

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Struktur bangunan merupakan sarana untuk menyalurkan beban yang diakibatkan penggunaan dan atau kehadiran bangunan di atas tanah. Struktur terdiri dari elemen-elemen yang terintegrasi dan berfungsi sebagai satu kesatuan utuh untuk menyalurkan semua jenis beban yang diantisipasi ke tanah (Raharja dan Rizal S, 2009).

Dalam bab ini akan dibahas mengenai teori-teori dasar yang diperlukan dan berhubungan dengan analisis dan perencanaan struktur. Hal-hal yang dibahas pada bab ini akan berguna dalam proses analisis maupun desain struktur yang akan dibuat dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

2.2. Struktur Beton Pracetak

Beton adalah material konstruksi yang diperoleh dari pencampuran pasir, kerikil/batu pecah, semen serta air. Terkadang beberapa macam bahan tambahan dicampurkan ke dalam campuran tersebut dengan tujuan memperbaiki sifat-sifat dari beton antara lain untuk meningkatkan *workability*, *durability*, serta waktu pengerasan beton.

Beton pracetak adalah teknologi konstruksi struktur beton dengan komponen-komponen penyusun yang dicetak terlebih dahulu pada suatu tempat khusus (*off-site fabrication*), terkadang komponen tersebut disusun dan disatukan terlebih dahulu (*pre-assembly*), dan selanjutnya dipasang di lokasi (*installation*) (Sodikin *et al*, 2020). Pada umumnya, balok untuk beton pracetak akan dicor 2/3 dari tinggi balok saat pabrikasi dan 1/3 sisanya akan dicor di lapangan saat ereksi untuk mengikat elemen elemen lain yang berhubungan dengan balok tersebut.

Penggunaan beton pracetak diharapkan mampu menjawab tantangan industrialisasi yang menuntut hasil kerja yang efektif, efisien, bermutu dan ekonomis (Khakim *et al*, 2011). Adapun keunggulan struktur beton pracetak dibandingkan dengan sistem struktur beton konvensional, yaitu:

- a. Pelaksanaan pekerjaan di lapangan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan lebih mudah sehingga mengurangi masa konstruksi.
- b. Pelaksanaan lebih cepat sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi.
- c. Pengontrolan mutu pekerjaan lebih baik karena pengerjaan komponen *frame* dilakukan sebelum pemasangan (instalasi) sebagai struktur bangunan, sehingga kualitas konstruksi lebih terjamin.
- d. Mengurangi bahan cetakan dari bahan kayu sehingga dapat mendukung pelestarian lingkungan.
- e. Mengurangi penggunaan perancah.
- f. Mengurangi jumlah tenaga kerja di lapangan.
- g. Kondisi lapangan lebih bersih.

2.2.1. Konsep Dasar Sistem Pracetak

Wahyudi *et al*, 2010 (dalam Rahmadhan *et al*, 2014) menjelaskan bahwa sambungan pada sistem pracetak merupakan bagian yang sangat penting. Bagian ini berfungsi untuk meneruskan gaya antar setiap elemen pracetak yang disambung. Kelemahan konstruksi sistem pracetak adalah terletak pada sambungan yang relatif kurang kaku atau monolit sehingga lemah dalam menahan beban gempa. Untuk itu sambungan direncanakan supaya memiliki kekakuan seperti beton monolit.

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 16.6, gaya-gaya diizinkan untuk disalurkan antara komponen-komponen struktur dengan joint grouting (*grouted joints*), kunci geser, sambungan mekanis, sambungan baja tulangan, penutup atas bertulang (*reinforced topping*), atau kombinasi cara-cara tersebut.

2.2.2. Jenis Sambungan Pracetak

Wahyudi *et al*, 2010 (dalam Adi *et al*, 2014) menjelaskan bahwa jenis sambungan antara komponen beton pracetak yang biasa dipergunakan dapat dikategorikan menjadi 2 kelompok, yaitu sebagai berikut :

1. Sambungan kering (*dry connection*)

Sambungan kering adalah sambungan antar komponen beton pracetak menggunakan pelat besi sebagai penghubung, yang kemudian dilas atau dibaut.

2. Sambungan basah (*wet connection*)

Sambungan basah adalah sambungan antar beton pracetak yang ditandai dengan keluarnya besi tulangan dari beton pracetak. Besi tulangan ini dihubungkan dengan besi tulangan dari beton pracetak yang akan disambungkan dengan cara dicor di tempat.

Jenis sambungan ini dapat berfungsi baik untuk mengurangi penambahan tegangan yang terjadi akibat rangkai, susut dan perubahan temperatur. Sambungan basah ini sangat dianjurkan untuk bangunan di daerah rawan gempa karena dapat menjadikan masing-masing komponen beton pracetak menjadi monolit.

2.2.3. Sambungan Lewatan pada Kolom

Sambungan lewatan atau panjang penyaluran pada kolom mengacu pada SNI-2847-2013 pasal 12.17. Berikut aturan dalam mendesain panjang penyaluran berdasarkan SNI-2847-2013 :

1. Bila tegangan batang tulangan akibat beban terfaktor adalah tekan, maka panjang sambungan lewatan tekan harus sebesar $0,071f_y d_b$, untuk f_y sebesar 420MPa atau kurang, atau $(0,13f_y - 24)d_b$ untuk f_y yang lebih besar dari 420 MPa, tetapi tidak kurang dari 300 mm. Untuk f_c' kurang dari 21 MPa, panjang lewatan harus ditambah sepertiganya.
2. Bila tegangan batang tulangan akibat beban terfaktor adalah tarik dan tidak melebihi $0,5f_y$ dalam kondisi tarik, sambungan lewatan harus merupakan sambungan lewatan tarik Kelas B jika lebih dari setengah batang-batang tulangan disambung pada suatu irisan penampang, atau sambungan lewatan tarik Kelas A jika setengah atau kurang batang-batang tulangan disambung pada suatu irisan penampang dan sambungan lewatan selang seling dengan ℓ_d . Dimana panjang minimum untuk sambungan lewatan tarik Kelas A yaitu $1,0 \ell_d$, dan panjang minimum untuk sambungan lewatan tarik Kelas B sebesar $1,3 \ell_d$.
3. Bila tegangan batang tulangan akibat beban terfaktor lebih dari $0,5f_y$ dalam kondisi tarik, sambungan lewatan harus merupakan sambungan lewatan tarik Kelas B.

4. Pada komponen struktur tekan bertulangan pengikat, dimana pengikat sepanjang panjang sambungan lewatan memiliki luas efektif tidak kurang dari $0,0015h_s$ dalam kedua arah, panjang sambungan lewatan diizinkan untuk dikalikan dengan 0,83, tetapi panjang lewatan tidak boleh kurang dari 300 mm. Kaki pengikat yang tegak lurus terhadap dimensi h harus digunakan dalam menentukan luas efektif.

2.3. Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Sistem Rangka Pemikul Momen adalah sistem rangka ruang yang komponen struktur dan join-joinnya menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial. Bangunan yang akan dibangun berada pada daerah resiko gempa menengah sehingga balok direncanakan sebagai bagian dari Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).

Berdasarkan SNI 2847-2013, pada perencanaan menggunakan Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) memiliki ketentuan-ketentuan yang harus dipenuhi. Ketentuan-ketentuan tersebut yaitu sebagai berikut:

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan *detailing* balok SRPMM bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi $A_g f_c' / 10$. Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi $A_g f_c' / 10$ maka ketentuan kolom SRPMM harus dipenuhi kecuali bila komponen struktur kolom diberi tulangan spiral minimum sesuai persamaan berikut:

$$\rho_s^* = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

ρ_s^* : Rasio volumetrik tulangan spiral atau sengkang cincin

A_g : Luas bruto penampang kolom

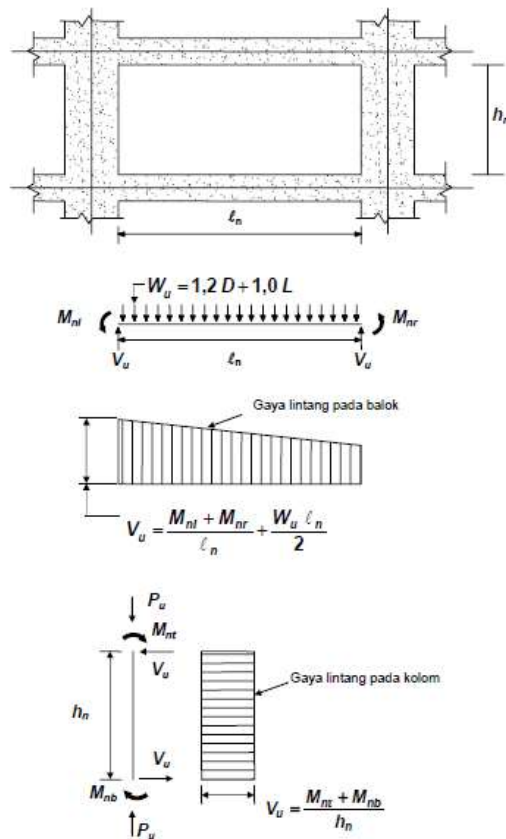
A_c : luas penampang inti kolom dari sisi luar tulangan sengkang tertutup

f_c' : Kuat tekan beton

f_{yt} : Kuat leleh tulangan transversal (maksimum 700 Mpa)

2. Kuat geser rencana (ϕV_n) balok yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari:

- a. Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan M_n balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor (Lihat gambar 2.1),
 - b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar 2 kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.
3. Kuat geser rencana (ϕV_n) kolom yang menahan pengaruh gempa, E , tidak boleh kurang dari:
- a. Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada setiap ujung terkekang dari panjang yang tak bertumpu akibat lentur kurvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau yang menghasilkan kekuatan lentur tertinggi (Lihat gambar 2.1),
 - b. Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan beban gempa, E , dengan E ditingkatkan oleh Ω .



Gambar 2. 1. Gaya lintang rencana untuk SRPMM

Sumber : SNI 2847-2013

4. Balok

- a. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint.

$$\phi M_n^+ \geq \frac{1}{3} \phi M_n^- \text{ (tumpuan kiri)} \quad (2.2)$$

$$\phi M_n^+ \geq \frac{1}{3} \phi M_n^- \text{ (tumpuan kanan)} \quad (2.3)$$

- b. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$(\phi M_n^+ \text{ atau } \phi M_n^-) \geq \frac{1}{5} (\phi M_n^- \text{ terbesar di setiap titik}) \quad (2.4)$$

- c. Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh lebih dari:

- 1) $d/4$,
- 2) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- 3) 24 kali diameter sengkang, dan
- 4) 300 mm.

- d. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok.

5. Kolom

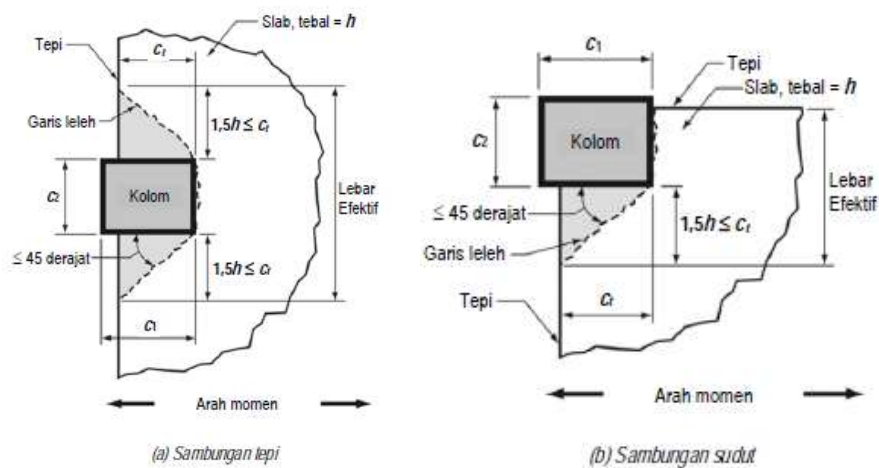
- a. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi S_o sepanjang panjang ℓ_0 diukur dari muka joint. Spasi S_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- 1) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,
- 2) 24 kali diameter batang tulangan begel,
- 3) Setengah dimensi penampang kolom terkecil, dan
- 4) 300 mm.

Panjang ℓ_0 tidak boleh kurang dari nilai yang terbesar dari:

- 1) Seperenam tinggi bersih kolom,
- 2) Dimensi penampang maksimum kolom, dan
- 3) 450 mm.

- b. Senggang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari $0,5 s_0$ dari muka hubungan balok kolom.
 - c. Spasi sengkang ikat pada sembarang penampang kolom harus mengikuti ketentuan SNI Beton 2847-2013 Pasal 7.10.4 untuk sengkang ikat spiral, dan Pasal 7.10.5 untuk sengkang ikat persegi. Pasal 7.10.4.3 mengharuskan spasi bersih antarsengkang pengikat spiral tidak melebihi 75 mm dan tidak boleh kurang dari 25 mm. Pasal 7.10.5.2 mengharuskan spasi vertikal sengkang pengikat (silang) persegi tidak melebihi:
 - a. 16 kali diameter tulangan longitudinal
 - b. 48 kali diameter tulangan sengkang pengikat (silang) persegi, atau
 - c. dimensi terkecil komponen kolom.
6. Pelat dua arah tanpa balok
- a. Momen slab terfaktor pada tumpuan termasuk pengaruh gempa, E , harus ditentukan untuk kombinasi beban. Tulangan yang disediakan untuk menahan M_{slab} harus ditempatkan dalam lajur kolom (Gambar 2.2).



Gambar 2. 2. Lebar efektif untuk penempatan tulangan pada sambungan tepi dan sudut

Sumber : SNI 2847-2013

- b. Tulangan yang ditempatkan dalam lebar efektif harus diproporsikan untuk menahan $\gamma_f M_{slab}$. Lebar slab efektif untuk sambungan eksterior dan sudut tidak boleh menerus melewati muka kolom jarak lebih besar dari c_t yang diukur tegak lurus terhadap bentang slab.

- c. Tidak kurang dari setengah tulangan pada lajur kolom di tumpuan harus ditempatkan dalam lebar slab efektif.
- d. Tidak kurang dari seperempat tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom harus menerus sepanjang bentang.
- e. Tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang dari sepertiga tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom.
- f. Tidak kurang dari setengah dari semua tulangan lajur tengah bawah dan semua tulangan lajur kolom bawah di tengah bentang harus menerus dan harus mengembangkan f_y di muka tumpuan.
- g. Pada tepi slab yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada tumpuan harus disalurkan di muka tumpuan.

2.4. Struktur Baja

Baja yaitu material buatan (*man-made*) dari bahan dasar besi (+98%) dan unsur lain (karbon, silika, mangan, sulfur, dll) yang dibuat dengan cara pemanasan untuk menghasilkan lembaran pelat yang kemudian dibentuk (*forming*).

Dalam dunia konstruksi, terdapat banyak jenis dan bentuk baja, salah satu yang sering digunakan yaitu baja profil. Baja profil pun terdapat berbagai macam bentuk dan jenis, sesuai kegunaannya. Bentuk serta spesifikasi dari baja profil dapat dilihat pada tabel baja. Berikut beberapa jenis dan bentuk dari baja profil :

1. Wide Flange

Baja profil (Wide Flange) merupakan salah satu jenis profil baja struktural yang sering digunakan dalam suatu konstruksi baja. Baja wide flange termasuk salah satu baja yang memiliki kekuatan tarik dan tekan yang sangat tinggi sehingga mampu menahan jenis beban aksial dengan cukup baik. Baja Wide Flange biasa digunakan sebagai tiang pancang, kolom, balok, bottom and top chord member pada truss, kantilever dll. Baja profil wide flange memiliki beberapa nama atau istilah yang biasa digunakan dalam penyebutan baja wide flange seperti H-Beam, Profil H, IWF, Profil I dan HWF.

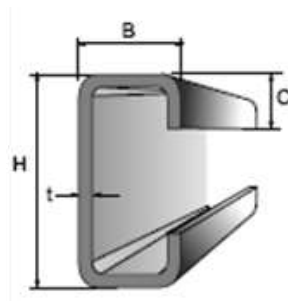


Gambar 2. 3. Baja WF

Sumber : etswords.blogspot.co.id

2. Lipped Channel (CNP)

Baja profil CNP biasa digunakan untuk purlin (balok dudukan penutup atap), girts (elemen yang memegang penutup dinding misalnya metal sheet, dll), member pada truss, rangka komponen arsitektural. Istilah lain baja profil CNP balok purlin, kanal C, C-channel, profil C.



Gambar 2. 4. Baja CNP

Sumber : kulitdjeruk.blogspot.com

3. Baja Profil Siku

Profil ini dinyatakan dengan tanda L dengan tiga buah bilangan yang menunjukkan tinggi, lebar dan tebal profil dalam satuan mm. Terdapat dua jenis baja profil siku yaitu baja siku sama kaki dan baja siku tidak sama kaki. Baja profil siku (angle) biasa dipakai untuk bracing, member pada truss, balok, batang rangka kuda-kuda dan struktur-struk ringan yang lain.



Gambar 2. 5. Baja Siku

Sumber : etswords.blogspot.co.id

2.4.1. Teori Sambungan Baut

Dalam konstruksi baja, setiap bagian elemen dari strukturnya dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat pengikat (*fastener*)/penyambung. Jenis-jenis alat pengikat yang sering digunakan adalah paku keling (*rivet*), baut (*bolt*), dan las (*welded*). Apabila alat pengikat / penyambung menggunakan baut, maka perlu diperhatikan jenis material baut yang digunakan, karena baut dibagi atas beberapa tipe sehingga memiliki spesifikasi yang berbeda-beda.

Terdapat 2 tipe baut, yaitu baut biasa dan baut mutu tinggi. Berikut penjelasannya:

1. Baut biasa yaitu dengan kode material A307, memiliki karakteristik sama dengan baja ASTM A36, dengan $f_y = 248$ Mpa dan $f_u = 400$ Mpa.
2. Baut mutu tinggi (*high-strength bolt*) dengan kode material A325 dan A490. Baut A325 terbuat dari baja karbon sedang dengan kekuatan leleh (*yield strength*) dari 560 sampai dengan 630 MPa, sedangkan baut A490 terbuat dari baja *alloy* yang mempunyai kekuatan leleh mendekati 790 sampai dengan 900 Mpa. Berikut pembagian grup pada baut mutu tinggi:
 - a. Grup A : ASTM A325, A325M, F1852, A354 Grade BC, dan A449
 - b. Grup B : ASTM A490, A490M, F2280, dan A354 BD

2.4.1.1 Pemasangan Baut

Terdapat 3 tipe dalam pemasangan baut, yaitu sebagai berikut:

1. *Snug-tight*, yaitu baut dikencangkan sekencang mungkin.
2. *Pretension*, yaitu setelah baut dikencangkan dalam kondisi *snug-tight*, kemudian pengencangannya ditambah hingga memberikan tegangan tarik pada baut, lebih-kurang 70% dari kuat tarik minimum baut.
3. *Slip-critical joint*, yaitu mirip dengan *pretension*, bedanya adalah permukaan kontak antar komponen yang disambung diperlakukan secara khusus. Sambungan ini diperlukan jika sambungan menerima gaya tarik dan gaya geser.

Tabel 2. 1. Pratarik Baut Minimum, Kn*

Ukuran Baut, mm	Baut A325M	Baut A490M
M16	91	114
M20	142	179
M22	176	221

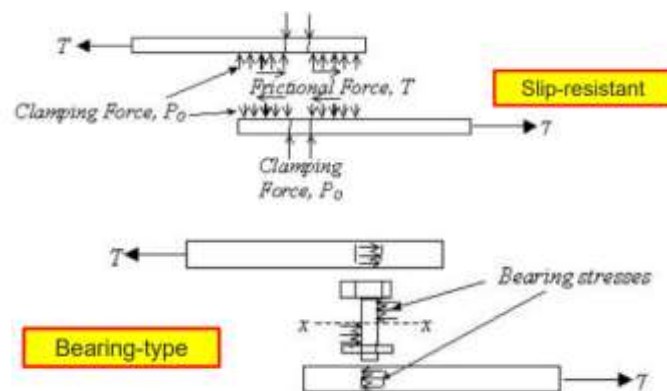
M24	205	257
M27	267	334
M30	326	408
M36	475	595

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

Sumber : SNI 1729-2015

2.4.1.2 Jenis Sambungan Baut

Sesuai dengan cara bekerjanya baut, dibedakan menjadi dua tipe yaitu sambungan *slip-resistant* dan *bearing-type*. Sambungan *slip-resistant* yaitu ketika gaya yang bekerja tidak melebihi kapasitas friksi sambungan yang diizinkan (*permissible frictional resistance*). Sedangkan sambungan *bearing-type* yaitu ketika gaya yang bekerja melebihi kapasitas sambungan yang diizinkan.



Gambar 2. 6. Sambungan *Slip-Resistant* vs *Bearing-Type*

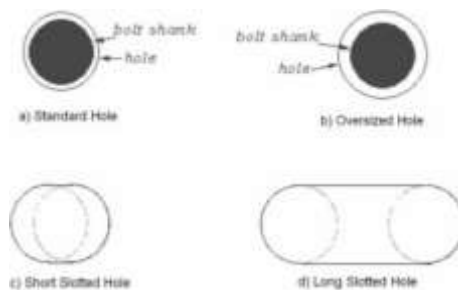
Sumber : <https://id.scribd.com/document/413613621/Set-08-Perencanaan-Sambungan-Baut-SNI-1729-2015-TUGAS>.

2.4.1.3 Ukuran Lubang Baut

Pada alat penyambung menggunakan baut, ukuran lubang baut pun dibagi menjadi beberapa tipe, yaitu sebagai berikut:

1. Standart size (STD) : Diameter lubang adalah diameter baut ditambah 2-3 mm.
2. Oversized holes (OVS), yaitu:
 - a. Diameter lubang adalah diameter baut ditambah 4-8 mm.
 - b. Toleransi lebih besar (mempercepat pemasangan), dengan beberapa persyaratan sebagai berikut:

- Boleh digunakan untuk semua tipe pemasangan baut (*snug-tight*, *pretension*, atau *slip-critical*) selama sambungan tersebut diklasifikasikan sebagai sambungan slip resistant.
 - Tidak boleh digunakan pada sambungan dengan klasifikasi bearing-type (ada perpindahan yang relatif cukup besar antara dua komponen yang disambung sebelum baut bekerja menahan beban).
3. *Short-slotted holes* (SSL) dan *Long-slotted holes* (LSL) : toleransi lebih besar (mempercepat pemasangan dilapangan), tetapi memiliki beberapa persyaratan, yaitu sebagai berikut:
- Jika sambungan diklasifikasikan *slip-resistant*, arah gaya tidak dipersyaratkan.
 - Jika sambungan diklasifikasikan *bearing-type*, maka arah gaya harus tegak lurus terhadap slot panjang.
 - Khusus LSL, hanya boleh dibuat pada salah satu komponen yang disambung saja.



Gambar 2. 7. Ukuran Lubang Baut

Sumber : <https://id.scribd.com/document/413613621/Set-08-Perencanaan-Sambungan-Baut-SNI-1729-2015-TUGAS>.

Berikut tabel ukuran lubang maksimum untuk baut berdasarkan SNI 1729-2015 :

Tabel 2. 2. Dimensi Lubang Nominal (mm)

Diameter Baut	Dimensi Lubang			
	Standar (Diameter)	Ukuran-lebih (Diameter)	Slot-Pendek (Lebar x Panjang)	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) x (d + 10)	(d + 3) x 2,5d
^[a] Izin yang diberikan memungkinkan penggunaan baut 1 in, jika diinginkan.				

Sumber : SNI 1729-2015

2.4.1.4 Spasi dan Jarak Tepi Minimum

Spasi minimum disyaratkan untuk memudahkan pengerjaan pemasangan baut serta mencegah keruntuhan dengan mekanisme *bearing* pada area diantara baut-baut. Untuk STD, OVD, SSL, dan LSL, jarak minimum tidak boleh kurang dari $2\frac{2}{3}d$ (d adalah diameter nominal/lubang), dan direkomendasikan $3d$. (Tidak ada peningkatan kapasitas jika spasi lebih dari $3d$ digunakan).

Sedangkan jarak tepi minimum disyaratkan untuk mencegah lubang baut yang terlalu dekat dengan tepi yang bisa menyebabkan retak pada komponen, serta untuk mencegah keruntuhan dan *tearing* pada komponen. Jarak tepi minimum yang disyaratkan oleh SNI 1729-2015, yaitu tertera pada tabel berikut:

Tabel 2.3. Jarak tepi minimum, ^[a]dari pusat lubang standar^[b] ketepi dari bagian yang disambung

Diameter Baut (mm)	Jarak tepi minimum
16	22
20	26
22	28
24	30
27	34
30	38
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 J3.5M

Sumber : SNI 1729-2015

Tabel 2. 4.Nilai 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	0,75d	0
24	3	3		
≥ 27	3	5		

^[a]Bila panjang slot kurang dari maksimum yang diizinkan (lihat Tabel J3.3M), C_2 diizinkan direduksi sebesar setengah perbedaan antara panjang slot maksimum dan aktual.

Sumber : SNI 1729-2015

2.4.1.5 Spasi dan Jarak Tepi Maksimum

Aturan ini ditetapkan untuk memastikan dua permukaan komponen yang disambung menempel (tidak ada gap), untuk mencegah kemungkinan masuknya air diantara keduanya. Jarak tepi maksimum yang disyaratkan adalah 12t (t adalah tebal bagian yang disambung) dan tidak boleh melebihi 150 mm. Sedangkan spasi maksimum yang disyaratkan, yaitu sebagai berikut:

- Untuk komponen yang dicat yaitu 24t (maksimum 305 mm)
- Untuk komponen yang tidak dicat yaitu 14t (maksimum 180 mm), dimana t adalah tebal dari komponen yang lebih tipis)

2.4.1.6 Kuat Nominal Baut untuk Tarik atau Geser

Kuat nominal baut untuk tarik atau geser ditentukan sebagai yang minimum diantara kondisi berikut:

- Baut tarik atau geser : Kondisi batas runtuh (rupture)

$$\phi R_n = \phi F_n A_b \quad (2.5)$$

Keterangan:

ϕ : 0,75

Rn: kuat nominal baut untuk tarik atau geser, N

Ab: penampang nominal baut, mm²

F_n : tegangan nominal baut (Tabel)

untuk tarik : F_{nt}, Mpa

untuk geser : F_{nv}, Mpa

Tabel 2. 5. Tegangan Nominal Baut

Deskripsi Pengencang	Kekuatan tarik Nominal, F _{nt} , ksi (Mpa) ^[a]	Kekuatan Geser Nominal dalam Sambungan Tipe Tumpu, F _{nv} , Ksi (Mpa) ^[b]
Baut A307	45 (310)	27 (188) ^{[c][d]}
Baut grup A (misal, A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut grup A (misal, A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	90 (620)	68 (457)
Baut grup A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	113 (780)	68 (457)
Baut grup A490 atau A490M, bila	113 (780)	84 (579)

ulir tidak termasuk dari bidang geser		
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	0,75 Fu	0,450 Fu
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	0,75 Fu	0,563 Fu
^[a] Untuk baut kekuatan tinggi yang menahan beban fatik tarik, lihat Lampiran 3 ^[b] Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencangan lebih besar dari 38 in. (965 mm), Fnv harus direduksi sampai 83,3% dari nilai tabulasi. Panjang pola pengencangan merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut-baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan lekatan. ^[c] Untuk baut A307 nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1 persen untuk setiap 1/16 in. (2 mm) diatas diameter 5 dari panjang pada pegangan/grip tersebut. ^[d] Ulir diizinkan pada bidang geser.		

Sumber : SNI 1729-2015

2. Baut geser : kondisi batas *bearing* pada lubang baut

- a. Untuk batas bearing pada lubang STD, OVS, SSL (arah beban tiak dibatasi), dan LSL (arah beban searah slot)

1) Jika deformasi pada kondisi beban layan menjadi pertimbangan:

$$\phi R_n = \phi 1,2 \ell_c t F_u \leq \phi 2,4 d t F_u \quad (2.6)$$

2) Jika deformasi pada kondisi beban layan tidak menjadi pertimbangan:

$$\phi R_n = \phi 1,5 \ell_c t F_u \leq \phi 3,0 d t F_u \quad (2.7)$$

- b. Untuk baut pada sambungan dengan lubang LSL (arah beban tegak lurus slot)

$$\phi R_n = \phi 1,0 \ell_c t F_u \leq \phi 2,0 d t F_u \quad (2.8)$$

dimana:

Fu : kuat tarik dari komponen yang disambung, Mpa

d : diameter nominal baut, mm

ℓ_c : jarak bersih, dalam arah beban, antara tepi lubang dan tepi lubang berikutnya atau komponen yang disambung, mm

t : tebal komponen yang disambung, mm

ϕ : 0,75

2.4.1.7 Kuat Nominal Baut untuk Kombinasi Tarik Geser (*Bearing-type*)

Kuat Nominal Baut untuk Kombinasi Tarik Geser (*Bearing-type*), kondisi batas runtuh baut (rupture) didapat dari persamaan berikut:

$$\phi R_n = \phi F'_{nt} A_b \quad (2.9)$$

dimana :

$$F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - \frac{F_{nt}}{\phi F_{nv}} F_{rv} \leq F_{nt} \quad (2.10)$$

Keterangan:

F'_{nt} : tegangan tarik nominal yang memperhitungkan efek tegangan geser, Mpa

F_{nt} : tegangan geser nominal, Mpa

F_{rv} : tegangan geser perlu, Mpa

2.4.1.8 Kuat Nominal Baut untuk *Slip Critical (Pretension)*

Sambungan geser selain ditentukan sebagai yang minimum dari kondisi batas baut dan lubang baut, tetapi dibandingkan pula dengan kondisi batas slip. Kondisi batas slip dihitung berdasarkan persamaan kuat slip sambungan berikut:

$$\phi R_n = \phi \mu D_u h_f T_b n_s \quad (2.11)$$

Keterangan:

μ : koefisien slip rata-rata:

permukaan kelas A $\rightarrow \mu = 0,3$

permukaan kelas B $\rightarrow \mu = 0,5$

D_u : faktor berdasarkan rasio *pretension*. $D_u = 1,13$

T_b : gaya pretension minimum

h_f : faktor pengisi

n_s : jumlah bidang slip yang diperlukan

Berikut uraian aturan dari parameter diatas:

1. Untuk faktor pengisi (*filler*), berikut aturannya:
 - a. Bila tidak ada pengisi (*filler*) atau dimana baut telah ditambahkan untuk mendistribusikan beban pada pengisi, maka $h_f = 1,0$.
 - b. Bila baut-baut tidak ditambahkan untuk mendistribusikan beban pada pengisi, maka:
 - Untuk satu pengisi antara bagian-bagian tersambung, $h_f = 1,0$

- Untuk dua atau lebih pengisi antara bagian-bagian tersambung, $h_f=0,85$
2. Koefisien slip rata-rata, μ :
 - a. Permukaan kelas A : permukaan baja mill scale bersih, tanpa dicat, atau permukaan dengan pelapis kelas A pada baut blast-cleaned atau di galvanis dicelup panas dan permukaan dikasarkan $\rightarrow \mu = 0,3$
 - b. Permukaan kelas B : permukaan baja blast-cleaned tanpa dicat atau permukaan dengan pelapis kelas B pada baja blast-cleaned $\rightarrow \mu = 0,5$
 3. Faktor rasio pretension, $D_u = 1,33 \rightarrow$ penggunaan nilai selain yang sudah disyaratkan diperbolehkan, selama mendapatkan persetujuan dari insinyur yang memiliki izin bekerja sebagai perencana.
 4. Koefisien reduksi, ϕ :
 - a. Untuk STD dan SSL (slot tegak lurus dengan arah beban) $\rightarrow \phi = 1,00$
 - b. Untuk OVS dan SSL (slot searah dengan arah beban) $\rightarrow \phi = 0,85$
 - c. Untuk LSL $\rightarrow \phi = 0,70$

Sedangkan untuk sambungan kombinasi tarik dan geser, gaya tarik akan mengurangi kuat slip dari baut sehingga kuat slip harus dikalikan dengan faktor k_{sc} .

$$k_{sc} = 1 - \frac{T_u}{D_u T_b n_b} \quad (2.12)$$

Keterangan:

T_u : kuat tarik perlu

n_b : jumlah baut yang menerima gaya tarik

2.4.2. Desain Base Plate dan Angkur

Pertemuan antara kolom baja dan beton dibutuhkan suatu material untuk mendistribusikan beban dari kolom baja ke beton, sehingga digunakanlah material baja yaitu *base plate* yang berfungsi mendistribusikan beban tersebut. Adapun untuk mendesain *base plate* dan angkur, ketentuan yang digunakan mengacu pada *AISC steel Design Guide 2006*.

2.4.2.1. Base Plate

Dalam mendesain *base plate*, terdapat lima kasus beban desain yang berbeda dalam sambungan *base plate* yaitu *Concentric Compressive Axial Loads*, *Tensile Axial Loads*, *Base Plates with Small Moments*, *Base Plates Large Moments*, and *Design for Shear*.

Desain *base plate* yang akan dibahas yaitu *Base Plates with Small Moments* (*base plate* dengan momen kecil). Berikut langkah-langkah desain *base plate* dengan momen kecil:

1. Tentukan beban axial dan momen yang terjadi.
2. Pilih ukuran *base plate*, $N \times B$

Dimensi *base plate* $N \times B$ harus cukup besar untuk pemasangan empat *anchor*,

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta \geq d + 100 \text{ (mm)} \quad (2.13)$$

$$B = \frac{A_1}{N} \geq d + 100 \text{ (mm)} \quad (2.14)$$

Dimana :

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c \times 0,85 \times f'_c} \quad (2.15)$$

$$\Delta = 0,5 (0,95d - 0,8bf) \quad (2.16)$$

3. Tentukan $e \leq e_{crit}$ (desain *base plate* dengan momen kecil)

$$e = Mr / Pr \quad (2.17)$$

$$e_{crit} = \frac{N}{2} - \frac{P_r}{2q_{max}} \quad (2.18)$$

Dimana:

$$f_{p(max)} = \phi_c (0,85f'_c) \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (2.19)$$

4. Tentukan panjang bantalan, Y , dengan persamaan berikut:

$$Y = N - 2e \quad (2.20)$$

Kemudian cek,

$$\left(q = \frac{P_u}{Y} \right) \leq q_{max} \quad (2.21)$$

5. Tentukan ketebalan pelat *base plate* yang diperlukan $t_{p(req)}$.

Untuk $Y \geq m$;

$$t_{p(req)} = \sqrt{\frac{4\left\{f_p\left(\frac{m^2}{2}\right)\right\}}{0,90F_y}} = 1,5m \sqrt{\frac{f_p}{F_y}} \quad (2.22)$$

Untuk $Y \leq m$;

$$t_{p(req)} = 2.11 \sqrt{\frac{f_p Y \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{F_y}} \quad (2.23)$$

dimana:

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} \quad (2.24)$$

cek pula $t_{p(req)}$ menggunakan nilai n dengan cara yang sama untuk mencari

$t_{p(req)}$ menggunakan nilai m . Berikut persamaan untuk mencari nilai n :

$$n = \frac{B - 0.8b_f}{2} \quad (2.25)$$

2.4.2.2. Angkur

Angkur dibagi menjadi 2 katagori berdasarkan metode pemasanganya, yaitu *cast-in place* dan *drilled-in anchors*. *Cast-in place* yaitu angkur diatur sebelum beton ditempatkan, sedangkan *drilled-in anchors* yaitu dipasang setelah beton mengeras dengan cara di bor. Material angkur pun memiliki beberapa macam. Berikut material angkur yang direkomendasikan untuk desain bangunan berdasarkan AISC :

Tabel 2. 6. Material Angkur

Material ASTM		Tensile Strength, Fu (ksi)	Nominal Tensile Stress,[a] Fnt = 0.75Fu (ksi)	Nominal Shear Stress (X type),[a, b] Fnv = 0.50Fu (ksi)	Nominal Shear Stress (N type),[a, c] Fnv = 0.40Fu (ksi)	Maximu m Diamete r, in.
F1554	Gr 36 ^[d]	58	43,5	29,0	23,2	4
	Gr 55	75	56,3	37,5	30,0	4
	Gr 105	125	93,8	62,5	50,0	3
A449		120	90,0	60,0	48,0	1
		105	78,8	57,5	42,0	1½
		90	67,5	45,0	36,0	3

A36	58	43,5	29,0	23,2	4
A307	58	43,5	29,0	23,2	4
A354	150	112	75,0	60,0	2 ^{1/2}
Gr BD	140	105	70,0	56,0	4
^[a] Nominal stress on unthreaded body for cut threads (based on major thread diameter for rolled threads) ^[b] Threads excluded from shear plane ^[c] Threads included in the shear plane ^[d] Preferred material specification					

Sumber : AISC steel Design Guide 2006

Masalah lapangan yang paling umum adalah penempatan angkur. Sehingga penting untuk menyediakan lubang sebesar mungkin untuk mengakomodasi toleransi pengaturan. Berikut tabel ukuran angkur yang dapat digunakan:

Tabel 2. 7. Ukuran angkur pada base plate

Recommended Sizes for Anchor Rod Holes in Base Plates			
Anchor Rod Diameter, in.	Hole Diameter, in.	Min. Washer Diameter, in.	Min. Washer Thickness, in.
³ / ₄	1 ⁵ / ₆	2	¹ / ₄
⁷ / ₈	1 ⁹ / ₁₆	2 ¹ / ₂	⁵ / ₁₆
1	1 ¹³ / ₁₆	3	³ / ₈
1	2 ¹ / ₁₆	3	¹ / ₂
1	2 ⁵ / ₁₆	3 ¹ / ₂	¹ / ₂
1	2 ³ / ₄	4	⁵ / ₈
2	3 ¹ / ₄	5	³ / ₄
2	3 ¹ / ₄	5 ¹ / ₂	⁷ / ₈
Notes: 1. Circular or square washers meeting the size shown are acceptable. 2. Adequate clearance must be provided for the washer size selected. 3. See discussion below regarding the use of alternate 1z-in. hole size for w-in.-diameter anchor rods, with plates less than 1 in. thick.			

Sumber : AISC steel Design Guide 2006

Adapun dalam mendesain angkur dibagi menjadi dua yaitu karena akibat tarik dan geser.

1. Desain angkur untuk geser

- Ketika *base plate* terkena gaya geser, V_u , dan gesekan antara *base plate* dan beton tidak memadai untuk menahan geser, batang angkur dapat mengalami geser.

- Kekuatan baja dari angkur tunggal geser, yaitu:

$$V_s = A_{se} f_{ut} \quad (2.26)$$

- Kekuatan pelepasan beton dari angkur tunggal geser, yaitu:

$$V_{cb} = \frac{A_v}{A_{vo}} \psi_6 \psi_7 V_b \quad (2.27)$$

Dimana:

$$V_b = 7 \left(\frac{l}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} c_1^{1.5} \quad (2.28)$$

Keterangan:

ψ_6, ψ_7 : faktor modifikasi

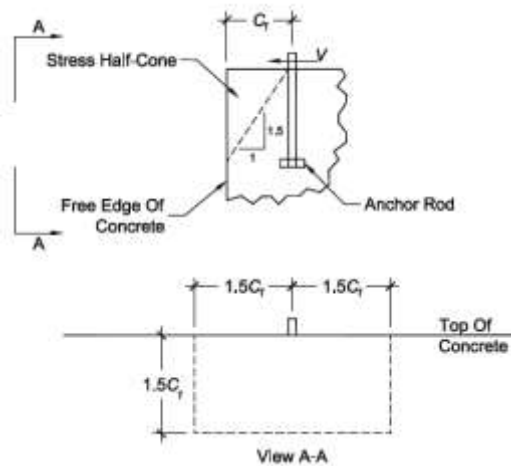
d_o : diameter batang, in

l : memuat panjang angkur untuk geser tidak melebihi $8d_o$, in

c_1 : jarak tepi ke arah beban seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.22

A_{vo} : area yang diproyeksikan pada permukaan kegagalan satu angkur yang jauh dari tepi dengan arah tegak lurus terhadap gaya geser
 $(A_{vo} = 4.5(c_1)^2)$

A_v : area geser penahan total untuk jangkar tunggal, atau sekelompok jangkar



Gambar 2. 8. Concrete breakout cone for shear
 Sumber : AISC steel Design Guide 2006

d. Kekuatan angkur mencabut

$$V_{cp} = K_{cp} N_{cp} \quad (2.29)$$

Dimana:

$K_{cp} = 1.0$ untuk $h_{ef} \leq 2.5$ in. Dan
 $= 2.0$ untuk $h_{ef} > 2.5$ in

N_{cp} = kekuatan pelepasan beton nominal dalam tegangan satu ankur,
kips

h_{ef} = panjang embedment ankur efektif, in.

- e. Kekuatan nominal geser $V_n = \min (V_s, V_{cb}, V_{cp})$
- f. Jika $V_u \leq \phi V_n$, maka Ok
- g. Jika $V_u > \phi V_n$, maka harus menyediakan penguat geser di sekitar ankur atau menggunakan penutup geser

3. Desain ankur untuk tarik

- a. Tentukan gaya angkat maksimum pada kolom (T_u)
- b. Kekuatan baja ankur untuk tarik

$$N_s = A_{se} f_{ut} \quad (2.30)$$

Dimana:

A_{se} : luas penampang ankur yang efektif

f_{ut} : kekuatan tarik ankur, tidak lebih besar dari 1,9fy atau 125 ksi

- c. Kekuatan pelepasan beton dari ankur tunggal tarik

$$N_{cb} = \frac{A_N}{A_{No}} \psi_2 \psi_3 N_b \quad (2.31)$$

Dimana:

$$N_b = k \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5} \quad (2.32)$$

h_{ef} = panjang embedment ankur efektif, in

k = .24 untuk ankur *cast-in place*, 17 untuk ankur *post-instal*

ψ_2, ψ_3 = *modification factors*

A_{No} = area yang diproyeksikan pada permukaan kegagalan ankur tunggal yang jauh dari tepian

$$A_{No} = 9h_{ef}^2$$

A_N =diperkirakan sebagai dasar dari bilangan geometris bujur sangkar yang dihasilkan dari memproyeksikan permukaan kegagalan ke luar $1.5h_{ef}$ dari garis tengah ankur

$$A_N = (c_1 + 1.5h_{ef})(2 \times 1.5h_{ef})$$

- d. Kekuatan tarik ankur

$$N_{pn} = \psi_4 A_{brg} 8f_c \quad (2.33)$$

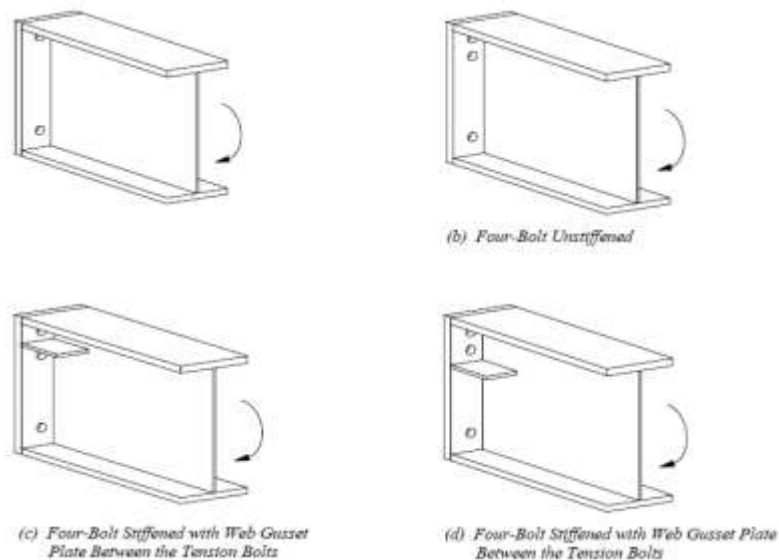
- e. Kekuatan nominal geser $N_n = \min(N_s, N_{cb}, N_{pn})$
- f. Jika $T_u < \phi N_n$, maka Ok
- g. Jika $T_u > \phi N_n$, maka harus menyediakan penguat geser di sekitar angkur batang atau menggunakan penutup geser

Apabila dalam desain terjadi kombinasi antara tarik dan geser, maka berlaku persamaan berikut:

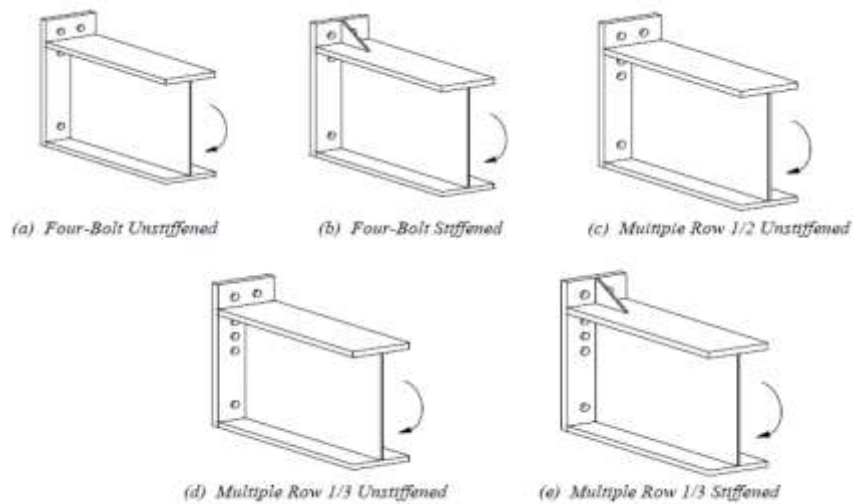
$$\frac{T_u}{\phi N_n} + \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1.2 \quad (2.34)$$

2.4.3. Desain *End Plate*

Desain end plate menggunakan sambungan momen terbagi menjadi 2 tipe, yaitu tipe *flush* dan *extended*. Tipe tersebut bisa dikombinasikan dengan terkekang (*stiffened*) dan tidak terkekang (*unstiffened*).

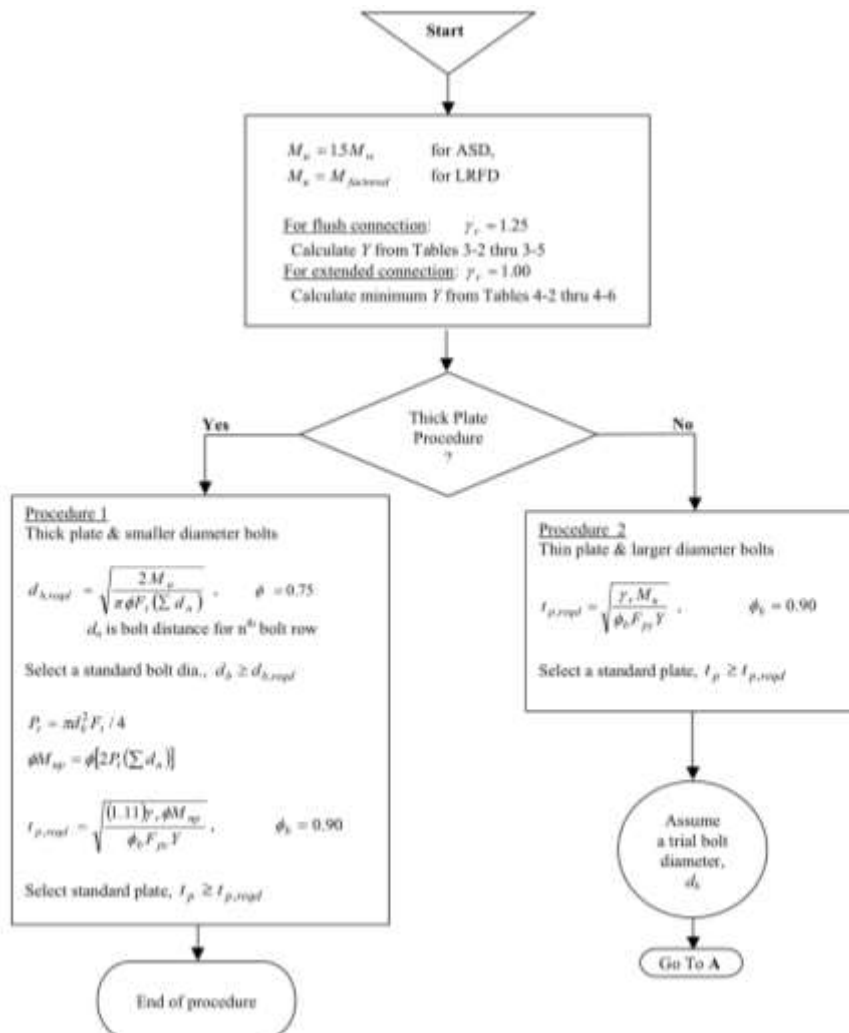


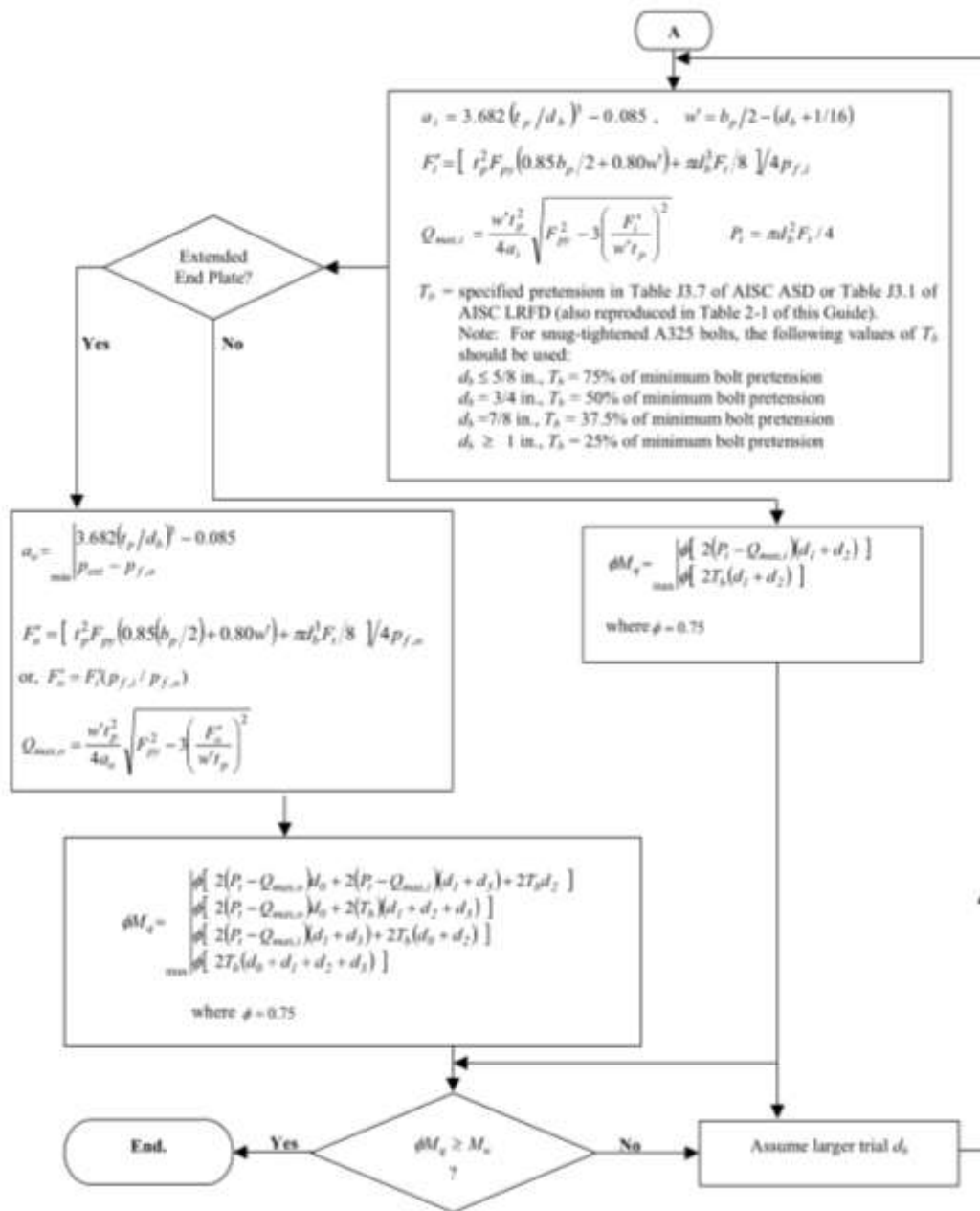
Gambar 2. 9. *flush connection*
 Sumber : AISC steel Design Guide 2003



Gambar 2. 10. extended connection
 Sumber : AISC steel Design Guide 2003

Adapun langkah-langkah dalam perhitungan desain *end plate* tipe *flush* dan *extended* akan dgambarkan melalui *flow chart* berikut :





Gambar 2. 11. Flow chart : Bolted end plate connection design
 Sumber : AISC steel Design Guide 2003

2.5. Pembebanan

Perencanaan pada suatu struktur gedung harus direncanakan dapat menahan beban-beban yang bekerja. Besarnya beban yang bekerja pada struktur mengacu pada SNI 1727-2013 dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.

2.5.1 Beban Mati

Beban mati ialah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu.

2.5.2 Beban Hidup

Beban hidup ialah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan kedalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut. Berikut beban pada lantai dan atap pada gedung berdasarkan SNI 1727-2013:

1. Beban Hidup

Beban hidup pada gedung diambil menurut tabel berikut:

Tabel 2.8. Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum.

Hunian atau Penggunaan	Merata psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Apartemen (lihat rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang komputer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	

Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	100 (4,79) ^a	
Balkon dan dek	1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psff (4,79 kN/m ²)	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1,92)	300 (1,33)
Koridor		
Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai lain	Sama seperti pelayanan Hunian kecuali disebutkan lain	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in [50 mm x 50 mm])		300 (0,89)
Konstruksi pelat lantai finishing ringan (pada area 1 in x1 in. [25 mm x 25 mm])		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Tangga permanen	Lihat pasal 4,5	
Garasi/ parkir mobil penumpang saja	40 (1,92) ^{a,b,c}	

truk dan bus		
Susunan tangga, rel pengaman dan batang pegangan	Lihat pasal 4,5	
Helipad	60 (2,87) ^{de} tidak boleh direduksi	e,t,g
Rumah sakit:		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor diatas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan:		
Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a,h}	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Pabrik:		
Ringan	125 (6,00) ^a	2000 (8,9)
Berat	250 (11,97) ^a	3000 (13,40)
Gedung perkantoran:		
Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian		
Lobi dan koridor lantai pertama	100 (4,79)	2000 (8,9)
Kantor	50 (2,40)	2000 (8,9)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	2000 (8,9)
Lembaga hukum		
Blok sel	40 (1,92)	
Koridor	100 (4,79)	
Tempat rekreasi		
Tempat bowling, kolam renang, dan penggunaan yang sama	75 (3,59) ^a	
Bangsas dansa dan ruang dansa	100 (4,79) ^a	

Gimnasium	100 (4,79) ^a	
Tempat menonton baik terbuka atau tertutup	100 (4,79) ^{a,k}	
Stadium dan tribun/arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	60 (2,87) ^{a,k}	
Rumah tinggal:		
Hunian (satu keluarga dan dua keluarga)		
Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang	10 (0,48) ^l	
Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang	20 (0,96) ^m	
Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur	20 (1,44)	
Semua ruang kecuali tangga dan balkon	40 (1,92)	
Semua hunian rumah tinggal lainnya		
Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	40 (1,92)	
Ruang publik dan koridor yang melayani mereka	100 (4,79)	
Atap:		
Atap datar, berbubung, dan lengkung	20 (0,96) ^a	
Atap digunakan untuk taman atap Atap yang digunakan untuk tujuan lain	100 (4,79) Sama seperti hunian dilayani	i
Atap yang digunakan untuk hunian lainnya	a	
Awning dan kanopi		
Konstruksi pabrik yang didukung oleh struktur rangka kaku ringan	5 (0,24) Tidak boleh direduksi	
Rangka tumpu layar penutup	5 (0,24) tidak boleh direduksi dan bersarkan luas	200 (0,89)

	tributary dari atap yang ditumpu oleh rangka	
Semua konstruksi lainnya	20 (0,96)	
Komponen struktur atap utama, yang terhubung langsung pekerjaan lantai		2000 (8,9)
Titik panel tunggal dari batang bawah rangka atap atau setiap titik sepanjang komponen struktur utama yang mendukung atap diatas pabrik, dan perbaikan garasi		
Semua komponen struktur atap utama lainnya		300(1,33)
Semua permukaan atap dengan beban pekerja		300 (1,33)
Pemeliharaan		
Sekolah		
Ruang kelas	40 (1,92)	1000 (4,5)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,5)
Koridor lantai pertama	100 (4,79)	1000 (4,5)
Bak-bak/scuttles, rusuk untuk atap kaca dan langit- langit yang dapat diakses		200 (0,89)
Pinggir jalan untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk	250 (11,97) ^{a,p}	
Tangga dan jalan keluar	100 (4,79)	300 ^r
Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	40 (1,92)	300 ^r
Gudang diatas langit-langit	20 (0,96)	
Gudang penyimpanan barang sebelum disalurkan ke pengecer (jika diantisipasi menjadi gudang penyimpanan, harus dirancang untuk beban lebih berat)		

Ringan	125(6,00) ^a	
Berat	250 (11,97) ^a	
Toko Eceran Lantai pertama	100 (4,79)	
Lantai di atasnya	75 (3,59)	
Grosir, di semua lantai	125 (6,00) ^a	
Penghalang kendaraan	Lihat Pasal 4.5	
Susuran jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	60 (2,87)	
Pekarangan dan teras, jalur pejalan kaki	100 (4,79) ^a	

Sumber : SNI 1727-2013

2.5.3 Beban Angin

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, beban angin ialah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan angin ditentukan dengan mengalikan tekanan tiup dengan koefisien angin. Pada perencanaan bangunan gedung laboratorium ini tekanan angin tiup yang digunakan yaitu tekanan angin tiup maksimum yaitu sebesar 40 kg/m², karena kampus ITERA memiliki tiupan angin yang cukup besar. Sedangkan besarnya koefisien angin untuk gedung tertutup, nilai koefisien angin pada dinding vertikalnya yaitu sebagai berikut:

1. Dipihak angin = 0.9
2. Dibelakang angin = 0.4
3. Tegak lurus dengan arah angin = 0.4

2.5.4 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban dalam arah horizontal dari struktur yang timbul karena adanya gerakan tanah akibat gempa bumi, baik dalam arah vertikal maupun horizontal. Beban gempa untuk bangunan mengikuti Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012).

2.6. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi beban yang digunakan yaitu berdasarkan peraturan pembebanan SNI 1726-2012. Kombinasi yang digunakan yaitu metode ultimit, sebagai berikut:

1. $1,4DL$
2. $1,2DL + 1,6LL + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
3. $1,2DL + 1,6(Lr \text{ atau } R) + (LL \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2DL + 1,0W + LL + 0,5(Lr \text{ atau } R)$
5. $1,2DL + 1,0E + LL$
6. $0,9DL + 1,0W$
7. $0,9DL + 1,0E$

Dimana:

DL : Beban mati (*Dead Load*)

LL : Beban hidup (*Live Load*)

Lr : Beban hidup atap

W : Beban angin

E : Beban gempa

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3,4, dan 5 boleh diambil sama dengan 0,5 kecuali untuk ruangan garasi, ruangan pertemuan dan semua ruangan yang nilai beban hidupnya lebih besar dari pada 500 kg/m^2 .

Namun, selain kombinasi ultimate, pada perencanaan struktur atas gedung laboratorium digunakan pula kombinasi beban layan yang akan digunakan untuk menghitung simpangan pada kolom, yaitu sebagai berikut :

1. $D + (0,6W \text{ atau } 0,7 E)$
2. $D + 0,75(0,6W \text{ atau } 0,7E) + 0,75 (Lr \text{ atau } R)$

2.7. Pengaruh Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012, pengaruh beban gempa harus ditentukan sesuai dengan ketentuan berikut ini:

1. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dalam kombinasi metode ultimit, E harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$E = E_h + E_v \quad (2.35)$$

2. Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7 dalam kombinasi metode ultimit, E harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$E = E_h - E_v \quad (2.35)$$

Keterangan :

E = Pengaruh beban gempa

E_h = Pengaruh beban gempa horizontal

E_v = Pengaruh beban gempa arah vertikal

Pengaruh beban gempa horizontal (E_h), harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.37)$$

Keterangan :

Q_E = Pengaruh gaya gempa horizontal dari V dan F_p

ρ = Faktor redundansi

Pengaruh beban gempa vertikal (E_v) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_v = 0,2 S_{DS} D \quad (2.38)$$

Keterangan :

S_{DS} = Pengaruh gaya gempa horizontal dari V dan F_p

D = Pengaruh beban mati

Sehingga, pembebanan gempa pada kombinasi 5 dan 7 pada metode ultimit menjadi:

5. $(1,2 + 0,2 S_{DS}) DL + \rho Q_E + L$

7. $(0,9 - 0,2 S_{DS}) DL + \rho Q_E$

2.8. Persyaratan Umum Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Gedung Berdasarkan SNI 1726 -2012

Berdasarkan SNI 1726-2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, terdapat persyaratan umum yang telah ditetapkan. Berikut akan dijelaskan persyaratan umum tersebut pada sub bab dibawah ini.

2.8.1. Gempa Rencana

Berdasarkan SNI 1726-2012 pengaruh gempa rencana harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung dengan gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%.

2.8.2. Faktor Keamanan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung yang ditunjukkan pada tabel 2.1, pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut tabel 2.2. Khusus untuk bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operational dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunannya yang bersebelahan harus di desain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.2. Kategori risiko bangunan gedung dan non gedung untuk beban gempa.

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none">- Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan- Fasilitas sementara- Gudang penyimpanan- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none">- Perumahan- Rumah toko dan rumah kantor- Pasar- Gedung perkantoran- Gedung apartemen/rumah susun- Pusat perbelanjaan/mall- Bangunan industry	II

<ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran</p>	<p>III</p>

<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV
---	----

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 2.3. Faktor keutamaan gempa.

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I dan II	1,00
III	1,25
IV	1,50

Sumber: SNI 1276-2012

2.8.3. Respons Spektrum

Respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T , versus respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respon-respon maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*spectral displacement*), kecepatan maksimum (*spectral velocity*) atau percepatan maksimum (*spectral acceleration*) massa struktur *single degree of freedom* (SDOF), (Widodo, 2001).

Pada percepatan maksimum gempa (MCE_R), penentuan respons spektral berdasarkan SNI 1276-2012 di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismic 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 (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, dimana parameter tersebut didapatkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (2.39)$$

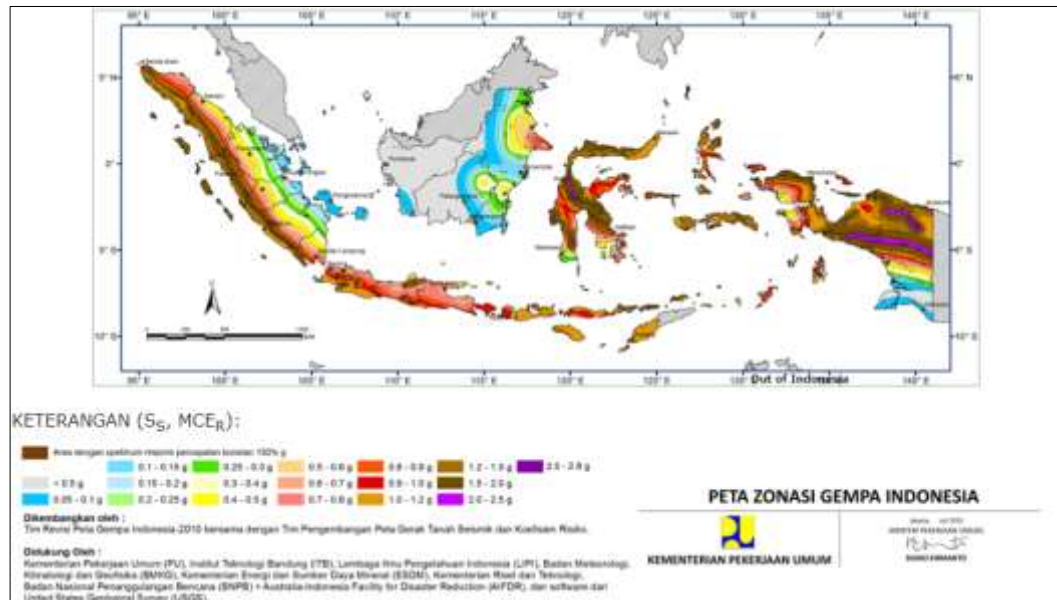
$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (2.40)$$

Keterangan:

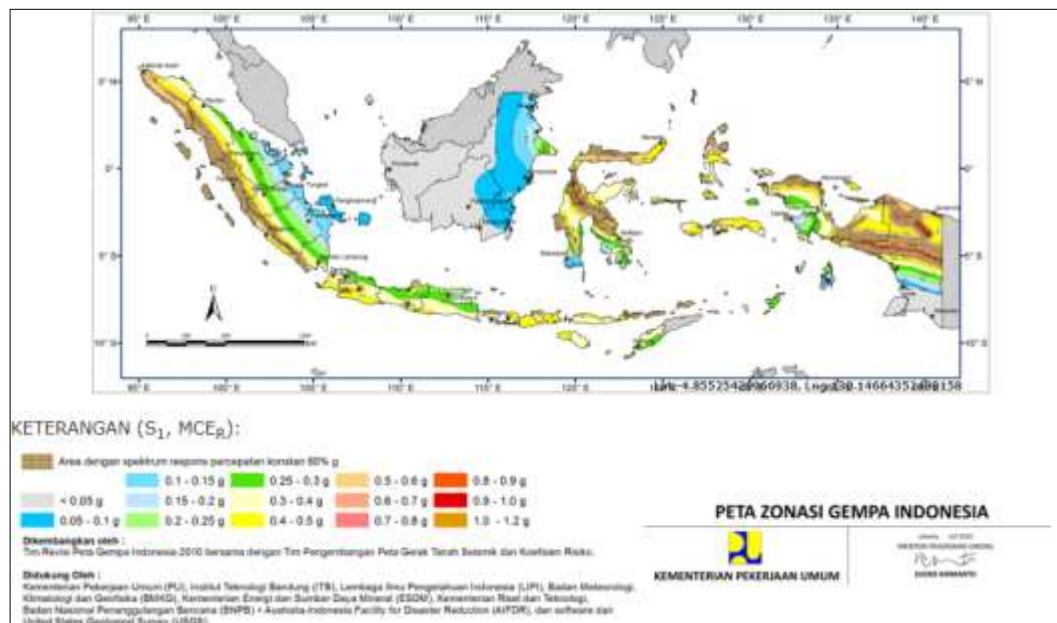
S_s : Parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode pendek.

S_1 : Parameter respons spectral percepatan gempa MCE_R terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Dimana nilai S_s dan S_1 didapatkan dengan melihat peta gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko target (MCE_R).



Gambar 2.2. Peta Parameter S_s
(Sumber: Puskim)



Gambar 2.2. Peta Parameter S_1
(Sumber: Puskim)

Sedangkan untuk menentukan nilai F_a dan F_v , digunakan tabel koefisien berdasarkan kelas situs, yaitu :

Tabel 2. 9. Koefisien situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber: SNI 1726:2012

Tabel 2. 10. Koefisien situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spectral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda 1 detik, S_1				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,3$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,0	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,1	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	0,9	2,4
SF	SS^b				

Sumber: SNI 1726:2012

Adapun prosedur respons spektrum desain berdasarkan SNI 1276-2012, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan;

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.41)$$

Dimana:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.42)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.43)$$

2. 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} .
3. Untuk perioda lebih besar dari T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.44)$$

Keterangan:

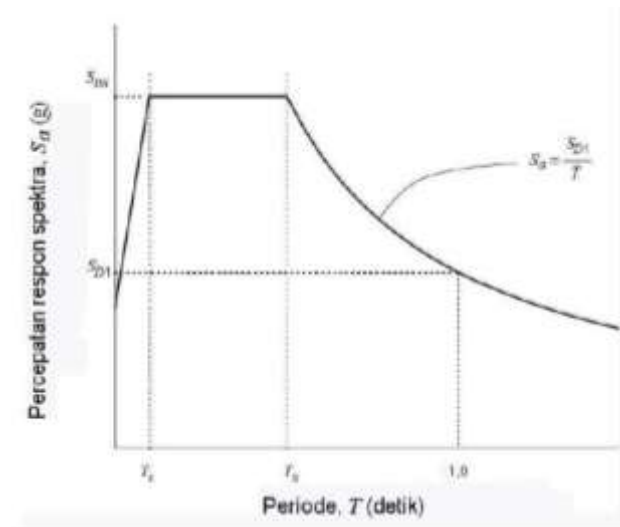
S_{DS} : parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

S_{DI} : parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 pendek

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

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

4. Plot kurva respons spektrum desain



Gambar 2. 12. Spektrum Respons Desain

Sumber: SNI 1726:2012

2.8.4. Katagori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.5. Setiap struktur harus diklasifikasikan desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektrum percepatan desainnya, SDS dan SD1. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 2.11 untuk periode pendek dan Tabel 2.12 untuk periode 1 detik:

Tabel 2. 11. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Katagori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2012

Tabel 2. 12. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Katagori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Sumber : SNI 1726-2012

2.8.5. Pemilihan Sistem Struktur

Setiap sistem penahan gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut. Sistem penahan gempa dan persyaratannya termuat dalam tabel berikut:

Tabel 2. 13. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m)				
				Katagori desain seismik				
				B	C	D	E	F
Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	TB	10	TI
3. Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
4. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
5. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

6. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
---	---	---	-----	----	----	----	----	----

Sumber : SNI 1726-2012

2.8.6. Faktor Redundansi

Faktor redundansi, ρ , menurut SNI 1726-2012 harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah ortogonal untuk semua struktur, sesuai dengan ketentuan berikut:

1. Kondisi di mana nilai ρ adalah 1,0

Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C;
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta;
- Desain komponen non-struktural;
- Desain struktur non-gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung;
- Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih;
- Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih;
- Struktur dengan sistem peredaman;
- Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

2. Faktor redundansi (ρ) untuk kategori desain seismik D sampai F

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, ρ harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, di mana ρ diizinkan diambil sebesar 1,0:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau;
- Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus

dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.