktor melebihi $0,75 \lambda \phi_c P_g'$ maka pada bidang tumpu harus dipasang pelat baja atau material lainnya dengan tahanan yang setara.

Ujung-ujung kolom yang masing-masing memikul beban tumpu harus dipotong secara seksama dan sejajar satu terhadap lainnya sehingga bidang-bidang tumpu, termasuk pelat penumpu, bila ada, dapat dipasang dengan baik. Masing-masing dari kedua ujung kolom tersebut juga harus dikekang secara lateral pada kedua arah yang saling tegak lurus.

9.5.2 Tahanan tumpu pada sisi komponen struktur

Tahanan tumpu rencana pada sisi komponen struktur harus memenuhi persamaan dibawah ini:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P_L' \quad (9.5-3)$$

dengan P_u adalah gaya tekan akibat beban terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.4-2), $\phi_c = 0,90$ adalah faktor tahanan tekan sejajar serat, dan P_L' adalah tahanan tekan tumpu terkoreksi tegak lurus serat yang besarnya sama dengan,

$$P_L' = A_n F_{cL}' \quad (9.5-4)$$

dengan A_n adalah luas tumpu neto tegak lurus serat, F_{cL}' adalah kuat tumpu terkoreksi tegak lurus serat.

Tahanan terkoreksi adalah hasil perkalian tahanan acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 5.6.

Bila panjang bidang tumpu, l_b , dalam arah panjang komponen struktur tidak lebih dari 150 mm dan jarak ke bidang tumpu lebih daripada 75 mm dari ujung kolom maka nilai P_L' yang dihitung dengan persamaan (9.5-4) dapat dikalikan dengan faktor berikut ini:

$$C_b = (l_b + 9,5)/l_b \quad (9.5-5)$$

dengan satuan l_b adalah mm.

Faktor waktu, λ , harus ditinjau dalam semua perhitungan tahanan tumpu komponen struktur (lihat Butir 9.1.2).

9.5.3 Bidang tumpu yang membuat sudut terhadap arah serat

Tahanan tumpu rencana dari bidang tumpu yang membuat sudut terhadap arah serat kayu harus memenuhi:

$$P_u \leq \lambda \phi_c P_{\theta}' \quad (9.5-6)$$

dengan P_u adalah gaya tekan terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.4-2), $\phi_c = 0,90$ adalah faktor tahanan tekan sejajar serat, dan P_{θ}' adalah tahanan tumpu terkoreksi dimana gaya tumpunya membuat sudut sebesar θ_b terhadap serat kayu, dan nilainya sama dengan:

$$P_{\theta}' = A_n \frac{F_g' F_{c\perp}'}{F_g' \sin^2 \theta_b + F_{c\perp}' \cos^2 \theta_b} \quad (9.5-7)$$

dengan A_n adalah luas bidang tumpu neto, F_g' adalah kuat tumpu terkoreksi pada ujung kolom, $F_{c\perp}'$ adalah kuat tumpu terkoreksi tegak lurus serat, dan θ_b adalah sudut antara gaya tumpu dengan arah serat kayu, dimana $\theta_b = 90^\circ$ untuk gaya tumpu yang membuat sudut tegak lurus terhadap arah serat kayu.

Bila θ_b adalah 80° atau lebih maka bidang tumpu dapat dianggap tegak lurus terhadap arah serat kayu, dan ketentuan mengenai panjang bidang tumpu pada Butir 9.5.2 dapat digunakan.

9.6 Tekan radial pada komponen struktur melengkung

Ketentuan mengenai tekan radial pada komponen struktur melengkung prismatis sama dengan ketentuan yang berlaku pada Butir 10.6.

10 Komponen struktur lentur, momen dan geser

10.1 Umum

10.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan-ketentuan dalam butir ini berlaku untuk komponen-komponen struktur dan elemen-elemen dari komponen struktur yang dibebani lentur. Ketentuan tersebut berlaku untuk lentur murni dan geser lentur. Perencanaan komponen struktur yang dibebani lentur dua arah dan/atau kombinasi lentur dan gaya tarik atau gaya tekan harus memenuhi ketentuan pada Butir 11. Perhitungan tahanan komponen struktur diatur pada butir ini, sedangkan persyaratan layan komponen struktur lentur diatur pada Butir 15.

10.1.2 Perencanaan komponen struktur lentur

Komponen struktur lentur direncanakan sebagai berikut.

Untuk momen lentur:

$$M_u \leq \lambda \phi_b M' \quad (10.1-1)$$

dengan M_u adalah momen terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.4-2), $\phi_b = 0,85$ adalah faktor tahanan lentur, dan M' adalah tahanan lentur terkoreksi.

Untuk geser lentur:

$$V_u \leq \lambda \phi_v V' \quad (10.1-2)$$

dengan V_u adalah gaya geser terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.4-2), $\phi_v = 0,75$ adalah faktor tahanan geser, dan V' adalah tahanan geser terkoreksi.

Untuk puntir:

$$M_{tw} \leq \lambda \phi_v M_t' \quad (10.1-3)$$

dengan M_{tw} adalah momen puntir terfaktor, λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 6.4-2), $\phi_v = 0,75$ adalah faktor tahanan puntir, dan M_t' adalah tahanan puntir terkoreksi

Tahanan terkoreksi adalah hasil perkalian tahanan acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6.

Komponen struktur lentur yang memikul gaya-gaya setempat harus diberi pendetailan tahanan dan kestabilan yang cukup pada daerah bekerjanya gaya-gaya tersebut.

10.1.3 Bentang rencana

Bentang rencana harus digunakan dalam menghitung geser, momen, dan lendutan pada komponen struktur. Untuk komponen struktur berbentang sederhana yang tidak menyatu dengan tumpuan-tumpuannya maka bentang rencana adalah bentang bersih ditambah setengah kali panjang landasan tumpuan pada masing-masing ujung komponen struktur.

10.1.4 Takikan pada balok

Takikan pada balok harus dihindari, terutama yang terletak jauh dari tumpuan dan berada pada sisi tarik. Konsentrasi tegangan yang disebabkan oleh takikan dapat dikurangi menggunakan konfigurasi takikan yang diiris miring secara bertahap daripada menggunakan takikan dengan sudut-sudut yang tajam.

Takikan pada ujung balok tidak boleh melampaui seperempat tinggi balok untuk balok masif, dan sepersepuluh tinggi balok untuk balok glulam (kayu laminasi struktural). Balok tidak boleh ditakik di lokasi selain daripada di ujung balok bertumpuan sederhana. Takikan tidak boleh dilakukan di lokasi yang berdekatan dengan tumpuan interior pada balok menerus, takikan juga tidak boleh ada pada tumpuan yang bersebelahan dengan bentang kantilever.

Pengecualian: Pada balok-balok kayu masif yang tebal nominalnya lebih kecil dari 100 mm, diperkenankan dibuat takikan yang tidak melebihi seperenam tinggi balok dengan lokasi di luar sepertiga bentang yang ditengah.

Tahanan lentur balok pada setiap penampang yang bertakik, baik di sisi tarik maupun di sisi tekan, tidak boleh melampaui tahanan lentur dari penampang neto pada lokasi yang bertakik bila takikannya berada pada sisi tekan. Bila suatu takikan berada pada sisi tarik, dan momen yang bekerja di sepanjang bagian yang bertakik tersebut melebihi setengah tahanan lentur balok yang dihitung pada penampang neto minimum bertakik maka tahanan lentur seluruh balok ditentukan oleh penampang neto bertakik tersebut.

Pengaruh takik terhadap tahanan geser harus ditinjau berdasarkan ketentuan pada Butir 10.4.3.

Takikan atau sejenisnya pada balok kayu berpenampang I untuk konstruksi rusuk dan jenis balok lainnya, serta pada kayu struktural, tidak diatur dalam tata cara ini dan memerlukan suatu tinjauan khusus.

10.1.5 Peruntukan penggunaan balok dan kondisi tumpuan

Balok yang diklasifikasi atau difabrikasi untuk digunakan pada bentang tunggal tidak boleh digunakan untuk bentang majemuk atau konstruksi kantilever kecuali bila hasil suatu analisis rinci memperlihatkan bahwa komponen struktur tersebut mempunyai tahanan yang cukup berkenaan dengan perubahan peruntukan penggunaan balok tersebut. Glulam (kayu laminasi struktural) yang difabrikasi untuk bentang tunggal tidak boleh digunakan untuk bentang menerus atau balok kantilever kecuali bila digunakan tahanan lentur yang direduksi sebagai akibat dari kondisi di mana serat kayu yang direncanakan akan tertekan pada kenyataannya menjadi tertarik.

Begitu pula, suatu balok yang difabrikasi dengan peruntukan penggunaan atau pembebanan tertentu harus dianalisis secara rinci terlebih dahulu jika balok tersebut hendak digunakan untuk tujuan selain dari yang telah diperuntukkan sebelumnya.

10.1.6 Aksi komposit parsial dari gabungan elemen paralel

Tahanan rencana komponen struktur yang terdiri dari gabungan elemen yang diatur secara paralel sedemikian sehingga membentuk komponen struktur komposit parsial ditetapkan menggunakan:

- a) Butir 10.1.2;
- b) Butir 10.1.2 yang disesuaikan menggunakan faktor koreksi pada Butir 10.3; atau
- c) analisis struktur dengan tinjauan aksi komposit parsial dan pengaruh pembagi beban.

10.1.7 Tahanan lentur dari komponen struktur prismatis berpenampang persegi panjang dan bundar

Tahanan lentur terkoreksi yang ditetapkan oleh persamaan (10.2-2) harus dikalikan dengan faktor bentuk $C_f = 1,15$ untuk komponen struktur berpenampang bundar selain daripada untuk tiang dan pancang; dan harus dikalikan dengan $C_f = 1,40$ untuk

komponen struktur berpenampang persegi panjang yang terlentur terhadap sumbu diagonal.

10.1.8 Tahanan lentur balok berpenampang kotak dan I

Tahanan lentur balok berpenampang kotak atau I yang tersusun dari gabungan elemen yang dihubungkan satu sama lain ditetapkan menggunakan besaran penampang transformasi kecuali bila dapat ditunjukkan melalui pengujian bahwa tahanan lentur yang lebih tinggi dapat dicapai.

10.1.9 Tahanan lentur dari balok berpenampang non prismatis

Untuk balok-balok non prismatis, termasuk tiang dan pancang, tahanan lentur maksimum untuk suatu geometri dan pembebanan pada suatu balok harus ditentukan menggunakan analisis.

Bila bentuk non prismatis adalah sebagai hasil dari balok yang diiris secara miring maka tahanan lentur penampang harus memenuhi Butir 10.1.10 dan 10.1.11.

10.1.10 Komponen struktur yang diiris miring

Untuk balok glulam (kayu laminasi struktural) yang diiris miring pada sisi tekannya maka interaksi antara kuat tekan sejajar serat, kuat tekan tegak lurus serat, dan kuat geser sejajar serat di sekitar irisan miring harus ditinjau pada lokasi-lokasi kritis kuat lentur menggunakan ketentuan pada Butir 10.1.11.

Balok glulam (kayu laminasi struktural) tidak diperkenankan diiris miring pada sisi tariknya.

Pengaruh hilangnya material dengan kualitas yang baik sebagai akibat dari proses irisan miring pada sisi tekan balok glulam (kayu laminasi struktural) harus ditinjau secara seksama, dan bila perlu dapat dilakukan reduksi pada nilai kuat lentur acuan, F_b .

10.1.11 Interaksi tegangan pada irisan miring dari komponen struktur

Bila dijumpai suatu permukaan yang diiris miring sebesar sudut θ terhadap arah serat pada sisi tekan balok glulam (kayu laminasi struktural) maka faktor interaksi tegangan, C_t ,

harus dihitung untuk lokasi kuat kritis menggunakan persamaan berikut ini:

$$C_I = \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\phi_b F_b' \tan \theta}{\phi_v F_v'} \right)^2 + \left(\frac{\phi_b F_b' \tan \theta}{\phi_c F_{c\perp}'} \right)^2}} \quad (10.1-4)$$

Tahanan lentur terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu kuat, F_{bx}' , untuk digunakan pada persamaan (10.1-4) harus disesuaikan dengan cara mengalikan dengan nilai terkecil dari C_I atau faktor volume, C_v , karena kedua faktor tersebut tidak bersifat kumulatif.

10.1.12 Tahanan lentur balok komposit

Balok komposit, termasuk kayu yang berpenutup, kayu dengan baja, kayu dengan beton, dan kombinasi material lainnya, harus direncanakan menggunakan besaran penampang transformasi dan prinsip mekanika untuk jenis balok komposit yang ditinjau. Elemen balok komposit harus dihubungkan sehingga tergabung menjadi satu kesatuan.

Tahanan lentur balok yang tersusun dari elemen-elemen yang tergabung secara parsial harus diambil dari yang menentukan antara tahanan hubungan antar elemen atau tahanan dari elemen yang paling kritis. Sebagai alternatif, tahanan lentur yang lebih tinggi dapat diijinkan untuk digunakan bila dilakukan analisis yang memperhitungkan pengaruh hubungan komposit parsial atau telah diperlihatkan oleh suatu pengujian bahwa nilai tahanan lentur yang lebih tinggi tersebut dapat dicapai.

10.1.13 Tahanan lentur balok tersusun

Tahanan lentur terkoreksi balok yang tersusun dari tiga elemen atau lebih secara vertikal dengan tinggi seragam dan dengan besar beban kerja yang terdistribusi pada semua elemen ditentukan dengan menjumlahkan tahanan lentur terkoreksi masing-masing elemen dengan meninjau faktor-faktor koreksi pada Butir 10.3.1.

Bila masing-masing elemen penyusun mempunyai kekakuan yang berbeda maka besar beban yang dipikul masing-masing elemen ditentukan berdasarkan kekakuan relatifnya.

Bila beban tidak bekerja secara merata pada elemen penyusun balok tersusun maka hubungan antar elemen penyusun harus direncanakan sedemikian sehingga semua beban yang bekerja dapat didistribusikan secara seragam pada elemen-elemen penyusunnya. Jika beban hanya bekerja pada sebagian lebar balok tersusun atau hanya bekerja pada satu atau dua sisi balok tersusun dengan perbandingan lebar terhadap

tinggi sebesar dua atau lebih, maka faktor pembagi beban tidak berlaku.

Momen puntir harus ditinjau dalam perencanaan bila puntir tersebut timbul pada balok tersusun yang dibebani secara eksentris.

10.2 Kekangan lateral

10.2.1 Keadaan kekangan lateral

Reduksi tahanan lentur balok yang terlentur terhadap sumbu kuatnya sebagai akibat dari keadaan stabilitas lateral yang kurang memadai harus diperhitungkan sesuai dengan butir ini dan Butir 10.2.5.

Stabilitas lateral balok pada saat konstruksi harus memenuhi kaidah-kaidah rekayasa yang baku.

10.2.2 Ketentuan umum untuk bresing lateral

Balok yang memiliki perbandingan tinggi terhadap lebar lebih besar daripada dua dan dibebani terhadap sumbu kuatnya harus memiliki bresing lateral pada tumpuan-tumpuannya untuk mencegah terjadinya rotasi atau peralihan lateral.

Bresing lateral tidak diperlukan pada balok berpenampang bundar, bujur sangkar, atau persegi panjang yang mengalami lentur terhadap sumbu lemahnya saja.

Bresing lateral harus dapat mencegah gerakan lateral sisi tekan balok dan harus dapat mencegah rotasi balok pada lokasi-lokasi yang dikekang.

Sebagai alternatif, untuk balok kayu masif, kekangan yang digunakan untuk mencegah rotasi atau peralihan lateral ditentukan berdasarkan nilai perbandingan tinggi nominal terhadap tebal nominal, d/b , sebagai berikut:

- a) $d/b \leq 2$: tidak diperlukan pengekan lateral;
- b) $2 < d/b < 5$: posisi tumpuan-tumpuannya harus dikekang menggunakan kayu masif pada seluruh ketinggian balok;
- c) $5 \leq d/b < 6$: sisi tekan harus dikekang secara menerus sepanjang balok;
- d) $6 \leq d/b < 7$: pengekan penuh setinggi balok harus dipasang untuk setiap selang 2.400 mm kecuali bila kedua sisi tekan dan tarik dikekang secara bersamaan atau bila sisi tekan balok dikekang pada seluruh panjangnya oleh lantai dan pada tumpuan-tumpuannya diberikan pengekan lateral untuk mencegah rotasi;
- e) $d/b \geq 7$: kedua sisi tekan dan tarik dikekang secara bersamaan pada seluruh panjangnya

10.2.3 Panjang efektif tak-terkekang

Panjang efektif tak-terkekang balok berpenampang prismatis atau segmen balok yang akan dianalisis menggunakan persamaan umum puntir lateral, yaitu persamaan (10.2-8), harus diambil sebagai panjang tak-terkekang pada sisi tekan balok, l_u .

Sebagai alternatif, untuk balok kayu masif dengan lebar b dan tinggi d , dapat digunakan persamaan tekuk kritis (10.2-7) yang telah disederhanakan. Dalam menggunakan persamaan ini, panjang segmen di antara dua pengekang lateral yang berturutan, l_u , harus diganti dengan panjang efektif ekuivalen, l_e , yang telah mencakup pengaruh gerakan lateral dan pengaruh puntir. Bila digunakan pendekatan panjang efektif ekuivalen maka nilai l_e harus ditentukan menggunakan Tabel 10.2-1.

Bresing lateral harus diadakan pada semua balok kayu masif berpenampang persegi panjang sedemikian sehingga rasio kelangsingannya, R_B , tidak melebihi 50, dengan:

$$R_B = \sqrt{\frac{l_e d}{b^2}} \leq 50 \quad (10.2-1)$$

Keterangan:

- l_e adalah panjang efektif ekuivalen
- d adalah tinggi balok
- b adalah lebar balok

10.2.4 Tahanan lentur balok yang terkekang dalam arah lateral

Ketentuan-ketentuan pada butir ini berlaku untuk:

- 1) balok berpenampang bundar atau bujursangkar;
- 2) balok berpenampang persegi panjang yang terlentur terhadap sumbu lemah;
- 3) balok dengan pengekang lateral yang menerus pada sisi tekan;
- 4) balok dengan ikatan bresing sesuai dengan ketentuan alternatif pada Butir 10.2.2.

Tahanan lentur terkoreksi dari balok berpenampang prismatis yang terlentur terhadap sumbu kuatnya (x - x) adalah:

$$M' = M_x' = S_x F_{bx}' \quad (10.2-2)$$

Table 10.2-1
Faktor-faktor untuk menetapkan panjang efektif ekuivalen, l_e , untuk penampang persegi panjang masif.

Jenis tumpuan	Jenis beban	Jenis bresing	l_e	
			$l_u/d < 7$	$7 \leq l_u/d \leq 14,3$
			$2,06 l_u$	$1,84 l_u$
				$1,63 l_u + 3d$
Untuk semua keadaan yang tidak tercantum di bawah				
Tumpuan sederhana	Beban terpusat di tengah bentang	Bresing di kedua ujung	$1,80 l_u$	$1,37 l_u + 3d$
	Beban terdistribusi merata	Bresing di kedua ujung	$2,06 l_u$	$1,63 l_u + 3d$
Kantilever	Beban terpusat pada ujung bebas	-	$1,87 l_u$	$1,44 l_u + 3d$
	Beban terdistribusi merata	-	$1,33 l_u$	$0,90 l_u + 3d$
Panjang bentang, L	Beban-beban terpusat dengan jarak seragam	Bresing pada setiap titik kerja beban terpusat		l_u
	Beban tunggal	$l_u = L/2$		$1,11 l_u$
	Beban ganda	$l_u = L/3$		$1,68 l_u$
	Tiga beban	$l_u = L/4$		$1,54 l_u$
	Empat beban	$l_u = L/5$		$1,68 l_u$
	Lima beban	$l_u = L/6$		$1,73 l_u$
	Enam beban	$l_u = L/7$		$1,84 l_u$
	Tujuh beban atau lebih	-		$1,84 l_u$
Bentang dengan momen-momen ujung yang sama besar	-	-		$1,84 l_u$

Keterangan:

$M'=M_x'$ adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu kuat (x-x)

S_x adalah modulus penampang untuk lentur terhadap sumbu kuat (x-x)

F_{bx}' adalah kuat lentur terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu kuat (x-x)

C_L adalah faktor stabilitas balok, sama dengan 1,0

Tahanan lentur terkoreksi dari balok berpenampang prismatis yang terlentur terhadap sumbu lemahnya (y-y) adalah:

$$M' = M_y' = S_y F_{by}' \quad (10.2-3)$$

Keterangan:

$M'=M_y'$ adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu lemah (y-y)

S_y adalah modulus penampang untuk lentur terhadap sumbu lemah (y-y)

F_{by}' adalah kuat lentur terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu lemah (y-y)

C_L adalah faktor stabilitas balok, sama dengan 1,0

10.2.5 Tahanan lentur komponen struktur tanpa pengekang lateral penuh

Ketentuan-ketentuan pada butir ini berlaku untuk komponen lentur berpenampang prismatis yang tidak memenuhi ketentuan pada Butir 10.2.4.

10.2.5.1 Tahanan dan kekakuan

Nilai modulus elastisitas lentur yang digunakan pada persamaan-persamaan dalam butir ini adalah nilai persentil ke lima terkoreksi, E_{y05}' . Apabila nilai-nilai modulus terhadap sumbu kuat dan sumbu lemah berbeda maka digunakan nilai terhadap sumbu lemah, E_{y05}' .

Faktor pengaruh volume, C_v , untuk glulam (kayu laminasi struktural) diambil sama dengan 1 (satu) dalam menghitung F_{bx}' untuk digunakan pada persamaan (10.2-2).

10.2.5.2 Balok berpenampang prismatis

Tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu kuat (x-x) dari balok berpenampang prismatis persegi panjang tanpa pengekang atau bagian yang tak-terkekang dari balok tersebut, adalah:

$$M' = C_L S_x F_{bx}^* \quad (10.2-4)$$

Faktor stabilitas balok, C_L , dihitung sebagai berikut:

$$C_L = \frac{1 + \alpha_b}{2c_b} - \sqrt{\left(\frac{1 + \alpha_b}{2c_b}\right)^2 - \frac{\alpha_b}{c_b}} \quad (10.2-5)$$

dengan:

$$\alpha_b = \frac{\phi_s M_e}{\lambda \phi_b M_x^*} \quad (10.2-6)$$

dan S_x adalah modulus penampang untuk lentur terhadap sumbu kuat (x-x); M_x^* adalah tahanan lentur untuk lentur terhadap sumbu kuat (x-x) dikalikan dengan semua faktor koreksi kecuali C_{M1} , C_v , dan C_L ; $c_b = 0,95$; $\phi_s = 0,85$ adalah faktor tahanan stabilitas; M_e adalah momen tekuk lateral elastis.

Apabila ketentuan pada Butir 10.2.3 untuk penampang persegi panjang digunakan untuk menentukan panjang efektif ekivalen balok tak-terkekang, l_e , maka momen tekuk lateral elastis harus dihitung sebagai berikut:

$$M_e = 2,40 E_{y05} \frac{I_y}{l_e} \quad (10.2-7)$$

10.2.5.3 Balok berpenampang tak persegi panjang

Untuk komponen berpenampang tak persegi panjang terkecuali balok-I berusuk dan apabila digunakan ketentuan umum untuk menentukan momen tekuk puntir lateral elastis maka momen tekuk dihitung sebagai:

$$M_e = \frac{\pi C_b}{1,15 l_u} \sqrt{E_{y05}' I_y G' J} \quad (10.2-8)$$

dengan l_u adalah panjang balok tak-terkekang, E_{y05}' adalah nilai modulus elastisitas terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu lemah (y-y) pada nilai persentil kelima, I_y adalah momen inersia terhadap sumbu lemah, G' adalah modulus geser terkoreksi (diambil sebesar $E_{y05}'/16$ untuk penampang masif dan kayu laminasi struktural), dan J adalah konstanta puntir. Untuk penampang persegi panjang dengan ukuran tinggi, b , dan lebar, d , nilai J diambil sama dengan:

$$J = \frac{db^3}{3} \left(1 - 0,63 \frac{b}{d}\right) \quad (10.2-9)$$

$C_b = 1,75 + 1,05 (M_1/M_2) + 0,3 (M_1/M_2)^2 \leq 2,3$ apabila momen maksimum pada balok atau segmen balok yang ditinjau berada pada ujung segmen yang tak-terkekang dan M_1/M_2 adalah perbandingan antara momen ujung yang terkecil, M_1 , terhadap momen ujung yang lebih besar, M_2 . M_1/M_2 bernilai negatif bila momen-momen ujung menghasilkan kelengkungan tunggal.

$C_b = 1,0$ untuk kantilever tak-terkekang dan untuk balok atau segmen balok yang tak-terkekang dengan momen terbesar tidak terletak di ujung segmen tak-terkekang.

Apabila faktor pengaruh volume, C_v , tidak sama dengan 1,0 maka tahanan lentur terkoreksi dari suatu balok tak-terkekang diambil dari nilai terkecil di antara nilai-nilai pada persamaan (10.2-2) dan (10.2-4).

Tahanan lentur terkoreksi dari balok tak-terkekang yang diiris miring harus ditentukan menggunakan analisis rasional.

10.2.5.4 Balok-I berusuk

Stabilitas lateral balok-balok kayu berusuk yang berpenampang I harus dihitung sesuai dengan Butir 10.2.5.2 dengan memperhitungkan besaran penampang dari bagian sayap yang tertekan saja. Bagian sayap tertekan harus dianggap sebagai kolom yang dikekang secara menerus dalam arah pelat badan.

10.3 Tahanan lentur komponen struktur gabungan

Ketentuan dalam butir ini digunakan untuk menentukan tahanan lentur komponen struktur yang berpenutup (komponen struktur gabungan), kecuali apabila dilakukan analisis struktur yang lengkap (termasuk analisis pembagi beban dan aksi komposit parsial) atau apabila pengaruh penutupnya diabaikan. Komponen tersusun gabungan yang dimaksud meliputi lantai berangka ringan, dinding, atap, dan konfigurasi struktur lainnya yang mempunyai komponen-komponen lentur yang sejajar saling dihubungkan dengan panel penutup.

Apabila digunakan analisis struktur dengan tinjauan pembagi beban maka distribusi beban dilakukan berdasarkan kekakuan masing-masing elemen relatif terhadap kekakuan total dari seluruh komponen struktur gabungan.

Ketentuan-ketentuan untuk komponen tersusun yang dihubungkan secara sejajar diberikan dalam Butir 10.1.13. Ketentuan khusus untuk rangka berpenutup terdapat dalam Butir 11.6.

10.3.1 Faktor koreksi pada komponen gabungan dengan beban merata

Butir ini mencakup faktor-faktor koreksi yang harus digunakan sejalan dengan asumsi pembebanan tributari untuk memperhitungkan adanya peningkatan kinerja (kekakuan dan tahanan) dari komponen berpenutup terhadap komponen struktur tunggal.

10.3.1.1 Faktor aksi komposit

Dalam perhitungan lendutan, faktor komposit, C_E , di bawah ini dapat digunakan dalam menentukan kekakuan balok kayu masif; dengan catatan bahwa komponen struktur merupakan gabungan dari balok-balok sejajar dengan ukuran tinggi maksimum 300 mm, spasi maksimum 600 mm (pusat-ke-pusat), dan ditutup dengan panel-panel struktural setebal 12 mm atau lebih:

$C_E = 1,00$ untuk komponen yang digabung menggunakan paku,

$C_E = 1,10$ untuk komponen yang digabung menggunakan perekat dan paku,

$C_E = 1,15$ untuk komponen yang digabung menggunakan perekat.

Komponen struktur yang digabung menggunakan perekat dan paku mencakup panel struktural yang disambung ke rangka menggunakan paku berjarak tidak lebih dari 200 mm (pusat-ke-pusat) dan perekat elastomer.

Apabila komponen yang disusun dengan cara ini tidak memiliki celah di antara penutup dan balok, atau apabila elemen-elemen penutup dihubungkan dengan sambungan takikan yang direkat, nilai C_E diambil sama dengan 1,15. Nilai C_E harus diambil sama dengan 1,0 untuk komponen gabungan yang terbuat dari balok-balok sejajar yang ditutup menggunakan produk-produk bukan panel, misalnya papan kayu. Peningkatan kekakuan pada komponen gabungan yang terbuat dari balok kayu berusuk berpenampang I sejajar dan diberi penutup dihitung menggunakan prinsip mekanika teknik.

10.3.1.2 Faktor pembagi beban

Tahanan lentur dari komponen gabungan yang terdiri dari tiga atau lebih balok berspasi tidak lebih dari 600 mm (pusat-ke-pusat) dan digabungkan oleh elemen pendistribusi beban, seperti penutup, yang cukup tahan untuk memikul beban-beban merata yang bekerja, dapat dikalikan dengan faktor pembagi beban, C_r , sebagai berikut:

$C_r = 1,15$ untuk kayu masif,

$C_r = 1,05$ untuk glulam (kayu laminasi struktural), balok-I, dan kayu komposit struktural,

$C_r = 1,15$ untuk balok-I berusuk pabrikan yang kayu sayapnya dipilah secara visual,

$C_r = 1,07$ untuk balok-I berusuk pabrikan yang kayu sayapnya dipilah secara mekanis,

$C_r = 1,04$ untuk balok-I berusuk pabrikan yang sayapnya dibuat dari kayu komposit struktural.

Faktor pembagi beban, C_r , hanya berlaku untuk tahanan lentur. Pada rangka batang berspasi tidak lebih dari 600 mm (pusat-ke-pusat) dan dirakit dari kayu masif, nilai C_r dapat digunakan untuk tahanan lentur terkoreksi, M' , pada seluruh komponen gabungannya.

10.4 Tahanan geser

10.4.1 Gaya geser perlu

Apabila beban yang mengakibatkan lentur bekerja pada muka balok yang berlawanan dengan muka tumpuan maka seluruh beban yang terletak di dalam jarak d (tinggi komponen) dari bidang muka tumpuan tidak perlu diperhitungkan dalam menentukan gaya geser perlu, kecuali dalam perencanaan balok-I berusuk. Untuk kondisi pembebanan lainnya dan untuk balok-I berusuk, gaya geser perlu harus diambil sebesar gaya geser pada bidang muka tumpuan.

Untuk balok-I berusuk dan balok-I yang digunakan sebagai balok sederhana, gaya geser perlu harus ditentukan dengan memperhitungkan semua beban pada bentang bersih ditambah setengah panjang minimum tumpuan yang diperlukan. Apabila balok tersebut menerus pada sebuah perletakan maka gaya geser perlu harus dihitung pada pusat perletakan.

Apabila beban yang bekerja adalah beban bergerak tunggal maka beban tersebut harus ditempatkan sejauh d dari bidang muka perletakan dan diperhitungkan dalam menentukan gaya geser perlu. Apabila beban yang bekerja adalah dua atau lebih beban bergerak maka pola pembebanan harus ditempatkan sedemikian sehingga gaya geser pada potongan sejauh d dari bidang muka perletakan adalah maksimum.

10.4.2 Tahanan geser lentur

Tahanan geser terkoreksi dari suatu balok, V' , dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V' = \frac{F'_v I b}{Q} \quad (10.4-1)$$

Keterangan:

F'_v adalah kuat geser sejajar serat terkoreksi

I adalah momen inersia balok untuk arah gaya geser yang ditinjau

b adalah lebar penampang balok

Q adalah momen statis penampang terhadap sumbu netral

Untuk penampang persegi panjang dengan lebar b , dan tinggi d , persamaan (10.4-1) menjadi:

$$V' = \frac{2}{3} F'_v b d \quad (10.4-2)$$

Sebagai alternatif, untuk balok kayu menerus atau berupa kantilever, tahanan geser terkoreksi pada lokasi-lokasi berjarak paling sedikit tiga kali tinggi balok dari ujung balok, ditentukan menggunakan persamaan (10.4-1) atau persamaan berikut ini:

$$V' = \left(\begin{matrix} V' \text{ dari persamaan} \\ (8.4-1) \text{ atau } (8.4-2) \end{matrix} \right) \left(1 + \frac{x-3d}{3d} \right) \leq 2 \left(\begin{matrix} V' \text{ dari persamaan} \\ (8.4-1) \text{ atau } (8.4-2) \end{matrix} \right) \quad (10.4-3)$$

dengan x adalah jarak dari ujung balok.

Untuk balok komposit yang dihubungkan secara kaku, nilai I dan Q pada persamaan (10.4-1) harus ditentukan berdasarkan konsep penampang transformasi dan tahanan geser terkoreksi minimum dari elemen penyusun balok komposit tersebut.

10.4.3 Tahanan geser di daerah takikan

Pada penampang di sepanjang takikan dari sebuah balok persegi panjang setinggi d , tahanan geser terkoreksi pada penampang bertakik dihitung sebagai:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F'_v b d_n \right) \left(\frac{d_n}{d} \right) \quad (10.4-4)$$

dengan d adalah tinggi balok tanpa takikan dan d_n adalah tinggi balok di dalam daerah takikan.

Sebagai alternatif, apabila pada ujung takikan terdapat irisan miring dengan sudut θ terhadap arah serat kayu untuk mengurangi konsentrasi tegangan maka tahanan geser terkoreksi pada penampang bertakik dihitung sebagai:

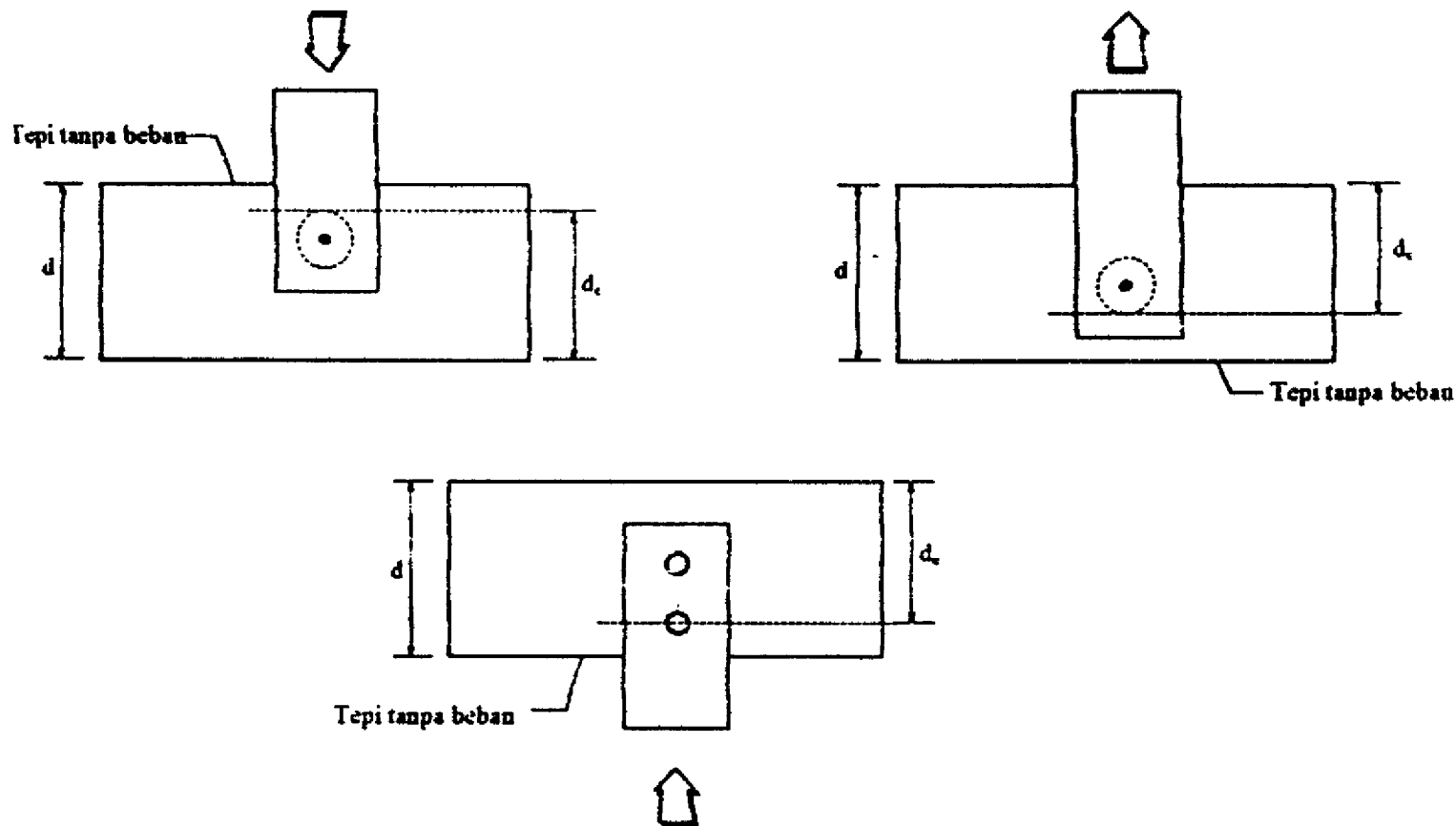
$$V' = \left(\frac{2}{3} F'_v b d_n \right) \left(1 - \frac{(d - d_n) \sin \theta}{d} \right) \quad (10.4-5)$$

10.4.4 Tahanan geser di daerah sambungan

Apabila suatu sambungan pada balok persegi panjang menyalurkan gaya yang cukup besar sehingga menghasilkan lebih dari setengah gaya geser di setiap sisi sambungan maka tahanan geser horisontal terkoreksi dihitung sebagai berikut:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F'_v b d_e \right) \left(\frac{d_e}{d} \right) \quad (10.4-6)$$

dengan d_e adalah tinggi efektif balok pada daerah sambungan seperti ditunjukkan pada Gambar (10.4-1).



Gambar 10.4-1 Definisi tinggi balok efektif di daerah sambungan.

Sebagai alternatif, apabila seluruh sambungan terletak sejauh lebih dari $3d$ dari ujung balok maka tahanan geser horisontal terkoreksi dapat dihitung sebagai:

$$V' = \left(\frac{2}{3} F'_v b d_e \right) \left[1 + \left(\frac{x - 3d}{6d} \right) \right] \leq F'_v b d_e \quad (10.4-7)$$

dengan x adalah jarak sambungan dari ujung balok.

10.5 Tahanan puntir

Tahanan puntir terkoreksi, M_t' , dari suatu balok persegi panjang masif dihitung sebagai:

$$M_t' = \frac{b^2 d^2 F_{tv}'}{3d + 1,8b} \quad (10.5-1)$$

Keterangan:

b adalah lebar penampang balok (ukuran sisi yang lebih kecil)

d adalah tinggi penampang balok (ukuran sisi yang lebih besar)

F_{tv}' adalah kuat puntir terkoreksi

Untuk penampang balok tak persegi panjang, tahanan puntir terkoreksi dihitung berdasarkan analisis puntir elastis linier menggunakan F_v' sebagai kuat geser puntir maksimum.

Untuk kayu masif, nilai F_v' diambil sebesar dua-pertiga dari kuat geser horisontal terkoreksi, F_v' . Untuk glulam (kayu laminasi struktural), nilai F_v' harus dibatasi sebesar F_t' , yaitu kuat tarik radial terkoreksi.

Tahanan puntir dari balok komposit struktural tidak termasuk dalam lingkup tata cara ini dan memerlukan peninjauan tersendiri.

10.6 Balok melengkung dan balok melengkung yang diiris miring dari glulam

10.6.1 Faktor koreksi kelengkungan untuk tahanan lentur

Tahanan lentur terkoreksi dari suatu balok melengkung prismatis yang terkekang secara lateral dan terbuat dari glulam (kayu laminasi struktural) harus dikalikan dengan faktor kelengkungan, C_c , sebesar:

$$C_c = 1 - 2.000 \left(\frac{t}{R_f} \right)^2 \quad (10.6-1)$$

Keterangan:

t adalah tebal pelapisan

R_f adalah jari-jari kelengkungan pada sisi dalam balok melengkung

$t/R_f \leq 1/125$.

10.6.2 Kuat tarik dan tekan radial pada balok melengkung

Perencanaan balok melengkung, baik prismatis maupun non prismatis, harus memperhitungkan kuat tarik dan tekan radial yang terjadi pada balok tersebut. Kuat tarik radial terjadi pada saat momen yang bekerja cenderung mengurangi kelengkungan (memperbesar jari-jari), sedangkan kuat tekan radial terjadi pada saat momen yang bekerja menambah kelengkungan (memperkecil jari-jari). Ketentuan-ketentuan pada Butir 10.6.2.1 dan 10.6.2.2 berlaku untuk keadaan ini.

10.6.2.1 Komponen melengkung prismatis

Tahanan lentur terkoreksi dari balok melengkung prismatis persegi panjang dibatasi oleh ketentuan mengenai kuat radial sebagai berikut:

$$M' = \frac{2}{3} R_m b d F_r' \quad (10.6-2)$$

Keterangan:

R_m adalah jari-jari kelengkungan pada setengah-tinggi balok melengkung

b adalah lebar penampang

d adalah tinggi penampang

F_r' adalah kuat radial terkoreksi

Nilai F_r' bergantung pada kondisi tegangan yang bekerja (tarik atau tekan), dan pada ada atau tidak adanya perkuatan pada arah radial, sebagai berikut:

$F_r' = F_{rt}'$, kuat radial tarik terkoreksi, apabila bekerja tegangan radial tarik dan tidak ada perkuatan pada arah radial,

$F_r' = F_v'/3$, apabila bekerja tegangan radial tarik, dan direncanakan untuk memikul beban angin atau gempa, atau diadakan perkuatan untuk memikul seluruh gaya radial.

$F_r' = F_{rc}'$, kuat tekan radial terkoreksi, apabila bekerja kuat radial tekan. Kecuali ditentukan lain, nilai F_{rc}' boleh diambil sebesar F_{cl}' , yaitu kuat tekan tegak lurus serat terkoreksi.

Dalam menghitung M' , nilai-nilai kuat radial harus dikoreksi terhadap pengaruh kadar air dan suhu saja.

10.6.2.2 Balok glulam (kayu laminasi struktural) dengan penampang non prismatis

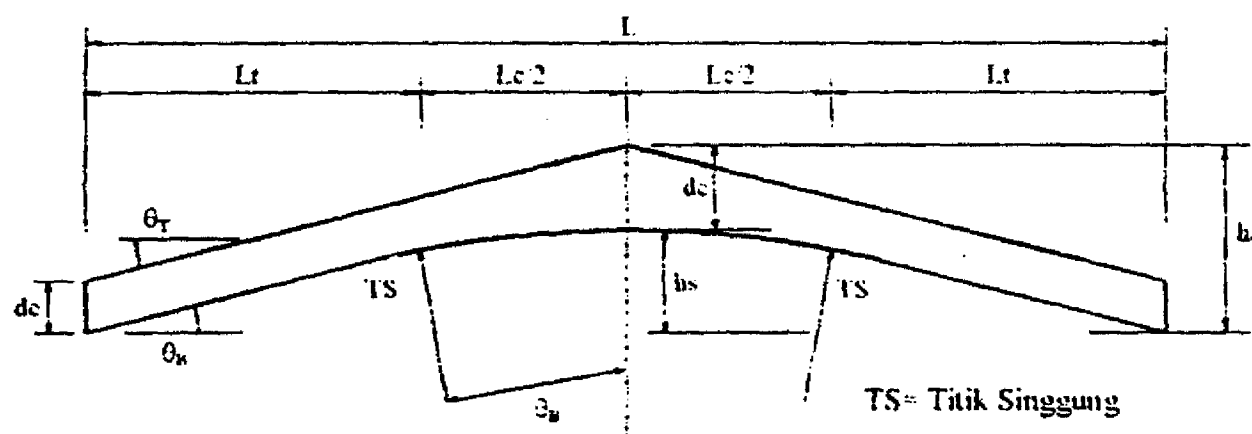
Persyaratan di dalam Butir 6 sampai 12 pada dasarnya juga berlaku untuk glulam (kayu laminasi struktural). Sekalipun demikian, karena bentuk dan ukurannya yang berbeda maka dibutuhkan persyaratan tambahan. Pada komponen struktur menyudut, non prismatis, dan melengkung seperti yang terlihat pada Gambar 10.6.2.2-1 maka distribusi tegangan lentur dan radial serta metode-metode untuk menghitung defleksi berbeda dari yang digunakan pada komponen struktur prismatis.

1) Balok melengkung yang menyudut dan non prismatis

(1) Tahanan momen yang dibatasi oleh tegangan radial

Tahanan momen balok melengkung berpenampang persegi panjang akibat beban terbagi rata simetris yang geometrinya menyudut serta non prismatis seperti terlihat pada Gambar 10.6.2.2-1, dibatasi berdasarkan kondisi tegangan radial yaitu sebesar:

$$M = b(d_c)^2 F_r' / 6K_{sr} \quad (10.6.2.2-1)$$



Gambar 10.6.2.2-1 Balok melengkung yang menyudut dan non prismatis.

Keterangan:

M adalah tahanan momen terkoreksi di tengah bentang, N-mm

b adalah lebar komponen struktur, mm

d_c adalah tinggi penampang di puncak, mm

F_r' adalah kuat radial terkoreksi, MPa

$F_r' = F_{rt}'$ bila tegangan radial adalah tarik, MPa

$F_r' = F_{rc}'$ bila tegangan radial adalah tekan, MPa. (F_{rc}' harus diambil sama dengan $F_{c\perp}'$, kuat tekan tegak lurus serat terkoreksi, MPa)

K_{sr} adalah faktor tegangan radial

$$K_{sr} = K_{gr}[A + B(d_c/R_m) + C(d_c/R_m)^2] = K_{gr}K_{ar} \quad (10.6.2.2-2)$$

A , B , dan C adalah konstanta-konstanta yang bergantung pada sudut permukaan atau yang non prismatis, ρ_r , dan harus diperoleh dari Tabel 10.6.2.2-1.

$K_{gr} = X - Y(d_o/D_m)$, adalah faktor reduksi yang bergantung pada bentuk komponen struktur yang ditentukan sesuai dengan Tabel 10.6.2.2-2.

R_m adalah jari-jari kelengkungan komponen struktur di tengah-tinggi penampang, mm

L/L_c adalah perbandingan antara panjang total komponen struktur terhadap panjang bagian komponen struktur yang melengkung

d_o/R_m adalah perbandingan antara tinggi penampang di tengah bentang terhadap radius tengah-tinggi komponen struktur

Tabel 10.6.2.2-1
Pendekatan polinomial untuk K_{gr} (sebagai fungsi dari sudut permukaan atas komponen struktur non prismatis θ_T).

θ_T derajat	Faktor-faktor		
	A	B	C
2,5	0,0079	0,1747	0,1284
5,0	0,0174	0,1251	0,1939
7,5	0,0279	0,0937	0,2162
10,0	0,0391	0,0754	0,2119
15,0	0,0629	0,0619	0,1722
20,0	0,0893	0,0608	0,1393
25,0	0,1214	0,0605	0,1238
30,0	0,1649	0,0603	0,1115

Catatan: Gunakan interpolasi linier untuk nilai antara.

Tabel 10.6.2.2-2
Persamaan-persamaan untuk menentukan K_{gr} .

θ_T	$L/L_c = 1,0$		$L/L_c = 2,0$		$L/L_c = 3,0$		$L/L_c = 4,0$	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
2:12	0,433	0,543	0,674	0,646	0,821	0,707	0,883	0,680
3:12	0,622	0,857	0,820	0,867	0,940	0,827	0,900	0,626
4:12	0,705	0,850	0,880	0,863	0,972	0,823	1,000	0,233
5:12	0,788	0,893	0,945	0,753	0,982	0,677	1,000	0,000
6:12	0,847	0,893	1,000	0,733	0,998	0,427	1,000	0,000

(2) Tahanan momen yang dibatasi oleh tegangan lentur

Geometri suatu komponen struktur mempengaruhi distribusi tegangan lentur. Tahanan momen terkoreksi, M' , harus disesuaikan untuk memperhitungkan pengaruh geometri.

Tahanan momen terkoreksi pada bagian yang melengkung di suatu balok yang berpenampang persegi panjang dengan geometri yang menyudut dan non prismatis

seperti terlihat dalam Gambar 10.6.2.2-1 dibatasi oleh kondisi tegangan lentur yaitu sebesar:

$$M = b (d_c)^2 F_b' / 6 K_{sb} \quad (10.6.2.2-3)$$

Keterangan:

M adalah tahanan momen terkoreksi di tengah bentang, N-mm

d_c adalah tinggi penampang di puncak, mm

b adalah lebar komponen struktur, mm

F_b' adalah kuat lentur terkoreksi, MPa

K_{sb} adalah faktor tegangan lentur

$$K_{sb} = D + E (d_d / R_m) + F (d_d / R_m)^2 \quad (10.6.2.2-4)$$

Keterangan:

R_m adalah jari-jari kelengkungan komponen struktur di tengah-tinggi penampang, mm

D, E, F adalah faktor-faktor tak berdimensi yang diperoleh dari Tabel 10.6.2.2-3

Tahanan momen di setiap titik yang terletak di antara titik singgung dan ujung-ujung balok harus dihitung sebagai momen balok prismatis dengan tinggi penampang yang sama dengan tinggi penampang pada lokasi yang sedang ditinjau.

(3) Defleksi balok melengkung yang menyudut dan non prismatis

Defleksi balok melengkung yang menyudut dan non prismatis di tengah bentang ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta_c = 5wL^4 / 32E'bd_{eb}^3 \quad (10.6.2.2-5)$$

Keterangan:

w adalah beban kerja terdistribusi merata, dinyatakan dalam N/mm

L adalah panjang bentang, mm

E_w' adalah modulus elastisitas lentur rerata terkoreksi, MPa

b adalah lebar, mm

d_{eb} adalah tinggi efektif

$$d_{eb} = (d_e + d_c) (0,5 + 0,735 \tan \rho_T) - 1,41 (d_c) \tan \rho_B,$$

d_e adalah tinggi penampang di ujung bentang, mm

d_c adalah tinggi penampang di tengah bentang, mm

ρ_T adalah kemiringan permukaan atas, derajat

ρ_B adalah kemiringan permukaan bawah di ujung, derajat

Sebagai alternatif, metode lain untuk menentukan defleksi dapat digunakan apabila dapat dibuktikan bahwa metode tersebut memperhitungkan semua parameter terkait dan memberikan hasil yang setara.

Tabel 10.6.2.2-3
Koefisien-koefisien untuk menentukan K_{sb} .

θ_T derajat	Faktor-faktor ¹		
	D	E	F
2,5	1,042	4,247	-6,201
5,0	1,149	2,036	-1,825
10,0	1,330	0,0	0,927
15,0	1,736	0,0	0,0
20,0	1,961	0,0	0,0
25,0	2,625	-2,829	3,538
30,0	3,062	-2,594	2,440

¹ Gunakan interpolasi linier untuk nilai antara.

(4) Perkuatan radial

Apabila kuat tarik radial dilampaui maka harus digunakan perkuatan mekanis secara memadai untuk memikul semua gaya tarik radial. Namun, gaya tarik radial ini tidak boleh melebihi gaya yang dihitung dengan cara mengalikan luas daerah yang diperkuat dengan tegangan tarik radial sebesar sepertiga kuat geser nominal sejajar serat. Apabila perkuatan radial digunakan untuk balok yang direncanakan untuk kondisi masa layan kering maka kadar air lapisan tidak boleh melebihi 15% pada saat pembuatan.

(5) Faktor-faktor koreksi

Faktor-faktor koreksi untuk glulam (kayu laminasi struktural) harus diterapkan dengan cara yang sama dengan yang telah dibahas pada bagian-bagian yang lain dalam tata cara ini, kecuali apabila dinyatakan lain. Faktor tegangan radial, K_{sr} , faktor reduksi bentuk, K_{gr} , dan faktor tegangan lentur, K_{sb} , ditinjau sebagai bagian dalam perhitungan balok melengkung yang menyudut dan non prismatis, dan bukan faktor-faktor koreksi penggunaan.

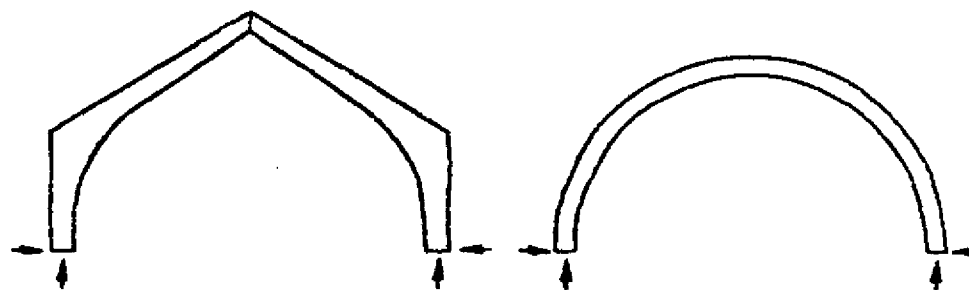
(6) Faktor interaksi tegangan

Faktor interaksi tegangan, K_{si} , tidak dapat diterapkan dalam perencanaan balok melengkung yang menyudut dan non prismatis, kecuali bahwa bagian dari balok di luar bagian yang melengkung diperiksa menggunakan faktor interaksi tegangan tersebut.

2) Pelengkung Glulam (Kayu Laminasi Struktural)

(1) Jenis-jenis pelengkung

Dua jenis pelengkung glulam adalah pelengkung tiga sendi dan pelengkung dua sendi, seperti terlihat dalam Gambar 10.6.2.2-2. Ketentuan perencanaan pada Butir 6 sampai 12 tetap berlaku, kecuali bagian-bagian yang ditentukan di dalam butir ini.



Gambar 10.6.2.2-2
Pelengkung tiga sendi (kiri) dan pelengkung dua sendi (kanan).

(2) Pelengkung tiga sendi

Perencanaan pelengkung tiga sendi, yang merupakan struktur statis tertentu, harus meliputi tinjauan kombinasi antara lentur dan tekan sejajar serat yang besarnya bervariasi di sepanjang komponen struktur dan tinjauan geser di dekat ujung komponen struktur. Persamaan tahanan rencana yang berlaku untuk komponen struktur glulam tetap berlaku untuk pelengkung tiga sendi, kecuali bahwa faktor pengaruh volume terhadap tahanan lentur dimodifikasi, dan ketentuan interaksi untuk permukaan yang non prismatis (lihat Butir 10.1.10 dan 10.1.11) tidak berlaku.

(3) Pelengkung dua sendi

Perencanaan pelengkung dua sendi, yang merupakan struktur statis tak tentu, harus meliputi metode-metode analisis yang sesuai untuk menentukan momen, gaya aksial, dan geser, di lokasi-lokasi sepanjang pelengkung. Apabila gaya-gaya dan momen tersebut

telah diketahui maka perencanaan selebihnya adalah sama dengan yang digunakan pada pelengkung tiga sendi.

(4) Tahanan tekan aksial

Prosedur yang digunakan untuk kolom dapat pula digunakan untuk menghitung tahanan tekan aksial.

Meskipun sebagian besar pelengkung dikekang secara lateral terhadap sumbu Y-Y, persyaratan pengekangan harus ditinjau sesuai dengan Butir 9 dan 11. Pelengkung pada umumnya tidak dikekang terhadap sumbu X-X. Akan tetapi, perencanaan tekuk terhadap sumbu ini tidak diperlukan karena adanya aksi pelengkung.

(5) Tegangan radial pada pelengkung

Tegangan radial harus ditinjau di dalam perencanaan pelengkung. Kekuatan pelengkung yang dipengaruhi oleh tegangan radial harus ditentukan dengan cara seperti pada balok melengkung.

(6) Tahanan lentur nominal

Tahanan lentur terkoreksi, M' , dihitung menggunakan persamaan (10.2-2) yang ditulis ulang di sini:

$$M' = M_x' = S_x F_{bx}' \quad (10.6.2.2-6)$$

Faktor pengaruh volume, C_v , yang terkandung di dalam F_{bx}' , dimodifikasi pada pelengkung dengan menetapkan pangkat rasio lebar dan rasio panjang sama dengan nol. Pada kasus kombinasi lentur dan tekan maka faktor pengaruh volume yang telah dikoreksi, C_v' , adalah:

$$\text{untuk } F_b'(1-C_v) \leq f_c: C_v' = 1,0 \quad (10.6.2.2-7)$$

$$\text{untuk } F_b'(1-C_v) > f_c: C_v' = C_v + f_c/F_b' \quad (10.6.2.2-8)$$

dengan F_b' adalah kuat lentur terkoreksi, MPa; f_c adalah tegangan aksial tekan yang bekerja, MPa; dan C_v adalah faktor pengaruh volume.

Panjang tak terkekang komponen struktur tekan pada pelengkung jenis Tudor terhadap sumbu X-X harus diambil sama dengan panjang bagian balok miring (kuda-kuda) untuk bagian pelengkung sebelah atas dan panjang kaki untuk bagian pelengkung sebelah samping. Untuk pelengkung berbentuk lingkaran, parabolik, atau sejenisnya, panjang tersebut biasanya diambil sama dengan jarak dari perletakan ke puncak.

Panjang pelengkung efektif untuk lentur harus ditentukan dan momen tekuk lateral elastis, M_e , dihitung dengan persamaan (10.2-7). Selanjutnya, M dihitung menggunakan persamaan (10.2-4) dan dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari persamaan (10.2-2). Diambil nilai yang terkecil di antara kedua harga tersebut. Panjang tak terkekang segmen pelengkung untuk lentur harus ditentukan dengan cara seperti pada komponen struktur lentur lainnya.

Faktor untuk memperhitungkan pengaruh non prismatis, K_{st} , tidak berlaku pada pelengkung.

(7) Interaksi momen dan gaya aksial di pelengkung

Interaksi antara gaya aksial dan lentur harus dihitung dengan cara yang sama dengan yang digunakan pada balok kecuali bahwa pelengkung harus diasumsikan dikekang dalam arah Y-Y dan momen terfaktor tidak perlu diperbesar. Dengan demikian maka pada perencanaan pelengkung, persamaan (11.3-1) berubah menjadi:

$$\left(\frac{P_u}{\lambda \phi_c P'} \right)^2 + \left(\frac{M_{bx}}{\lambda \phi_b M'_x} \right) \leq 1,0 \quad (10.6.2.2-9)$$

dengan P_u adalah gaya aksial tekan terfaktor, N; P' adalah tahanan tekan terkoreksi untuk beban aksial tanpa lentur, N; M_{bx} adalah momen terfaktor terhadap sumbu kuat, N-mm; dan M'_x adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu kuat, N-mm.

(8) Defleksi pelengkung

Defleksi pelengkung harus dibatasi sesuai dengan persyaratan kemampuan layan. Defleksi elastis atau jangka pendek yang diakibatkan oleh beban-beban di sembarang titik pada pelengkung dan dalam arah sembarang harus dihitung menggunakan prinsip-prinsip mekanika rekayasa. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode kerja maya. Tinjauan defleksi jangka panjang yang diakibatkan oleh rangkai harus dilakukan sesuai dengan Butir 15.

Defleksi yang diakibatkan oleh perubahan kadar air yang diikuti dengan perubahan sudut pelengkung (lihat Gambar 10.6.2.2-3) harus ditentukan menggunakan prinsip-prinsip mekanika rekayasa. Untuk defleksi vertikal, persamaan berikut dapat digunakan:

$$\rho_m = \rho_s l / 2 [1 - H_r / (H_r + H_w)] \tan \rho_q \quad (10.6.2.2-10)$$

Keterangan:

ρ_m adalah defleksi di puncak, mm

l adalah bentang bersih antar perletakan sendi, mm

H_r adalah tinggi pelengkung bagian atap, mm

H_w adalah tinggi pelengkung bagian samping, mm

ρ_s adalah sudut dalam antara sumbu-sumbu bagian pelengkung yang lurus, derajat

$$\rho_q = -d_q/(1-d_q) \quad (10.6.2.2-11)$$

dengan ρ_q adalah persentase perubahan sudut yang diakibatkan oleh susut dan d_q adalah persentase perubahan tinggi komponen struktur yang diakibatkan oleh susut. Apabila d_q sangat kecil dibandingkan dengan satu, maka ρ_q dapat diambil sama dengan $-d_q$.

Defleksi horizontal pelengkung jenis Tudor dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

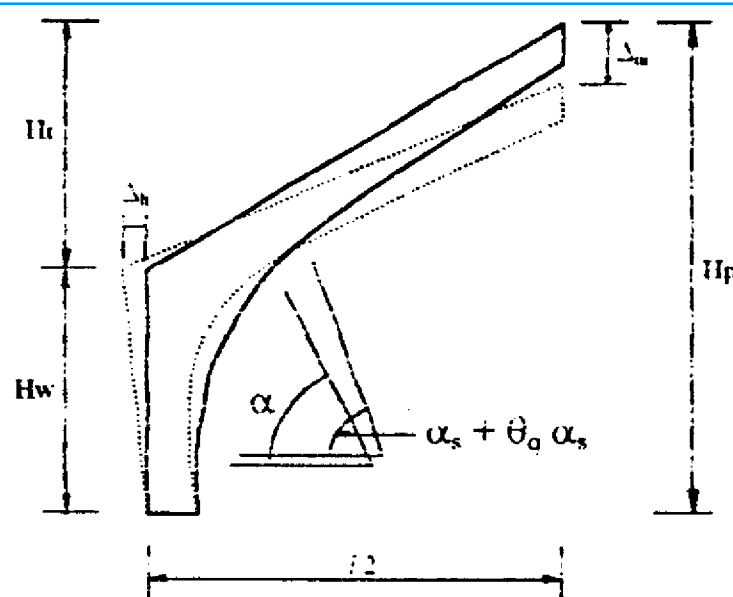
$$\rho_h = \rho_s [H_r H_w / (H_r + H_w)] \tan \rho_q \quad (10.6.2.2-12)$$

Metode semi grafis juga dapat digunakan untuk pelengkung jenis Tudor dan pelengkung jenis lainnya.

Jika suatu pelengkung memuai karena bertambahnya kadar air maka pengaruhnya akan berlawanan dengan yang diakibatkan oleh susut.

10.7 Genangan

Sistem atap harus diperiksa dengan analisis struktur untuk kemungkinan terjadinya genangan air. Hal ini tidak termasuk dalam lingkup tata cara ini dan memerlukan peninjauan tersendiri.



Gambar 10.6.2.2-3 Defleksi pelengkung jenis Tudor yang diakibatkan oleh susut.

11 Kombinasi beban lentur dan aksial pada komponen struktur

11.1 Umum

11.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan dalam butir ini berlaku untuk komponen struktur yang memikul:

- a) Beban lentur terhadap kedua sumbu utamanya dan/atau kombinasi beban lentur dan aksial, baik tarik maupun tekan; dan
- b) Kolom yang mengalami pembebanan eksentris.

11.1.2 Perencanaan komponen struktur

Tahanan terkoreksi, M' , P' , dan T' , pada persamaan interaksi dalam butir ini, harus dihitung dengan persamaan pada Butir 8, 9, dan 10. Berbagai parameter perencanaan dalam persamaan interaksi bervariasi sepanjang komponen struktur. Dalam kasus tersebut, perencanaan komponen struktur harus didasarkan atas perhitungan pada lokasi paling kritis di sepanjang komponen struktur tersebut.

Pada butir ini faktor tahanan penampang, ϕ , ditentukan sebagai berikut:

Lentur:	$\phi_b = 0,85$
Tarik sejajar serat:	$\phi_t = 0,80$
Tekan sejajar serat:	$\phi_c = 0,90$

Faktor waktu, λ , pada Butir 6.3.3 harus digunakan seperti yang ditentukan pada Butir 8, 9, 10, dan butir ini. Nilai tunggal faktor waktu, yang tercantum pada Tabel 6.3-2 untuk kombinasi pembebanan yang ditinjau, harus digunakan untuk setiap suku dalam persamaan interaksi.

11.2 Tahanan penampang yang dibebani kombinasi lentur dan tarik aksial

Tahanan penampang komponen struktur terhadap pembebanan kombinasi lentur dan tarik aksial harus ditentukan pada sisi tariknya, bila stabilitas lateral tidak perlu ditinjau, atau pada sisi tekannya, bila gaya tarik aksial tidak cukup dominan sedemikian sehingga gejala tekuk torsi lateral menjadi lebih menentukan. Persamaan berikut ini harus dipenuhi:

- a) Sisi tarik (dianggap terjadi interaksi stabilitas lateral):

$$\frac{T_u}{\lambda \phi_t T'} + \frac{M_{ux}}{\lambda \phi_b M'_s} + \frac{M_{uy}}{\lambda \phi_b M'_y} \leq 1,0 \quad (11.2-1)$$

b) Sisi tekan (interaksi dengan gaya aksial tarik akan meningkatkan tahanan penampang terhadap tekuk torsi lateral):

$$\frac{\left(M_{ux} - \frac{d}{6} T_u \right)}{\lambda \phi_b M'_x} + \frac{M_{uy}}{\lambda \phi_b M'_y \left(1 - \frac{M_{ux}}{\phi_b M_e} \right)^2} \leq 1,0 \quad (11.2-2)$$

Untuk komponen struktur tak persegi panjang, faktor $d/6$ pada suku pertama, dengan d adalah tinggi komponen struktur, harus diganti dengan S_x/A , yaitu perbandingan antara modulus penampang terhadap sumbu kuat dan luas penampang bruto.

c) Interaksi pada sisi tekan tanpa adanya gaya tarik aksial.

Apabila gaya tarik tidak bekerja secara simultan dengan momen lentur maka persamaan (11.2-2) harus terpenuhi dengan menganggap gaya aksial, T_u , sama dengan nol.

Pada persamaan (11.2-1) dan (11.2-2):

T_u adalah gaya tarik terfaktor, N

M_{ux} , M_{uy} adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu kuat dan sumbu lemah, N-mm

M'_x , M'_y adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu kuat dan sumbu lemah, dengan memperhatikan pengekan lateral yang ada, N-mm

M_e adalah momen tekuk lateral elastis dari Butir 10.2.5, N-mm

M'_s adalah M'_x yang dihitung menggunakan faktor stabilitas balok, C_L , sama dengan satu dan dengan memperhitungkan faktor volume, C_v , N-mm

11.3 Tahanan penampang komponen struktur pada lentur dua arah serta dalam kombinasi lentur dan tekan aksial

11.3.1 Balok, kolom, dan komponen struktur rangka

Pada komponen struktur prismatis yang dibebani lentur dua arah, atau yang dibebani gaya tekan aksial dan lentur terhadap satu atau kedua sumbu utamanya, harus memenuhi ketentuan berikut:

$$\left(\frac{P_u}{\lambda \phi_c P'} \right)^2 + \frac{M_{mx}}{\lambda \phi_b M'_x} + \frac{M_{my}}{\lambda \phi_b M'_y} \leq 1,0 \quad (11.3-1)$$

Keterangan:

P_u adalah gaya tekan aksial terfaktor, N

P' adalah tahanan tekan terkoreksi untuk tekuk terhadap sumbu lemah apabila beban yang bekerja adalah gaya tekan murni, N

M_{mx}, M_{my} adalah momen terfaktor, termasuk pengaruh orde ke dua, masing-masing terhadap sumbu kuat dan sumbu lemah, N-mm

M'_x, M'_y adalah tahanan lentur terkoreksi, terhadap sumbu kuat dan sumbu lemah, dari persamaan-persamaan dalam Butir 8 dengan $C_b = 1,0$, N-mm

Semua suku pada persamaan (11.3-1) harus diambil positif.

Bila tidak digunakan analisis orde kedua maka momen terfaktor M_{mx} dan M_{my} , ditentukan menggunakan metode perbesaran momen di bawah ini yang memperhitungkan faktor perbesaran terhadap momen orde pertama akibat beban terfaktor yang tidak menimbulkan goyangan, M_{bx} dan M_{by} , dan faktor perbesaran terhadap momen orde pertama akibat beban terfaktor yang menimbulkan goyangan, M_{sx} dan M_{sy} , atau:

$$M_{mx} = B_{bx} M_{bx} + B_{sx} M_{sx} \quad (11.3-2)$$

$$M_{my} = B_{by} M_{by} + B_{sy} M_{sy} \quad (11.3-3)$$

KETERANGAN:

M_{bx}, M_{by} adalah momen terfaktor dari beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan yang dihitung menggunakan analisis orde pertama, masing-masing terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y), N-mm

M_{sx}, M_{sy} adalah momen terfaktor dari beban-beban yang menimbulkan goyangan yang dihitung menggunakan analisis orde pertama, masing-masing terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y), N-mm

Untuk komponen struktur yang dapat bergoyang (tanpa bresing), faktor perbesaran momen B_{bx}, B_{by} , serta B_{sx}, B_{sy} harus dihitung menggunakan persamaan (11.3-4), (11.3-5), (11.3-6), dan (11.3-7). Untuk komponen struktur yang tidak dapat bergoyang, B_{sx}, B_{sy} , dapat diambil sama dengan nol.

$$B_{hx} = \frac{C_{mx}}{\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_{ex}}\right)} \geq 1,0 \quad (11.3-4)$$

$$B_{by} = \frac{C_{my}}{\left(1 - \frac{P_u}{\phi_c P_{ey}} - \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_e}\right)^2\right)} \geq 1,0 \quad (11.3-5)$$

$$B_{sx} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\sum P_u}{\phi_c \sum P_{ex}}\right)} \geq 1,0 \quad (11.3-6)$$

$$B_{sy} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\sum P_u}{\phi_c \sum P_{ey}}\right)} \geq 1,0 \quad (11.3-7)$$

Keterangan

P_{ex} , P_{ey} adalah tahanan tekuk kritis terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y),

$\sum P_u$ adalah jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang ditinjau,

$\sum P_{ex}$, $\sum P_{ey}$ adalah jumlah tahanan tekuk kritis kolom bergoyang pada satu tingkat yang ditinjau, dengan seluruh kolom bergerak searah goyangan dan melenturkan komponen struktur terhadap sumbu kuat untuk $\sum P_{ex}$ atau terhadap sumbu lemah untuk $\sum P_{ey}$.

Pada komponen struktur kantilever tunggal, hanya gaya aksial tunggal pada komponen itu yang diperhitungkan dalam penjumlahan.

Koefisien C_{mx} dan C_{my} untuk masing-masing sumbu kuat dan sumbu lemah, ditentukan sebagai berikut:

a) Untuk komponen struktur tekan yang:

- terkekang terhadap semua translasi pada sambungan-sambungannya,
- terkekang terhadap rotasi pada kedua ujung-ujungnya,
- tidak ada gaya transversal yang bekerja di antara kedua ujungnya,

maka dalam arah bidang lentur yang sedang ditinjau berlaku:

$$C_m = 0,60 - 0,40 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (11.3-8)$$

dengan M_1/M_2 adalah perbandingan antara momen ujung terkecil terhadap momen ujung terbesar. M_1/M_2 bernilai negatif untuk kondisi kelengkungan tunggal.

b) Pada komponen struktur tekan yang kedua ujungnya dikekang terhadap gerakan translasi dalam arah bidang pembebanan dan di antara kedua ujungnya bekerja gaya transversal, nilai C_m harus ditentukan dengan analisis rasional. Namun demikian, sebagai alternatif, nilai berikut ini dapat digunakan:

- komponen struktur yang kedua ujungnya terkekang terhadap rotasi, $C_m = 0,85$,
- komponen struktur yang kedua ujungnya tak terkekang terhadap rotasi, $C_m = 1,00$.

11.3.2 Komponen struktur rangka batang

Ketentuan pada Butir 11.3.1 juga berlaku untuk komponen struktur rangka batang. Komponen struktur atau bagian dari komponen struktur rangka batang yang berada di antara titik-titik kumpulnya dapat dianggap terkekang pada kedua ujungnya dalam bidang rangka batang. Pada arah tegak lurus bidang rangka batang, bila komponen struktur rangka batang tidak dihubungkan secara menerus oleh panel atap, atau panel lantai, atau jenis penutup lainnya, maka panjang efektif harus ditentukan dengan meninjau keadaan kekangan pada titik-titik kumpul dalam arah lateral.

11.4 Kolom dengan konsol pendek

Kolom tak terkekang atau bagian tak terkekang kolom dengan konsol pendek yang terletak disepertempat tinggi yang di atas, direncanakan terhadap dua beban ekuivalen sebagai berikut:

- Pindahkan beban aksial yang bekerja pada konsol pendek, P_a , sedemikian sehingga bekerja sebagai beban konsentris pada ujung kolom, bersama dengan beban-beban konsentris lainnya yang bekerja disepanjang kolom; dan
- Tambahkan beban transversal, P_s , di tengah tinggi kolom tak terkekang atau bagian tak terkekang kolom dalam bidang yang ditinjau, dan besarnya:

$$P_s = \frac{3e_b I_{br} P_a}{l_u^2} \quad (11.4-1)$$

Keterangan

l_{br} adalah jarak dari ujung bawah kolom tak terkekang atau bagian tak terkekang kolom sampai sisi bagian atas konsol pendek, mm

e_b adalah eksentrisitas beban yang bekerja pada konsol pendek, yaitu jarak horisontal dari titik kerja beban ke titik pusat penampang kolom, mm

l_u adalah panjang kolom tak terkekang untuk arah tekuk yang sesuai dengan arah momen pada konsol pendek, mm

Selanjutnya, kolom direncanakan sebagai komponen struktur balok-kolom sesuai dengan ketentuan pada Butir 11.3.

Bila konsol pendek tidak terletak di seperempat tinggi yang di atas dari kolom tak terkekang atau bagian tak terkekang kolom maka harus dilakukan analisis yang rasional atau dihitung dengan persamaan (11.4-1) tapi dengan menggunakan nilai $l_{br} = 0,75 l_u$.

11.5 Struktur busur

Perencanaan struktur busur glulam (kayu laminasi struktural) yang dibebani kombinasi beban lentur dan tekan aksial harus direncanakan dengan merujuk pada Butir 10.6.2.2.

11.6 Rangka batang

Ketentuan dalam butir ini mencakup struktur-struktur rangka batang dari:

- a) Gabungan komponen-komponen struktur yang membentuk segitiga; dan
- b) Gabungan elemen kayu hasil/produk dari pabrik.

11.6.1 Batang tekan berpenutup

Momen inersia terhadap sumbu kuat, I_x , dari batang tekan berpenutup dapat dikalikan dengan faktor kekakuan tekuk, C_T , bila memenuhi persyaratan berikut ini:

- dimensi batang adalah 50 x 100 mm atau lebih kecil,
- batang terbuat dari kayu gergajian,
- dimensi tinggi batang terpasang secara vertikal,
- panjang tekuk efektif batang ≤ 2.400 mm,
- penutup terbuat dari panel struktural dengan tebal $\geq 9,5$ mm,
- penutup dipasang sesuai dengan prosedur pemakaian yang baik dan benar.

Faktor kekakuan tekuk untuk keadaan tersebut di atas adalah:

$$C_T = 1 + \frac{K_M l_e}{E'_{05}} \quad (11.6-1)$$

Keterangan

l_e adalah panjang efektif tak terkekang yang digunakan pada perencanaan batang tekan, mm

K_M adalah 0,624 untuk kayu yang dikeringkan demikian sehingga nilai kadar airnya lebih rendah dari 19% ketika dilakukan pemasangan penutup; l_e dalam mm dan E'_{05} dalam kPa

K_M adalah 0,326 untuk kayu yang dikeringkan sebagian ataupun tidak dikeringkan sama sekali, ketika dilakukan pemasangan penutup; l_e dalam mm dan E'_{05} dalam kPa

E'_{05} adalah nilai modulus elastisitas lentur terkoreksi pada persentil kelima, MPa

Dalam menghitung P' yang didapat dari tinjauan arah tekuk sumbu kuat untuk digunakan dalam persamaan (11.3-1), nilai E'_{05} pada persamaan (9.3-4) harus diganti dengan hasil kali E'_{05} dan C_T . Nilai C_T tidak dapat digunakan sebagai pengali dari luas penampang bruto, A , pada persamaan (9.3-1).

Untuk rangka batang yang digunakan pada kondisi layan basah, C_T harus diasumsikan sama dengan 1.

12 Sambungan mekanis

12.1 Umum

12.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan dalam butir ini berlaku untuk sambungan-sambungan komponen struktur kayu atau komponen struktur berbahan dasar kayu. Komponen-komponen struktur kayu yang dimaksud dalam butir ini termasuk yang dibuat dari kayu pejal dan komponen lainnya yang berbahan dasar kayu. Baut atau pasak yang dimaksud dalam butir ini hanya mencakup baut atau pasak dengan diameter 6~25 mm.

Sambungan pada komponen struktur kayu atau dari satu komponen struktur kayu ke komponen struktur kayu lainnya terdiri atas elemen penyambung (pelat buhul, pelat penyambung, pelat pengikat, siku dan pelat pendukung) dan alat sambung (cincin belah, pelat geser) atau alat pengencang (paku, jepretan, pasak, sekrup, baut, sekrup kunci, dan sistem alat pengencang sejenis).

Notasi untuk tahanan lateral, Z , Z' , mengacu pada tahanan seluruh sambungan, dan bukan pada tahanan alat sambung tunggal. Selain itu, notasi untuk tahanan cabut, Z_w , Z_w' , mengacu pada tahanan cabut total dan bukan pada tahanan per satuan penetrasi.

12.1.2 Perencanaan sambungan

Sambungan harus direncanakan sedemikian sehingga:

$$Z_u \leq \lambda \phi_z Z' \quad (12.1-1)$$

di mana Z_u adalah tahanan perlu sambungan, λ adalah faktor waktu yang berlaku sesuai dengan Tabel 6.3-2, $\phi_z = 0,65$ adalah faktor tahanan sambungan, dan Z' adalah tahanan terkoreksi sambungan.

Tahanan terkoreksi sambungan diperoleh dari hasil perkalian antara tahanan acuan sambungan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6 dan pada butir ini. Keberlakuan faktor-faktor koreksi untuk setiap jenis sambungan harus sesuai dengan yang disyaratkan pada Tabel 12.1-1.

Tabel 12.1-1 Keberlakuan faktor koreksi (FK) untuk sambungan¹

Kondisi Terkoreksi =	Kondisi Acuan x	FK Diafragma	FK Aksi Kelompok	FK Geometri	FK Kedalaman Penetrasi	FK Serat Ujung	FK Pelat Sisi	FK Paku Miring
$Z' =$ $Z'_w =$	Z Z_w	C_{di}		Paku, pasak	C_d	C_{ez} C_{eg}		C_m C_m
$Z' =$ $Z'_w =$	Z Z_w			Sekrup	C_d	C_{eg}		
$Z' =$	Z		C_g	Baut C_d				
$Z' =$ $Z'_w =$	Z Z_w		C_g	Sekrup kunci, pen C_d	C_d	C_{eg} C_{eg}		
$Z'_H =$ $Z'_d =$	Z_H Z_d		C_g C_g	Pelat geser, cincin belah C_d C_d	C_d C_d		C_{st}	

12.1.3 Perihal faktor koreksi untuk sambungan

Pada sambungan, faktor layan basah, C_M , tidak hanya bergantung pada kondisi penggunaan, tetapi juga bergantung pada kondisi saat difabrikasi. Kondisi acuan untuk penggunaan kering mengacu pada sambungan-sambungan yang difabrikasi dari material dalam keadaan kering dan digunakan pada kondisi layan kering, sebagaimana didefinisikan pada Butir 7.6.

Faktor layan basah tidak memperhitungkan pengaruh korosi. Bila sambungan akan diekspos terhadap lingkungan korosif maka tahanan sambungan harus memperhitungkan pengaruh korosi pada elemen penyambung ataupun alat sambung baja. Alat pengencang yang digunakan pada bahan kayu yang diberi perlakuan secara kimiawi harus diberi perlindungan yang cukup sesuai dengan tata cara yang berlaku.

Faktor paku diafragma, C_{di} , yang tercantum dalam Butir 14 tata cara ini, hanya berlaku pada perencanaan dinding geser dan diafragma.

¹ Faktor-faktor koreksi ini harus diberlakukan sebagai tambahan terhadap faktor koreksi masa layan yang diberikan pada Butir 7.6.

12.1.4 Faktor waktu untuk sambungan

Faktor waktu, λ , tidak diperbolehkan melebihi 1,0 untuk sambungan. Sebagai tambahan, jika perencanaan sambungan ditentukan oleh kegagalan pada elemen penyambung atau alat pengencang yang terbuat dari bahan non-kayu maka $\lambda = 1,0$.

12.2 Tinjauan sifat material

Tahanan sambungan yang dihitung sesuai dengan ketentuan pada butir ini didasarkan pada anggapan-anggapan tertentu sehubungan dengan sifat material yang dikaji pada butir tersebut.

12.2.1 Alat pengencang, alat sambung dan elemen penyambung

Semua alat pengencang dan alat sambung serta sifat-sifat nominalnya harus memenuhi persyaratan minimum sesuai dengan tata cara yang berlaku. Pelat-pelat baja, pelat penggantung, alat pengencang, dan bagian-bagian lain dari pelat baja harus direncanakan agar tahanan terhadap moda-moda keruntuhan yang berlaku (tarik, lentur, tekuk, tumpu {termasuk dari baja-ke-baja}, dan geser pada alat pengencang).

12.2.2 Berat jenis

Berat jenis rencana, G , yang digunakan pada perhitungan tahanan tumpu pasak dan untuk persyaratan rencana lainnya dari sambungan harus didasarkan pada nilai yang sudah baku untuk jenis spesies, kelompok spesies, atau mutu, sebagaimana yang disyaratkan dalam perencanaan. Berat jenis rencana tersebut harus didasarkan pada berat dan volume kering oven.

Dalam pembuatan glulam (kayu laminasi struktural) dapat digunakan kayu dengan mutu dan spesies yang berbeda pada bagian atas, inti, dan bawah komponen struktur kayu lapis. Hal ini harus diperhitungkan dalam perencanaan sambungan pada berbagai daerah pada komponen struktur.

12.2.3 Kuat tumpu pasak

Untuk sambungan yang menggunakan baut, sekrup kunci, pen, atau pasak, kuat tumpu pasak, $F_{e\theta}$, komponen struktur kayu yang dibebani dengan membentuk sudut θ terhadap serat kayu adalah:

$$F_{e\theta} = \frac{F_{e\parallel} F_{e\perp}}{F_{e\parallel} \sin^2 \theta + F_{e\perp} \cos^2 \theta} \quad (12.1-2)$$

Keterangan:

$F_{e\parallel}$, $F_{e\perp}$ adalah kuat tumpu pasak sejajar dan tegak lurus serat kayu,

θ adalah sudut antara garis kerja gaya dan arah serat kayu.

12.3 Tinjauan konfigurasi sambungan

Tahanan sambungan yang dihitung dengan ketentuan dalam butir ini adalah berdasarkan anggapan tertentu berkenaan dengan konfigurasi sambungan yang dibahas dalam butir tersebut. Jarak antar alat pengencang didefinisikan sebagai jarak dalam baris dan jarak antar baris. Lihat Gambar 12.3-1.

12.3.1 Sambungan sendi

Tahanan sambungan dalam butir ini didasarkan pada anggapan mengenai kekangan ujung yang diberikan dalam Butir 6.3.2.2.

12.3.2 Tumpuan

Perencanaan tumpu harus sesuai dengan Butir 9.5. Pada sambungan tumpu, harus diadakan alat pengencang dalam jumlah yang cukup agar dapat mengekang komponen struktur pada posisinya semula.

12.3.3 Tahanan pada komponen struktur di daerah sambungan

Adanya sambungan mempengaruhi tahanan komponen struktur di daerah sambungan. Setidak-tidaknya, hal-hal berikut ini harus diperhitungkan:

Luas neto: Lihat Butir 7.2.2. dan 9.3.3. Untuk beban yang bekerja sejajar serat kayu pada sambungan dengan baut selang seling, sekrup kunci, pasak, atau pen, alat pengencang yang berdekatan harus dianggap berada pada penampang kritis yang sama jika spasi dalam baris alat pengencang yang satu terhadap baris lainnya yang berdekatan lebih kecil dari $4D$, di mana D adalah diameter alat pengencang. Jika digunakan pelat geser atau cincin belah dengan konfigurasi selang seling, maka pelat geser atau cincin belah

yang berdekatan harus dianggap bekerja pada penampang kritis yang sama jika jarak sejajar serat antar pelat geser atau cincin belah dalam baris yang berdekatan sama dengan atau lebih kecil daripada diameter pelat geser atau cincin belah.

Tahanan geser: Lihat Butir 10.4.4.

Sambungan eksentris: Kelompok alat pengencang yang direncanakan untuk menyalurkan gaya aksial pada komponen struktur harus direncanakan sedemikian sehingga sumbu setiap komponen struktur yang disambung bertemu pada suatu titik yang berimpit dengan titik berat sambungan, kecuali bila diperhitungkan adanya eksentrisitas, di mana kelompok alat pengencang menyalurkan gaya eksentris (momen). Pengaruh gaya-gaya eksentris ini pada alat pengencang dan pada komponen struktur di daerah sambungan harus dianalisis sesuai dengan kaidah mekanika teknik yang baku.

Tahanan tarik tegak lurus serat: Harus dihindari konfigurasi sambungan dengan menempatkan titik kerja beban pada sisi tarik dari suatu balok. Jika konfigurasi ini tidak dapat dihindarkan, maka harus dipasang perkuatan mekanis untuk menghindarkan terbelahnya komponen struktur.

12.3.4 Sambungan dengan alat pengencang kombinasi

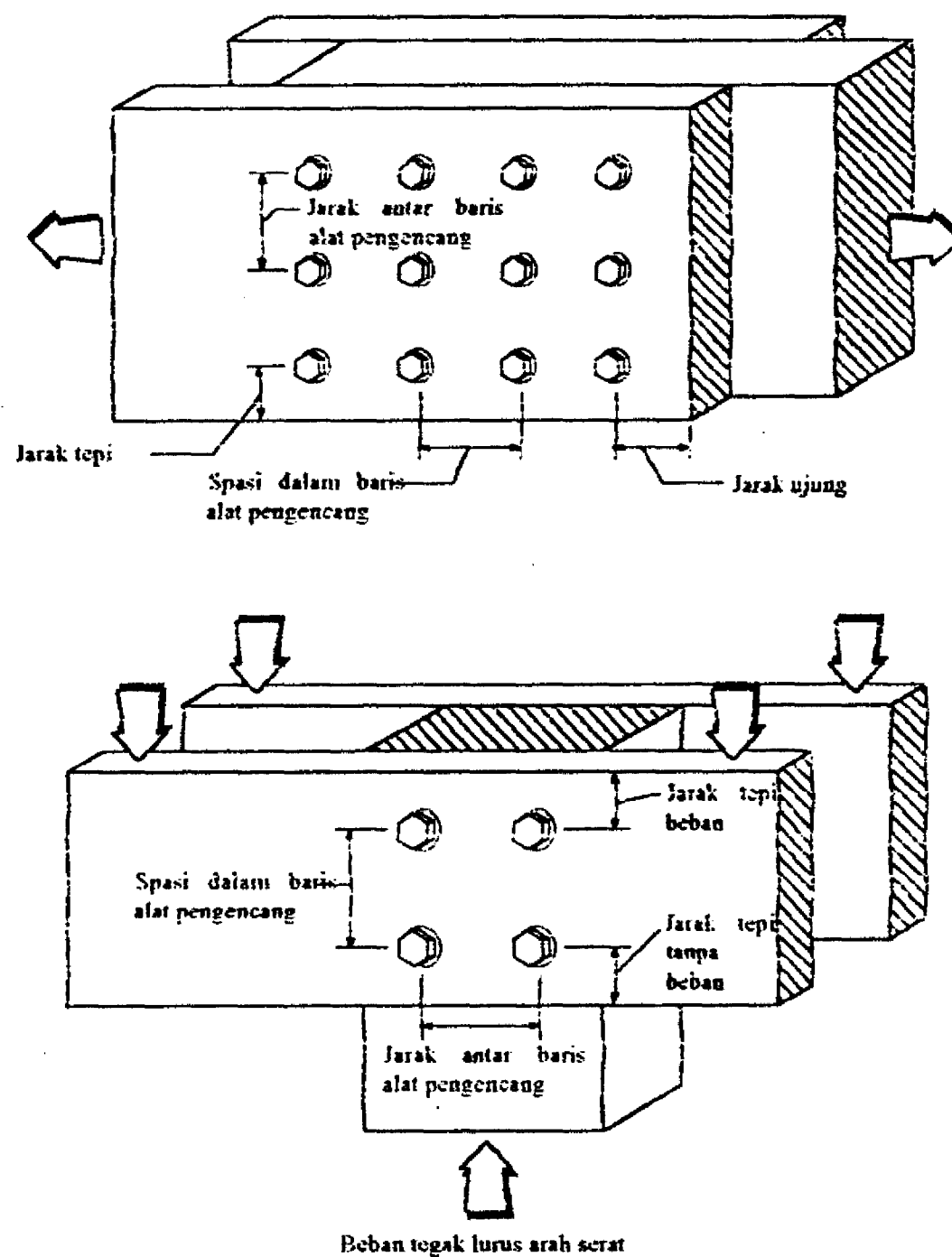
Tahanan rencana sambungan dengan beberapa jenis atau ukuran alat pengencang harus berdasarkan hasil pengujian atau analisis yang dapat dipertanggungjawabkan. Jika digunakan kombinasi lem dan alat pengencang mekanik maka adanya perbedaan kekakuan harus diperhitungkan dalam penentuan tahanan rencana sambungan.

12.3.5 Penempatan alat pengencang

12.3.5.1 Jarak tepi adalah jarak antara tepi suatu komponen struktur terhadap alat pengencang terdekat diukur dalam arah tegak lurus serat kayu. Bila suatu komponen struktur dibebani tegak lurus arah serat, tepi yang memikul beban didefinisikan sebagai tepi beban. Tepi yang tidak memikul beban didefinisikan sebagai tepi tanpa-beban (Gambar 12.3-1).

12.3.5.2 Jarak ujung adalah jarak yang diukur sejajar serat dari garis potong siku komponen struktur ke pusat alat pengencang yang terdekat (Gambar 12.3-1).

12.3.5.3 Spasi adalah jarak antar pusat alat pengencang yang diukur sepanjang garis yang menghubungkan pusat-ke-pusat alat pengencang (Gambar 12.3-1).



Gambar 12.3–1 Geometri sambungan baut.

12.3.5.4 Sebuah baris alat pengencang didefinisikan sebagai beberapa alat pengencang yang terletak satu baris dalam arah garis kerja beban (Gambar 12.3-1).

12.3.5.5 Spasi dalam baris alat pengencang adalah jarak antar alat pengencang di dalam satu baris; dan jarak antar baris alat pengencang adalah jarak antar baris-baris alat pengencang.

12.3.6 Alat pengencang majemuk

Tahanan sambungan yang diberikan dalam butir ini ditentukan dengan menganggap bahwa setiap alat pengencang pada sambungan majemuk memikul beban sama besar,

kecuali bila dikoreksi dengan C_g , untuk memperhitungkan ketidakseragaman gaya yang bekerja pada baut, sekrup kunci, cincin belah, pelat geser, dan alat pengencang sejenis. C_g tidak berlaku untuk paku dan sekrup. Lihat Butir 12.3.3 untuk sambungan eksentris.

12.3.6.1 *Faktor aksi kelompok*. Bila suatu sambungan terdiri dari satu baris alat pengencang atau lebih dengan alat pengencang berupa baut, sekrup kunci, pen, pasak, pelat geser, cincin belah, atau alat pengencang sejenis, maka tahanan sambungan acuan harus dikalikan dengan C_g ,

$$C_g = \frac{1}{n_f} \sum_{i=1}^{n_r} a_i \quad (12.3-1)$$

di mana n_r adalah jumlah total alat pengencang dalam sambungan, n_f adalah jumlah baris alat pengencang dalam sambungan, a_i adalah jumlah alat pengencang efektif pada baris alat pengencang i akibat ketidakseragaman gaya yang bekerja pada suatu baris alat pengencang, bervariasi dari 1 hingga n_i , dan n_i adalah jumlah alat pengencang dengan spasi yang seragam pada baris ke i .

$$a_i = \left[\frac{m(1 - m^{2n_i})}{(1 + R_{E1}m^{n_i})(1 + m) - 1 + m^{2n_i}} \right] \left[\frac{1 + R_{E1}}{1 - m} \right] \quad (12.3-2a)$$

$$m = u - \sqrt{u^2 - 1} \quad (12.3-2b)$$

$$u = 1 + \gamma \frac{s}{2} \left(\frac{1}{(EA)_m} + \frac{1}{(EA)_s} \right) \quad (12.3-2c)$$

γ adalah modulus beban atau modulus gelincir untuk satu alat pengencang. Kecuali bila ada data lain maka nilai γ harus diambil sebagai berikut:

$\gamma = 87,6$ kN/mm untuk cincin belah atau pelat geser berukuran 102 mm,

$\gamma = 70,1$ kN/mm untuk cincin belah berukuran 64 mm atau pelat geser berukuran 67 mm,

$\gamma = 0,246 D^{1.5}$ kN/mm untuk baut, sekrup kunci, pen, atau pasak dalam sambungan kayu-ke-kayu,

$\gamma = 0,369 D^{1.5}$ kN/mm untuk baut, sekrup kunci, pen, atau pasak dalam sambungan kayu-ke-baja.

s adalah spasi dalam baris alat pengencang, jarak pusat-ke-pusat antar alat pengencang di dalam satu baris.

$(EA)_m$ adalah kekakuan aksial, modulus elastisitas lentur rerata komponen struktur utama dikalikan dengan luas bruto penampang utama sebelum dilubangi atau dicoak.

$(EA)_s$ adalah kekakuan aksial, modulus elastisitas lentur rerata komponen struktur utama dikalikan dengan luas bruto penampang utama sebelum dilubangi atau dicoak.

$$R_{EA} = (EA)_{\min} / (EA)_{\max}$$

$(EA)_{\min}$ adalah nilai yang lebih kecil di antara $(EA)_m$ dan $(EA)_s$.

$(EA)_{\max}$ adalah nilai yang lebih besar di antara $(EA)_m$ dan $(EA)_s$.

Jika alat pengencang pada baris-baris yang berdekatan dipasang secara berselang-seling, maka C_g harus dihitung berdasarkan spasi dalam baris alat pengencang pada baris-baris yang berdekatan dan jarak antar baris alat pengencang. Hal-hal berikut ini harus diperhitungkan:

(a) Bila jarak antar baris alat pengencang lebih kecil daripada atau sama dengan seperempat spasi dalam baris alat pengencang dari baris-baris yang berdekatan, maka baris-baris yang berdekatan dianggap sebagai satu baris dengan jumlah baut, n_i , sama dengan jumlah baut pada kedua baris tersebut. Untuk kelompok alat pengencang yang mempunyai jumlah baris yang genap, prinsip ini digunakan untuk setiap pasang baris, sedangkan untuk jumlah baris yang ganjil digunakan kombinasi pasangan-pasangan baris yang menghasilkan nilai terkecil.

(b) Bila jarak antar baris alat pengencang lebih besar daripada seperempat spasi dalam baris alat pengencang pada baris-baris yang berdekatan, maka jumlah baut pada setiap baris, n_i , adalah jumlah baut dalam baris tersebut.

12.4 Paku, pasak, dan sekrup

12.4.1 Umum

12.4.1.1 Ruang Lingkup

Ketentuan berikut ini berlaku untuk perencanaan sambungan yang menggunakan paku dan pasak polos atau pasak berulir serta sekrup. Ketentuan berikut ini harus digunakan untuk perencanaan alat pengencang dan sambungan secara individual. Sebagai alternatif, alat pengencang untuk rakitan yang menggunakan panel struktural harus memenuhi persyaratan pada Butir 13 dan 14.

12.4.1.2 Sifat dan ukuran alat pengencang

Alat pengencang harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang berlaku. Panjang bagian ulir sekrup harus lebih besar atau sama dengan dua pertiga panjang batangnya.

Tahanan sambungan yang menggunakan paku dan pasak harus ditentukan berdasarkan diameter batang alat pengencang, D , dan kuat leleh atau kuat leleh lentur, sebagaimana ditentukan dalam butir ini.

12.4.1.3 Pemasangan

Sekrup harus dipasang dengan cara pemutaran. Paku dan pasak harus dipasang dengan cara dipukul. Paku miring harus dipasang dengan membentuk sudut $\pm 30^\circ$ terhadap komponen struktur dan dimulai pada lokasi sepertiga panjang paku diukur dari tepi komponen struktur yang disambung.

Diameter lubang penuntun untuk paku dan pasak tidak boleh melebihi:

$0,90 D$ untuk $G > 0,60$, dan

$0,75 D$ untuk $G \leq 0,60$

di mana G adalah berat jenis dan D adalah diameter batang paku.

Lubang penuntun untuk sekrup pada komponen struktur kayu harus dibor sebagai berikut:

(a) Lubang penuntun untuk bagian yang tak-berulir dari sekrup harus mempunyai diameter sama dengan:

$1,0 D$ untuk $G > 0,60$, dan

$0,875 D$ untuk $G \leq 0,60$

dan mempunyai kedalaman yang sama dengan panjang bagian tak-berulir.

(b) Lubang penuntun untuk bagian yang berulir dari sekrup harus mempunyai diameter sama dengan:

Untuk tahanan lateral:

$1,0 D_R$ untuk $G > 0,60$, dan

$0,875 D_R$ untuk $G \leq 0,60$

Untuk tahanan cabut:

$0,9 D_R$ untuk $G > 0,60$, dan

$0,7 D_R$ untuk $G \leq 0,60$

dan mempunyai kedalaman yang sama dengan panjang bagian ulir sekrup, di mana G adalah berat jenis kayu dan D_R adalah diameter inti sekrup.

Tahanan cabut tidak boleh diperhitungkan pada sekrup, paku, dan pasak bila ukuran lubang penuntun lebih besar daripada ukuran yang disyaratkan pada butir ini.

12.4.2 Spasi alat pengencang

Spasi minimum untuk paku, pasak, atau sekrup pada suatu sambungan tunggal diatur sebagai berikut:

Spasi dalam satu baris. Pada semua arah garis kerja beban lateral terhadap arah serat kayu, spasi minimum antar alat pengencang dalam suatu baris diambil minimal $10 D$ bila digunakan pelat sisi dari kayu dan minimal $7 D$ untuk pelat sisi dari baja.

Spasi antar baris. Pada semua arah garis kerja beban lateral terhadap arah serat kayu, spasi minimum antar baris adalah $5 D$.

Jarak ujung. Jarak minimum dari ujung komponen struktur ke pusat alat pengencang terdekat diambil sebesar:

Untuk beban tarik lateral:

$15 D$ untuk pelat sisi dari kayu,

$10 D$ untuk pelat sisi dari baja.

Untuk beban tekan lateral:

$10 D$ untuk pelat sisi dari kayu,

$5 D$ untuk pelat sisi dari baja.

Jarak tepi. Jarak minimum dari tepi komponen struktur ke pusat alat pengencang terdekat diambil sebesar:

$5 D$ pada tepi yang tidak dibebani,

$10 D$ pada tepi yang dibebani.

12.4.3 Tahanan terhadap gaya lateral

12.4.3.1 Tahanan lateral acuan: satu irisan

Tahanan lateral acuan dari suatu sambungan yang menggunakan paku baja, pasak, atau sekrup satu irisan yang dibebani secara tegak lurus terhadap sumbu alat pengencang dan dipasang tegak lurus sumbu komponen struktur, diambil sebagai nilai terkecil dari nilai-nilai yang dihitung menggunakan semua persamaan pada Tabel 12.4-1 (a) (untuk paku atau pasak), atau pada Tabel 12.4-1 (b) (untuk sekrup) yang dikalikan dengan jumlah alat pengencang, n_f .

Untuk sambungan dengan pelat sisi dari baja, persamaan untuk moda leleh I_s pada Tabel 12.4-1 (a) dan (b) tidak berlaku, dan tahanan untuk moda tersebut dihitung sebagai tahanan tumpu alat pengencang pada pelat-pelat baja sisi.

Tabel 12.4-1 (a) Tahanan lateral acuan paku dan pasak (Z) untuk satu alat pengencang dengan satu irisan yang menyambung dua komponen

Moda Kelelahan	Persamaan yang berlaku	
I_s	$Z = \frac{3,3 D t_s F_{es}}{K_D}$	(12.4-1)
III_m	$Z = \frac{3,3 k_1 D p F_{em}}{K_D (1 + 2R_e)}$	(12.4-2)
	dengan: $k_1 = (-1) + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}p^2}}$	
III_s	$Z = \frac{3,3 k_2 D t_s F_{em}}{K_D (2 + R_e)}$	(12.4-3)
	dengan: $k_2 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$	
IV	$Z = \frac{3,3 D^2}{K_D} \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$	(12.4-4)

Catatan: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 p = kedalaman penetrasi efektif batang alat pengencang pada komponen pemegang (lihat Gambar 12.4-1),
 $K_D = 2,2$ untuk $D \leq 4,3$ mm,
 $= 0,38 D + 0,56$ untuk $4,3 \text{ mm} < D < 6,4$ mm,
 $= 3,0$ untuk $D \geq 6,4$ mm.

Tabel 12.4-1 (b) Tahanan lateral acuan sekrup (Z) untuk satu sekrup dengan satu irisan yang menyambung dua komponen

Moda Kelelahan	Persamaan yang berlaku	
I _s	$Z = \frac{3,3 D t_s F_{es}}{K_D}$	(12.4-5)
III _s	$Z = \frac{3,3 k_3 D t_s F_{em}}{K_D (2 + R_e)}$	(12.4-6)
	dengan: $k_3 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{F_{yb}(2 + R_e) D^2}{2 F_{em} t_s^2}}$	
IV	$Z = \frac{3,3 D^2}{K_D} \sqrt{\frac{1,75 F_{em} F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$	(12.4-7)

Catatan: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_D = 2,2$ untuk $D \leq 4,3$ mm,
 $= 0,38D + 0,56$ untuk $4,3 \text{ mm} < D < 6,4$ mm,
 $= 3,0$ untuk $D \geq 6,4$ mm.

12.4.3.2 Tahanan lateral acuan: Dua irisan

Untuk titik kumpul sambungan yang terdiri atas tiga komponen sambungan dengan dua irisan, tahanan lateral acuan diambil sebesar dua kali tahanan lateral acuan satu irisan yang terkecil sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 12.4-1 (B) dan (C). Komponen tengah pada titik kumpul tersebut harus lebih tebal dari $6 D$. Jika penetrasi alat pengencang pada komponen pemegang (lihat Gambar 12.4-1) kurang dari $12 D$ untuk paku dan pasak, atau $7 D$ untuk sekrup, maka faktor kedalaman penetrasi, C_d , ditentukan seperti yang disyaratkan pada Butir 12.4.3.3.

12.4.3.3 Tahanan lateral terkoreksi

Tahanan lateral terkoreksi, Z' , dihitung dengan mengalikan tahanan lateral acuan dengan faktor koreksi yang sesuai menurut Butir 7.6 dan 12.1.3. Sebagai tambahan terhadap faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6 dan 12.1.3 tersebut, hal-hal berikut harus dipenuhi:

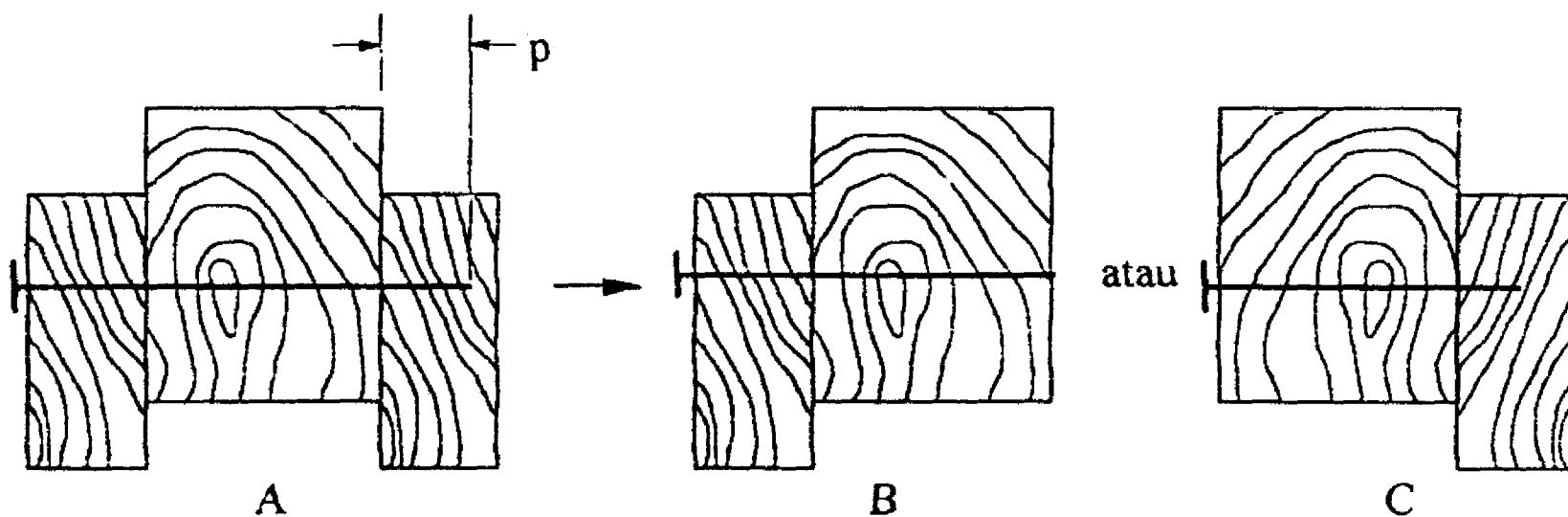
Kedalaman penetrasi: Tahanan lateral acuan dikalikan dengan faktor kedalaman penetrasi, C_d , sebagaimana dinyatakan berikut ini.

Untuk paku dan pasak, penetrasi efektif batang ke dalam komponen pemegang, p , harus lebih besar daripada atau sama dengan $6 D$.

$$\begin{aligned} \text{Untuk } 6 D \leq p < 12 D, \quad C_d &= p/12 D, \\ \text{Untuk } p \geq 12 D, \quad C_d &= 1,0. \end{aligned} \quad (12.4-8)$$

Untuk sekrup, penetrasi efektif batang ke dalam komponen pemegang, p , harus lebih besar daripada atau sama dengan $4 D$.

$$\begin{aligned} \text{Untuk } 4 D \leq p < 7 D, \quad C_d &= p/7 D, \\ \text{Untuk } p \geq 7 D, \quad C_d &= 1,0. \end{aligned} \quad (12.4-9)$$



Gambar 12.4-1 Sambungan paku dua irisan dengan penetrasi sebagian pada komponen pemegang.

Serat ujung: Tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor serat ujung, $C_{eg} = 0,67$, untuk alat pengencang yang ditanamkan ke dalam serat ujung kayu.

Sambungan paku miring: Tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor paku miring, $C_m = 0,83$, untuk sambungan paku miring.

12.4.4 Tahanan terhadap gaya aksial

12.4.4.1 Umum

Tahanan acuan sambungan yang menggunakan paku, pasak, atau sekrup yang dibebani paralel terhadap sumbu alat pengencang diambil sebagai nilai minimum dari:

- Tahanan tarik alat pengencang,
- Tahanan cabut batang.

12.4.4.2 Tahanan tarik alat pengencang

Tahanan tarik paku, pasak, atau sekrup ditentukan sesuai dengan ketentuan *perencanaan yang berlaku* untuk bahan baja, yang didasarkan atas kuat leleh alat pengencang pada penampang intinya. Faktor waktu, λ , harus diambil sama dengan 1,0 untuk tahanan tarik alat pengencang.

12.4.4.3 Tahanan cabut acuan batang

Tahanan cabut tidak boleh diperhitungkan untuk sekrup, paku, atau pasak yang ditanam ke dalam serat ujung kayu.

Tahanan cabut acuan batang pada sambungan dengan paku dan pasak dengan batang polos yang ditanam pada sisi kayu adalah:

$$Z_w = 31,6 DG^{2,5} p n_r \quad (12.4-10)$$

di mana Z_w dalam Newtons (N); G adalah berat jenis komponen pemegang; D adalah diameter paku atau pasak dalam mm; n_r adalah jumlah alat pengencang; dan p adalah panjang penetrasi efektif batang paku atau pasak, mm.

Tahanan cabut batang paku dan pasak yang berulir spiral atau yang berulir cincin ditentukan melalui pengujian atau dihitung menggunakan persamaan (12.4-10) dengan nilai D diambil sebagai diameter batang terkecil.

Tahanan cabut acuan batang sekrup yang ditanam pada serat sisi kayu adalah:

$$Z_w = 65,3 DG^2 p n_r \quad (12.4-11)$$

di mana Z_w dalam Newtons (N); D adalah diameter sekrup nominal, mm; n_r adalah jumlah alat pengencang; dan p adalah panjang bagian ulir sekrup yang tertanam secara efektif dalam komponen utama.

Kedalaman minimum penetrasi efektif batang sekrup kayu ke dalam komponen pemegang harus diambil sebagai nilai terkecil dari 25 mm atau setengah panjang nominal sekrup.

Panjang bagian ulir pada sekrup harus diambil sebagai dua pertiga panjang batang sekrup.

12.4.4.4 Tahanan cabut terkoreksi batang

Tahanan cabut terkoreksi, Z_w' , dihitung dengan mengalikan tahanan acuan dengan faktor koreksi yang berlaku sesuai dengan Butir 7.6 dan 12.1.3. Sebagai tambahan terhadap faktor koreksi pada Butir 7.6 dan 12.1.3, hal berikut juga harus dipenuhi.

Sambungan paku miring: Tahanan cabut acuan batang harus dikalikan dengan faktor paku miring, $C_m = 0,67$, untuk sambungan paku miring.

12.4.4.5 Kombinasi beban aksial dan lateral

Sambungan yang memikul gaya-gaya yang ditimbulkan oleh beban yang membentuk sudut α terhadap permukaan kayu harus direncanakan sedemikian sehingga dipenuhi:

$$\frac{Z_u \cos \alpha}{\lambda \phi_z Z'} + \frac{Z_u \sin \alpha}{\lambda \phi_z Z_w'} \leq 1,0 \quad (12.4-12)$$

di mana α adalah sudut yang dibentuk oleh beban dan permukaan kayu, dalam derajat ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$); Z_u adalah gaya perlu pada sambungan; λ adalah faktor waktu sebagaimana ditentukan pada Tabel 6.3-2; $\phi_z = 0,65$ adalah faktor reduksi tahanan untuk sambungan; Z' adalah tahanan lateral terkoreksi; dan Z_w' adalah tahanan cabut terkoreksi.

12.5 Baut, sekrup kunci, pen, dan pasak

12.5.1 Umum

12.5.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan berikut ini berlaku untuk perencanaan sambungan menggunakan alat pengencang dari jenis pasak baja termasuk baut, sekrup kunci, pen, dan pasak berdiameter $6,3 \text{ mm} \leq D \leq 25 \text{ mm}$.

12.5.1.2 Ukuran dan sifat-sifat alat pengencang

Alat pengencang harus memenuhi persyaratan sesuai dengan tata cara yang berlaku. Diameter baut, sekrup kunci, dan pen, D , adalah diameter nominal.

12.5.2 Pemasangan alat pengencang

12.5.2.1 Lubang penuntun

Ketentuan mengenai lubang penuntun berikut ini berlaku untuk baut, sekrup kunci, pen, atau pasak yang dipasang pada material kayu atau material yang berbahan dasar kayu. Lubang penuntun harus dibuat tegak lurus terhadap permukaan komponen struktur, kecuali bila suatu sudut kemiringan lubang penuntun memang diperhitungkan pada proses perencanaan.

Lubang penuntun harus dibuat dengan seksama. Untuk baut, lubang penuntun tidak boleh lebih besar daripada $D+0,8$ mm bila $D < 12,7$ mm, dan $D+1,6$ mm bila $D \geq 12,7$ mm. Lubang penuntun untuk pen harus dibuat antara D hingga $(D-0,8)$ mm, di mana D adalah diameter pen.

Lubang penuntun untuk sekrup kunci harus dibor dengan cara sebagai berikut:

- (a) Lubang untuk daerah tak berulir harus memiliki diameter yang sama dengan diameter batang tak-berulir dan kedalaman yang sama dengan daerah tak-berulir.
- (b) Lubang penuntun untuk daerah berulir harus memiliki panjang minimum sepanjang batang berulir dari sekrup kunci dan berdiameter sama dengan fraksi diameter batang berulir berikut ini:

$G > 0,60$	$= (0,65) D \text{ hingga } (0,85) D$
$0,50 < G \leq 0,60$	$= (0,60) D \text{ hingga } (0,75) D$
$G \leq 0,50$	$= (0,40) D \text{ hingga } (0,70) D$

di mana G adalah berat jenis kayu dan D adalah diameter batang berulir dari sekrup kunci.

Fraksi yang lebih besar ditiap selang digunakan untuk sekrup kunci dengan diameter yang lebih besar.

Jika diperlukan untuk memudahkan penetrasi sekrup dan mencegah kerusakan sekrup kunci, dapat dioleskan sabun atau pelumas berbahan dasar minyak bumi pada sekrup kunci atau pada lubang penuntun.

12.5.2.2 Ring

Bila baut atau kepala sekrup kunci atau mur menumpu pada material kayu atau material yang berasal dari kayu, maka harus dipasang ring standar, pelat baja, atau jenis ring baja lainnya diantara material kayu tersebut dan kepala baut atau kepala sekrup kunci atau

mur. Diameter luar minimum ring harus 2,5 kali diameter batang baut atau sekrup kunci. Ketebalan minimum ring adalah 3,2 mm.

12.5.3 Spasi alat pengencang

Untuk baut, sekrup kunci, pasak, dan pen, jarak tepi baut yang diperlukan, jarak ujung, dan spasi alat pengencang yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan harus sesuai dengan nilai minimum pada Tabel 12.5-1. Lihat Butir 12.5.4.2 untuk faktor koreksi jarak ujung dan spasi dalam baris alat pengencang.

Spasi tegak lurus arah serat antar alat-alat pengencang terluar dalam suatu sambungan tidak boleh lebih besar daripada 127 mm kecuali bila ada ketentuan mengenai perubahan dimensi kayu.

Tabel 12.5-1 Jarak tepi, jarak ujung, dan persyaratan spasi untuk sambungan dengan baut, sekrup kunci, pen, dan pasak

Beban Sejajar Arah Serat	Ketentuan Dimensi Minimum
Jarak Tepi (b_{opt}) $l_m/D \leq 6$ (lihat Catatan 1) $l_m/D > 6$	$1,5D$ yang terbesar dari $1,5D$ atau $1/2$ jarak antar baris alat pengencang tegak lurus serat
Jarak Ujung (a_{opt}): Komponen Tarik Komponen Tekan	$7D$ $4D$
Spasi (s_{opt}) Spasi dalam baris alat pengencang Jarak antar baris alat pengencang	$4D$ $1,5D < 127$ mm (lihat Catatan 2 dan 3)
Beban Tegaklurus Arah Serat	Ketentuan Dimensi Minimum
Jarak Tepi (b_{opt}) Tepi yang dibebani Tepi yang tidak dibebani	$4D$ $1,5D$
Jarak Ujung (a_{opt})	$4D$
Spasi (s_{opt}) Spasi dalam baris alat pengencang Jarak antar baris alat pengencang:	Lihat Catatan 3
$l_m/D \leq 2$ $2 < l_m/D < 6$ $l_m/D \geq 6$	$2,5D$ (lihat Catatan 3) $(5l_m + 10D)/8$ (lihat Catatan 3) $5D$ (lihat Catatan 3)

Catatan:

1. l_m adalah panjang pasak pada komponen utama pada suatu sambungan atau panjang total pasak pada komponen sekunder pada suatu sambungan.
2. Diperlukan spasi yang lebih besar untuk sambungan yang menggunakan ring.
3. Untuk alat pengencang sejenis pasak, spasi tegak lurus arah serat antar alat-alat pengencang terluar pada suatu sambungan tidak boleh melebihi 127 mm, kecuali bila digunakan pelat penyambung khusus atau bila ada ketentuan mengenai perubahan dimensi kayu.

Untuk alat pengencang yang dipasang secara berselang-seling dan dibebani dalam arah serat, tidak ada ketentuan spasi minimum dalam baris alat pengencang. Namun demikian, untuk baris berikutnya yang berjarak kurang daripada $4D$, berlaku ketentuan luas neto pada Butir 12.3.3.

Untuk alat pengencang yang dipasang secara berselang-seling dan dibebani dalam arah serat, bila spasi dalam baris alat pengencang pada baris berikutnya sama dengan atau lebih besar daripada $4D$, maka tidak ada ketentuan mengenai jarak minimum antar baris alat pengencang. Bila spasi dalam baris alat pengencang pada baris berikutnya kurang daripada $4D$, maka berlaku ketentuan mengenai jarak minimum antar baris alat pengencang seperti tertera dalam Tabel 12.5-1.

12.5.4 Tahanan lateral

12.5.4.1 Tahanan lateral acuan

Tahanan lateral acuan pada bagian ini berlaku untuk sambungan dengan komponen utama yang terbuat dari kayu, baja, beton, atau pasangan batu, dan komponen sekunder yang terdiri dari satu atau dua komponen kayu atau komponen dengan pelat baja sisi.

Tahanan lateral acuan sambungan ditentukan dengan mengambil nilai minimum dari persamaan pada Tabel 12.5-2(a) atau Tabel 12.5-2(b) (untuk pasak atau baut), atau Tabel 12.5-2(c) (untuk sekrup kunci), dikalikan jumlah alat pengencang pada sambungan tersebut, n_r .

Kuat tumpu pasak, F_e , untuk komponen utama yang terbuat dari beton atau pasangan batu diambil sama dengan kuat tumpu pasak untuk komponen sekunder yang terbuat dari kayu; tebal efektif komponen utama dari beton atau pasangan batu harus lebih besar daripada dua kali tebal komponen sekunder kayu. Pengangkuran kedalam komponen utama dari beton atau pasangan batu harus direncanakan sesuai dengan metode baku.

Untuk sambungan dengan pelat baja sisi, persamaan untuk moda leleh I_s pada Tabel 12.5-2(a), (b), atau (c) tidak berlaku. Untuk sambungan dua irisan dengan komponen utama terbuat dari baja, persamaan untuk modus leleh I_m pada Tabel 12.5-2(b) tidak berlaku. Perencanaan komponen utama dari baja dan kuat tumpu alat pengencang harus dilakukan sesuai dengan metode baku.

Tahanan tumpu pasak pada komponen kayu yang memikul gaya dengan sudut θ terhadap arah serat kayu, ditentukan sesuai dengan Butir 12.2.3.

Tabel 12.5-2 (a) Tahanan lateral acuan untuk baut atau pasak (Z) untuk satu alat pengencang dengan satu irisan yang menyambung dua komponen

Moda Kelelahan	Persamaan yang berlaku	
I _m	$Z = \frac{0,83 D t_m F_{em}}{K_\theta}$	(12.5-1)
I _s	$Z = \frac{0,83 D t_s F_{es}}{K_\theta}$	(12.5-2)
II	$Z = \frac{0,93 k_1 D F_{es}}{K_\theta}$	(12.5-3)
III _m	dengan: $k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 R_e^3 - R_e(1 + R_t)}}{(1 + R_e)}$	(12.5-4)
III _s	$Z = \frac{1,04 k_2 D t_m F_{em}}{(1 + 2R_e) K_\theta}$	(12.5-5)
	dengan: $k_2 = (-1) + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}t_m^2}}$	
IV	$Z = \frac{1,04 k_3 D t_s F_{em}}{(2 + R_e) K_\theta}$	(12.5-6)
	dengan: $k_3 = (-1) + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$	
	$Z = \left(\frac{1,04 D^2}{K_\theta} \right) \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 + R_e)}}$	

Catatan: $R_t = t_m/t_s$, $R_e = F_{em}/F_{es}$, $K_\theta = 1 + 0,25(\theta/90^\circ)$

Tabel 12.5-2 (b) Tahanan lateral acuan untuk baut atau pasak (Z) untuk satu alat pengencang dengan dua irisan yang menyambung tiga komponen

Moda Kelelahan	Persamaan yang berlaku	
I _m	$Z = \frac{0,83Dt_m F_{em}}{K_\theta}$	(12.5-7)
I _s	$Z = \frac{1,66Dt_s F_{es}}{K_\theta}$	(12.5-8)
III _s	$Z = \frac{2,08k_3Dt_s F_{em}}{(2 + R_e)K_\theta}$	(12.5-9)
	dengan: $k_3 = (-1) - \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}t_s^2}}$	
IV	$Z = \left(\frac{2,08D^2}{K_\theta} \right) \sqrt{\frac{2F_{em}F_{yb}}{3(1 - R_e)}}$	(12.5-10)

Catatan: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_\theta = 1 + 0,25(\theta/90^\circ)$

Tabel 12.5-2 (c) Tahanan lateral acuan untuk sekrup kunci (Z) untuk satu alat pengencang dengan satu irisan yang menyambung dua komponen

Moda Kelelahan	Persamaan yang berlaku	
I _s	$Z = \frac{0,83Dt_s F_{es}}{K_\theta}$	(12.5-11)
III _s	$Z = \frac{1,19k_4Dt_s F_{em}}{(2 + R_e)K_\theta}$	(12.5-12)
	dengan: $k_4 = (-1) - \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{F_{yb}(2 + R_e)D^2}{2F_{em}t_s^2}}$	
IV	$Z = \left(\frac{1,11D^2}{K_\theta} \right) \sqrt{\frac{1,75F_{em}F_{yb}}{3(1 - R_e)}}$	(12.5-13)

Catatan: $R_e = F_{em}/F_{es}$
 $K_\theta = 1 + 0,25(\theta/90^\circ)$

12.5.4.2 Tahanan lateral terkoreksi

Tahanan lateral terkoreksi, Z' , dihitung dengan mengalikan tahanan lateral acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6 dan 12.1.3. Selain itu, hal-hal berikut ini harus dipenuhi.

Geometri: Tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor geometri, C_d , di mana C_d adalah nilai terkecil dari faktor-faktor geometri yang dipersyaratkan untuk jarak ujung atau spasi dalam baris alat pengencang.

Jarak ujung: Bila jarak ujung yang diukur dari pusat alat pengencang, a , lebih besar atau sama dengan a_{opt} pada Tabel 12.5-1, maka $C_d = 1,0$.

$$\text{Bila } a_{opt}/2 \leq a < a_{opt} \text{ maka } C_d = a/a_{opt} \quad (12.4-14)$$

Spasi dalam baris alat pengencang: Bila spasi dalam baris alat pengencang, s , lebih besar atau sama dengan s_{opt} pada Tabel 12.5-1, maka $C_d = 1,0$.

$$\text{Bila } 3D \leq s < s_{opt} \text{ maka } C_d = s/s_{opt} \quad (12.4-15)$$

Kedalaman Penetrasi: Kedalaman penetrasi aktual dari batang sekrup kunci kedalam komponen pemegang dikurangi bagian ujung sekrup kunci, harus lebih besar atau sama dengan $4D$. Tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor kedalaman penetrasi, C_d , berikut ini.

$$\text{Untuk } 4D \leq p < 8D \quad C_d = p/8D \quad (12.4-16)$$

$$\text{Untuk } p \geq 8D \quad C_d = 1,0$$

Serat ujung: Tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor serat ujung, $C_{eg} = 0,67$, untuk sekrup kunci yang dipasang pada serat ujung kayu.

12.5.5 Tahanan tarik aksial

12.5.5.1 Umum

Tahanan acuan dari sambungan yang menggunakan sekrup kunci atau baut yang memikul beban dalam arah sejajar dengan sumbu alat pengencang harus diambil sebagai

nilai minimum dari (a) tahanan tarik alat pengencang, (b) tahanan cabut alat pengencang, atau (c) tahanan tumpu ring atau jepitan ujung sejenis.

12.5.5.2 Tahanan tarik alat pengencang

Tahanan tarik alat pengencang pasak dan sejenisnya ditentukan menggunakan metode baku, berdasarkan kuat leleh pada penampang intinya. Faktor waktu, λ , diambil 1,0 pada perhitungan ini.

12.5.5.3 Tahanan cabut acuan

Kedalaman penetrasi efektif dari bagian yang berulir pada sekrup kunci, p , adalah kedalaman penetrasi aktual dari batang sekrup kunci ke dalam komponen pemegang dikurangi panjang bagian ujung sekrup kunci. Nilai minimum dari p adalah 25 mm atau setengah panjang bagian yang berulir.

Tahanan cabut acuan sekrup kunci yang ditanam tegak lurus arah serat tepi adalah:

$$Z_w = 92,6 D^{0,75} G^{1,5} p n_r \quad (12.4-17)$$

di mana Z_w dinyatakan dalam Newton (N), D adalah diameter batang sekrup kunci (mm), G adalah berat jenis kayu, p adalah kedalaman penetrasi efektif pada bagian yang berulir dari sekrup kunci (mm), dan n_r adalah jumlah alat pengencang.

12.5.5.4 Tahanan cabut terkoreksi

Tahanan cabut terkoreksi, Z_w' , dihitung dengan mengalikan tahanan cabut acuan dengan faktor-faktor koreksi pada Butir 7.6 dan 12.1.3. Selain itu, hal berikut harus dipenuhi:

Serat ujung: Tahanan acuan harus dikalikan faktor serat ujung, $C_{eg} = 0,75$, untuk sekrup kunci yang ditanam pada serat ujung.

12.5.5.5 Tahanan tumpu pada ring

Tahanan tumpu pada ring atau pelat ditetapkan sesuai dengan ketentuan pada Butir 9.5.

12.5.6 Kombinasi a

12.5.7 ksial dan lateral

Tahanan terkoreksi dari sekrup kunci yang memikul beban dengan sudut α terhadap permukaan kayu, dihitung sebagai berikut:

$$Z'_\alpha = \frac{Z' Z'_w}{Z' \sin^2 \alpha + Z'_w \cos^2 \alpha} \quad (12.5-18)$$

di mana α adalah sudut antara garis kerja beban dan permukaan kayu, dalam derajat ($0^\circ < \alpha < 90^\circ$), Z' adalah tahanan lateral terkoreksi, dan Z'_w adalah tahanan cabut terkoreksi.

12.6 Pelat geser dan cincin belah

12.6.1 Umum

12.6.1.1 Ruang Lingkup

Ketentuan berikut ini berlaku untuk perencanaan sambungan kayu-ke-kayu atau kayu-ke-baja menggunakan pelat geser atau cincin belah yang komponen terdekatnya disambungkan dengan baut atau sekrup kunci dan memikul gaya geser. Gaya-gaya lainnya yang tidak berada dalam bidang geser akan menyebabkan reduksi tahanan lateral secara sangat signifikan sehingga harus dihindarkan.

Untuk sambungan yang meliputi beberapa jenis kayu, tahanan acuan harus dihitung berdasarkan jenis kayu yang terlemah.

12.6.1.2 Unit penyambung

Untuk tujuan perhitungan tahanan lateral acuan, satu unit penyambung harus terdiri dari salah satu di antara yang berikut:

- (a) satu cincin belah dengan baut atau sekrup kunci dalam satu irisan,
- (b) dua pelat geser yang disusun secara berimpit dalam permukaan kontak sambungan kayu-ke-kayu dengan baut atau sekrup-sekrup kunci dalam satu irisan, atau
- (c) satu pelat geser dengan baut atau sekrup kunci dalam satu irisan dengan pelat baja sisi dalam sambungan kayu-ke-baja.

Setiap baut harus disertai mur dan ring seperti ditentukan dalam Butir 12.5.2.2. Bila digunakan pelat baja atau pelat strip dengan tebal minimum 3,2 mm pada sisi sebelah luar maka tidak harus digunakan ring, kecuali jika dimaksudkan untuk memperpanjang baut atau sekrup kunci agar pelat baja tersebut tidak secara langsung menumpu pada bagian ulir dari baut atau sekrup kunci yang digunakan bersamaan dengan pelat geser.

12.6.1.3 Sifat penyambung dan pemasangannya

Penyambung harus memenuhi persyaratan sesuai dengan tata cara yang berlaku. Tahanan acuan yang diberikan pada Butir 12.6 hanya berlaku bagi sambungan yang menggunakan cincin belah atau pelat geser yang memenuhi syarat pada material kayu atau material berbahan dasar kayu yang dicoak. Coakan harus dipotong dengan baik hingga lebar yang sesuai dengan spesifikasi penyambung, dan penyambung harus ditempatkan sehingga menghasilkan tahanan tumpu maksimum dalam komponen struktur disekitarnya.

12.6.2 Jarak antar penyambung

Jarak-jarak antara, yaitu A_{opt} , B_{opt} , dan s_{opt} (optimum), jarak ujung, a_{opt} dan jarak tepi b_{opt} yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan harus sesuai dengan Tabel 12.6-1, 12.6-2 dan 12.6-3. Lihat Butir 12.6.3 mengenai faktor koreksi untuk jarak ujung dan jarak tepi, dan untuk jarak antara yang lebih kecil dari jarak antara optimum.

Bila ujung komponen struktur tidak dipotong tegak lurus terhadap panjangnya, jarak ujung yang didefinisikan pada Butir 12.3.6.2 tidak boleh lebih kecil dari jarak ujung yang diperlukan untuk komponen struktur yang dipotong menyiku. Jarak tegak lurus dari pusat penyambung ke sisi potongan miring dari suatu komponen struktur tidak boleh lebih kecil dari jarak tepi yang diperlukan.

12.6.3 Tahanan terhadap gaya lateral

12.6.3.1 *Tahanan lateral acuan pada serat sisi.* Tahanan lateral acuan penyambung cincin belah atau sambungan pelat geser yang ditanam pada serat sisi komponen struktur yang dibebani sejajar serat, $Z_{//}$, atau tegak lurus serat, Z_{\perp} , sama dengan tahanan lateral acuan penyambung tunggal dikalikan dengan jumlah penyambung.

12.6.3.2 *Tahanan lateral terkoreksi pada serat sisi.* Tahanan lateral terkoreksi sejajar serat, $Z'_{//}$, atau tegak lurus serat, Z'_{\perp} , dihitung dengan cara mengalikan tahanan acuan

dengan faktor-faktor koreksi yang ditetapkan pada Butir 7.6 dan 12.1.3. Selain itu, hal-hal berikut harus dipenuhi:

Pelat baja sisi. Bila pelat baja sisi digunakan pada sambungan yang memiliki pelat geser berukuran 102 mm dan memikul gaya yang sejajar dengan arah serat maka tahanan lateral acuan boleh dikalikan dengan faktor pelat baja sisi, C_{st} .

Kedalaman penetrasi. Jika digunakan sekrup kunci dengan cincin belah atau pelat geser, maka penetrasi aktual dari ulir dan batang sekrup kunci kedalam komponen pemegang, dikurangi panjang ujung sekrup kunci, harus memenuhi $p \geq 4D$. Bila $p \geq 8D$ maka $C_d = 1,0$. Jika $4D \leq p < 8D$, maka tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor kedalaman penetrasi sebesar $C_d = p/8D$.

Geometri. Tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan faktor geometri, C_{Δ} , di mana C_{Δ} adalah nilai yang terkecil dari faktor-faktor geometri untuk jarak tepi, jarak ujung, dan spasi. Nilai terkecil dari C_{Δ} untuk penyambung cincin belah atau pelat geser dalam kelompok alat penyambung berlaku untuk semua penyambung cincin belah atau pelat geser dalam kelompok tersebut.

Jarak tepi. Tabel 12.6-1 memberikan jarak tepi, b_{opt} , yang diperlukan untuk mengembangkan nilai tahanan lateral acuan, dan nilai jarak tepi minimum, b_{min} , yang diizinkan untuk mendapatkan tahanan tereduksi untuk cincin belah atau pelat geser yang dipasang pada serat sisi komponen struktur yang dibebani sejajar atau tegak lurus serat. Untuk sambungan yang dibebani antara 45° dan 90° terhadap arah serat, maka berlaku b_{opt} untuk beban tegak lurus serat. Untuk sudut pembebanan $0^\circ < \theta < 45^\circ$ terhadap serat, maka jarak tepi terbebani yang diperlukan untuk tahanan acuan adalah,

$$b_{opt \theta} = \left(\frac{45^\circ - \theta}{45^\circ} \right) (b_{opt \perp} - b_{min \perp}) + b_{min \perp} \quad (12.6-2)$$

Jika jarak tepi terbebani adalah $b_{min \perp} \leq b < b_{opt \perp}$, maka tahanan lateral acuan sambungan tegak lurus serat yang terkait dengan b_{opt} harus dikalikan dengan:

$$C_{\Delta} = 0,17 \left(\frac{b - b_{min \perp}}{b_{opt \perp} - b_{min \perp}} \right) + 0,83 \quad (12.6-3)$$

Bila sebuah komponen struktur memikul gaya yang membentuk sudut yang besarnya bukan 0° atau 90° terhadap serat maka tahanan acuan sambungan untuk arah sejajar dan tegak lurus serat, $Z_{||}$ dan Z_{\perp} , harus dikalikan dengan C_{Δ} .

Jarak ujung. Jarak ujung, a_{opt} , yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan, dan jarak ujung minimum yang diizinkan, a_{min} , untuk mengembangkan tahanan tereduksi pada penyambung cincin belah atau pelat geser yang dibebani sejajar atau tegak lurus serat diberikan pada Tabel 12.6-2. Bila garis kerja beban membuat sudut $0^\circ < \theta < 90^\circ$ terhadap arah serat maka a_{opt} dan a_{min} ditetapkan sebagai berikut:

$$a_{min\theta} = \frac{\theta}{90^\circ} (a_{min\perp} - a_{min\parallel}) + a_{min\parallel} \quad (12.6-4)$$

$$a_{opt\theta} = \frac{\theta}{90^\circ} (a_{opt\perp} - a_{opt\parallel}) + a_{opt\parallel} \quad (12.6-5)$$

Tabel 12.6-1 Jarak tepi untuk sambungan dengan cincin belah dan pelat geser

		Jarak tepi minimum untuk pembebanan ¹ , mm			
		Sejajar serat	Tegak lurus serat		
			Tepi tanpa beban	Tepi dengan beban	Tepi dengan beban
Penyambung	Diameter baut (mm)	$(b_{min\parallel} = b_{opt\parallel})$	$(b_{min\perp} = b_{opt\perp})$	$(b_{min\perp})$	$(b_{opt\perp})$
Pelat geser 67 mm	19	44	44	44	70
Pelat geser 100 mm	19 atau 22	70	70	70	95
Cincin belah 64 mm	13	44	44	44	70
Cincin belah 100 mm	19	70	70	70	95

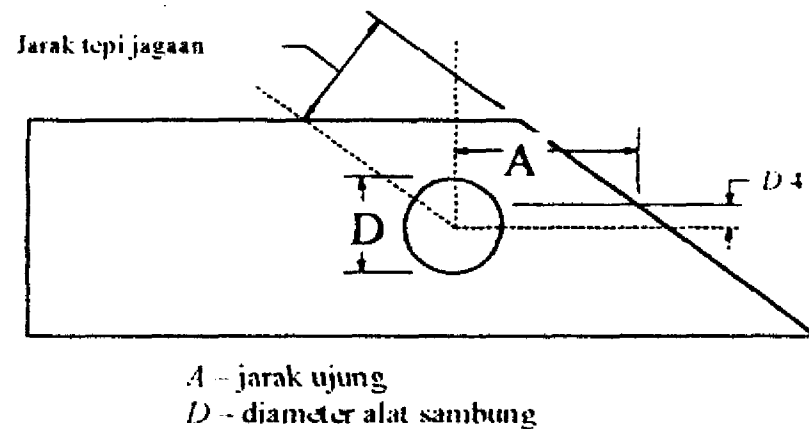
¹ b_{opt} adalah jarak minimum yang dibutuhkan untuk mengembangkan tahanan acuan; b_{min} adalah jarak minimum yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan tereduksi (lihat Butir 12.6.2).

Bila jarak ujung adalah $a_{min} \leq a < a_{opt}$, maka tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan

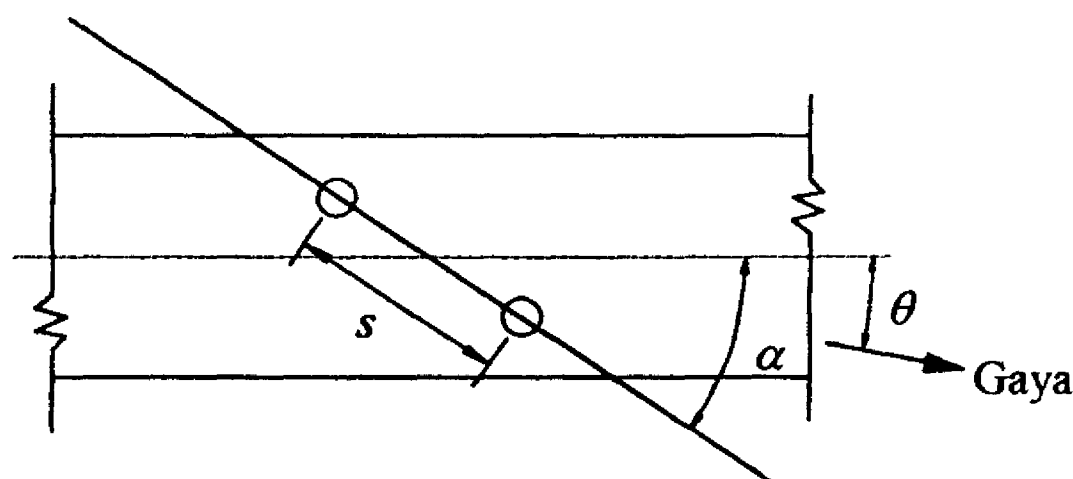
$$C_{\Delta} = 0,375 \left(\frac{a - a_{min}}{a_{opt} - a_{min}} \right) + 0,625 \quad (12.6-6)$$

Bila ujung komponen struktur tidak dipotong menyiku, jarak ujung harus diambil sebagai jarak minimum dari sebarang titik pada paruh tengah diameter penyambung yang digambarkan tegak lurus ke sumbu komponen struktur, ke titik terdekat pada ujung komponen struktur diukur sejajar sumbu komponen struktur (lihat Gambar 12.6-1).

Spasi. Spasi sejajar serat, A_{opt} , dan spasi tegak lurus serat, B_{opt} , yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan diberikan pada Tabel 12.6-3 untuk sudut tertentu dari garis kerja beban terhadap arah serat, θ (Gambar 12.6-2). Untuk sudut-sudut lainnya diantara yang diberikan pada Tabel 12.6-3 nilai A_{opt} dan B_{opt} ditentukan dengan interpolasi linier. Spasi minimum yang diizinkan, A_{min} dan B_{min} , masing-masing sama dengan $A_{opt}/2$ dan $B_{opt}/2$.



Gambar 12.6-1 Jarak ujung pada komponen struktur yang dipotong miring.



Gambar 12.6-2 α adalah sudut sumbu penyambung terhadap serat, dan θ adalah sudut garis kerja beban terhadap serat.

Bila garis yang menghubungkan pusat penyambung yang berdekatan membentuk sudut $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ terhadap arah serat (Gambar 12.6-1), maka spasi yang diperlukan untuk tahanan acuan adalah,

$$s_{opt} = \frac{A_{opt} B_{opt}}{\sqrt{A_{opt}^2 \sin^2 \alpha + B_{opt}^2 \cos^2 \alpha}} \quad (12.6-7)$$

di mana s_{opt} adalah spasi yang diperlukan sepanjang sumbu alat penyambung, α adalah sudut antar sumbu penyambung terhadap arah serat (derajat), dan A_{opt} serta B_{opt} adalah parameter yang diambil dari Tabel 12.6-3.

Spasi minimum yang diizinkan, s_{min} , pada sambungan dengan α adalah $s_{opt}/2$. Jika spasi diantara penyambung cincin geser atau pelat geser adalah $s_{min} \leq s < s_{opt}$, maka tahanan lateral acuan harus dikalikan dengan,

$$C_{\Delta} = 0,5 \left(\frac{s - s_{min}}{s_{opt} - s_{min}} \right) + 0,5 \quad (12.6-8)$$

Tahanan lateral terkoreksi, Z_{θ}' , suatu sambungan dengan pelat geser atau cincin belah yang dibebani dengan sudut θ terhadap arah serat adalah,

Tabel 12.6-2 Jarak ujung untuk sambungan dengan cincin belah dan pelat geser

Diameter cincin belah (mm)	Diameter pelat geser (mm)	Jarak ujung*	Tarik (mm)	Tekan (mm)
Garis kerja beban sejajar arah serat				
64	67	$a_{opt }$	133	100
64	67	$a_{min }$	70	64
100	100	$a_{opt }$	178	140
100	100	$a_{min }$	89	83
Garis kerja beban tegak lurus arah serat				
64	67	$a_{opt\perp}$	140	140
64	67	$a_{min\perp}$	70	70
100	100	$a_{opt\perp}$	178	178
100	100	$a_{min\perp}$	89	89

* a_{opt} adalah jarak minimum yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan
 a_{min} adalah jarak minimum yang diizinkan untuk mengembangkan tahanan tereduksi (lihat Butir 12.6.2).

Tabel 12.6-3 Spasi penyambung

Jenis dan ukuran penyambung	Sudut garis kerja beban terhadap serat	A_{opt}^1 (mm)	B_{opt}^2 (mm)
Cincin belah 64 mm atau pelat geser 67 mm	0	170	89
	15	150	95
	30	130	98
	45	108	105
	60-90	89	108
Cincin belah 100 mm atau pelat geser 100 mm	0	229	127
	15	203	133
	30	178	140
	45	152	146
	60-90	127	152
1	A_{opt} adalah spasi minimum yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan; $A_{min} = A_{opt} / 2$ adalah spasi minimum yang diizinkan untuk mengembangkan tahanan tereduksi (lihat Butir 12.6.2).		
2	B_{opt} adalah spasi minimum yang diperlukan untuk mengembangkan tahanan acuan; $B_{min} = B_{opt} / 2$ adalah spasi minimum yang diizinkan untuk mengembangkan tahanan tereduksi (lihat Butir 12.6.2).		

$$Z'_\theta = \frac{Z'_\parallel Z'_\perp}{Z'_\parallel \sin^2 \theta + Z'_\perp \cos^2 \theta} \quad (12.6-9)$$

di mana Z'_\parallel , Z'_\perp adalah tahanan terkoreksi sambungan untuk beban sejajar dan tegak lurus arah serat, dan θ adalah sudut yang dibentuk garis kerja gaya terhadap arah serat (derajat).

12.6.3.3 Tahanan acuan pada serat ujung. Pelat geser atau cincin belah yang ditanam pada serat ujung dari suatu komponen struktur harus direncanakan sesuai dengan metode baku.

13 Panel struktural

13.1 Ruang lingkup

Ketentuan dalam butir ini berlaku untuk kayu lapis, papan berserat, dan panel komposit.

13.2 Syarat-syarat perencanaan

Syarat-syarat perencanaan yang ditetapkan pada butir-butir yang lain dalam tata cara ini tetap berlaku untuk panel-panel struktural, kecuali bila ditentukan lain pada butir ini.

13.2.1 Kondisi acuan

Kondisi acuan yang ditetapkan pada Butir 7.5 berlaku untuk panel struktural dengan beberapa pengecualian sebagai berikut:

- a) Nilai tahanan acuan berlaku pada kondisi temperatur $\leq 38^{\circ}\text{C}$ secara menerus. Panel struktural tidak diperkenankan berada pada temperatur di atas 93°C kecuali untuk waktu yang sangat pendek. Untuk kondisi temperatur yang menerus antara 38°C dan 93°C maka harus diberlakukan faktor koreksi temperatur;
- b) Kekuatan, kekakuan, dan nilai tahanan acuan berlaku untuk panel dengan lebar ≥ 600 mm. Untuk panel dengan lebar yang lebih kecil harus dipenuhi faktor koreksi lebar, C_w , yang ditetapkan pada Butir 7.6.4.

13.2.2 Spesifikasi panel struktural

Spesifikasi panel struktural harus meliputi ketentuan bentang, ketebalan nominal, tingkat ekspose, dan kelasnya.

13.3 Tahanan acuan

13.3.1 Kekakuan dan tahanan acuan terkoreksi

Kekakuan dan tahanan acuan terkoreksi panel harus digunakan dalam perencanaan panel-panel struktural. Nilai kekakuan dan tahanan acuan, yang menunjukkan produk bahan yang digunakan dan sifat penampang, ditentukan melalui percobaan yang dilakukan sesuai dengan tata cara yang berlaku.

Karena sifat ortotropik panel maka nilai tahanan acuan harus diberikan untuk arah sumbu kuat dan arah sumbu lemah dalam bentuk tabulasi. Nilai tabulasi yang sesuai harus digunakan untuk masing-masing arah pada perencanaan panel struktural. Bila gaya yang bekerja membentuk sudut terhadap arah utama panel maka tahanan panel pada sudut

tersebut harus dihitung dengan prinsip-prinsip mekanika rekayasa dengan menggunakan nilai tabulasi untuk kedua arah utama.

13.3.2 Kuat acuan dan sifat elastisitas

Bila diperlukan, kuat acuan dan parameter elastisitas pada semua arah harus dihitung dari tahanan acuan terfaktor dan kekakuan berdasarkan nilai tabulasi.

13.4 Sifat penampang rencana

13.4.1 Ketebalan rencana

Ketebalan nominal harus digunakan dalam perhitungan perencanaan. Hubungan antara ketentuan bentang dan ketebalan nominal dapat diberikan sesuai dengan perhitungan kapasitas rencana penampang.

13.4.2 Sifat penampang rencana

Sifat penampang rencana harus dihitung berdasarkan ketentuan bentang atau ketebalan rencana dan dinyatakan berdasarkan per meter lebar panel.

13.5 Perencanaan

13.5.1 Prosedur yang berlaku

Prosedur perencanaan yang diberikan pada tata cara ini berlaku untuk perencanaan panel-panel struktural kecuali bila ada catatan khusus dalam butir ini.

13.5.2 Lentur dalam arah lebar

Kapasitas lentur panel-panel struktural harus diperiksa terhadap tahanan lentur, tahanan geser, dan batasan lendutan. Tahanan geser pada bidang panel harus digunakan dalam memeriksa keadaan batas geser untuk panel yang terlentur dalam arah lebar. Persamaan balok yang sesuai harus digunakan dengan ukuran bentang rencana yang ditentukan berikut ini untuk masing-masing kondisi batas:

- a) Momen lentur — jarak antar sumbu tumpuan,
- b) Geser — bentang bersih,
- c) Lendutan — bentang bersih ditambah setengah tebal nominal panel.

13.5.3 Tarik pada bidang panel

Ketentuan pada Butir 8 berlaku untuk perencanaan tarik aksial pada panel struktural dengan ketentuan tambahan sebagai berikut. Bila panel struktural dibebani tarik aksial maka arah dari sumbu kuat utama panel terhadap arah garis kerja beban harus ditinjau dalam menentukan tahanan tarik panel struktural.

13.5.4 Tekan pada bidang panel

Ketentuan pada Butir 9 berlaku untuk perencanaan tekan aksial pada panel struktural dengan ketentuan tambahan sebagai berikut:

- a) Bila panel struktural dibebani tekan aksial maka tahanan tekan panel harus dihitung dengan meninjau arah dari sumbu kuat utama panel terhadap arah garis kerja beban;
- b) Panel struktural harus direncanakan untuk mencegah gejala tekuk.

13.5.5 Geser pada bidang panel

Geser pada bidang panel harus digunakan sebagai tahanan geser rencana bila gaya yang bekerja berarah sejajar dengan bidang panel struktural.

14 Dinding geser dan diafragma

14.1 Umum

14.1.1 Ruang lingkup

Ketentuan perencanaan pada butir ini berlaku untuk panel struktural, dinding geser dari papan berpenutup (diafragma vertikal), dan diafragma horizontal yang berfungsi sebagai bagian dari sistem pemikul beban lateral.

14.2 Perencanaan dinding geser dan diafragma

Dinding geser dan diafragma direncanakan sedemikian sehingga:

$$D_u \leq \lambda \phi_z D' \quad (14.2-1)$$

dengan D_u adalah gaya per satuan panjang yang bekerja pada diafragma akibat beban-beban terfaktor, $\lambda = 1,0$ untuk beban-beban lateral (lihat Tabel 6.3-2), $\phi_z = 0,65$ adalah faktor tahanan dinding geser, D' adalah tahanan terkoreksi per satuan panjang dinding geser atau diafragma.

Tahanan terkoreksi ditentukan menggunakan faktor-faktor koreksi yang sesuai dan telah dikaji pada Butir 7.6 dan pada butir ini.

14.2.1 Prinsip perencanaan

Dinding geser dan diafragma direncanakan berdasarkan analogi balok atau menggunakan analisis struktur yang telah baku. Perencanaan harus meliputi peninjauan terhadap penutup, rangka, alat pengencang, metode penyambungan, elemen batas dan sambungannya, penyokong, dan semua sambungan yang diperlukan.

Ketentuan mengenai gaya-gaya yang disalurkan ke sistem tumpuan yang tidak diatur dalam tata cara ini harus sesuai dengan ketentuan tata cara bangunan yang berlaku.

14.2.1.1 Dinding geser dan diafragma berserta bagian-bagiannya harus dianalisis sebagai balok tinggi yang tipis dengan penutupnya berfungsi sebagai pemikul geser pada bidang penutup (seperti pelat badan pada balok) dan elemen batasnya berfungsi sebagai pemikul gaya-gaya aksial (seperti pelat sayap pada balok). Elemen batas harus diadakan di sekeliling dinding geser atau diafragma, pada bukaan dalam, semua bagian yang tak kontinu, dan pada sudut-sudutnya, kecuali dapat ditunjukkan dalam analisis bahwa hal tersebut tidak diperlukan. Perencanaan harus dilakukan sedemikian sehingga gaya-gaya yang bekerja pada elemen batas pada bukaan-dalam dan pada bagian tak kontinu dapat terdisipasi ke bagian badan dari dinding geser atau diafragma.

14.3 Tahanan perlu

Tahanan perlu dinding geser atau diafragma ditentukan oleh beban-beban lateral terfaktor. Beban-beban lateral yang ditinjau meliputi beban angin dan beban gempa yang bekerja pada kedua sumbu utama bangunan yang saling tegak lurus dan diatur lebih jauh pada tata cara bangunan lainnya yang berlaku.

14.4 Tahanan acuan

14.4.1 Tahanan geser dalam bidang

Tahanan geser acuan dalam bidang, D , ditentukan menggunakan nilai tabel yang telah disahkan atau menggunakan prinsip mekanika rekayasa yang telah baku. Bila tahanan geser ditentukan menggunakan prinsip mekanika rekayasa maka tahanan panel struktural berpenutup harus ditinjau sesuai dengan ketentuan pada Butir 13 tata cara ini.

14.4.1.1 *Tahanan geser terkoreksi dalam bidang*: Tahanan geser terkoreksi dalam bidang, D' , dihitung sesuai dengan Butir 7.6, Butir 12.1.3, dan Butir 12.4.3.3. Sebagai tambahan dari faktor-faktor koreksi yang disebutkan terdahulu, berlaku hal berikut ini:

Faktor Diafragma: Tahanan diafragma yang dihitung harus dikalikan dengan faktor diafragma $C_{di} = 1,1$ untuk diafragma yang dipaku sesuai dengan ketentuan butir ini.

14.4.2 Tahanan elemen batas

Tahanan acuan elemen batas pada dinding geser dan diafragma, termasuk penggantung, dan penyokong beserta sambungannya, ditentukan sesuai dengan ketentuan pada Butir 6 sampai dengan Butir 13 dari tata cara ini.

14.4.3 Penyaluran beban geser pada elemen batas dinding geser dan diafragma

Tahanan acuan alat pengencang pada elemen batas di sekeliling dan pada bukaan-dalam dinding geser dan diafragma ditentukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada Butir 14.4.1 atau Butir 12.

14.5 Ketentuan lain-lain

Dinding geser dan diafragma juga harus diperiksa terhadap persyaratan keadaan batas layan sesuai dengan ketentuan pada Butir 15.

15 Tinjauan kemampuan layan

15.1 Ketentuan umum

Perencana harus melakukan peninjauan terhadap keadaan batas layan yang meliputi antara lain lendutan jangka pendek, getaran, rangkak, perubahan dimensi, dan pengaruh waktu lainnya. Bila ada keadaan batas layan lainnya yang tidak tercantum dalam bab ini namun merupakan kriteria perencanaan yang penting maka hal ini harus juga diperhitungkan. Kemampuan layan harus diperiksa tanpa menggunakan faktor beban. Lendutan akibat beban-beban harus dibatasi sedemikian sehingga tidak menimbulkan kerusakan pada elemen-elemen struktural atau non-struktural yang terkait. Keadaan batas layan ditentukan oleh tata cara lain yang berlaku.

15.2 Bahan dan kekakuan komponen struktur

Modulus elastisitas lentur yang digunakan dalam menghitung lendutan komponen struktur, rangka, dan komponen lainnya, diambil sebagai nilai rerata terkoreksi, E_w' .

15.3 Batasan lendutan

Disamping akibat deformasi komponen struktur, lendutan dapat terjadi karena pergeseran pada sambungan-sambungan. Untuk membatasi perubahan-perubahan bentuk struktur bangunan secara berlebihan, sehingga pergeseran masing-masing komponen struktur terjadi sekecil mungkin.

Lendutan struktur bangunan akibat berat sendiri dan muatan tetap dibatasi sebagai berikut :

- Untuk balok-balok pada struktur bangunan yang terlindung, lendutan maksimum, $f_{max} \leq 1/300 l$.
- Untuk balok-balok pada struktur bangunan yang tidak terlindung, lendutan maksimum $f_{max} \leq 1/400 l$.
- Untuk balok-balok pada konstruksi kuda-kuda, antara lain gording dan kasau, lendutan maksimum, $f_{max} \leq 1/200 l$.
- Untuk struktur rangka batang yang tidak terlindung, lendutan maksimum, $f_{max} \leq 1/700 l$

Yang mana l adalah panjang bentang bersih..

Lampiran A
(Informatif)
Daftar notasi

1 kuat acuan

- E_w adalah modulus elastisitas lentur, *MPa*
 F_b adalah kuat lentur, *MPa*
 F_c adalah kuat tekan sejajar serat, *MPa*
 $F_{c\perp}$ adalah kuat tekan tegak lurus serat, *MPa*
 F_t adalah kuat tarik sejajar serat, *MPa*
 $F_{t\perp}$ adalah kuat tarik tegak lurus serat, *MPa*
 F_v adalah kuat geser, *MPa*
 G adalah berat jenis kayu
 m adalah kadar air, %
 ρ adalah kerapatan kayu dalam kondisi basah, *kg/m³*

2 ketentuan umum

- D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap
 E adalah beban gempa, yang ditentukan menurut SNI 03-1726-1989, atau penggantinya
 L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk pengaruh kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain
 H adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan oleh genangan air
 L_s adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak
 W adalah beban angin

3 syarat-syarat perencanaan

- C_c adalah faktor kelengkungan kayu laminasi struktural, untuk memperhitungkan pengaruh kelengkungan terhadap tahanan lentur
 C_{cs} adalah faktor penampang kritis untuk pancang kayu bulat

C_{di} adalah faktor diafragma, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan paku-paku yang digunakan pada struktur diafragma sesuai dengan Butir 12

C_d adalah faktor penetrasi, untuk memperhitungkan reduksi penetrasi alat pengencang sesuai dengan Butir 10

C_{eg} adalah faktor serat-ujung, untuk memperhitungkan reduksi tahanan alat pengencang yang dipasang pada serat-ujung sesuai dengan Butir 10

C_{fu} adalah faktor penggunaan datar, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan lentur komponen struktur kayu yang digunakan secara datar

C_g adalah faktor aksi kelompok, untuk memperhitungkan pembebanan yang tidak merata dari baris alat pengencang majemuk sesuai dengan Butir 10

C_G adalah faktor mutu, untuk panel dengan sifat fisik yang berbeda dari mutu acuan yang digunakan untuk menetapkan nilai tahanannya. Faktor mutu ini juga berlaku untuk panel dengan susunan lapisan yang nilai tahanannya tidak tercatat

C_H adalah faktor tegangan geser, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan geser pada komponen struktur kayu dengan sedikit cacat kayu

C_i adalah faktor-faktor koreksi

C_I adalah faktor interaksi tegangan, untuk memperhitungkan peningkatan tegangan pada permukaan yang diiris miring dari kayu laminasi struktural

C_M adalah faktor layan basah, untuk memperhitungkan kadar air masa layan yang lebih tinggi daripada 19% untuk kayu masif dan 16% untuk produk kayu yang dilem

C_{rt} adalah faktor tahan api, untuk memperhitungkan pengaruh perlakuan tahan api terhadap produk-produk kayu dan sambungan. Nilai faktor koreksi ditetapkan berdasarkan spesifikasi pemasok, ketentuan, atau standar yang berlaku

C_t adalah faktor temperatur, untuk memperhitungkan temperatur layan lebih tinggi daripada 38°C secara berkelanjutan

C_{pt} adalah faktor pengawetan kayu, untuk memperhitungkan pengaruh pengawetan terhadap produk-produk kayu dan sambungan. Nilai faktor koreksi ditetapkan berdasarkan spesifikasi pemasok, ketentuan, atau standar yang berlaku

C_{st} adalah faktor pelat baja sisi, untuk sambungan geser dengan pelat baja sisi berukuran 100 mm sesuai dengan Butir 10

C_m adalah faktor paku-miring, untuk sambungan paku sesuai dengan Butir 10

C_T adalah faktor kekakuan tekuk, untuk memperhitungkan peningkatan kekakuan rangka batang kayu berpenutup

C_v adalah faktor pengaruh volume kayu laminasi struktural yang dibebani tegak lurus sisi lebar lapis, untuk memperhitungkan pengaruh volume komponen struktur terhadap tahanan lentur

C_w adalah faktor lebar, untuk memperhitungkan peningkatan tahanan panel pada komponen struktur dengan lebar yang kecil

C_{sp} adalah faktor pancang tunggal untuk pancang kayu bulat

C_u adalah faktor koreksi untuk pancang kayu bulat yang tidak diberi perlakuan khusus

C_d adalah faktor geometri, untuk memperhitungkan geometri sambungan yang tidak lazim sesuai dengan Butir 10

R' adalah tahanan terkoreksi

R adalah tahanan acuan

4 komponen struktur tarik

A_n adalah luas neto

F'_t adalah kuat tarik sejajar serat terkoreksi

T' adalah tahanan tarik terkoreksi

T_u adalah gaya tarik akibat beban-beban terfaktor

λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 4.3-2)

ϕ_t adalah faktor tahanan tarik sejajar serat = 0,80

5 komponen struktur tekan dan tumpu

A adalah luas bruto, mm²

A_n adalah luas tumpu neto

d_1 adalah dimensi kolom tunggal pada arah sumbu bebas bahan pada kolom berspasi

d_2 adalah dimensi kolom tunggal pada arah sumbu bahan pada kolom berspasi

E_{05}' adalah nilai modulus elastis lentur terkoreksi pada persentil ke lima, MPa

F_c^* adalah kuat tekan terkoreksi sejajar serat (setelah dikalikan semua faktor koreksi kecuali, C_P), N

F_g' adalah kuat tumpu ujung terkoreksi

l_1 adalah panjang total dalam bidang sumbu bebas bahan

- l_2 adalah panjang total dalam bidang sumbu bahan
- l_3 adalah jarak yang terbesar dari pusat alat sambung pada klos tumpuan ke pusat klos berikutnya
- l_{ce} adalah jarak dari pusat alat sambung pada klos tumpuan ke ujung kolom yang terdekat
- P' adalah tahanan tekan terkoreksi.
- P_e adalah tahanan tekuk kritis (Euler) pada arah yang ditinjau, N
- P_g' adalah tahanan tekan tumpu terkoreksi
- P_o' adalah tahanan tekan aksial terkoreksi sejajar serat pada kelangsingan kolom sama dengan nol, N
- P_u adalah gaya tekani akibat beban terfaktor
- ϕ_c adalah faktor tahanan tekan = 0,90
- ϕ_s adalah faktor tahanan stabilitas = 0,85
- λ adalah faktor waktu (lihat Tabel 4.3-2)
- ϕ_c adalah faktor tahanan tekan sejajar serat

€ komponen struktur lentur, momen dan geser

- b adalah lebar balok
- $C_b = 1,0$ untuk kantilever tak-terkekang dan untuk balok atau segmen balok yang tak-terkekang dengan momen terbesar tidak terletak di ujung segmen tak-terkekang
- C_L adalah faktor stabilitas balok, sama dengan 1,0
- d adalah tinggi penampang balok (ukuran sisi yang lebih besar)
- d_c adalah tinggi penampang di tengah bentang, mm
- d_e adalah tinggi penampang di ujung bentang, mm
- d_{eb} adalah tinggi efektif
- d_o/R_m adalah perbandingan antara tinggi penampang di tengah bentang terhadap radius tengah-tinggi komponen struktur
- D, E, F adalah faktor-faktor tak berdimensi yang diperoleh dari Tabel 8.6.2.2-3
- E_w' adalah modulus elastisitas lentur rerata terkoreksi, MPa
- E_{y05}' adalah nilai modulus elastisitas lentur terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu lemah (y-y) pada nilai persentil kelima
- F_b' adalah kuat lentur terkoreksi, MPa

F_{bx}'	adalah kuat lentur terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu kuat (x-x)
F_{by}'	adalah kuat lentur terkoreksi untuk lentur terhadap sumbu lemah (y-y)
F_v'	adalah kuat geser horisontal terkoreksi
F_r'	adalah kuat radial terkoreksi
F_{tv}'	adalah kuat torsi terkoreksi
G'	adalah modulus geser terkoreksi (diambil sebesar $E_{y05}'/16$ untuk penampang masif dan kayu laminasi struktural)
H_r	adalah tinggi pelengkung bagian atap, mm
H_w	adalah tinggi pelengkung bagian samping, mm
I_y	adalah momen inersia terhadap sumbu lemah
I	adalah momen inersia balok untuk arah gaya geser yang ditinjau
J	adalah konstanta torsi
l_e	adalah panjang efektif ekuivalen
L/L_c	adalah perbandingan antara panjang total komponen struktur terhadap panjang bagian komponen struktur yang melengkung
l	adalah bentang bersih antar perletakan sendi, mm
l_u	adalah panjang balok tak-terkekang
K_{sr}	adalah faktor tegangan radial
K_{sh}	adalah faktor tegangan lentur
L	adalah panjang bentang, mm
M'	adalah tahanan lentur terkoreksi
M_u	adalah momen terfaktor
M_{tu}	adalah momen torsi terfaktor
M_t'	adalah tahanan torsi terkoreksi
$M'=M_x'$	adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu kuat (x-x)
$M'=M_y'$	adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu lemah (y-y)
M_e	adalah momen tekuk lateral elastis
M_x^*	adalah tahanan lentur terhadap sumbu kuat (x-x)
M_1/M_2	adalah perbandingan antara momen ujung yang terkecil, M_1 , terhadap momen ujung yang lebih besar, M_2
Q	adalah momen statis penampang terhadap sumbu netral
R_r	adalah jari-jari kelengkungan pada sisi dalam balok melengkung
R_m	adalah jari-jari kelengkungan pada setengah-tinggi balok melengkung

R_m	adalah jari-jari kelengkungan komponen struktur di tengah-tinggi penampang, mm
S_x	adalah modulus penampang untuk lentur terhadap sumbu kuat (x-x)
S_y	adalah modulus penampang untuk lentur terhadap sumbu lemah (y-y)
t	adalah tebal pelapisan
V_u	adalah gaya geser terfaktor
V'	adalah tahanan geser terkoreksi
w	adalah beban kerja terdistribusi merata, dinyatakan dalam N/mm ²
α_s	adalah sudut dalam antara sumbu-sumbu bagian pelengkung yang lurus, derajat
α_T	adalah kemiringan permukaan atas, derajat
α_B	adalah kemiringan permukaan bawah di ujung, derajat
α_m	adalah defleksi di puncak, mm
$\phi_b = 0,85$	adalah faktor tahanan lentur
$\phi_v = 0,75$	adalah faktor tahanan geser
$\phi_v = 0,75$	adalah faktor tahanan torsi
$\phi_s = 0,85$	adalah faktor tahanan stabilitas

7 kombinasi beban lentur dan aksial pada komponen struktur

e_b	adalah eksentrisitas beban yang bekerja pada konsol pendek, yaitu jarak horisontal dari titik kerja beban ke titik pusat penampang kolom, mm
E'_{05}	adalah nilai modulus elastisitas lentur terkoreksi pada persentil kelima, MPa
K_M	adalah 0,624 untuk kayu yang dikeringkan sedemikian sehingga nilai kadar airnya lebih rendah dari 19 % ketika dilakukan pemasangan penutup
l_{br}	adalah jarak dari ujung bawah kolom tak terkekang atau bagian tak terkekang kolom sampai sisi bagian atas konsol pendek, mm
l_e	adalah panjang efektif tak terkekang yang digunakan pada perencanaan batang tekan, mm
l_u	adalah panjang kolom tak terkekang untuk arah tekuk yang sesuai dengan arah momen pada konsol pendek, mm
M_{bx}, M_{by}	adalah momen terfaktor dari beban-beban yang tidak menimbulkan goyangan yang dihitung menggunakan analisis orde pertama, masing-masing terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y), N-mm

M_e	adalah momen tekuk lateral elastis pada Butir 8.2.5, N-mm
M_{mx}, M_{my}	adalah momen terfaktor, termasuk pengaruh orde ke dua, masing-masing terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y), N-mm
M'_s	adalah M'_x yang dihitung menggunakan faktor stabilitas balok
M_{sx}, M_{sy}	adalah momen terfaktor dari beban-beban yang menimbulkan goyangan yang dihitung menggunakan analisis orde pertama, N-mm
M_{ux}, M_{uy}	adalah momen lentur terfaktor terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y), N-mm
M'_x, M'_y	adalah tahanan lentur terkoreksi terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y), dengan memperhatikan pengekang lateral yang ada, N-mm
P'	adalah tahanan tekan terkoreksi untuk tekuk terhadap sumbu lemah apabila beban yang bekerja adalah gaya tekan murni, N
P_{ex}, P_{ey}	adalah tahanan tekuk kritis terhadap sumbu kuat (x-x) dan sumbu lemah (y-y)
T_u	adalah gaya tarik terfaktor, N
$\sum P_u$	adalah jumlah gaya aksial tekan terfaktor akibat gravitasi untuk seluruh kolom pada satu tingkat yang ditinjau,
$\sum P_{ex}, \sum P_{ey}$	adalah jumlah tahanan tekuk kritis kolom bergoyang pada satu tingkat yang ditinjau, dengan seluruh kolom bergerak searah goyangan dan melenturkan komponen struktur terhadap sumbu kuat untuk $\sum P_{ex}$ atau terhadap sumbu lemah untuk $\sum P_{ey}$

8 sambungan mekanis

A_{opt}, B_{opt}	adalah parameter yang diambil dari Tabel 10.6-3
D	adalah diameter batang paku
D_R	adalah diameter inti sekrup
$F_{e\parallel}, F_{e\perp}$	adalah kuat tumpu pasak sejajar dan tegak lurus serat kayu
G	adalah berat jenis kayu
n_f	adalah jumlah alat pengencang
p	adalah panjang penetrasi efektif batang paku, mm.

p	adalah kedalaman penetrasi efektif pada bagian yang berulir dari sekrup kunci (mm)
s	adalah spasi dalam baris alat pengencang, jarak pusat-ke-pusat antar alat pengencang di dalam satu baris
s_{min}	adalah spasi minimum yang diizinkan
s_{opt}	adalah spasi yang diperlukan sepanjang sumbu penyambung
Z'	adalah tahanan terkoreksi sambungan
Z_u	adalah gaya perlu pada sambungan
Z_w	adalah tahanan cabut dalam Newtons (N)
Z_w'	adalah tahanan cabut terkoreksi
Z_{θ}'	adalah tahanan lateral terkoreksi
$(EA)_m$	adalah kekakuan aksial, modulus elastisitas lentur rerata komponen struktur utama dikalikan dengan luas bruto penampang utama sebelum dilubangi atau dicoak
$(EA)_s$	adalah kekakuan aksial, modulus elastisitas lentur rerata komponen struktur sekunder dikalikan dengan jumlah luas bruto penampang komponen struktur sekunder sebelum dilubangi atau dicoak
$(EA)_{min}$	adalah nilai yang lebih kecil dari $(EA)_m$ atau $(EA)_s$
$(EA)_{max}$	adalah nilai yang lebih besar dari $(EA)_m$ atau $(EA)_s$
α	adalah sudut antar sumbu penyambung terhadap arah serat (derajat)
θ	adalah sudut antara garis kerja gaya dan arah serat kayu
$\phi_z = 0,65$	adalah faktor tahanan sambungan

9 dinding geser dan diafragma

D'	adalah tahanan terkoreksi per satuan panjang dinding geser atau diafragma
D_u	adalah gaya per satuan panjang yang bekerja pada diafragma akibat beban-beban terfaktor

10 tinjauan kemampuan layan

E_w'	adalah nilai modulus elastis lentur rerata terkoreksi
--------	---

Lampiran B

Faktor-faktor koreksi

1. Umum

Pada lampiran ini ditetapkan nilai faktor-faktor koreksi yang harus digunakan untuk menghitung nilai tahanan terkoreksi. Penggunaan faktor koreksi ditetapkan di dalam Butir 5.6 dan dirangkum di dalam Tabel 5.6-1.

Nilai faktor koreksi yang berbeda dari yang ditetapkan di dalam lampiran ini boleh digunakan bila dapat dibuktikan kebenarannya secara rasional berdasarkan prinsip-prinsip mekanika.

2. Faktor-faktor koreksi untuk masa layan

2.1 Faktor koreksi layan basah, C_M

Tabel 1 Faktor Koreksi Layan Basah, C_M

	F_b	F_t	F_v	F_c	F_c	E
Balok kayu	0,85*	1,00	0,97	0,67	0,8**	0,90
Balok kayu besar (125 mm x 125 mm atau lebih besar)	1,00	1,00	1,00	0,67	0,91	1,00
Lantai papan kayu	0,85*	-	-	0,67	-	0,90
Glulam (kayu laminasi struktural)	0,80	0,80	0,87	0,53	0,73	0,83

*Untuk $(F_b)/(C_F) \leq 8$ MPa, $C_M = 1,0$

**Untuk $(F_c)/(C_F) \leq 5$ MPa, $C_M = 1,0$

2.2 Faktor koreksi temperatur, C_t

Tabel 2 Faktor Koreksi Temperatur, C_t

Kondisi Acuan	Kadar air pada masa layan*	C_t		
		$T \leq 38^\circ\text{C}$	$38^\circ\text{C} < T \leq 52^\circ\text{C}$	$52^\circ\text{C} < T \leq 65^\circ\text{C}$
F_t, E	Basah atau kering	1,0	0,9	0,9
$F_b, F_c, F_v, F_{c\Box}$	Kering	1,0	0,8	0,7
	Basah	1,0	0,7	0,5

Kondisi layan basah dan kering untuk kayu gergajian dan glulam (kayu laminasi struktural) ditetapkan di dalam Butir 5.5.

3. Faktor-faktor koreksi tambahan untuk batang kayu struktural dan glulam (kayu lapis struktural yang dilem)

3.1 Faktor koreksi tegangan geser, C_H

Tabel 3 Faktor koreksi tegangan geser, C_H

Panjang <i>split</i> di muka lebar batang kayu yang berukuran 50 mm (nominal)	C_H	Panjang <i>split</i> di muka lebar batang kayu yang berukuran 75 mm atau lebih (nominal)	C_H	Ukuran <i>shake</i> pada batang kayu yang tebalnya 50 mm atau lebih (nominal)	C_H
tidak ada <i>split</i>	2,00	tidak ada <i>split</i>	2,00	tidak ada <i>shake</i>	2,00
0,5 x muka lebar	1,67	0,5 x muka lebar	1,67	1/6 x muka lebar	1,67
0,75 x muka lebar	1,50	0,75 x muka lebar	1,50	1/4 x muka lebar	1,50
1 x muka lebar	1,33	1 x muka lebar	1,33	1/3 x muka lebar	1,33
1,5 x muka lebar	1,00	1,5 x muka lebar	1,00	1/2 x muka lebar	1,00

3.2 Faktor koreksi pengaruh volume kayu, C_V

Faktor koreksi pengaruh volume kayu untuk kayu laminasi struktural yang dibebani tegak lurus sisi lebar lapisan ditetapkan menggunakan persamaan

$$C_V = K_L C_{gb} C_{gd} C_{gl} \leq 1,0$$

$$C_{gb} = \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^p, C_{gd} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^q, C_{gl} = \left(\frac{l_1}{l_2} \right)^r$$

Keterangan:

K_L adalah koefisien kondisi pembebanan (lihat Tabel 4)

b_2 adalah lebar komponen struktur lentur (mm).

d_1 = 305 mm

d_2 = tinggi komponen struktur (mm)

l_1 = 6400 mm

b_1 = 130 mm

l_2 = panjang komponen struktur lentur di antara titik-titik dengan momen nol (mm)

p, q, r = 0,05

Tabel 4 Faktor koreksi pengaruh volume kayu, C_v

Balok berbentang tunggal	K_L
Beban terpusat di tengah bentang	1,09
Beban terdistribusi terbagi rata	1,00
Dua beban terpusat sama besar di titik 1/3 bentang	0,96
Balok kantilever atau balok menerus	K_L
Semua kondisi pembebanan	1,00

3.3 Faktor koreksi penggunaan datar, C_u

Untuk batang kayu masif faktor C_u ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Faktor penggunaan datar, C_u , untuk kayu masif

Lebar	Tebal	
	50 mm dan 75 mm	100 mm
50 mm dan 75 mm	1,00	-
100 mm	1,10	1,00
125 mm	1,10	1,05
150 mm	1,15	1,05
200 mm	1,15	1,05
250 mm dan lebih	1,20	1,10
Papan	1,10 (untuk tebal 50 mm) 1,04 (untuk tebal 75 mm)	1,00

Untuk kayu laminasi struktural faktor koreksi C_u ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Faktor koreksi penggunaan datar, C_u , untuk glulam (kayu laminasi struktural)

Dimensi sejajar muka lebar lapisan	C_u
270 mm atau 265 mm	1,01
220 mm atau 215 mm	1,04
170 mm	1,07
130 mm atau 125 mm	1,10
80 mm atau 75 mm	1,16
65 mm	1,19

4. Faktor-faktor Koreksi Tambahan untuk Panel Struktural

4.1 Faktor koreksi lebar, C_w

- Untuk $150 \text{ mm} \leq b < 610 \text{ mm}$, $C_w = (310 + b)/920$
- Untuk $b \geq 610 \text{ mm}$, $C_w = 1$, yang mana b adalah lebar panel (mm).

4.2 Faktor koreksi mutu dan konstruksi, C_G (lihat Tabel 7)

5. Faktor-faktor koreksi tambahan untuk tiang dan pancang kayu

5.1 Faktor pancang tunggal untuk pancang kayu bundar, C_{sp}

Untuk perencanaan pancang kayu bundar tunggal, harus digunakan faktor reduksi pancang tunggal.

Tabel 8 Faktor koreksi pancang tunggal untuk pancang kayu bundar, C_{sp}

Kondisi acuan	C_{sp}	
	Kelompok Pancang	Pancang Tunggal
F_b	1,0	0,77
F_c	1,0	0,80

Tabel 7 Faktor koreksi mutu dan konstruksi, $C_G^{(a)}$

Sumbu kuat/ lemah	Mutu	M	EI	V_s	V_v	G_M	T	P	EA
Kayu lapis 3 lapisan									
Sumbu kuat	A	1,0	1,1	1,4	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0
	Lainnya	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Sumbu lemah	A	1,3	1,5	5,2	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0
	Lainnya	1,0	1,0	2,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Kayu lapis 4 lapisan									
Sumbu kuat	A	1,1	1,1	1,4	1,7	1,7	1,0	1,5	1,0
	Lainnya	1,1	1,1	1,0	1,3	1,3	1,0	1,5	1,0
Sumbu lemah	A	1,7	3,3	7,9	1,7	1,7	1,0	1,5	1,0
	Lainnya	1,2	2,2	3,9	1,3	1,3	1,0	1,5	1,0

Tabel 7 (lanjutan)

Sumbu kuat/ lemah	Mutu	M	EI	V_s	V_v	G_s	T	P	EA
Kayu lapis 5 lapisan									
Sumbu kuat	A	1,2	1,1	1,6	2,0	1,7	1,3	1,5	1,0
	Lainnya	1,2	1,1	1,1	1,5	1,5	1,3	1,5	1,0
Sumbu lemah	A	2,8	5,2	1,4	2,0	1,7	1,3	1,5	1,0
	Lainnya	1,8	3,1	1,0	1,5	1,5	1,3	1,5	1,0
Papan berserat (<i>Oriented Strand Board, OSB</i>)									
Sumbu kuat	A	1,2	1,0	1,0	2,9	3,1	1,0	1,0	1,0
	Lainnya	1,2	1,0	1,0	2,9	3,1	1,0	1,0	1,0
Sumbu lemah	A	2,8	5,2	1,0	2,9	3,1	1,3	1,0	1,0
	Lainnya	1,8	3,1	1,0	2,9	3,1	1,3	1,0	1,0
Panel komposit (<i>Com-Ply</i>)									
Sumbu kuat	A	1,2	1,1	1,0	1,7	1,7	1,0	1,0	1,0
	Lainnya	1,2	1,1	1,0	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0
Sumbu lemah	A	1,7	3,3	1,0	1,7	1,7	1,0	1,0	1,0
	Lainnya	1,2	2,2	1,0	1,3	1,3	1,0	1,0	1,0

(*) M = tahanan momen, EI = kekakuan lentur, V_s = tahanan geser bidang (*rolling*), V_v = tahanan geser melalui tebal, G_s = kekakuan geser, T = tahanan puntir, P = tahanan tekan, dan EA = kekakuan aksial.

5.2 Faktor koreksi untuk pancang kayu bundar yang tidak diberi perlakuan khusus, C_u

Untuk tiang dan pancang kayu yang kering udara sebelum diberi perlakuan khusus atau tidak diberi perlakuan khusus sama sekali faktor koreksinya adalah C_u ; lihat Tabel 9.

Tabel 9 Faktor koreksi untuk pancang kayu bundar yang tidak diberi perlakuan khusus, C_u

C_u	
Kekuatan	Kekakuan
1,11	1,0

6. Faktor-faktor koreksi tambahan untuk sambungan struktural**6.1 Faktor koreksi pelat baja sisi, C_{st}**

Faktor pelat baja sisi pada sambungan geser dengan pelat baja sisi berukuran 100 mm ditetapkan berdasarkan berat jenis dasar; lihat Tabel 10.

Tabel 10 Faktor koreksi pelat baja sisi, C_{st}

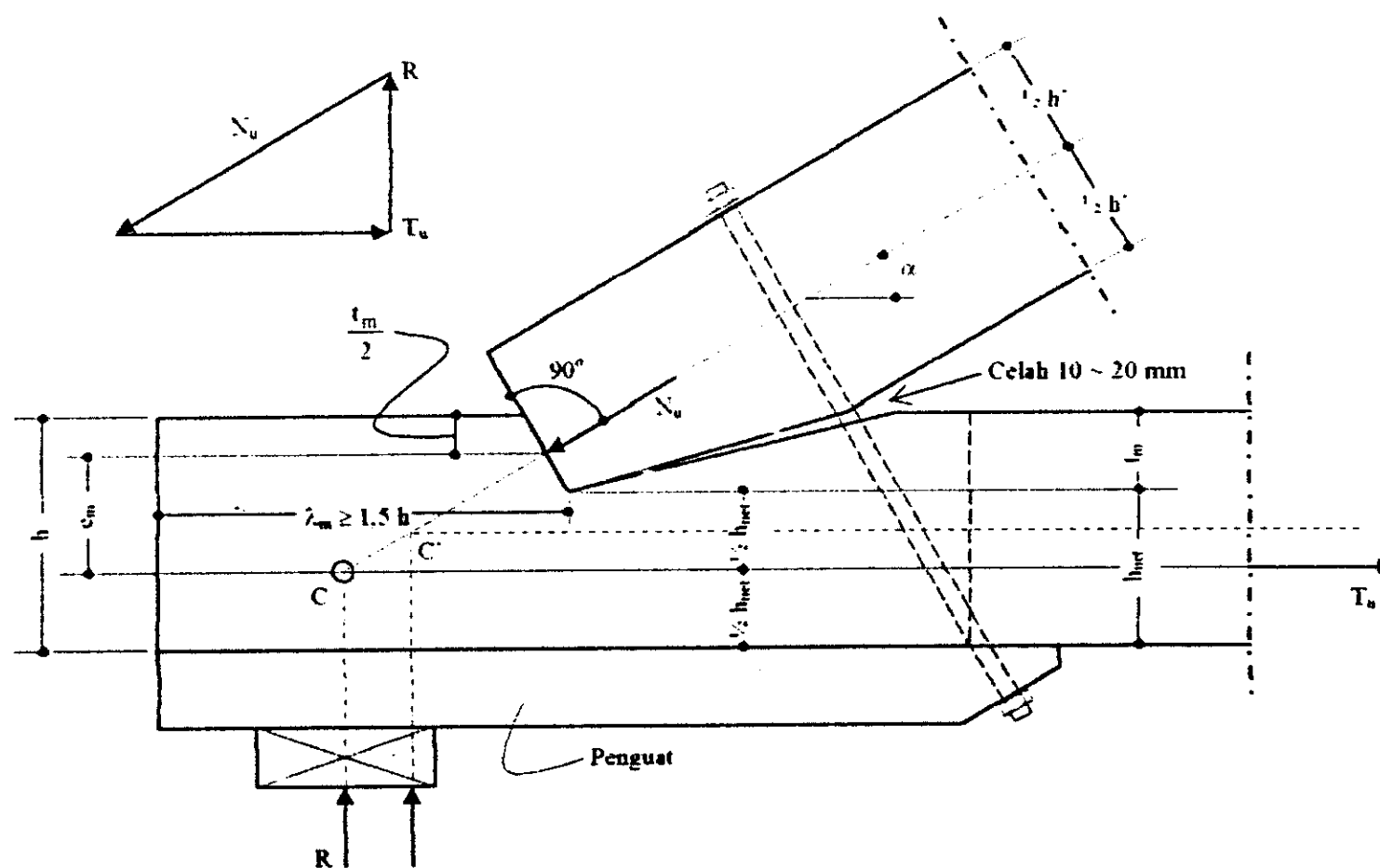
Berat jenis dasar	C_{st}
$\geq 0,90$	1,05
$< 0,90$	1,00

Lampiran C

Sambungan Gigi

Pada sambungan gigi gesekan antara kayu dengan kayu di dalam perhitungan harus diabaikan. Disamping itu, ketentuan berikut ini harus dipenuhi untuk sambungan gigi tunggal dan sambungan gigi majemuk.

- 1 Pada sambungan gigi tunggal, dalamnya gigi, t_m , tidak boleh melebihi sesuatu batas, yaitu (lihat Gambar C1) $t_m \leq 1/3 h$, yang mana h adalah tinggi komponen struktur mendatar. Panjang kayu muka l_m harus memenuhi $l_m \geq 1,5 h$, tetapi juga $l_m \geq 200$ mm.



Gambar C1 Sambungan gigi tunggal

Tahanan geser pada bagian kayu muka dapat dihitung sebagai berikut,

$$N_u \cos \alpha \leq \lambda \phi_v \frac{l_m b F_v'}{1 + 0,25 \frac{l_m}{e_m}}$$

yang mana

N_u adalah gaya tekan terfaktor,

α adalah sudut antara komponen struktur diagonal terhadap komponen struktur mendatar,

ϕ_v adalah faktor tahanan pada Tabel 4.3-1,

λ adalah faktor waktu pada Tabel 4.3-2,

l_m adalah panjang kayu muka,

b adalah lebar komponen struktur mendatar,

F_v' adalah kuat geser sejajar serat terkoreksi,

e_m adalah eksentrisitas pada penampang neto akibat adanya coakan sambungan.

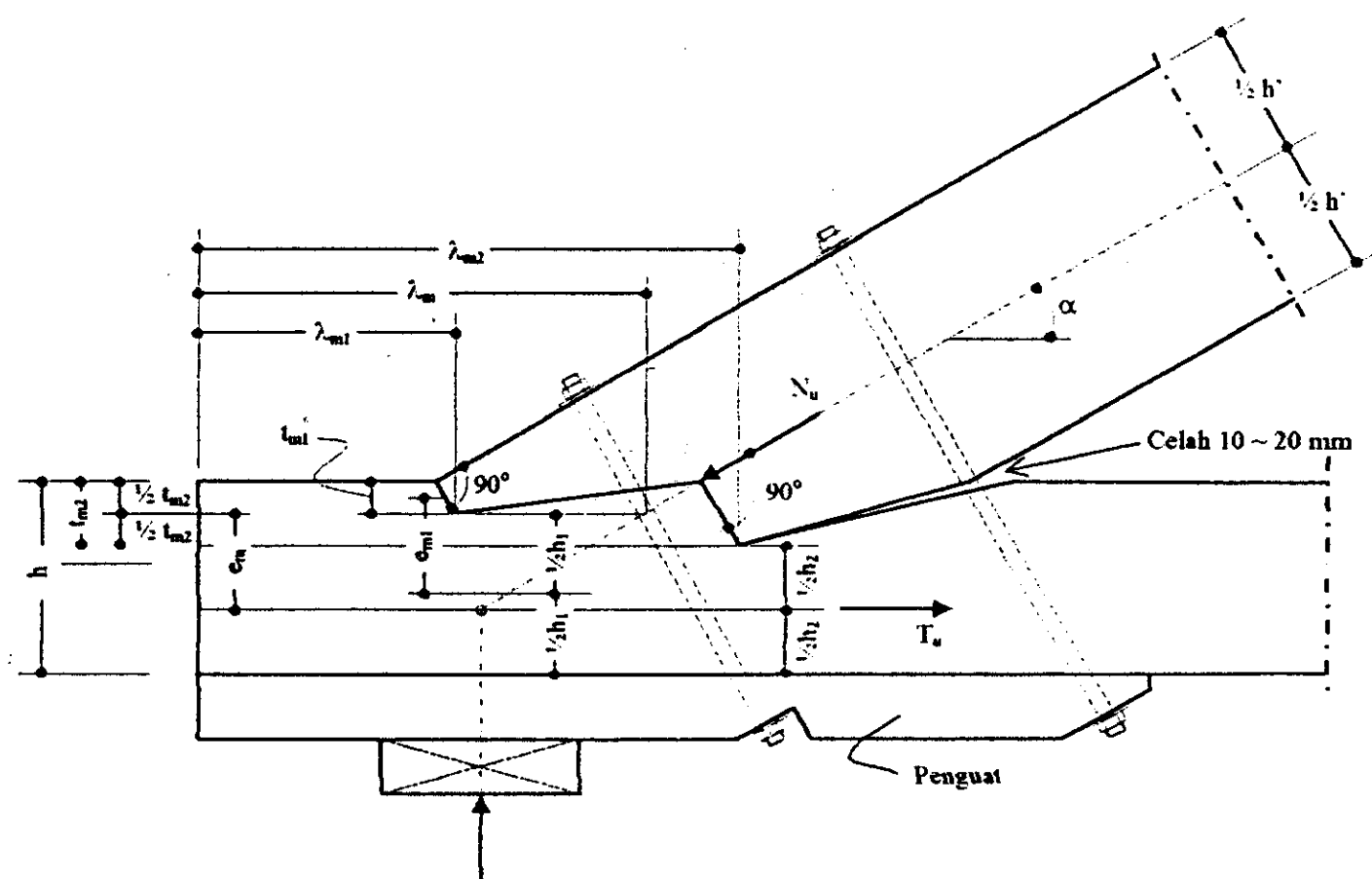
2 Pada sambungan gigi majemuk, terdapat dua gigi dan dua panjang muka yang masing-masing diatur sebagai berikut (lihat Gambar C2),

dalamnya gigi pertama, $t_{m1} \geq 30 \text{ mm}$

dalamnya gigi kedua, $t_{m2} \geq t_{m1} + 20 \text{ mm}$, namun $t_{m2} \leq 1/3 h$

panjang kayu muka pertama, $l_{m1} \geq 200 \text{ mm}$ dan $l_{m1} \geq 4 t_{m1}$

yang mana h adalah tinggi komponen struktur mendatar.



Gambar C2 Sambungan gigi majemuk.

Tahanan geser pada bagian kayu muka yang pertama dihitung sebagai berikut,

$$1,25 N_u \cos \alpha \frac{F_{m1}}{F_{m1} + F_{m2}} \leq \lambda \phi_v \frac{l_{m1} b F'_v}{1 + 0,25 \frac{l_{m1}}{e_{m1}}}$$

dan, tahanan geser pada bagian kayu muka yang kedua dihitung berikut ini,

$$N_u \cos \alpha \leq \lambda \phi_v \frac{l_{m2} b F'_v}{1 + 0,25 \frac{l_{m2}}{e_{m2}}}$$

- N_u adalah gaya tekan terfaktor,
- α adalah sudut antara komponen struktur diagonal terhadap komponen struktur mendatar,
- ϕ_v adalah faktor tahanan pada Tabel 4.3-1,
- λ adalah faktor waktu pada Tabel 4.3-2,
- l_m adalah panjang kayu muka rerata,
- l_{m1} adalah panjang kayu muka yang pertama,
- l_{m2} adalah panjang kayu muka yang kedua,
- e_m adalah eksentrisitas rerata pada penampang netto akibat adanya coakan sambungan,
- e_{m1} adalah eksentrisitas bagian kayu muka pertama pada penampang netto akibat adanya coakan sambungan,
- F_{m1} adalah luas bidang tumpu bagian kayu yang pertama,
- F_{m2} adalah luas bidang tumpu bagian kayu yang kedua,
- b adalah lebar komponen struktur mendatar,
- F'_v adalah kuat geser sejajar serat terkoreksi.

Sambungan gigi majemuk hanya dianjurkan digunakan bila $\alpha \geq 45^\circ$.