

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Pengertian *Space frame*

Space frame adalah sistem konstruksi berupa komposisi dari batang – batang yang masing – masing berdiri sendiri, memikul gaya tekan dan gaya tarik yang sentris dan dikaitkan satu sama lain dengan sistem ke ruang atau tiga dimensi (siswoyo, 2008).

Space Frame adalah sistem struktur yang tergabung dari elemen liner, yang tersusun sehingga beban akan dikirimkan dalam bentuk tiga dimensi (*International Association on Shell and Spatial Structure, 1994*).

2. Elemen Penyusun *Space Frame*

Space frame di kembangkan dari pola grid dua lapis, dengan batang – batang yang menghubungkan grid secara tiga dimensional. Adapun elemen dasar penyusun struktur tersebut adalah:

- a. Rangka batang bidang
- b. Piramida dengan dasar segi empat membentuk *octahedron*
- c. Piramida dasar segitiga yang membentuk *tetrahedron*

3. Ragam Model Struktur *Space Frame*:

Dalam pengembangannya, ragam *space frame* dibagi menjadi beberapa tipe:

a. *Flat Cover*

Hasil perubahan dari struktur planar. Bidang disusun menggunakan batang horizontal dan beban vertikal menumpu pada batang diagonal struktural.

b. *Barrel Vault*

Struktur yang memiliki potongan diagonal dari lengkungan sederhana sehingga tidak membutuhkan modul tetrahedral atau piramida sebagai bagian pendukung nya

c. *Spherical Domes*

Struktur dengan bentuk kubah. Kubah ini membutuhkan modul tetrahedral atau piramida serta dukungan tambahan dari struktur membran.

4. Jenis tipe sambungan *Space Frame*

Penggunaan sambungan yang tepat menjadi salah satu kunci agar *Space Frame* dapat tetap kokoh dan tidak mudah runtuh. Berikut macam - macam sambungan yang dipakai dalam konstruksi *Space Frame*:

a. Sistem Mero

Space Frame dengan sistem mero membentuk sistem geometris dengan variasi panjang batang yang dihubungkan dengan sekrup / baut pada suatu simpul khusus yang bertemu di titik tengah garis – garis as hingga 18 member dapat disambungkan secara seragam.

b. Sistem *Deck*

Sistem *Deck* terdiri dari piramida yang tersusun dengan puncak bawah. Sisi bawah diberi baut satu dengan yang lainnya dan sisi atas disambungkan dengan baut dengan sistem tarik

c. Sistem *Trioedic*

Suatu permodalan tanpa las, baut, maupun keling. Titik simpul terdiri atas tumbol tempat pemasangan berbagai macam batang. Sistem ini memiliki dua keuntungan yaitu pemasangan yang mudah dan daya tahan yang kuat.

d. Sistem Unistrut

Sistem yang dibuat dari lempengan pelat yang dibuat menurut arah batang dengan disekrupkan ke arahnya. Suatu pembesaran ruang bisa dilakukan sehingga terjadi pengecilan pada bagian bawah kolom dengan syarat yang sudah ditentukan.

e. Sistem *Octa plate*

Dilakukan dengan sistem sambungan las. Sistem ini berbentuk segi delapan yang berusuk pipa. Batang ini dilas pada bagian simpul pada tengah – tengahnya.

f. Sistem Mannesmann

Dengan menggunakan pipa yang sama besar dan disesuaikan dengan arah yang dihubungkan sangat bervariasi

g. Sistem Takenaka

Baja pelat dengan baja yang berbentuk bujur sangkar disambungkan dengan baut – baut mutu tinggi. Batang bagian atas

menerima gaya tekan serta batang bagian bawah menerima gaya tarik. Dalam konstruksi modern diperlukan penutup pada bagian atas untuk menghindari sebagai penampung debu.

5. Kelebihan dan kekurangan *Space Frame*

a. Kelebihan *Space Frame*

- *Space Frame* dapat digunakan untuk bentang yang panjang
- Sistem konstruksi *Space Frame* memiliki bobot yang ringan
- *Space Frame* dapat diterapkan dalam bentuk atap apapun
- Umur sistem relatif lebih lama, sekitar 50 – 100 tahun
- Lebih menarik jika dilihat dari segi estetika
- Harga lebih efisien dengan bentang panjang

b. Kekurangan *Space Frame*

- Harga relatif mahal karena setiap bagian nya dipesan khusus dari pabrik
- Waktu pengerjaan lama
- Tenaga ahli yang terbatas
- Tidak tahan api karena bahan dasar logam

B. Landasan Teori

1. Pembebanan Struktur

Beban yang bekerja pada struktur bangunan terdiri dari beban mati, beban hidup, beban hujan, beban angin dan beban gempa. Beban yang bekerja:

a. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. (SNI 1727:2020 pasal 3.1.1).

Beban mati yang bekerja pada struktur atap bangunan ini berupa beban yang berasal dari elemen struktur itu sendiri serta beban tambahan yang ada.

b. Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020 pasal 4, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

Sedangkan beban hidup atap adalah beban yang diakibatkan oleh: (1) selama pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material,

dan (2) Selama masa layan struktur akibat benda bergerak, seperti tanaman pot atau perlengkapan dekoratif kecil serupa lainnya yang bukan terkait hunian. Beban hidup terkait hunian pada atap seperti area berkumpul, atap dek dan atap vegetative atau atap *landscape* pada area yang bisa dipakai, diperhitungkan sebagai beban hidup pada atap daripada beban hidup atap.

c. Beban air hujan

Berdasarkan *SNI 1727:2020* menyatakan bahwa setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari air hujan yang terakumulasi apabila sistem drainase primer pada bagian tersebut terhambat ditambah beban merata akibat kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran desainnya.

d. Beban angin

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk Sistem Panahan Gaya Angin Utama (SPGAU) dan seluruh komponen dan klading gedung, harus dirancang dan dilaksanakan untuk menahan beban angin seperti yang ditetapkan menurut pasal 26 sampai 31. Ketentuan dalam pasal ini mendefinisikan parameter angin dasar untuk digunakan dengan ketentuan lainnya yang terdapat dalam standar ini (*SNI 1772:2020 pasal 26.1.1*).

Hal – hal yang diperhatikan dalam perhitungan beban angin diantaranya:

1) Kategori Risiko

Sebuah kategorisasi bangunan dan struktur lainnya untuk penentuan beban banjir, angin salju, es, dan gempa berdasarkan risiko yang terkait dengan kinerja yang tidak dapat diterima.

Lihat Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Kategori Risiko Bangunan dan Struktur Lainnya untuk Beban Banjir, Angin, Salju, Gempa*, dan Es

Penggunaan atau Pemanfaatan Fungsi Bangunan Gedung dan Struktur	Kategori Risiko
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II

Sumber: Tabel 1.5-1 SNI 1727:2020

2) Menentukan Kecepatan Angin Dasar

Angin harus diasumsikan datang dari segala arah horizontal. Kecepatan angin dasar harus diperbesar jika catatan atau pengalaman menunjukkan kecepatan angin lebih tinggi daripada yang tercantum dalam Buku Peta Angin (SNI 1727:2020 Pasal 26.5.1).

3) Faktor Arah Angin

Faktor arah angin, K_a , harus ditentukan dari tabel 2.2. Efek arah angin dalam menentukan beban angin sesuai dengan Pasal 31 harus didasarkan pada analisis rasional dari kecepatan angin yang sesuai dengan persyaratan pasal 26.5.3 dan pasal 31.4.3 (SNI 1727:2020 Pasal 26.6).

Tabel 2.2: Faktor Arah Angin, Kd

Tipe Struktur	Faktor Arah Angin Kd*
Atap lengkung	0,85
Rangka batang struktur segi empat	0,85

Sumber: SNI 1727:2020 tabel 26.6-1

4) Kategori Eksposur

Untuk setiap arah angin yang diperhitungkan, eksposur arah melawan angin didasarkan pada kekasaran permukaan tanah yang ditentukan dari topografi alam, vegetasi, dan fasilitas dibangun. (SNI 1727:2020 pasal 26.7).

Kekasaran permukaan pada studi kasus ini berada pada kekasaran permukaan B: Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah ber hutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran dari tempat tinggal keluarga – tunggal atau lebih besar (SNI 1727:2020 pasal 26.7.2 alinea kedua).

Studi kasus pada kategori eksposur B: Untuk bangunan gedung dengan tinggi atap rata – rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekerasan permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh kekasaran permukaan B, berlaku di arah lawan angin untuk jarak nya lebih besar dari 1.500 ft (457 m). Untuk bangunan dengan tinggi atap rata – rata lebih besar dari 30 ft (9,1 m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan B berada dalam arah lawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali

tinggi bangunan, pilih yang terbesar (*SNI 1727:2020 pasal 26.7.3 alinea pertama*).

5) Faktor Topografi

Lokasi studi kasus berada jauh dari bukit atau tidak berada pada kondisi yang ditetapkan pasal 26.8.1 *SNI 1727:2020*.

6) Faktor Efek Tiupan Angin

Faktor efek tiupan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85 (*SNI 1727:2013 pasal 26.9.1*).

7) Tekanan Kecepatan

Berdasarkan kategori eksposur yang ditentukan dalam pasal 26.7.3, koefisien eksposur tekanan velositas K_z atau K_h sebagaimana yang berlaku, harus ditentukan dari tabel 26.10-1. Untuk situs terletak di zona transisi antara kategori eksposur yang dekat terhadap perubahan kekasaran permukaan tanah, boleh diambil nilai menengah dari K_z atau K_h yang ada dalam tabel 2.3 asalkan ditentukan dengan metode analisis rasional yang tercantum dalam literatur yang diakui (*SNI 1727:2020 pasal 26.10.1*)

Tabel 2.3: Koefisien Eksposur Tekanan Velositas, K_h dan K_z

Tinggi di atas tanah, z		Eksposur		
		B	C	D
Ft	(m)			
40	12,2	0,76	1,04	1,22

Sumber SNI 1727:2013 tabel 26.10-1

Tekanan Kecepatan, q_z , dievaluasi pada ketinggian z di atas tanah harus dihitung dengan persamaan berikut :

$$q_z = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2(N/m^2); V \text{ dalam m/s} \quad (2.1)$$

Di mana:

K_d = faktor arah angin

K_z = koefisien eksposur tekanan velositas

K_{zt} = faktor topografi tertentu

V = kecepatan angin dasar

q_z = tekanan velositas dihitung menggunakan persamaan 2d-3 pada ketinggian z

q_h = tekanan velositas dihitung menggunakan persamaan 2d-3 pada ketinggian atap rata – rata h .

e. Beban gempa

Menurut SNI 1726 – 2012, penentuan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai

gempa dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 persen.

1) Kategori resiko gempa

Tabel 2.4: Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II
- Perumahan	
- Rumah toko dan rumah kantor	
- Pasar	
- Gedung perkantoran	
- Gedung apartemen / rumah susun	
- Pusat perbelanjaan / mall	
- Bangunan industri	
- Fasilitas manufaktur	
- Pabrik	

Sumber: SNI 1726: 2012 tabel 1

Tabel 2.5: Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0

Sumber: SNI 1726: 2012 tabel 2

2) Klasifikasi situs

Tabel 2.6: Klasifikasi Situs

Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Sumber: SNI 1726: 2012 tabel 3

Di mana:

V_s = kecepatan rata – rata gelombang geser (m/s)

N = tahanan penetrasi standar lapangan rata - rata

S_u = kuat geser niralir rata – rata (kPa)

3) Respon spektrum

Menurut *SNI 1726: 2012 pasal 6.2*, penentuan respon spektral percepatan gempa MCE_r dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan penuh klarifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan sebagai berikut:

$$S_{MS}^* = F_a S_s \quad (2.2)$$

$$S_{M1} = F_v S_I \quad (2.3)$$

Di mana:

S_s = parameter respon spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_I = parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dan koefisien situs F_a dan F_v mengikuti tabel 2.7 dan tabel 2.8.

Tabel 2.7: Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa (MCE_R) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0

Sumber: SNI 1726: 2012 tabel 4

Catatan: untuk nilai – nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons situs-spesifik.

Tabel 2.8: Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan pada Periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5

Sumber: SNI 1726: 2012 tabel 5

Catatan: untuk nilai – nilai S_1 dapat dilakukan interpolasi linier. SS = situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Mengacu pada SNI 1726: 2012 pasal 6.3, parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.4)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.5)$$

Di mana:

S_{DS} = parameter percepatan spektral desain pada periode pendek

S_{D1} = parameter percepatan spektral desain pada perioda 1 detik

Pada *SNI 1726: 2012 pasal 6.4*, kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar 2.1 dan mengikuti ketentuan berikut:

- a) Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.6)$$

- b) Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , sama dengan S_{DS} ,

- c) Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

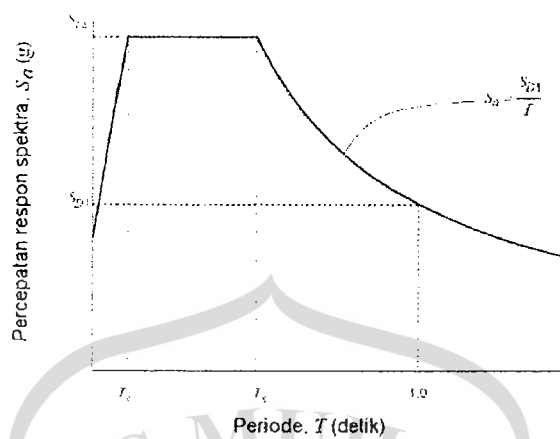
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.7)$$

Di mana:

T = perioda getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



Gambar 2.1: Spektrum Respon Desain (SNI 1726: 2012)

4) Prosedur Gaya Lateral Ekivalen

a) Geser dasar seismik

Gaya dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s W \quad (2.8)$$

Di mana:

C_s = koefisien respon seismik

W = berat seismik relatif menurut SNI 1726: 2012 pasal 7.7.2

b) Perhitungan koefisien respon seismik

Koefisien respon seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.9)$$

Di mana:

S_{DS} = parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek.

R = faktor modifikasi respon dalam tabel 2.9

I_e = faktor keutamaan gempa

Nilai C_s yang dihitung dengan persamaan di atas tidak perlu melebihi persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.10)$$

Dan C_s harus tidak kurang dari $C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,001$.

Dan untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (2.11)$$

Di mana:

S_{D1} = parameter percepatan spektrum respon desain pada periode 1,0 detik

T = perioda fundamental struktur (detik)

S_1 = parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan

Tabel 2.9: Faktor R untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan-gaya seismik	R
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8

Sumber: SNI 1726: 2012 tabel 9

c) Penentuan perioda

Perioda fundamental struktur, T , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamental struktur, T , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung (C_u) dari tabel 2.10 dan perioda fundamental pendekatan, T_a .

Perioda fundamental pendekatan (T_a), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (2.12)$$

Di mana:

h_n = ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari tabel 2.11

Tabel 2.10: Koefisien untuk Batas Atas pada Perioda yang Dihitung

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, S_{DI}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726:2012 tabel 14

Tabel 2.11: Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan α

Tipe struktur	C_t	α
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sumber: SNI 1726:2012 tabel 15

f. Kombinasi pembebanan

Berdasarkan SNI 1727: 2013 pasal 2.3, menyebutkan bahwa struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desain nya sama atau melebihi efek dari beban ter faktor dalam kombinasi berikut:

$$\begin{aligned}
 & - 1,4D \\
 & - 1,2D + 1,6L + 0,5L_r \\
 & - 1,2D + 1,6L_r + 0,5W \\
 & - 1,2D + 1,0W + L + 0,5L_r \\
 & - 1,2D + 1,0E + L \\
 & - 0,9D + 1,0W \\
 & - 0,9D + 1,0E
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

Di mana:

D = beban mati yang diakibatkan berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai atap, *plafond*, partisi tetap, tangga, dan peralatan layan tetap.

L = beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk beban kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain – lain.

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

H = beban akibat tekanan tanah lateral, tekanan air tanah atau tekanan dari material dalam jumlah besar.

W = beban angin

E = beban gempa

2. Ketentuan Umum

- a. Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT)

Berdasarkan *SNI 1729:2020 pasal B3.3*, desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBT) memenuhi persyaratan standar ini bila kekuatan desain pada setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBT. Semua ketentuan pada Standar ini, kecuali untuk pasal B3.2, harus digunakan.

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.14)$$

Di mana:

R_u = kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

R_n = kekuatan nominal

Φ = faktor ketahanan

ϕR_n = kekuatan desain

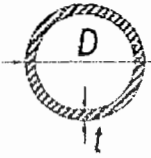
Kekuatan nominal, R_n , dan faktor ketahanan, Φ , untuk keadaan batas yang berlaku diisyaratkan dalam bab D sampai K *SNI 1729:2020*

b. Tebal Dinding Desain untuk PSR

Ketebalan dinding desain, t , harus digunakan dalam perhitungan yang melibatkan ketebalan dinding profil struktur berongga (PSR). Ketebalan dinding desain, t , harus diambil sama dengan ketebalan nominal untuk profil boks dan PSR yang diproduksi sesuai dengan ASTM A1065/ A1065M atau ASTM A1085/A108M. Untuk PSR yang diproduksi sesuai dengan standar lain yang disetujui untuk digunakan dalam Standar ini, ketebalan dinding desain, t , harus diambil dengan 0,93 kali ketebalan dinding nominal.


Sebuah pipa dapat didesain menggunakan ketentuan pada standar ini untuk profil PSR bundar selama pipa tersebut sesuai dengan ASTM A53/A53M Kelas B dan pembatasan yang sesuai pada standar ini digunakan (*SNI 1729:2020 bab B pasal 2*).

Tabel 2.12: Rasio Tebal terhadap Lebar Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Tekan Aksial

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio tebal terhadap lebar	Batasan rasio tebal terhadap lebar	Contoh
Elemen tanpa pengaku	1	PSR Bulat	D/t	$0,11 \frac{E}{F_y}$	

Sumber: SNI 1729:2015 Tabel B4.1a

Tabel 2.13: Rasio Tebal terhadap Lebar Elemen Tekan Komponen Struktur yang Menahan Tekan Lentur

	Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio tebal terhadap lebar	Batasan Rasio Tebal Lebar	Contoh
Elemen tanpa pengaku				λ_p (kompak)	λ_p (non kompak)
	1	PSR Bulat	D/t	$0,07 \frac{E}{F_y}$	$0,31 \frac{E}{F_y}$
					

Sumber: SNI 1729:2020 Tabel B4.1b Persyaratan Desain

3. Desain Batang

a. Desain komponen struktur tarik

Kekuatan tarik desain, $\phi_t P_n$, dan kekuatan tarik izin, P_n/Ω_t , komponen struktur tarik, harus merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh tarik pada

penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto (SNI 1729:2020 pasal D2).

1) Untuk leleh tarik pada penampang bruto:

$$P_n = F_y A_g \quad (2.15)$$

$$\Phi_t = 0,90 \text{ (DFBT)}$$

2) Untuk keruntuhan tarik pada daerah efektif neto:

$$P_n = F_u A_e \quad (2.16)$$

$$\Phi_t = 0,75 \text{ (DFBT)}$$

Di mana:

A_e = luas netto efektif, in². (mm²)

A_g = luas bruto dari komponen struktur in². (mm²)

F_y = tegangan leleh minimum yang disyaratkan, ksi
(MPa)

F_u = kekuatan tarik minimum yang disyaratkan, ksi
(MPa)

b. Luas netto efektif

Luas bruto, A_g , dan luas neto, A_n , dari komponen struktur tarik harus ditentukan sesuai dengan ketentuan pasal B4.3 (SNI 1729:2020 pasal D3).

Luas netto efektif dari komponen struktur tarik harus ditentukan sebagai berikut:

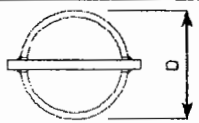
$$A_e = A_n U \quad (2.17)$$

Dimana:

U = faktor *shear lag* ditentukan seperti tertera dalam tabel 2.14

A_n = luas netto

Tabel 2.14: Faktor *Lag* geser untuk Sambungan ke Komponen Struktur Tarik

Kasus	Deskripsi Elemen	Faktor <i>Shear Lag</i> , U	Contoh
1	PSB Bundar dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal	$I \geq 1,3 D \dots U = 1,0$ $D \leq I \leq 1,3D \dots U = 1 - X/I$ $X = D / \pi$	

Sumber: SNI 1729:2020 tabel D3.1

c. Desain komponen struktur tekan

Kekuatan tekan desain, $\phi_c P_n$, dan kekuatan tekan izin, P_n / Ω_c , ditentukan sebagai berikut:

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi – lentur (SNI 1729:2020 pasal 5, E1).

$$\phi_c = 0,90 \text{ (DFBT)}$$

Panjang efektif, L_c , untuk perhitungan kelangsingan komponen struktur, L_c / r , harus ditentukan dengan bab C atau lampiran 7. Faktor panjang efektif, L_c , untuk perhitungan kelangsingan komponen struktur, L_c / r , sebaiknya tidak melebihi 200 (SNI 1729:2020 pasal E2).

Di mana:

L = panjang tanpa dibresing lateral dari komponen struktur,
in (mm)

K = faktor panjang efektif

$L_c =$ KL = panjang efektif komponen struktur, in

$r =$ jari – jari girasi (mm)

d. Komponen struktur tanpa elemen langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus ditentukan berdasarkan

keadaan batas berupa tekuk lentur (SNI 1729:2015 pasal E3).

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (2.18)$$

Dengan tegangan kritis, F_{cr} , ditentukan sebagai berikut:

1) Bila $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$)

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \quad (2.19)$$

2) Bila $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (atau $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$)

$$F_{cr} = [0,877 F_e] \quad (2.20)$$

Di mana:

A_g = luas penampang melintang bruto komponen struktur, in² (mm²)

E = modulus elastisitas baja

F_y = tegangan leleh minimum terspesifikasi untuk tipe baja yang digunakan, ksi (MPa)

F_e = tegangan tekuk kritis elastis ditentukan sesuai dengan persamaan di bawah.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \quad (2.21)$$

e. Komponen struktur dengan elemen langsing

Kekuatan tekan nominal, P_n , harus nilai terendah berdasarkan keadaan batas dari tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi – lentur yang sesuai (SNI 1729:2020 pasal E7).

$$P_n = F_{cr}A_e \quad (2.22)$$

Di mana:

A_e = penjumlahan luas efektif penampang berdasarkan pada lebar efektif tereduksi, b_e , d_e , atau h_e , atau luas seperti yang diberikan oleh persamaan E7-6 atau E7-7, in². (mm²)

F_{cr} = tegangan kritis ditentukan sesuai dengan Pasal E3 atau E4, ksi, (MPa). Untuk siku tunggal, tentukan F_{cr} sesuai dengan pasal E3 saja.

f. Desain komponen untuk lentur

Ketentuan lentur desain, $\phi_b M_n$, dan kekuatan lentur izin, M_n / Ω_b , harus ditentukan sebagai berikut:

- 1) Untuk semua ketentuan dalam bagian ini

$$\Phi_b = 0,90 \text{ (DFBT)} \quad \Omega_b = 1,67 \text{ (DKI)}$$

Dan kekuatan lentur nominal, M_n , harus ditentukan sesuai dengan pasal F2 hingga F13

- 2) Ketentuan dalam bab ini berdasarkan asumsi bahwa rotasi terhadap sumbu longitudinal titik – titik balok dan grinder dikekang.

3) Untuk komponen struktur simetris tunggal dalam lengkungan tunggal dan semua komponen struktur simetris ganda:

Faktor modifikasi torsi lateral, C_b , untuk diagram momen tidak seragam bila kedua ujung – ujung segmen terbreis ditentukan sebagai berikut:

$$C_b = \frac{1,25M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Di mana:

C_b = faktor modifikasi tekuk torsi – lateral untuk diagram momen non merata bila kedua ujung segmen dibresing.

M_{maks} = nilai mutlak momen maksimum dalam segmen tanpa dibresing, kip-in. (N-mm)

M_A = nilai mutlak momen ada titik seperempat dari segmen tanpa dibresing, kip-in. (N-mm)

M_B = nilai mutlak pada sumbu segmen tanpa dibresing, kip-in. (N-mm)

M_C = nilai mutlak momen pada titik tiga seperempat segmen tanpa dibresing, kip-in. (N-mm)

Untuk kantilever dengan pilin dicegah pada tumpuan jepit dan ujung bebas tak terbreis, $C_b = 1,0$.

4) Pada komponen struktur simetris tunggal yang mengalami lentur dengan kelengkungan ganda, kekuatan tekuk torsi-lateral harus diperiksa untuk kedua sayap. Kekuatan lentur tersedia harus lebih besar dari atau sama dengan momen maksimum yang diperlukan, yang menyebabkan terjadinya gaya tekan di sayap yang sedang ditinjau (*SNI 1729:2020 pasal F1*).

g. Syarat lentur PSR bundar

Bagian ini diterapkan untuk PSR bundar yang memiliki rasio D/t kurang dari $\frac{0,45E}{F_y}$. Kekuatan lentur nominal, M_n , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh (momen plastis) dan tekuk lokal (*SNI 1729:2020 pasal F8*).

1) Leleh

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (2.23)$$

2) Tekuk lokal

a) Untuk penampang kompak, keadaan batas tekuk lokal sayap tidak berlaku.

b) Untuk penampang non kompak

$$M_n = \left(\frac{0,021E}{\frac{D}{t}} + F_y \right) S \quad (2.24)$$

c) Untuk penampang dengan dinding langsing

$$M_n = F_{cr} S \quad (2.25)$$

Di mana:

$$F_{cr} = \frac{0,33E}{\frac{D}{t}} \quad (2.26)$$

S = modulus penampang elastis, in³. (mm³)

t = ketebalan dari dinding, in. (mm)

4. Desain Sambungan Berdasarkan SNI 1729:2015

Kekuatan desain, ϕR_n , dan kekuatan izin, R_n/Ω , pada sambungan harus ditentukan sesuai dengan ketentuan bab ini dan ketentuan bab B

Kekuatan perlu sambungan harus ditentukan oleh analisis struktur untuk beban desain terspesifikasi, konsistensi tipe konstruksi terspesifikasi, atau merupakan suatu proporsi kekuatan perlu pada komponen struktur yang disambung apabila disyaratkan di sini.

Apabila sumbu gravitasi pada perpotongan komponen struktur yang dibebani secara aksial tidak berpotongan pada suatu titik, efek eksentrisitas harus diperhitungkan (*SNI 1729:2015 pasal J1 .1*).

a. Baut kekuatan tinggi

Berdasarkan *SNI 1727:2020 Pasal J3 .1*, penggunaan baut kekuatan tinggi harus sesuai dengan ketentuan *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*, yang selanjutnya disebut *RSCS Specification*, sebagaimana disetujui oleh *Research Council on Structural Connection*, kecuali diisyaratkan lain dalam standar ini. Baut kekuatan tinggi dalam standar ini dikelompokkan sesuai dengan kekuatan material sebagai berikut:

- 1) Kelompok A-ASTM F3125/F3125M Grade A325, A325M, F1852 dan ASTM A354 Grade BC.
- 2) Kelompok B-ASTM F3125/F3125M Grade A490, A490M, F2280 dan ASTM A354 Grade BD.
- 3) Kelompok C-ASTM F3043 dan F3111.

Penggunaan pada rakitan baut/mur/ring kekuatan tinggi kelompok C harus sesuai dengan ketentuan yang berlaku pada standar ASTM terkait. Rakitan Grade 1 ASTM F3043 dan ASTM F3111 hanya dapat dipasang untuk kondisi kencang pas (*snug-tight*). Rakitan Grade 2 ASTM F3043 dan ASTM F3111 dapat digunakan dalam kencang pas (*snug-tight*), sambungan yang diberi pratarik dan sambungan kritis selip, dengan menggunakan prosedur yang diberikan dalam standar ASTM yang berlaku. Apabila dirakit, semua permukaan join, termasuk yang berdekatan dengan ring, harus bebas dari *scale*, kecuali *tight mill scale*.

- 1) Baut boleh dipasang dengan kondisi kencang pas apabila digunakan pada:
 - a) Sambungan tipe tumpu, kecuali seperti ditetapkan dalam pasal E6
 - b) Aplikasi kombinasi gaya tarik dan geser atau gaya tarik, hanya untuk baut kelompok A, dimana pengenduran atau fatik akibat vibrasi atau fluktuasi beban tidak diperhitungkan dalam desain.

- 2) Baut pada sambungan berikut ini harus diberikan pratarik:
 - a) Sebagaimana diisyaratkan RCSC *Specification*.
 - b) Sambungan yang memikul beban vibrasi di mana pelonggaran baut merupakan tinjauan
 - c) Sambungan ujung pada komponen struktur tersusun dua profil yang saling tersambung dengan baut, atau dengan setidaknya satu sisi terbuka saling tersambung dengan pelat penutup berlubang atau teralis dengan pelat pengikat, seperti yang disyaratkan dalam pasal E6.1
- 3) Sambungan berikut ini harus didesain sebagai kritis selip:
 - a) Sebagaimana disyaratkan RCSC *Specification*.
 - b) Bagian pelat penutup panjang parsial yang diperpanjang dan disyaratkan dalam pasal F13.3

Tabel 2.15: Pra-tarik Baut Minimum, kN*

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

*Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan mendekati kN, seperti disyaratkan dalam spesifikasi untuk baut ASTM A325M dan A490M dengan ulir UNC

Sumber: SNI 1729:2015 tabel J3.1M

Apabila persyaratan baut tidak dapat disediakan di dalam batasan RCSC *Specification* karena persyaratan untuk panjang melebihi 12 diameter atau diameter melebihi 1 ½ in. (38 mm), baut atau batang berulir yang sesuai dengan material kelompok A atau kelompok B boleh digunakan sesuai dengan ketentuan untuk bagian yang berulir dalam tabel 2.16.

Tabel 2.16: Kekuatan Nominal Pengencangan dan Bagian yang Berulir, ksi (MPa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, F_n , ksi (MPa) ^(a)	Kekuatan Geser Nominal dalam Sambungan Tipe Tumpu, F_{nv} , ksi (MPa) ^(b)
Baut A307	45 (310)	27 (188) ^{(c)(d)}
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut group A (misal, A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	90 (620)	68 (357)
Baut kelompok B (misal, A490), bila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (457)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90(620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut di luar bidang geser	150 (1.040)	113 (779)
Bagian berulir yang memenuhi pasal A3.4 SNI 1729:2020, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,450 F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4 SNI 1729:2020, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 F_u$	$0,563 F_u$

Sumber: SNI 1729:2020 tabel J3.2

b. Ukuran dan penggunaan lubang

Menurut *SNI 1729:2015 pasal J3 .2*, persyaratan berikut ini berlaku sambungan yang dibaut:

- 1) Ukuran lubang maksimum untuk baut diberikan dalam tabel 2.17, kecuali lubang – lubang lebih besar, yang diperlukan untuk toleransi pada lokasi batang angkur di fondasi beton, diperbolehkan dalam detail dasar kolom.
- 2) Lubang standar atau lubang slot-pendek yang tegak lurus terhadap arah beban harus disediakan sesuai dengan ketentuan standar ini, kecuali lubang ukuran-berlebih, lubang slot-pendek yang paralel terhadap beban atau lubang slot-panjang yang disetujui oleh penanggungjawab perancangan.
- 3) Ganjal menjari sampai $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) diperbolehkan dalam sambungan slip-kritis yang dirancang berdasarkan lubang standar tanpa mereduksi kekuatan geser nominal pengencang yang disyaratkan untuk lubang slot.
- 4) Lubang ukuran berlebih diperbolehkan dalam setiap atau lapisan dari sambungan kritis selip, tetapi lubang ukuran berlebih tidak boleh digunakan pada sambungan tipe tumpu.

5) Lubang slot pendek diperbolehkan pada setiap atau semua lapisan kritis selip atau sambungan tipe tumpu. Slot diperbolehkan tanpa memperhatikan arah beban dalam sambungan kritis selip, tetapi panjang tersebut harus tegak lurus terhadap arah beban pada sambungan tipe tumpu.

6) Lubang slot panjang diperbolehkan dalam hanya satu dari bagian yang disambung dari suatu sambungan kritis selip atau sambungan tipe tumpu pada suatu permukaan *laying* individual. Lubang slot panjang diperbolehkan tanpa memperhatikan arah beban dalam sambungan kritis selip, tetapi harus tegak lurus pada arah beban dalam sambungan tipe tumpu.

7) Ring harus diberikan sesuai dengan pasal 6 RSCS *Specification*, kecuali untuk rakitan kelompok C, dimana ring harus diberikan sesuai dengan standar ASTM yang berlaku.

Tabel 2.17: Dimensi Lubang Nominal, mm

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran – Lebih (Diameter)	Slot – Pendek (Diameter)	Slot – Panjang (Lebar x Panjang)
M16	18	20	18 x 22	18 x 40
M20	22	24	22 x 26	22 x 50
M22	24	28	24 x 30	24 x 55
M24	27 ^(a)	30	27 x 32	27 x 60
M27	30	35	30 x 37	30 x 67
M30	33	38	33 x 40	33 x 75
≥ M36	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2,5d$

^(a)Izin yang diberikan memungkinkan penggunaan baut 1 in, jika diinginkan.

Sumber: SNI 1729:2015 tabel J3.3M

c. Spasi Minimum

Jarak as ke as antara lubang standar, ukuran berlebih, atau slot tidak boleh kurang dari $2 \frac{2}{3}$ kali diameter nominal, d , pengencang. Namun, jarak bersih antara lubang baut atau slot tidak boleh kurang dari d .

Jarak as ke as antara lubang standar, ukuran berlebih, atau slot sebesar $3d$ lebih disukai. (SNI 1729:2020 pasal J3.3).

d. Jarak Tepi Minimum

Jarak dari pusat lubang standar ke tepi bagian yang disambung pada setiap arah manapun tidak boleh kurang dari nilai yang berlaku dari tabel 2.18, atau seperti disyaratkan pada pasal J3.10. Jarak dari pusat suatu ukuran berlebih atau slot ke tepi suatu bagian yang disambung harus tidak kurang dari yang disyaratkan untuk lubang standar ke tepi bagian yang disambung ditambah penambahan C_2 yang berlaku dari tabel 2.19.

Jarak tepi pada tabel 2.18 adalah jarak tepi minimum berdasarkan praktik pabrikan standar dan toleransi hasil pekerjaan. Ketentuan yang sesuai pada pasal J3.10 dan J4 harus dipenuhi (*SNI 1727:2020 pasal J3 .4*).

Tabel 2.18: Jarak Tepi Minimum, ^(a)dari Pusat Lubang Standar^(b) ke Tepi dari Bagian yang Disambung, mm.

Diameter Baut (mm)	Jarak Tepi Minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
36	46
Di atas 36	$1,25d$

^(a)Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diizinkan asalkan ketentuan yang sesuai Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diizinkan tanpa persetujuan dari Insinyur yang memiliki izin bekerja sebagai perencana.

^(b)Untuk ukuran-berlebih atau lubang – lubang slot, lihat tabel 2.19

Sumber: *SNI 1729:2020 tabel J3.4M*

Tabel 2.19: Nilai dari Penambahan Jarak Tepi C_2 , mm.

Diameter Nominal dari Pengencangan (mm)	Lubang – Lubang Ukuran – Berlebih	Lubang – Lubang Slot		
		Sumbu Panjang Tegak Lurus Terhadap Tepi		Sumbu Panjang Paralel terhadap Tepi
		Slot Pendek	Slot Panjang ^(a)	
≤ 22	2	3		
24	3	3	$0,75d$	0
≥ 27	3	5		

^(a)Bila panjang slot kurang dari maksimum yang diizinkan (lihat tabel 2.17), C_2 diizinkan direduksi sebesar setengah perbedaan antara panjang slot maksimum dan aktual.

Sumber: *SNI 1729:2020 tabel J3.5M*

e. Kombinasi Gaya Tarik dan Geser dalam Sambungan Tipe Tumpuan.

Kekuatan tarik yang tersedia dari baut yang menahan kombinasi gaya tarik dan geser harus ditentukan sesuai dengan keadaan batas dari keruntuhan geser berikut:

$$R_n = F'_m A_b \quad (2.27)$$

$$\Phi = 0,75 \text{ (DFBT)}$$

$$\Omega = 2,00 \text{ (DKI)}$$

Di mana:

F'_m = tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek tegangan geser, ksi (MPa)

$$F'_m = 1,3F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} f_{rv} \leq F_{nt} \text{ (DFBT)} \quad (2.28)$$

F_{nt} = tegangan tarik nominal dari tabel 2.16

F_{nv} = tegangan geser dari tabel 2.16

f_{rv} = tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban DFBT atau DKI, ksi (MPa).

Tegangan geser yang tersedia pengencang harus sama dengan atau melebihi tegangan perlu, f_{rv} .

Catatan: Perhatikan bahwa apabila tegangan perlu, f , baik geser atau tarik, kurang dari atau sama dengan 30 persen dari tegangan yang tersedia yang sesuai, efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa. Juga perhatikan bahwa persamaan di atas dapat ditulis ulang sehingga memperoleh tegangan geser nominal,

F'_{mv} , sebagai fungsi dari tegangan tarik perlu, f_t . (SNI 1729: 2020 pasal J3.7).

f. Baut Kekuatan-Tinggi dalam Sambungan Kritis-Slip

Sambungan kritis-slip harus dirancang untuk mencegah slip dan untuk keadaan batas dari sambungan tipe-tumpuan. Bila baut – baut slip-kritis melewati pengisi, semua permukaan yang memikul slip harus dipersiapkan untuk mencapai ketahanan slip desain.

Ketahanan slip baut tunggal yang tersedia untuk keadaan batas slip harus ditentukan sebagai berikut:

$$R_n = \mu D_u h_f T_b n_s \quad (2.29)$$

- 1) Untuk lubang ukuran standar dan lubang slot-pendek yang tegak lurus terhadap arah beban

$$\Phi = 1,00 \text{ (DFBT)} \quad \Omega = 1,50 \text{ (DKI)}$$

- 2) Untuk lubang ukuran-berlebih dan lubang slot-pendek yang paralel terhadap arah beban

$$\Phi = 0,85 \text{ (DFBT)} \quad \Omega = 1,76 \text{ (DKI)}$$

- 3) Untuk lubang slot-panjang

$$\Phi = 1,00 \text{ (DFBT)} \quad \Omega = 1,50 \text{ (DKI)}$$

Di mana:

μ = koefisien slip rata – rata untuk permukaan kelas

A atau B, mana yang sesuai, dan ditentukan

sebagai berikut, atau seperti ditetapkan oleh pengujian:

- a) Untuk permukaan kelas A (permukaan baja *mill scale* bersih tanpa-dicat atau permukaan dengan pelapis kelas A pada baja *blast-cleaned* atau di galvanis dicelup-panas dan permukaan dikasarkan)

$$\mu = 0,30$$

- b) Untuk permukaan kelas B (permukaan baja *blast-cleaned* tanpa-dicat atau permukaan dengan pelapis kelas B pada baja *blast-cleaned*)

$$\mu = 0,50$$

$D_u = 1,13$; suatu pengali yang mencerminkan rasio rata – rata dari pra tarik baut terpasang terhadap pra tarik baut minimum yang dispesifikasikan.

T_b = gaya tarik minimum sarana penyambung yang diberikan tabel 2.15, kN

h_f = faktor untuk pengisi, ditentukan sebagai berikut:

- a) Untuk satu pengisi antara bagian – bagian yang disambung

$$h_f = 1,00$$

- b) Untuk dua atau lebih pengisi antara bagian – bagian yang disambung.

$$h_f = 1,00$$

n_s = jumlah bidang slip yang diperlukan untuk mengizinkan sambungan mengalami slip.

Sumber: SNI 1729: 2020 pasal J3.8

g. Kombinasi Gaya Tarik dan Geser dalam Sambungan Slip-Kritis

Berdasarkan SNI 1729: 2020 pasal J3.9, apabila sambungan kritis-slip memikul gaya tarik yang bekerja yang mereduksi gaya penjepit neto, ketahanan slip yang tersedia tiap baut, dari pasal J3.8, harus dikalikan dengan faktor, k_{sc} , sebagai berikut:

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \quad (DFBK) \quad (2.30)$$

Di mana:

T_a = gaya tarik yang diperlukan menggunakan kombinasi beban *DKI*, kips (kN)

T_u = gaya tarik yang diperlukan menggunakan kombinasi *DFBT*, kips (kN)

n_b = jumlah baut yang menahan gaya tarik yang berlaku

h. Kekuatan Tumpuan pada Lubang – Lubang Baut

Kekuatan tersedia, ϕR_n , dan R_n / Ω , di lubang baut harus ditentukan untuk keadaan batas dari tumpuan sebagai berikut:

$$\Phi = 0,75 \quad (DFBT) \quad \Omega = 2,00 \quad (DKI)$$

Kekuatan tumpuan nominal dari material yang disambung, R_n , ditentukan sebagai berikut:

- 1) Untuk baut pada sambungan dengan lubang standar, ukuran-berlebih dan slot-pendek, tidak tergantung arah dari beban,

atau lubang slot-panjang dengan slot tersebut paralel terhadap arah gaya tumpuan:

a) Tumpu:

- Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain

$$R_n = 2,4 dtF_u \quad (2.31)$$

- Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah bukan suatu perhitungan desain

$$R_n = 3,0 dtF_u \quad (2.32)$$

b) Sobek

- Apabila deformasi di lubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain

$$R_n = 1,2l_c t F_u \quad (2.33)$$

- Apabila deformasi di lubang baut pada layan adalah bukan merupakan tinjauan desain

$$R_n = 1,5l_c t F_u \quad (2.34)$$

c) Untuk baut pada sambungan dengan lubang slot-panjang dengan slot tersebut tegak lurus terhadap arah gaya:

- Tumpu

$$R_n = 2,0 dtF_u \quad (2.35)$$

- Sobek

$$R_n = 1,0 l_c dtF_u \quad (2.36)$$

d) Untuk sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang melewati komponen struktur boks atau PSR tak-diperkaku, lihat pasal J7 dan persamaan J7-1 *SNI 1729: 2020*.

Di mana:

F_u = kekuatan tarik minimum yang disyaratkan dari material yang disambung, ksi (MPa)

d = diameter baut nominal, in. (mm)

l_c = jarak bersih, dalam arah dari gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang yang berdekatan atau tepi dari material, in. (mm)

t = ketebalan dari material yang disambung, in. (mm)

Kekuatan tumpu dan kekuatan sobek harus diperiksa untuk sambungan tipe tumpu dan sambungan kritis selip. Penggunaan lubang ukuran berlebih dan lubang slot pendek serta slot panjang yang paralel terhadap garis gaya dilarang pada sambungan kritis selip per pasal J3.2.