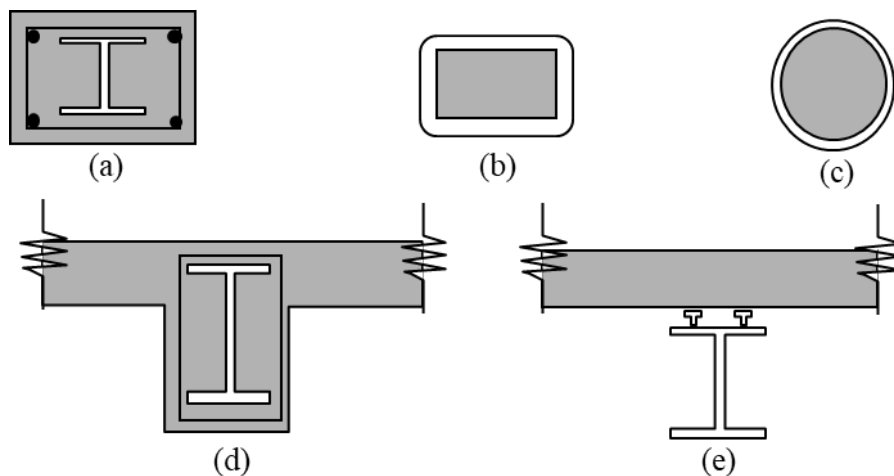


## BAB 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Struktur Komposit

Struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari dua atau lebih material yang memiliki sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan yang akan menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik, serta desain profil/elemen menjadi lebih ekonomis (Muharam et al., 2017). Penerapan struktur komposit baja-beton didasarkan pada sifat yang dimiliki dari kedua material tersebut. Beton memiliki perilaku yang menguntungkan ketika menerima beban tekan, namun mempunyai kelemahan ketika menerima beban tarik. Baja mempunyai kemampuan yang sama baik dalam menerima beban tarik maupun tekan, namun ketika menerima beban tekan harus diwaspadai akan terjadinya bahaya tekuk (Giatmajaya et al., 2020).

Struktur komposit merupakan komponen struktur yang menggabungkan dua jenis material yang berbeda, maka dari itu, perhitungan kapasitasnya tidak sederhana apabila dibandingkan dengan struktur non komposit (Alfirdaus et al., 2019). Beberapa keuntungan yang bisa didapatkan dari penggunaan material komposit pada struktur bangunan yaitu dapat mereduksi berat profil baja yang digunakan, mengurangi dimensi profil baja yang dipakai, meningkatkan kekakuan lantai, serta menambah panjang bentang layan (Giatmajaya et al., 2020).



Gambar 2.1 Macam-Macam Struktur Komposit

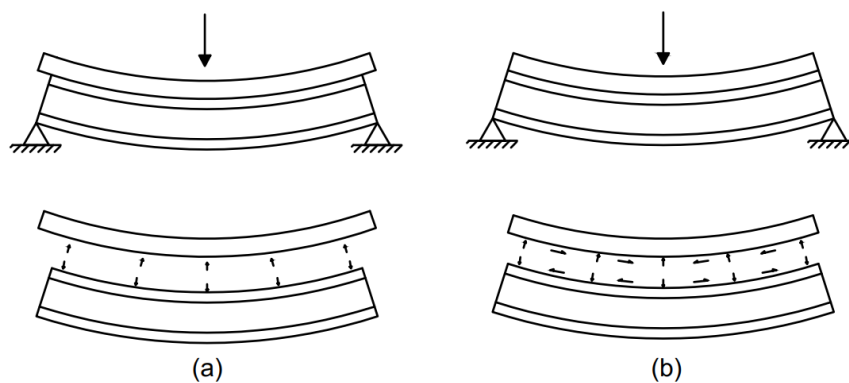
Adapun keterangan dari Gambar 2.1 mengenai macam-macam truktur komposit yaitu:

1. Kolom baja terbungkus beton/balok baja terbungkus beton (Gambar 2.2 a dan 2.2 d).
2. Kolom baja berisi beton/tiang pancang (Gambar 2.2 b dan 2.2 c).
3. Balok baja yang menahan slab beton (Gambar 2.2 e).

## 2.2 Aksi Komposit

Aksi komposit terjadi apabila dua bagian/batang struktur pemikul beban, misalnya konstruksi beton dan balok profil baja dihubungkan secara komposit menjadi satu, sehingga dapat memikul beban secara menyatu (Fauziah, 2017). Aksi komposit dapat terjadi apabila anggapan-anggapan berikut ini dapat dipenuhi atau mendekati keadaan sebenarnya, yaitu:

- a. Lantai beton dengan tulangan besi dihubungkan dengan penghubung geser (*shear connector*) secara tepat pada seluruh tulangan.
- b. Distribusi tegangan linear di setiap penampang.
- c. Lantai beton dan balok baja tidak akan terpisah secara vertikal di bagian manapun di sepanjang bentang.



Gambar 2.2 (a) Balok Non Komposit yang Melendut, (b) Balok Komposit yang Melendut

Pada balok non komposit, pelat dan balok baja tidak berkerja sama sebagai suatu kesatuan karena tidak terpasang alat penghubung geser (*shear connector*). Apabila balok non komposit mengalami lendutan saat dibebani, maka permukaan bawah pelat beton akan tertarik sedangkan bagian atas dari balok akan tertekan.

Pada bidang kontak antara pelat beton dan baja tidak terdapat gaya-gaya yang menahan perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja karena penghubung geser tidak terpasang pada bidang pertemuannya. Dalam hal ini, pada bidang kontak tersebut hanya bekerja gaya geser vertikal.

Pada balok komposit, bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja dipasang alat penghubung geser (*shear connector*) sehingga pelat beton dan balok baja bekerja sebagai suatu kesatuan. Pada bidang kontak tersebut bekerja gaya vertikal dan horizontal, dimana gaya geser horizontal tersebut akan menahan perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja.

### **2.3 Lendutan Struktur Komposit**

Lendutan yang terjadi pada struktur komposit akan lebih kecil dibandingkan dengan struktur non komposit karena momen inersia pada struktur komposit lebih besar. Momen inersia dari komponen struktur komposit hanya dapat tercapai setelah beton mengeras, sehingga lendutan yang diakibatkan oleh beban-beban yang bekerja sebelum beton mengeras dihitung berdasarkan momen inersia dari profil baja saja.

### **2.4 Analisis Dinamik Struktur**

Analisis struktur gempa dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu analisis statis dan analisis dinamik. Analisis dinamik adalah analisis pada struktur yang mana pembagian gaya geser gempa pada seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah (*ground motion*) terhadap struktur (Purnomo et al., 2014). Analisis dinamik terbagi atas analisis ragam spektrum respons (*respons spectra*) dan analisis riwayat waktu (*time history*). Pada analisis dengan metode *time history*, permukaan tanah pada lokasi struktur di berikan percepatan sesuai dengan rekam percepatan terhadap waktu dari data gempa yang pernah terjadi (Wiryadi et al., 2021). Akibat percepatan ini, lalu respons struktur terhadap gempa diamati sebagai acuan perilaku struktur.

Analisis dinamik pada struktur dilakukan untuk evaluasi yang lebih akurat terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur dan untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh beban dinamik (gempa dan angin). Analisis ini dapat dilakukan dengan elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan

menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*) yang memerlukan rekaman percepatan gempa, dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respon Spectrum Modal Analysis*) yang mana respon maksimum dari setiap ragam getar yang terjadi diperoleh dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*).

## **2.5 Respon Dinamik pada Struktur**

### **2.5.1 Respon Struktur Arah Vertikal**

Sebuah struktur yang mendapat beban lateral (seperti gempa) akan memberikan respon terhadap beban tersebut. Pada setiap level lantai, struktur akan menerima gaya horizontal dan *overturning moment* karena pada kondisi ini struktur gedung cenderung berperilaku seperti elemen kantilever vertikal. Kemudian, momen dan gaya pada setiap lantai tersebut akan disalurkan ke bagian dasar gedung dan akan dipikul oleh struktur fondasi. Respon yang diberikan struktur bergantung pada kekuatan struktur tersebut sehingga pergerakan terhadap beban gempa bisa dibatasi.

### **2.5.2 Respon Struktur Arah Horizontal**

Faktor yang harus diperhatikan dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah terjadinya momen torsi pada elemen bangunan. Hal ini terjadi disebabkan karena adanya eksentrisitas antara pusat massa bangunan (*center of mass*) dengan pusat rotasi/pusat kekakuan (*center of rigidity*). *Center of Mass* (CM) adalah titik tangkap resultan beban gravitasi yang bekerja pada lantai Tingkat tersebut, sedangkan *Center of Rigidity* (CR) adalah titik pada suatu lantai bangunan yang apabila gaya horizontal bekerja pada titik tersebut tidak mengalami rotasi, tetapi hanya bertranslasi.

Letak titik pusat massa (CM) dan titik pusat kekakuan (CR) suatu gedung tidak selalu terletak pada tempat yang sama meskipun pada struktur yang beraturan. Jarak antara CM dan CR harus diperhatikan dalam mendesain struktur gedung yang akan direncanakan. Letak CM tidaknya harus berjarak 5% terhadap lebar bangunan dari CR. Jarak 5% tersebut digunakan meskipun pada gedung yang tidak terjadi eksentrisitas. Semakin dekat jarak antar keduanya, maka akan semakin kecil efek torsi yang akan terjadi.

## 2.6 Sistem Struktur Tahan Gempa

Struktur gedung diharuskan memiliki elemen-elemen yang mampu menahan beban yang diberikan, baik itu beban gravitasi (hidup dan mati), beban dinamik (gempa dan angin), maupun kombinasi antara keduanya. Untuk memikul beban-beban tersebut, maka digunakan beberapa sistem struktur tahan gempa, seperti *frame system*, *wall system*, dan *dual system*.

### 2.6.1 Sistem Struktur Rangka (*Frame System*)

Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) merupakan rangka yang elemen-elemen strukturnya (pelat, balok, kolom, dan joint) mampu menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan gaya aksial (SNI 2847-2019). Frame system biasanya digunakan pada struktur gedung yang memiliki jumlah lantai/tingkat rendah dan menengah. Terdapat 3 jenis SRPM, yaitu sebagai berikut.

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

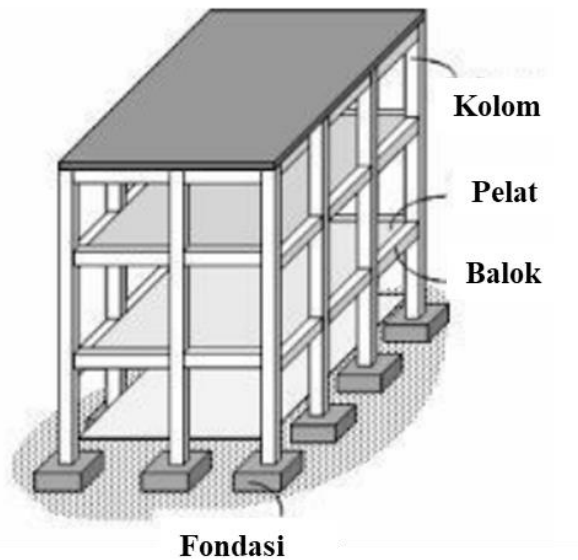
Sistem rangka balok kolom atau rangka pelat kolom yang dicor di tempat atau pracetak. Sistem ini harus memenuhi syarat sesuai SNI 2847-2019, Pasal 18.3, namun pasal ini berlaku untuk SRPMB yang dikenakan KDS B.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Rangka balok kolom atau kolom dan pelat dua arah tanpa balok yang dicor di tempat. Syarat yang dikenakan pada system ini yaitu sesuai SNI 2847-2019, Pasal 18.4, namun hanya berlaku apabila SRPMM yang dikenakan KDS C.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Sistem rangka balok kolom yang dicor di tempat dan harus memenuhi persyaratan pada SNI 2847-2019, Pasal 18.2.3 – 18.2.8 dan Pasal 18.6 – 18.8. Untuk rangka balok kolom pracetak harus memenuhi Pasal 18.2.3 – 18.9. Pasal ini berlaku hanya untuk SRPMK yang dikenakan KDS D, E, atau F.



Gambar 2.3 Sistem Struktur Rangka

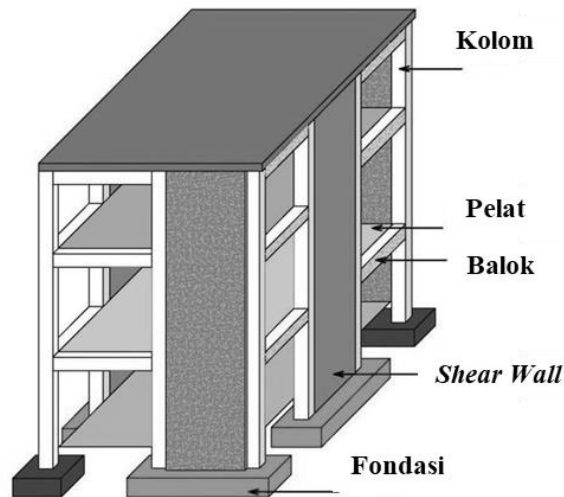
### 2.6.2 Sistem Struktur Dinding (*Wall System*)

Sistem ini menggunakan elemen dinding sebagai struktur utama untuk menahan beban yang bekerja (gravitasi dan dinamik). Dinding yang digunakan pada struktur ini yaitu dinding beton bertulang (*shear wall*) maupun pasangan batu yang terhubung langsung dengan elemen balok dan kolom pada struktur bangunan. Desain yang dilakukan hanya berfokus pada beban gravitasi, sementara untuk pengaruh gempa diabaikan. Penggunaan system ini efektif untuk struktur gedung dengan tingkat rendah dan menengah.

Sistem dinding terbagi menjadi 2 jenis, yaitu Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) dan Sistem Dinding Struktural Umum (SDSU). Sesuai dengan SNI 2847-2019, untuk SDSK harus memenuhi Pasal 18.10 yang digunakan pada struktur yang dikenakan KDS D, E, atau F. Sedangkan SDSU berlaku hal yang sama untuk struktur dengan KDS A, B, atau C.

### 2.6.3 Sistem Struktur Ganda (*Dual System*)

*Dual system* merupakan gabungan antara sistem rangka (*frame*) dan sistem dinding (*wall*) untuk menahan beban yang bekerja. Dalam memikul beban, ada persyaratan pembagian peran antara *frame* dan *wall* pada struktur ganda ini. Struktur rangka harus mampu sedikitnya 25% dan struktur dinding sedikitnya 75% dalam menahan beban gempa. Struktur ini merupakan jenis sistem struktur yang umum digunakan pada gedung tingkat menengah dan tingkat tinggi.



Gambar 2.4 Sistem Struktur Ganda

## 2.7 Metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD)

LRFD adalah suatu metode perencanaan struktur baja yang mendasarkan perencanaannya dengan membandingkan kekuatan struktur yang telah diberi suatu faktor resistensi ( $\phi$ ) terhadap kombinasi beban terfaktor yang direncanakan bekerja pada struktur tersebut ( $\sum \lambda_i Q_i$ ). Faktor resistensi diperlukan untuk menjaga kemungkinan kurangnya kekuatan struktur, sedangkan faktor beban digunakan untuk mengantisipasi kemungkinan adanya kelebihan beban.

Pada metode LRFD, ketentuan-ketentuan yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut.

- a. Baja dianggap telah mencapai tegangan leleh ( $\sigma_y$ ).
- b. Desain menggunakan faktor beban dan faktor resistensi.

### 2.7.1 Kondisi Batas

Kriteria perencanaan harus memastikan bahwa kondisi batas mempunyai kemungkinan yang sangat kecil untuk terlampaui. Hal tersebut dilakukan dengan menggunakan kombinasi gaya, faktor tahanan, dan nilai ketahanan yang tidak mungkin terlampaui berdasarkan kriteria perencanaan yang ada. Terdapat dua jenis kondisi batas yang diterapkan pada struktur, yaitu:

1. Kondisi batas kekuatan (*ultimate strength*) yang menetapkan besarnya keamanan terhadap kondisi beban ekstrim selama masa pakai struktur.

2. Kondisi batas layan yang menetapkan agar struktur dapat berfungsi sesuai dengan yang direncanakan.

Pada metode LRFD, fokus perencanaan strukturnya yaitu kondisi batas kekuatan (*limit state of strength*) yang menjamin keselamatan publik. Terdapat ketentuan LRFD untuk menerapkan kondisi batas pada perencanaan struktur, yaitu:

$$\sum \lambda_i Q_i \leq \phi R_n \quad (2.1)$$

Dimana:

$\lambda_i$  = Faktor beban terkait  $Q_i$  yang ditinjau

$Q_i$  = Pengaruh beban nominal

$\phi$  = Faktor tahanan sesuai jenis struktur yang ditinjau

$R_n$  = Kuat nominal, kekuatan, elemen yang dihasilkan

### 2.7.2 Ketentuan LRFD pada SNI 03-1729-2020

Perencanaan LRFD dianggap memenuhi syarat apabila kuat perlu ( $R_u$ ) lebih kecil dari kuat rencana ( $\phi R_u$ ), dengan  $\phi$  merupakan faktor tahanan yang nilainya bervariasi sesuai perilaku aksi komponen yang ditinjau. Adapun konsep dasar ketentuan LRFD adalah sebagai berikut.

$$R_u \leq \phi R_u \quad (2.2)$$

Kuat perlu ( $R_u$ ) merupakan nilai maksimum dari berbagai kombinasi beban terfaktor yang dihitung dengan bantuan analisis struktur. Dalam mencari kuat perlu ( $R_u$ ) untuk tiap-tiap elemen struktur, maka diperlukan analisa struktur secara menyeluruh (global). Faktor kombinasi beban disiapkan untuk analisa struktur cara elastis. Hasil analisis struktur secara menyeluruh (global) untuk ( $R_u$ ) selanjutnya digunakan dalam mengevaluasi elemen-elemen, lalu dibandingkan dengan kuat rencana ( $\phi R_u$ ) yang ditinjau per elemen sesuai dengan gaya internal yang terjadi. Tinjauan pada masing-masing elemen diperlukan karena karakter untuk setiap aksi dan perilaku keruntuhannya bisa berbeda-beda.



Tabel 2.1 Faktor Reduksi untuk Keadaan Batas

<b>Kuat Rencana</b>	<b>Faktor Reduksi (<math>\phi</math>)</b>
Komponen struktur yang memikul lentur:	
- Balok	0,90
- Balok pelat berdinding penuh	0,90
- Pelat badan yang memikul geser	0,90
- Pelat badan pada tumpuan	0,90
- Pengaku	0,90
Komponen struktur yang memikul gaya tegang aksial:	
- Kuat penampang	0,85
- Kuat komponen struktur	0,85
Komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial:	
- Terhadap kuat tarik leleh	0,90
- Terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Komponen struktur yang memikul aksi-aksi kombinasi:	
- Kuat lentur atau geser	0,90
- Kuat tarik	0,90
- Kuat tekan	0,85
Komponen struktur komposit	
- Kuat tekan	0,85
- Kuat tumpu beton	0,60
- Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastis	0,80,
- Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastis	0,90
Sambungan baut:	
- Baut yang memikul geser	0,75
- Baut yang memikul tarik	0,75
- Baut yang memiku kombinasi geser dan tarik	0,75
- Lapis yang memikul tumpu	0,75
Sambungan las:	
- Las tumpul penetrasi penuh	0,90
- Las sudut dan las tumpul penetrasi Sebagian	0,75

Kuat Rencana	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
- Las pengisi	0,75

## 2.8 Metode *Allowable Stress Design* (ASD)

Metode *Allowable Stress Design* (ASD) atau desain tegangan yang diijinkan mengacu pada AISC 1989. Pada metode ini, elemen struktur pada bangunan harus direncanakan sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi akibat beban kerja atau layan tidak melampaui tegangan ijin yang telah ditetapkan ( $\sigma_{maks} \leq \sigma_{ijin}$ ). Konsep yang dipakai adalah perencanaan elastis, sehingga tegangan yang terjadi pada permukaan penampang berada di bawah tegangan ijin. Tegangan ijin adalah tegangan leleh ( $f_y$ ) dibagi dengan *Safety Factor* ( $SF = 1,67 - 2$ ).

Tegangan ijin ini ditentukan oleh peraturan bangunan atau spesifikasi untuk mendapatkan faktor keamanan terhadap tercapainya tegangan batas, seperti tegangan leleh minimum atau tegangan tekuk (*buckling*). Tegangan yang dihitung akibat beban layan harus berada dalam batas elastis

## 2.9 Sifat Material Baja

Penggunaan material baja sebagai bahan konstruksi dikarenakan sifatnya yang memiliki kekuatan yang tinggi dibandingkan dengan material lain. Baja merupakan bahan campuran besi (Fe), 1.7% zat arang atau karbon (C), 1.65% mangan (Mn), 0.6% silikon (Si), dan 0.6% tembaga (Cu). Sifat-sifat bahan struktur yang paling penting dari baja adalah sebagai berikut:

### 1. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastisitas untuk semua baja adalah 28000 sampai 30000 ksi atau 193000 sampai 207000 MPa. Nilai untuk desain lazimnya diambil sebesar 29000 ksi atau 200000 MPa.

### 2. Modulus Geser (G)

Berdasarkan Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI), nilai modulus geser baja adalah  $0,81 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$  atau  $0,81 \times 10^5 \text{ MPa}$ .

### 3. Tegangan Leleh

Tegangan leleh ditentukan berdasarkan mutu baja.

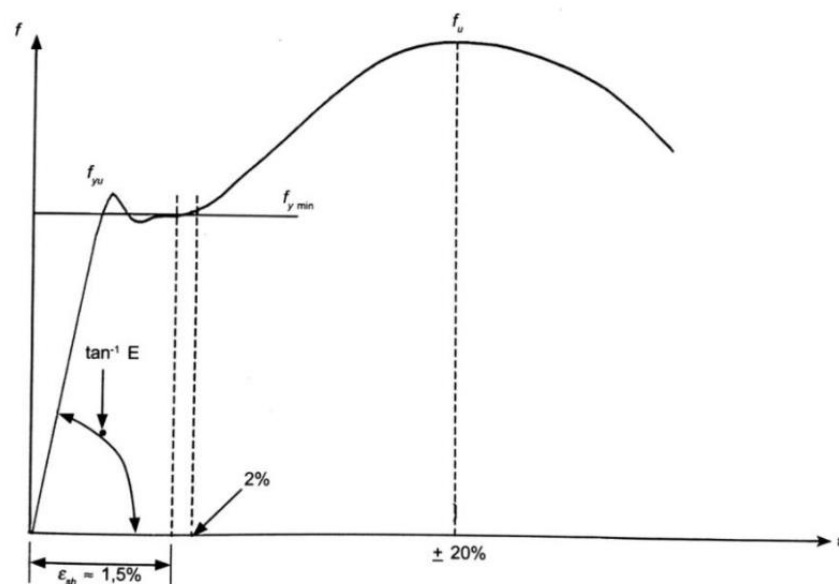
#### 4. Koefisien Ekspansi

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

#### 5. Sifat Lain

Massa jenis baja yang sama dengan 490 pfc atau  $7,85 \text{ t/m}^3$ .

Model pengujian yang paling tepat untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik material baja adalah dengan melakukan uji tarik terhadap suatu benda uji baja (Setiawan, 2013). Berikut merupakan gambar grafik hasil pengujian tarik material baja yang disajikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Hubungan Tegangan ( $f$ ) dan Regangan ( $\epsilon$ ) Baja

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

$f$	= Batas proporsional
$f^p$	= Batas elastis
$f_{yu}, f_y$	= Tegangan leleh
$f_u$	= Tegangan putus
$\epsilon_{3h}$	= Regangan saat mulai terjadi efek strain-hardening (penguatan regangan)
$\epsilon_u$	= Regangan saat tercapainya tegangan putus

Menurut (Badan Standardisasi Nasional, 2020) mengenai spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, sifat mekanis baja yaitu tegangan leleh ( $f_y$ ) dan

tegangan putus ( $f_u$ ) untuk perencanaan tidak boleh melebihi nilai yang dilampirkan pada Tabel 2.2 berikut ini.

Tabel 2.2 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum, $f_u$ (MPa)	Tegangan Leleh Minimum, $f_y$ (MPa)	Peregangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

## 2.10 Desain Batang Tarik

Material baja memiliki kekuatan yang sama dalam memikul gaya tarik dan gaya tekan. Dimensi struktur yang direncanakan cenderung langsing dikarenakan mutu materialnya yang relatif tinggi. Maka dari itu, penggunaan material baja lebih efisien sebagai batang tarik. Pada kondisi batang tekan, kapasitasnya ditentukan oleh tekuk (*buckling*)

### 2.10.1 Batas Kelangsingan

Komponen struktur tarik harus memenuhi syarat kekakuan untuk mengurangi defleksi yang besar dan vibrasi (Setiawan, 2013). Adapun rasio kelangsingan batang tarik yaitu:

$$\lambda = \frac{L}{r} \quad (2.3)$$

Dimana:

$\lambda$  = Angka kelangsingan struktur (diambil maksimum 240 untuk batang tarik utama, dan 300 untuk batang tarik sekunder)

L = Panjang komponen struktur

r = Jari-jari girasi  $\left( r = \sqrt{\frac{I}{A}} \right)$

### 2.10.2 Kuat Tarik Nominal

Kekuatan tarik nominal ( $P_n$ ) dari suatu komponen struktur ditentukan berdasarkan dua macam kondisi, yaitu sebagai berikut.

1. Kondisi leleh tarik (*tensile yielding*) dari luas penampang efektif pada daerah sambungan. Berdasarkan SNI 1729-2015, besarnya kekuatan tarik nominal yaitu:

$$P_n = F_y \cdot A_g \quad (2.4)$$

Dimana:

$A_g$  = Luas bruto dari komponen struktur ( $\text{mm}^2$ )

$F_y$  = Tegangan leleh minimum yang disyaratkan (MPa)

2. Kondisi keruntuhan tarik (*fracture yielding*) dari luas penampang efektif pada daerah sambungan. Besar kekuatan tarik nominalnya yaitu:

$$F_u \cdot A_e$$

Dimana:

$A_e$  = Luas netto efektif ( $\text{mm}^2$ )

$F_u$  = Kekuatan tarik minimum yang disyaratkan (MPa)

Kekuatan tarik desain ( $\phi_t P_n$ ) harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik dan keruntuhan tarik. Adapun nilai  $\phi_t P_n$  dengan menggunakan metode DFBK yaitu ditentukan sebagai berikut.

- Untuk leleh tarik

$$\phi_t P_n = 0,90 \cdot F_y \cdot A_g \quad (2.5)$$

- Untuk keruntuhan tarik

$$\phi_t P_n = 0,75 \cdot F_u \cdot A_e \quad (2.6)$$

### 2.11 Desain Batang Tekan

Batang tekan sering digunakan pada kolom dan struktur rangka batang. Komponen struktur ini terdiri dari profil tunggal atau profil tersusun yang digabung dengan menggunakan pelat kopel. Syarat kestabilan dalam mendesain struktur tekan harus diperhatikan karena adanya bahaya tekuk (*buckling*) pada komponen tekan yang langsing.

### 2.11.1 Tekuk Parameter Penting Batang Tekan

Pada batang tekan, tegangan leleh ( $f_y$ ) menjadi parameter penting yang harus diperhatikan, sedangkan parameter tegangan putus ( $f_u$ ) tidak akan tercapai. Selain parameter material tersebut, batang tekan juga dipengaruhi oleh konfigurasi bentuk fisik atau geometri.

Parameter geometri terdiri dari luas penampang ( $A$ ), pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur ( $I_{\min}$ ), panjang batang dan kondisi pertambatan atau tumpuan yang diwakili oleh panjang efektif ( $KL$ ). Ketiga parameter tersebut dapat disatukan menjadi parameter tunggal yaitu rasio kelangsingan batang  $\left(\frac{KL}{r_{\min}}\right)$ , dimana  $r_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}}$ , yang merupakan radius girasi pada arah tekuk. Secara visual, tekuk dibedakan menjadi dua, yaitu tekuk lokal pada elemen penampang, dan tekuk global pada kolom atau batang secara menyeluruh.

### 2.11.2 Klasifikasi Penampang dan Tekuk Lokal

Penyelesaian masalah tekuk lokal lebih kompleks dibandingkan dengan tekuk global. Apabila terjadi tekuk lokal, maka penggunaan penampangnya menjadi tidak efisien karena terjadi pada kondisi beban elastis (belum leleh). Maka dari itu, dibuat klasifikasi untuk memisahkan penampang langsing dan tidak langsing dengan cara mengevaluasi rasio lebar pelat  $\left(\frac{b}{t}\right)$  tiap-tiap elemen dari penampang. Elemen-elemen dipisahkan berdasarkan kondisi kekangannya, apakah kedua sisinya tersambung dengan elemen lain atau ada sisi yang bebas.

Penampang kolom komposit terisi beton terhadap tekuk lokal diklasifikasikan sebagai kompak, nonkompak, atau langsing.

#### 1. Penampang Kompak

Rasio lebar terhadap tebal maksimum ( $b/t$ ) elemen baja kurang dari nilai batas rasio lebar terhadap tebal  $\lambda_p$ .

#### 2. Penampang Nonkompak

Rasio lebar terhadap tebal maksimum ( $b/t$ ) dari satu atau lebih elemen tekan baja melebihi nilai  $\lambda_p$ , tetapi tidak melebihi nilai  $\lambda_r$ .











#### 3. Penampang Langsing

Rasio lebar terhadap tebal maksimum ( $b/t$ ) elemen baja tekan melebihi nilai  $\lambda_r$ .

### 2.11.3 Panjang Efektif Kolom

Panjang efektif kolom diartikan sebagai jarak di antara dua titik pada kolom tersebut yang mempunyai momen sama dengan nol, atau diartikan juga sebagai jarak di antara dua titik belok dari kelengkungan kolom (Setiawan, 2013). Dalam perhitungan kelangsingan komponen struktur tekan ( $\lambda = \frac{L}{r}$ ), panjang komponen struktur yang digunakan harus dikalikan faktor panjang tekuk ( $k$ ) untuk memperoleh panjang efektif dari kolom tersebut

Pada SNI 1729-2020 terdapat beberapa nilai faktor panjang tekuk untuk berbagai kondisi tumpuan ujung dari suatu kolom. Nilai  $k$  ini diperoleh dengan mengasumsikan kolom tidak mengalami goyangan atau translasi pada ujung tumpuannya.

Garis putus menunjukkan posisi kolom pada saat tertekuk							
	$k$ teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
	$k$ disain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Keterangan	 jepit		 rol tanpa rotasi		 ujung bebas		
	 sendi						

Gambar 2.6 Nilai Faktor Panjang Tekuk untuk Beberapa Macam Perletakan

## 2.12 Struktur Atas

### 2.12.1 Pelat (Dek Baja Gelombang)

Dek baja gelombang merupakan suatu metode konstruksi pelat lantai yang berfungsi sebagai bekisting saat pelat beton dicetak, selain itu juga berfungsi sebagai tulangan positif bagi pelat beton. Penggunaan dek baja gelombang juga bisa dipertimbangkan sebagai dukungan dalam arah lateral dari balok sebelum beton

mulai mengeras. Sistem pelat ini berperilaku sebagai pelat satu arah (*one way slab*) (Dewobroto, 2016).

### 2.12.1.1 Persyaratan Dek Baja Gelombang

Berdasarkan SNI 1729-2020, Pasal I3.2c, kekuatan lentur pada konstruksi komposit yang terdiri dari slab beton di atas dek baja bergelombang yang disambungkan ke balok baja harus ditentukan melalui bagian yang sesuai pada Pasal I3.2a dan I3.2b, dengan persyaratan sebagai berikut.

1. Tinggi maksimum dek baja ( $h_i$ ) < 75 mm
2. Lebar rata-rata minimum gelombang dek ( $w$ ) < 50 mm, lebar ini tidak boleh lebih besar dari lebar bersih minimum pada tepi atas dek baja.
3. Diameter maksimum stud yang dipakai = 19 mm, dan dilas langsung pada flens balok baja.
4. Tinggi maksimum stud diukur dari sisi dek baja paling atas = 38 mm.
5. Tebal pelat minimum diukur dari tepi atas dek baja = 50 mm.

### 2.12.1.2 Perencanaan Pelat Komposit (Dek Baja Gelombang)

#### 2.12.1.2.1 Dimensi Awal (*Preliminary Design*)

Tebal pelat yang direncanakan mengacu pada katalog perencanaan praktis pelat bondek dari “*Super Floor Deck*”. Ketentuan perencanaan akan dibahas pada bab selanjutnya.

#### 2.12.1.2.2 Momen Pelat

Berikut merupakan tabel perhitungan momen untuk pelat yang disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perhitungan Momen Pelat

Jenis Tumpuan	Panjang Tumpuan	Momen Positif	Momen Negatif
Terjepit Bebas	$x = \frac{1}{6}L$	$M_u^+ = \frac{1}{8}qL^2$	$M_u^- = \frac{1}{16}qL^2$
Terjepit Penuh	$x = \frac{1}{5}L$	$M_u^+ = \frac{1}{16}qL^2$	$M_u^- = \frac{1}{16}qL^2$
Terjepit Elastis	$x = \frac{1}{4}L$	$M_u^+ = \frac{1}{24}qL^2$	$M_u^- = \frac{1}{12}qL^2$



### 2.12.1.2.3 Desain Tulangan Negatif

#### 1. Rasio Tulangan

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85f'_c}} \right); \text{ dengan } R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2} \quad (2.7)$$

$$\rho_{\text{balance}} = 0,85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600+f_y} \right) \quad (2.8)$$

$$\rho_{\text{maks}} = \left( \frac{0,003 + \frac{f_y}{E_s}}{0,008} \right) \rho_{\text{balance}} \quad (2.9)$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{1,4}{f_y} \quad (2.10)$$

#### 2. Luas Tulangan:

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho b d \quad (2.11)$$

$$A_{t_{\text{perlu}}} = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (2.12)$$

#### 3. Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_s}{A_t} \quad (2.13)$$

#### 4. Jarak antar Tulangan

$$s = \frac{b}{n-1} \quad (2.14)$$

Syarat jarak antar tulangan pada pelat (Badan Standardisasi Nasional, 2019a):

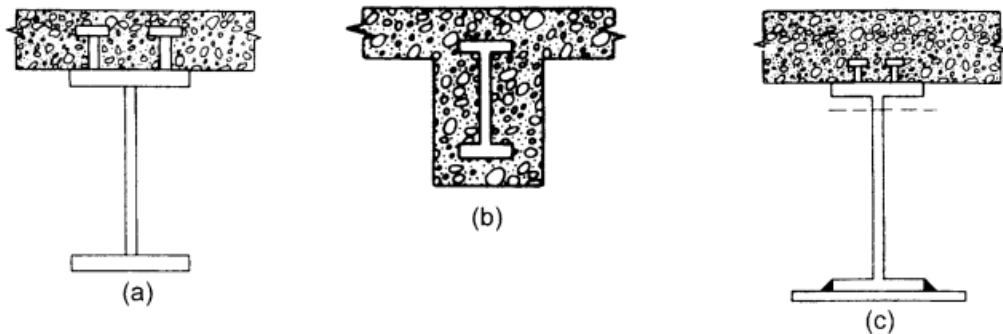
$$s < 2h$$

$$s < 220 \text{ mm}$$

### 2.12.2 Balok Komposit

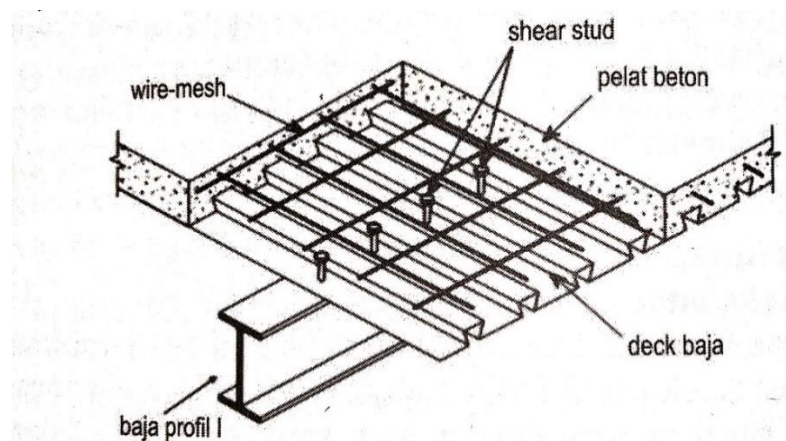
Balok adalah elemen struktur yang memikul beban yang bekerja tegak lurus dengan sumbu longitudinalnya. Hal inilah yang menyebabkan balok melentur. Balok komposit adalah konsep balok yang memanfaatkan dua bahan material yang berbeda, yaitu pelat beton bertulang dan profil baja, sehingga keduanya bekerja sebagai satu kesatuan (Dewobroto, 2016). Balok komposit dapat dibentuk dari profil baja yang diberi penghubung geser (*shear connector*) pada sayap atas profil baja atau dapat pula dari profil baja yang dibungkus dengan beton.

Fungsi *shear stud* atau *shear connector* ini sangat penting supaya sistem dapat berperilaku sebagai balok komposit. Apabila tidak terdapat *shear connector*, fungsi pelat beton pada sistem balok hanya bisa digunakan sebagai pertambahan lateral saja. Berikut merupakan beberapa jenis balok komposit yang diambil dari (Setiawan, 2013) yang disajikan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 (a) Lantai Jembatan Komposit dengan Penghubung Geser, (b) Balok Baja yang Diselubungi Beton, (c) Lantai Komposit Gedung dengan Penghubung Geser

Adapun ilustrasi komponen balok komposit yang diambil dari (Dewobroto, 2016) yang disajikan pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Komponen-Komponen Balok Komposit

### 2.12.2.1 Kekuatan Balok Komposit dengan *Shear Connector*

#### a. Kekuatan Lentur Positif

- Penampang Berbadan Kompak

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1680}{\sqrt{f_y}}, \text{ dengan } \phi_b = 0,85$$

Kekuatan lentur positif ( $M_n$ ) dapat dihitung dengan menggunakan distribusi tegangan plastis pada penampang komposit.

- Penampang Berbadan Non Kompak

$$\frac{h}{t_w} > \frac{1680}{\sqrt{f_y}}, \text{ dengan } \phi_b = 0,90$$

Kekuatan lentur positif dihitung dengan menggunakan distribusi tegangan elastis. Pada kondisi ini kekuatan lentur batas penampang ditentukan oleh terjadinya leleh pertama.

- b. Kekuatan Lentur Negatif

Kekuatan lentur negatif dihitung dengan mengabaikan aksi komposit.

Kekuatan lentur negatif penampang komposit = kekuatan lentur negatif baja, dengan  $\phi_b = 0,90$

#### 2.12.2.2 Momen Nominal ( $M_n$ )

Perhitungan  $M_n$  ini berdasarkan distribusi tegangan plastis.

- a. Momen Nominal Positif

- 1) Gaya Tekan (C) pada Beton

$$C = 0,85 \cdot f_c \cdot t_s \cdot b_{\text{eff}} \cdot \alpha \quad (2.15)$$

- 2) Gaya Tarik (T) pada Baja

$$T = A_s \cdot f_y \quad (2.16)$$

Diambil nilai terkecil dari kedua hasil di atas

- 3) Tinggi Balok Tekan Efektif

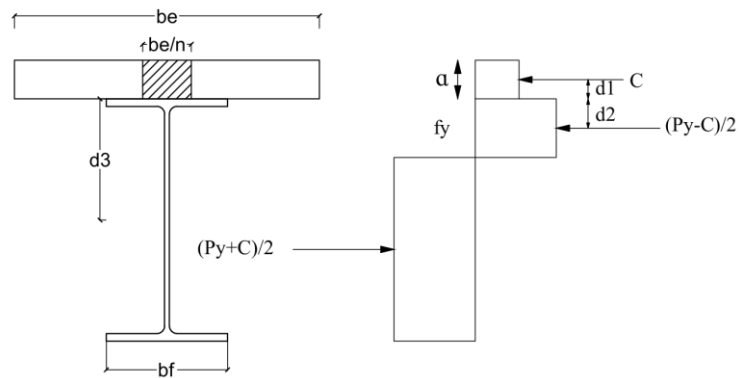
$$\alpha = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b_{\text{eff}}} \quad (2.17)$$

- 4) Kekuatan Momen Nominal

$$M_n = C \cdot d_1 = T \cdot d_1 \quad (2.18)$$

Apabila kekuatan nominal dinyatakan dalam bentuk gaya baja, maka diperoleh:

$$M_n = A_s \cdot f_y \left( \frac{d}{2} + t_s - \frac{a}{2} \right) \quad (2.19)$$



Gambar 2.9 Distribusi Plastis Momen Positif

b. Momen Nominal Negatif

1) Lokasi Gaya Tarik pada Balok Baja

$$T = n \cdot A_r \cdot f_y \tag{2.20}$$

$$P_{yc} = A_s \cdot f_y \tag{2.21}$$

$$\text{Gaya pada Sayap (Pf)} = t \cdot f_y \tag{2.22}$$

$$\text{Gaya pada Badan (Pw)} = \frac{P_{yc} - T}{2} - Pf \tag{2.23}$$

$$(\alpha_w) = \frac{P_w}{t_w \cdot f_y} \tag{2.24}$$

2) Jarak ke Centroid

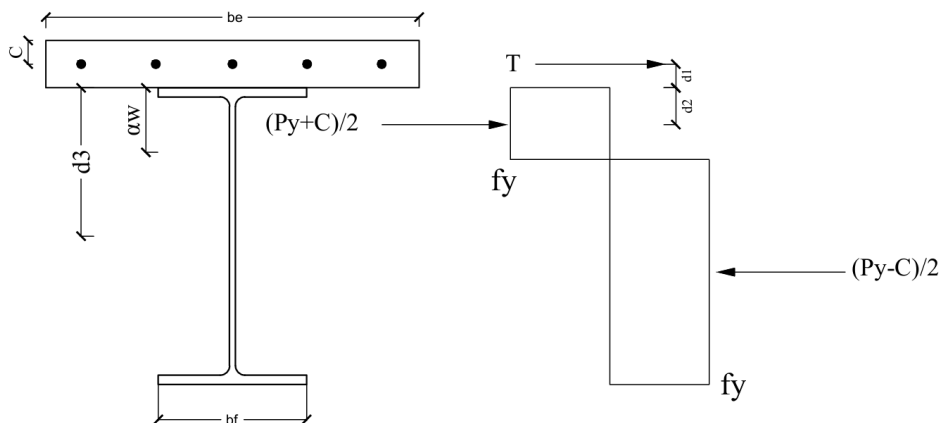
$$d_1 = h_r + t_b - c \tag{2.25}$$

$$d_2 = \frac{(Pf \cdot 0,5 \cdot t_f) + (P_w \cdot t_f + 0,5 \cdot \alpha_w)}{Pf + P_w} \tag{2.26}$$

$$d_3 = \frac{d}{2} \tag{2.27}$$

3) Momen Ultimit

$$M_n = T(d_1 + d_2) + P_{yc}(d_3 - d_2) \tag{2.28}$$



Gambar 2.10 Distribusi Plastis untuk Momen Negatif

Dimana:

- $N$  = Jumlah stud  
 $A_r$  = Luas tulangan Tarik di daerah lebar efektif pelat beton ( $\text{mm}^2$ )  
 $F_{yr}$  = Tegangan leleh tulangan pelat (MPa)  
 $b_f$  = Lebar profil baja (mm)  
 $t_f$  = Tebal sayap profil baja (mm)  
 $f_y$  = Tegangan leleh baja (MPa)  
 $h_r$  = Tinggi gelombang dek (mm)  
 $t_b$  = Tebal pelat beton (mm)  
 $c$  = Selimut beton (mm)  
 $P_{yc}$  = Kekuatan tekan penampang baja (N)  
 $d_1$  = Jarak dari centroid tulangan pelat longitudinal ke tepi atas penampang baja (mm)  
 $d_2$  = Jarak tepi pusat gaya arik di penampang baja ke tepi atas penampang baja (mm)  
 $d_3$  = Jarak dari  $P_{yc}$  ke tepi atas penampang baja (mm)

### 2.12.2.3 Kuat Geser Rencana

Kuat geser rencana ( $\phi V_n$ ) ditentukan berdasarkan kuat geser penampang baja saja ( $\phi_b = 0,90$ )

Apabila:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{\text{kn.E}}{f_y}} \rightarrow V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \quad (2.29)$$

Pelat badan leleh  $\rightarrow$  Plastis

Apabila:

$$1,10 \sqrt{\frac{\text{kn.E}}{f_y}} < 1,37 \sqrt{\frac{\text{kn.E}}{f_y}} \rightarrow V_n = 0,6 \cdot f_y \cdot A_w \cdot x \cdot \frac{1,10 \sqrt{\frac{\text{kn.E}}{f_y}}}{\frac{h}{t_w}} \quad (2.30)$$

Pelat badan menekuk elastis

Dimana:

- $h$  = Tinggi bersih pelat badan (mm)  
 $t_w$  = Tebal pelat badan (mm)

- a = Jarak pengaku vertikal pelat badan (mm)
- $$k_n = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}$$
- E = Modulus elastisitas (MPa)
- f<sub>y</sub> = Juat leleh baja (MPa)
- A<sub>w</sub> = Luas penampang pelat penuh (A<sub>w</sub> = d.tw), (mm)

#### 2.12.2.4 Perencanaan Balok Komposit

##### 2.12.2.4.1 Dimensi Awal (*Preliminary Design*)

$$\frac{M_u}{\phi} = M_n \quad (2.31)$$

Dengan asumsi tegangan baja mencapai tegangan plastis

$$M_n = Z_p f_y \quad (2.32)$$

Maka, dari nilai Z<sub>p</sub> didapat rencana awal dimensi balok:

$$Z_p = \frac{M_n}{f_y} \quad (2.33)$$

Dimana:

M<sub>u</sub> = Momen ultimit beban (kNm)

Φ = Faktor reduksi lentur

M<sub>n</sub> = Momen nominal (kNm)

Z<sub>p</sub> = Momen tahanan plastis (mm<sup>3</sup>)

f<sub>y</sub> = Tegangan leleh baja (MPa)

##### 2.12.2.4.2 Gaya Dalam Balok Komposit

Nilai ini (M<sub>u</sub> dan V<sub>u</sub>) didapat dari hasil analisis gaya dalam menggunakan *software* ETABS.

##### 2.12.2.4.3 Analisis Balok Sebelum Komposit

###### 1. Cek Kegagalan terhadap Tekuk Lokal (*Local Buckling*)

Berdasarkan SNI 1729-2020; Tabel B4.1b, kekompakan profil IWF ditentukan sebagai berikut.

###### a) Pelat Sayap

Apabila  $\frac{B}{2t_f} \leq 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka pelat sayap dikategorikan penampang kompak, namun apabila  $\frac{B}{2t_f} > 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , pelat sayap dikategorikan penampang tidak kompak.

b) Pelat Badan

Apabila  $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka pelat badan dikategorikan penampang kompak, namun apabila  $\frac{h}{t_w} > 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , pelat badan dikategorikan penampang tidak kompak.

2. Cek Kegagalan terhadap Tekuk Global (*Lateral Torsional Buckling*) dan Perhitungan Kuat Lentur Nominal

Pengecekan terhadap kegagalan jenis ini mengacu pada SNI 1729-2020; Pasal F2.2. Terdapat tiga kemungkinan dalam hal ini yaitu sebagai berikut.

a) Apabila  $L_b \leq L_p$ , maka LTB tidak berlaku.

b) Apabila  $L_p < L_b \leq L_r$ , maka terjadi *inelastic* LTB. Pada kasus ini, kekuatan lentur nominal ditentukan dengan persamaan:

$$\phi M_n = 0,9 C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7 f_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (2.34)$$

c) Apabila  $L_b > L_r$ , maka terjadi *elastic* LTB. Pada kasus ini, kekuatan lentur ditentukan dengan persamaan:

$$\phi M_n = 0,9 F_{cr} \cdot S_x \leq M_p \quad (2.35)$$

Dimana:

$L_b$  = Panjang bentang balok (mm)

$L_p$  = Batas panjang tak terbreis lateral untuk keadaan batas leleh (mm), yang ditentukan dengan:

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.36)$$

$L_r$  = Batas panjang tak terbreis untuk keadaan batas pada *inelastic* LTB (mm), yang ditentukan dengan:

$$L_r = 1,95r_{ts} \frac{E}{0,75f_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7f_y}{E}\right)^2}} \quad (2.37)$$

Mn = Kuat lentur/Momen nominal balok (kNm)

$\phi$  = Faktor reduksi (0,9)

c = Konstanta (untuk profil IWF = 1)

$$S_x = \frac{I_x}{c} \quad (2.38)$$

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} \quad (2.39)$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}} \quad (2.40)$$

$$J = \frac{1}{3} h_0 t_w^3 + 2 \left( \frac{1}{3} b_f t_f^3 \right) \quad (2.41)$$

$$M_p = f_y \cdot Z_x \quad (2.42)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{S_x h_0} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \quad (2.43)$$

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (2.44)$$

$M_A$  = Momen di  $\frac{1}{4}$  bentang (kNm)

$M_B$  = Momen di  $\frac{1}{2}$  bentang (kNm)

$M_C$  = Momen di  $\frac{3}{4}$  bentang (kNm)

### 3. Pengecekan Terhadap Gaya Geser

Nilai kekuatan geser nominal ( $V_n$ ) dapat ditentukan sesuai SNI 1729-2020; Pasal G2.1 yaitu:

$$\phi V_n = 0,6f_y A_w C_v \quad (2.45)$$

Dimana:

$V_n$  = Kuat geser nominal (kN)

$\phi$  = Faktor reduksi (0,9)

$A_w$  = Luas bersih pelat badan (mm<sup>2</sup>)

$f_y$  = Tegangan leleh minimum baja (MPa)

Apabila  $\frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ , maka nilai  $C_v$  dan  $\phi$  diambil sebesar 1.



#### 4. Pengecekan Terhadap Lendutan

Besarnya nilai lendutan akan diambil dari *output software* ETABS, namun dapat dihitung secara manual dengan menggunakan persamaan berikut.

$$f = \frac{5}{384} \left( \frac{qL^4}{E.I_x} \right) \quad (2.46)$$

Adapun batas lendutan izin yang disajikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.4 Batas Lendutan Maksimum

<b>Komponen Struktur Beban Tidak Terfaktor</b>	<b>Beban Tetap</b>	<b>Beban Sementara</b>
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$\frac{L}{360}$	
Balok biasa	$\frac{L}{240}$	
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$\frac{h}{500}$	$\frac{h}{200}$
Kolom dengan analisis orde kedua	$\frac{h}{300}$	$\frac{h}{200}$

#### 2.12.2.4.4 Analisis Balok Setelah Komposit

Beberapa tahapan analisis pada kondisi balok setelah terjadi komposit yaitu sebagai berikut.

##### 1. Penentuan Lebar Efektif Balok Komposit

Lebar efektif digunakan dalam proses desain komponen struktur komposit terutama ketika proses desain yang terdapat suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Lebar efektif dari suatu komponen struktur komposit ditentukan sebagai berikut.

###### a) Untuk Balok-Balok Interior

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L}{4} \quad (2.47)$$

$$b_{\text{eff}} \leq b_o \quad (2.48)$$

###### b) Untuk Balok Eksterior

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L}{8} + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad (2.49)$$

$$b_{\text{eff}} \leq \frac{L}{2} b_o + (\text{jarak pusat balok ke tepi pelat}) \quad (2.50)$$

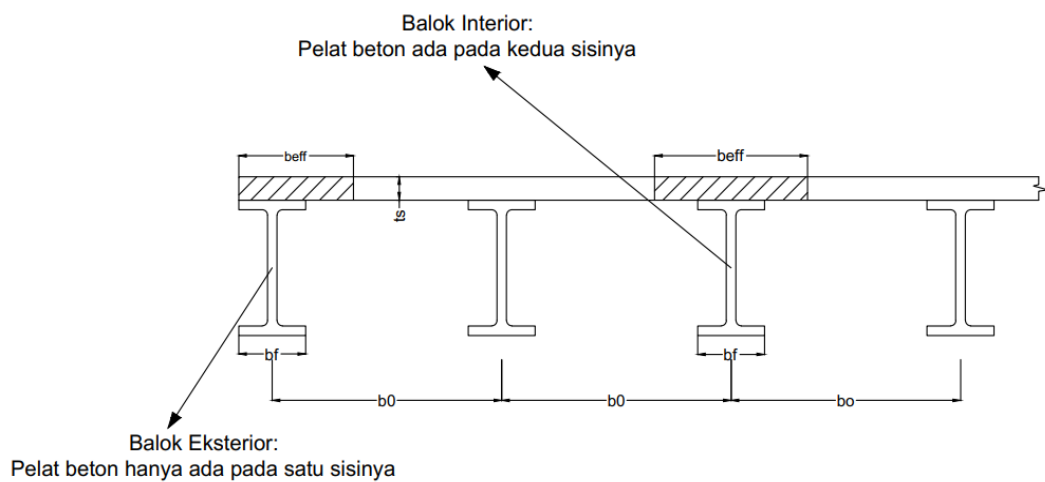
Dimana:

$b_{\text{eff}}$  = Lebar efektif (mm)

$b_o$  = Jarak antar balok (mm)

$L$  = Bentang balok (mm)

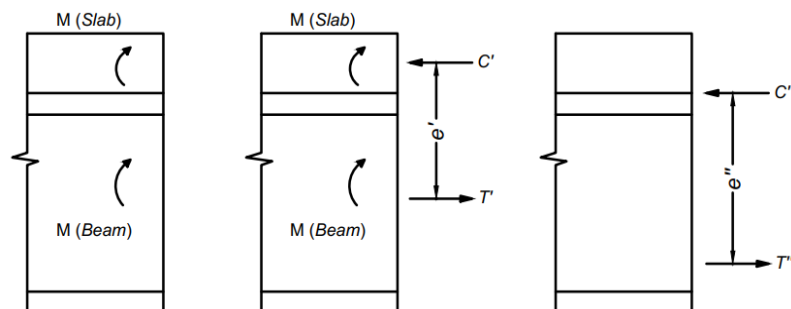
Berikut merupakan ilustrasi lebar efektif balok komposit yang disajikan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Lebar Efektif Balok Komposit

## 2. Menentukan Letak *Plastic Neutral Axis* (PNA)

Penentuan titik ini dapat diperoleh dari Gambar 2.12 mengenai variasi regangan pada balok komposit berikut.



Gambar 2.12 Variasi Regangan pada Balok Komposit

Dari Gambar 2.12, dapat diperoleh persamaan berikut:

$$\Sigma H = C - T \quad (2.51)$$

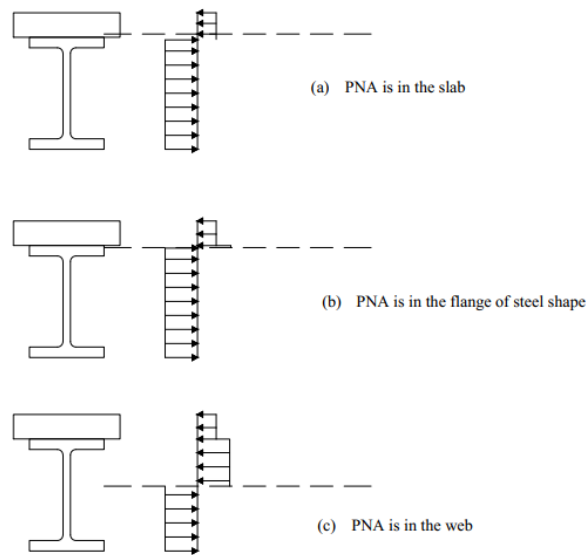
Dimana:

C = Kuat tekan pada beton (N), yang ditentukan sesuai (2.15)

T = Kuat Tarik pada baja (N), yang ditentukan sesuai (2.16)

Nilai tinggi balok efektif ( $\alpha$ ) pada Persamaan (2.15) dapat ditentukan sesuai Persamaan (2.17).

Letak *Plastic Neutral Axis* (PNA) dapat berada dengan beberapa kemungkinan sesuai dengan yang disajikan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Beberapa *Case* Letak *Plastic Neutral Axis* (PNA)

### 3. Menghitung Momen Desain

Momen desain dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\phi M_n = C \cdot y \quad (2.52)$$

Dimana:

$M_n$  = Momen desain (kNm)

$\phi$  = Faktor reduksi (0,9)

$y$  = Lengan momen arah y (mm)

#### 2.12.2.4.5 Analisis Elastis Balok Komposit

##### 1. Penentuan Lebar Efektif Balok Komposit

Penentuan ini sama seperti yang telah dijelaskan pada point 2.12.2.4.4.

2. Ekuivalensi/Transformasikan Pelat Beton ke Penampang Baja
  - a) Menghitung Rasio Modulus Elastisitas ( $n$ )

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (2.53)$$

- b) Lebar Komposit

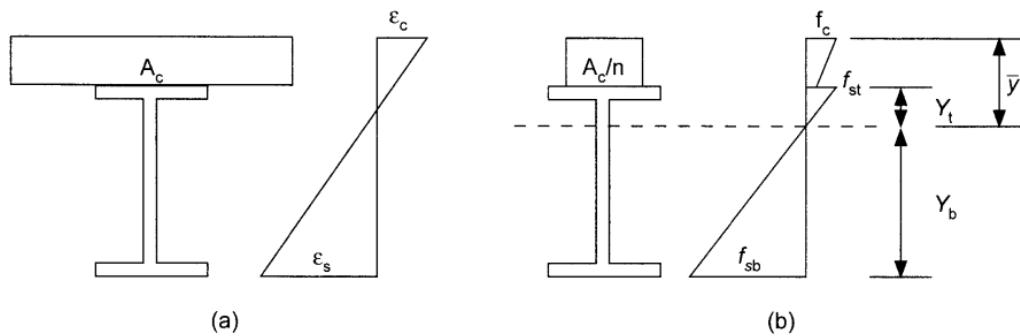
$$b_{tr} = \frac{b_{eff}}{n} \quad (2.54)$$

3. Perhitungan Momen Inersia Penampang Komposit

Setelah diketahui lebar efektif lalu mengekuivalensikan pelat beton ke profil baja, maka selanjutnya dapat dihitung momen inersia penampang komposit. Perhitungan momen inersia penampang dihitung dengan menggunakan teorema sumbu sejajar.

4. Perhitungan Tegangan pada Penampang Komposit

Perhitungan tegangan-tegangan pada suatu penampang komposit diperlukan transformasi penampang. Pada umumnya, penampang beton ditransformasikan menjadi baja, namun mempunyai efek yang sama dengan beton. Berikut disajikan gambar segmen dari balok komposit dengan diagram tegangan dan regangannya, apabila pelat beton dihubungkan secara kaku terhadap profil baja (Setiawan, 2013).



Gambar 2.14 (a) Diagram Regangan Balok Komposit, (b) Diagram Tegangan pada Balok Komposit dengan Penampang Transformasi

Diagram pada Gambar 2.14, sesuai dengan teori lendutan kecil, yaitu penampang melintang akan tetap datar sebelum atau sesudah terjadi lentur. Namun, distribusi tegangan linear pada Gambar 2.14 hanya untuk balok homogen. Hubungan tegangan dan regangan baja dan beton dinyatakan dengan:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \text{ atau } \frac{f_c}{E_c} = \frac{f_s}{E_s} \quad (2.55)$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_c = n f_c \quad (2.56)$$

Dimana:

$E_c$  = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

$E_s$  = Modulus elastisitas baja (MPa)

$n$  = Rasio modulus elastisitas, seperti yang telah dijelaskan pada (2.53)

Untuk mentransformasikan luas beton ( $A_c$ ), maka lebar pelat beton harus dibagi dengan  $n$ , sedangkan untuk tebalnya tidak perlu diubah. Dalam perhitungan tegangan, maka harus dicari terlebih dahulu letak garis netral dan juga momen inersia penampang. Sehingga dapat dihitung besarnya tegangan lentur pada bagian atas dan bawah penampang.

a) Tegangan Penampang Baja

$$f_{sa} = \pm \frac{M.ya}{I_{comp}} \quad (2.57)$$

$$f_{sb} = \pm \frac{M.yb}{I_{comp}} \quad (2.58)$$

b) Tegangan Penampang Beton

$$f_c = \pm \frac{M.\bar{y}}{I_{comp} \cdot n} \quad (2.59)$$

Dimana:

$f_{sa}$  = Tegangan lentur bagian atas baja (MPa)

$f_{sb}$  = Tegangan lentur bagian bawah baja (MPa)

$f_c$  = Tegangan lentur bagian pelat beton (MPa)

$M$  = Momen ultimit yang harus dipikul (kNm)

$ya$  = Jarak dari garis netral ke serat atas profil baja (mm)

$yb$  = Jarak dari garis netral ke serat bawah profil baja (mm)

$\bar{y}$  = Jarak dari garis netral ke bagian atas/bawah pelat beton (mm)

#### 2.12.2.4.6 Perencanaan Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser (*shear connector*), sehingga tidak terjadi slip pada masa layan (Tumimomor et al., 2016). *Shear connector* dipasang pada bagian sayap atas baja profil sehingga struktur komposit baja-beton diasumsikan dapat bekerja

bersama-sama menahan beban. Alat penghubung geser tersebut menghasilkan interaksi yang diperlukan untuk aksi komposit antara balok baja profil dan pelat beton yang sebelumnya hanya menghasilkan lekatan untuk balok yang ditanam seluruhnya dalam beton. Persyaratan mengenai penghubung geser diatur dalam SNI 1729-2020, yaitu sebagai berikut.

1. Selimut arah lateral minimum = 25 mm, kecuali terdapat dek baja.
2. Diameter maksimum = 2,5 x tebal *flens* profil baja.
3. Jarak longitudinal minimum harus 4 x diameter penghubung geser.
4. Jarak minimum dalam arah tegak lurus sumbu longitudinal yaitu 4 x diameter stud.
5. Jarak longitudinal maksimum yaitu 6 x tebal pelat beton.
6. Jika digunakan dek baja gelombang, jarak minimum penghubung geser dapat diperkecil menjadi 4 x diameter.

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan penghubung geser (*shear connector*) antara lain sebagai berikut.

1. Jumlah penghubung geser.
2. Tegangan longitudinal rata-rata dalam pelat beton di sekeliling penghubung.
3. Ukuran, penataan dan kekuatan tulangan pelat di sekitar penghubung.
4. Ketebalan beton di sekeliling penghubung.
5. Derajat kebebasan dari setiap dasar pelat untuk bergerak secara lateral dan kemungkinan terjadinya gaya tarik ke atas (*up lift force*) pada penghubung.
6. Daya lekat pada antar muka beton-baja.
7. Kekuatan pelat beton.
8. Tingkat kepadatan pada beton di sekeliling pada setiap dasar penghubung.

Penghubung geser yang terlalu rapat akan menyebabkan keborosan dalam pemakaian bahan, sementara jumlah penghubung geser yang kurang akan menyebabkan balok tidak bekerja dengan aksi komposit secara penuh, namun hanya bekerja secara parsial (Christina et al., 2017).

1. Syarat Diameter Stud yang Diizinkan

Diameter maksimum yang disyaratkan adalah 2,5 kali tebal sayap

## 2. Luas Penampang Stud

$$A_{sc} = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad (2.60)$$

## 3. Kuat Geser Stud

Kuat nominal satu penghubung geser jenis paku yang ditanam di dalam pelat beton massif sesuai SNI 1729-2020; Pasal I8.2a yaitu:

$$Q_n = 0,5A_s \sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_s f_u \quad (2.61)$$

Dimana:

$A_{sc}$  = Luas penampang penghubung geser jenis paku ( $\text{mm}^2$ )

$f_u$  = Tegangan putus penghubung geser jenis paku (MPa)

$Q_n$  = Kuat nominal geser untuk penghubung geser (N)

## 4. Jumlah Stud

$$n = \frac{V'}{Q_n} \quad (2.62)$$

Dengan:

$$V' = f_y A_s \quad (2.63)$$

## 5. Jarak Stud

Syarat jarak antar penghubung geser:

- Jarak minimum =  $4d_s$

- Jarak maksimum =  $6t_p$

$$s = \frac{L}{n} \quad (2.64)$$

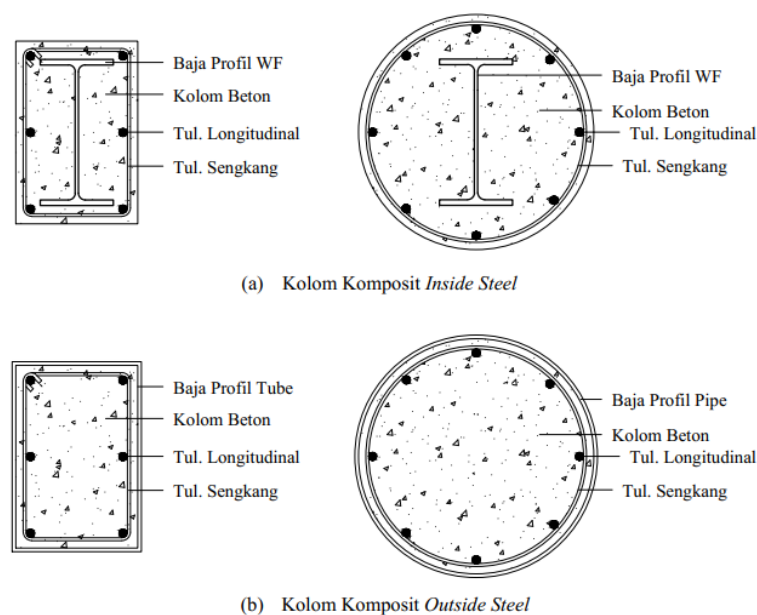
### 2.12.3 Kolom Komposit Baja-Beton

Kolom komposit merupakan kolom yang dibuat dengan lebih dari satu jenis material penyusun. Salah satu kolom komposit yang sering digunakan dalam konstruksi bangunan tinggi yaitu kolom komposit baja-beton, yang memiliki tujuan untuk menggabungkan kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh kedua jenis material tersebut, sehingga nantinya dapat menahan beban dengan dimensi penampang yang lebih kecil dibandingkan dengan kolom non komposit (Nursani & Al Huseinny, 2022).

Secara umum, terdapat dua jenis kolom komposit yaitu kolom komposit *inside steel* dan *outside steel*. Kolom *inside steel* (*concrete encased column*) adalah

bagian kolom dengan struktur baja terbungkus oleh beton dan terbuat dari profil baja yang diberi selubung beton di sekeliling (kolom baja berselubung beton). Sedangkan kolom *outside steel (concrete filled column)* adalah baja yang berisi beton dan terbuat dari penampang baja berongga dan diisi beton didalamnya (kolom baja berisikan beton).

Kolom komposit tipe *outside steel* memiliki kelebihan dalam menahan gaya aksial nominal dan momen nominal dibandingkan dengan kolom komposit *inside steel*, akan tetapi pada saat ini penerapan struktur kolom komposit *outside steel* dalam dunia konstruksi sebagai kolom utama dalam mendukung beban lateral pada struktur rangka bangunan belum terlalu lazim digunakan (Propika et al., 2020).



Gambar 2.15 Tipe Kolom Komposit

Kolom komposit yang banyak digunakan pada struktur tahan gempa yaitu jenis kolom komposit baja yang terbungkus oleh beton. Pada pembebanan lentur yang besar, selubung beton akan retak dan mengakibatkan pengurangan kekakuan, namun inti baja akan memberikan kapasitas geser dan ketahanan ulet terhadap siklus beban lebih berikutnya. Saat kolom pendek komposit diberikan beban aksial, penampang komposit akan kuat menahan momen lentur melebihi momen ultimatenya. Prinsip lebar efektif dapat digunakan untuk menambah kekuatan tekuk lokal pada kolom komposit sebagai dasar dalam menentukan kekuatan penampang kotak yang telah diisi beton. Kualitas kolom yang telah diisi beton menunjukkan



kinerja struktural yang baik dengan ditunjukkan oleh kekuatan dan daktilitas yang lebih tinggi (Nursani & Al Huseinny, 2022).

### 2.12.3.1 Batasan Material

Dalam perencanaan kolom dengan material baja-beton komposit terbungkus beton terdapat batasan-batasan yang harus dipenuhi yang dicantumkan pada SNI 1729-2020 Pasal I3 yaitu:

1. Mutu beton harus memiliki kekuatan tekan ( $f'c$ ) minimalnya adalah 21 MPa dan nilai maksimalnya 69 MPa, untuk beton normal kekuatan tekan ( $f'c$ ) minimalnya 21 MPa, dan nilai maksimal 41 MPa untuk beton ringan.
2. Nilai pada tegangan leleh minimum pada baja struktural yang disyaratkan pada perhitungan kekuatan komponen struktur dengan material baja-beton komposit tidak boleh melewati 525 MPa.
3. Nilai tegangan leleh minimum terspesifikasi pada besi tulangan yang dipakai untuk perhitungan kekuatan komponen struktur dengan material baja-beton komposit tidak boleh melewati 550 MPa.
4. Luas penampang dari inti baja harus memiliki nilai sedikitnya 1% dari luas penampang komposit keseluruhan.
5. Beton yang digunakan untuk membungkus inti baja harus ditulangi dengan tulangan longitudinal dan tulangan sengkang sebagai pengikat lateral atau spiral. Apabila tulangan sengkang pengikat lateral digunakan, minimum dari batang tulangan dengan diameter 10 mm berspasi maksimum 300 mm dari as ke as, atau tulangan dengan diameter 13 mm atau dimensi tulangan yang lebih besar dengan spasi maksimum 400 mm dari as ke as harus menggunakan tulangan kawat ulir atau tulangan kawat yang harus dilas dengan luas ekuivalen yang diizinkan. Spasi maksimum sengkang pengikat lateral tidak diperbolehkan melebihi dari 0,5 kali dimensi kolom.
6. Rasio tulangan minimum ( $\rho_{sr}$ ) sebesar 0,004 digunakan untuk penulangan longitudinal menerus.

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \quad (2.65)$$

Keterangan:

$A_g$  = Luas bruto struktur komposit

$A_{sr}$  = Luas batang tulangan menerus

### 2.12.3.2 Perencanaan Kolom Komposit

#### 2.12.3.2.1 Dimensi Awal (*Preliminary Design*)

$$\frac{P_u}{\phi} = P_n \quad (2.66)$$

Dengan asumsi tegangan baja mencapai tegangan plastis:

$$A = \frac{P_n}{A} \quad (2.67)$$

Maka, dari nilai A didapat rencana awal dimensi kolom:

$$A = \frac{P_u}{f_y} \quad (2.68)$$

Dimana:

$P_u$  = Gaya aksial ultimit beban (kN)

$\Phi$  = Faktor reduksi gaya aksial tekan

$P_n$  = Kuat tekan nominal (kN)

$A$  = Luas penampang ( $\text{mm}^2$ )

#### 2.12.3.2.2 Cek Batasan Kolom Komposit

Berdasarkan SNI 1729-2020, diatur beberapa batasan material untuk struktur komposit terbungkus beton yaitu sebagai berikut.

- a) Cek luasan penampang minimum profil baja

$$\frac{A_s}{A_c} > 1\% \quad (2.69)$$

Dimana:

$A_s$  = Luas penampang baja

$A_c$  = Luas penampang kolom

- b) Cek jarak tulangan transversal

$$S < \frac{1}{2}b \quad (2.70)$$

Dimana:

$S$  = Jarak sengkang rencana

$b$  = Lebar kolom

- c) Cek rasio tulangan longitudinal

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \geq 0,004 \quad (2.71)$$

Dengan:

$A_g$  = Luas bruto struktur komposit

$A_{sr}$  = Luas batang tulangan menerus

#### 2.12.3.2.3 Gaya Dalam Kolom Komposit

Nilai ini ( $M_u$  dan  $V_u$ ) didapat dari hasil analisis menggunakan *software* ETABS.

#### 2.12.3.2.4 Kuat Tekan Nominal Kolom Komposit

Berdasarkan SNI 1729-2020; Pasal I2.1b, kuat tekan desain pada struktur komposit terbungkus beton ditentukan dengan:

a. Apabila  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2,25$

$$\phi P_n = \phi P_{no} (0,658 \frac{P_{no}}{P_e}) \quad (2.72)$$

b. Apabila  $\frac{P_{no}}{P_e} > 2,25$

$$\phi P_n = \phi (0,877 P_e) \quad (2.73)$$

Dimana:

$P_n$  = Kuat tekan nominal kolom (kN)

$\phi$  = Faktor reduksi (0,75)

$$P_{no} = f_y A_s + f_{y_{sr}} A_{sr} + 0,85 f'_c A_c \quad (2.74)$$

$$P_e = \pi^2 \left( \frac{E_s I_s + 0,5 E_s I_{sr} + c_1 E_c I_c}{(KL)^2} \right) \quad (2.75)$$

#### 2.12.3.2.5 Kuat Lentur Nominal Kolom Komposit

Menurut (Smith, 1996), kuat nominal momen kolom komposit ditentukan dengan persamaan (2.76).

$$M_{nc} = f_y \cdot Z + \frac{1}{3} (h - 2C_r) A_r \cdot f_{yr} + \left( \frac{b}{2} - \frac{A_w \cdot f_y}{1,7 f'_c \cdot h} \right) A_w \cdot f_y \quad (2.76)$$

Dimana:

$M_{nc}$  = Kuat lentur nominal kolom komposit (kNm)

$\phi$  = Faktor reduksi (0,9)

- $Z$  = Modulus plastis profil baja arah x dan y ( $\text{mm}^3$ )  
 $C_r$  =  $t_s + \emptyset + \left(\frac{1}{2}D\right)$  (mm) (2.77)  
 $h$  = Panjang kolom beton (mm)  
 $b$  = Lebar kolom beton (mm)  
 $A_r$  = Luas tulangan ( $\text{mm}^2$ )  
 $f_{yr}$  = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)  
 $A_w$  = Luas pelat badan profil baja ( $\text{mm}^2$ )

#### 2.12.3.2.6 Interaksi Aksial-Lentur

Berdasarkan SNI 1729-2020; Pasal I5, yang merujuk pada Pasal H1.1, untuk komponen struktur komposit terbungkus beton dan untuk komponen struktur komposit terisi beton dengan penampang kompak, interaksi antara gaya aksial dan lentur ditentukan dengan:

- a. Apabila  $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0,2$

$$\frac{P_u}{(\phi P_n)} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (2.78)$$

- b. Apabila  $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0,2$

$$\frac{P_u}{2(\phi P_n)} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (2.79)$$

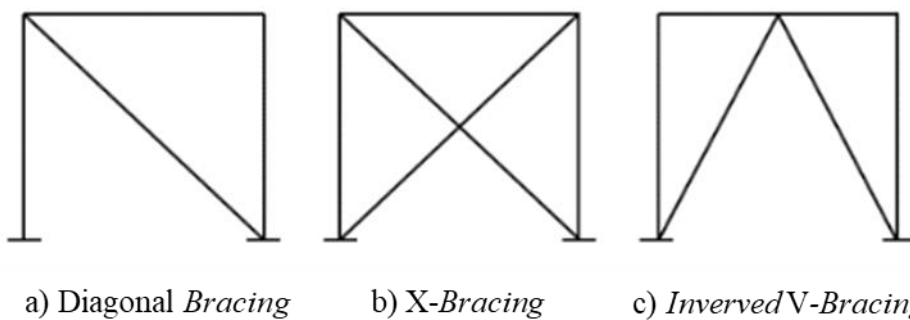
Dimana:

- $P_u$  = Gaya aksial ultimit dari ETABS (kN)  
 $P_n$  = Kuat tekan nominal (kN)  
 $M_u$  = Momen ultimit arah x dan y dari ETABS (kNm)  
 $M_n$  = Kuat lentur nominal arah x dan y (kNm)  
 $\phi$  = Faktor reduksi (0,9)

#### 2.12.4 Bracing (*Braced Frame Element*)

Penambahan beberapa elemen struktur penahan gaya lateral dapat digunakan untuk meningkatkan kekakuan struktur yang secara otomatis mengurangi pengaruh gaya lateral yang terjadi. Beberapa cara yang dapat dilakukan yaitu dengan menambahkan *Braced Frames Element* (BFE), dinding geser (*shear wall*), atau dengan mengubah hubungan antara elemen struktur.

*Bracing* adalah elemen struktur yang diletakan secara menyilang (*diagonal*) pada struktur portal yang berfungsi untuk menopang atau menambah kekakuan pada portal dalam menahan beban lateral (Nelwan et al., 2018). Sedangkan portal yang tidak menggunakan *bracing* hanya bergantung pada elemen balok dan kolom untuk kekakuan dan kekuatannya.



Gambar 2.16 Tipe-Tipe *Bracing*

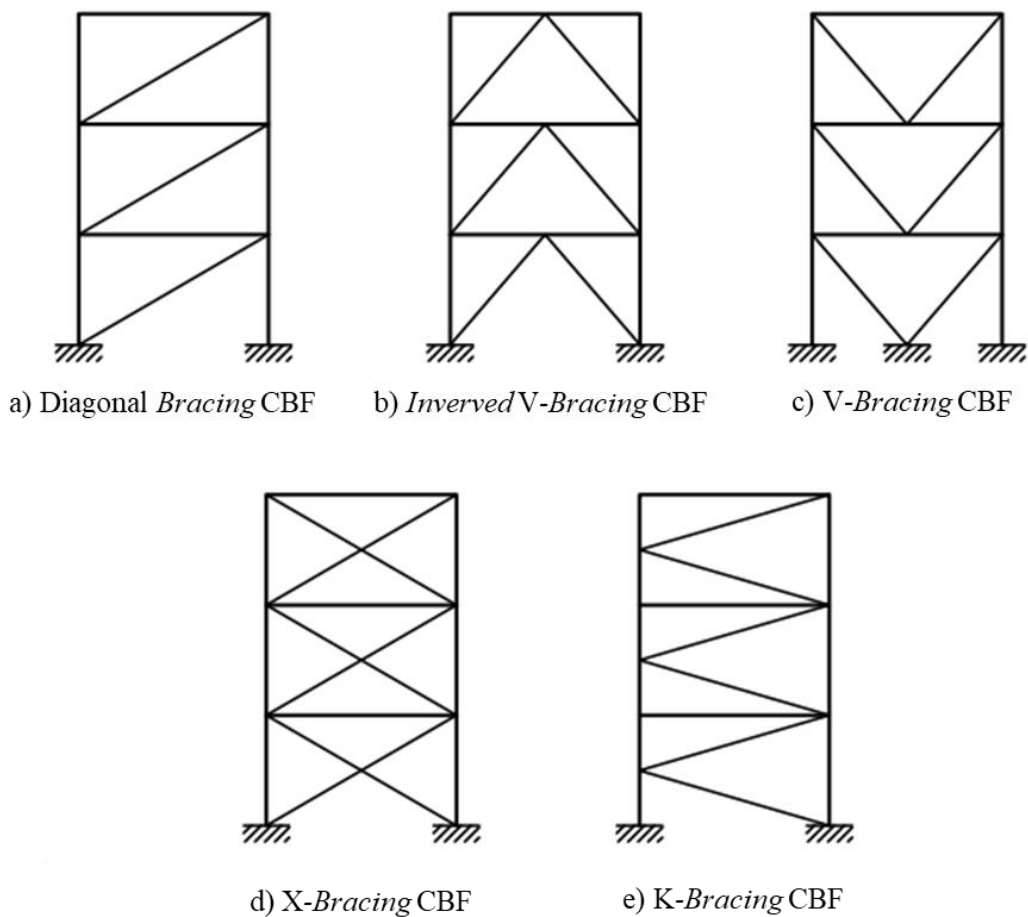
BFE didesain untuk meminimalisasi masalah kekakuan yang terdapat pada jenis portal *Momen Resisting Frame Element* (MRFE). Terdapat dua jenis EBF yaitu *Centrically Braced Frames* (CBF), dan *Eccentrically Braced Frames* (EBF).

##### 2.12.4.1 *Centrically Braced Frames* (CBF)

Pada sistem struktur ini, elemen bresing diharapkan mampu berdeformasi inelastik yang besar tanpa terjadi kehilangan yang signifikan pada kekuatan dan kekakuan struktur. Elemen bresing pada sistem CBF berfungsi untuk menambah kekakuan struktur karena dengan adanya bresing pada struktur, deformasi struktur akan menjadi lebih kecil sehingga kekakuan strukturnya meningkat.

Sistem struktur CBF dibagi menjadi dua kategori, yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik

Khusus (SRBKK). Pada sistem SRBKB, diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. Sedangkan pada sistem SRBKK diharapkan struktur dapat berdeformasi inelastik cukup besar akibat gaya gempa rencana. Sistem SRBKK memiliki daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan SRBKB karena deformasi yang terjadi pada SRBKK lebih besar dibandingkan dengan deformasi pada SRBKB dan penurunan kekuatan pada SRBKK lebih kecil pada saat terjadi tekuk pada *bracing* tekan.

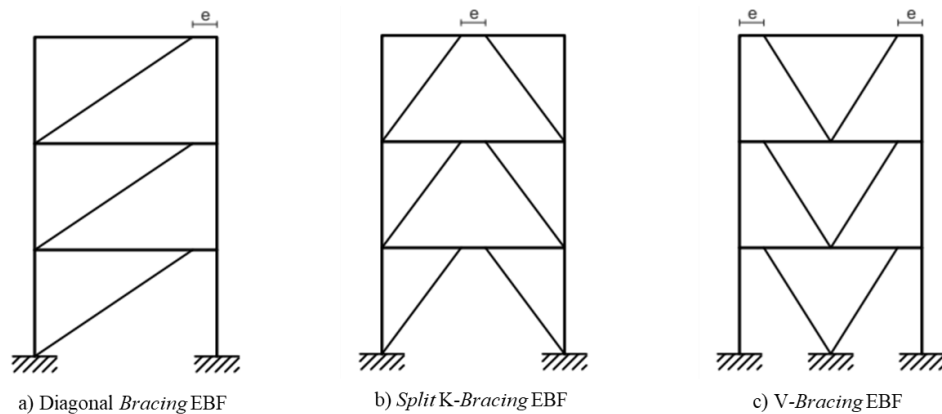


Gambar 2.17 Tipe Portal CBF

#### 2.12.4.2 Eccentrically Braced Frames (EBF)

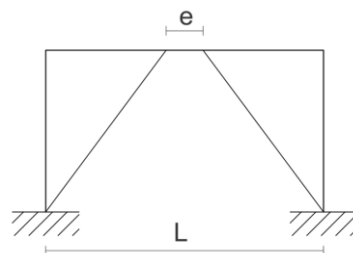
Sistem struktur EBF merupakan struktur portal baja penahan gaya lateral yang merupakan perpaduan dari 2 sistem portal konvensional, yaitu MRF dan CBF. EBF menggabungkan kelebihan dari tiap *frame* konvensional tersebut dengan meminimalisasi kekurangannya. EBF memiliki kekakuan elastik yang tinggi,

daktilitas yang sempurna, respons yang stabil pada beban siklik lateral, dan mempunyai kapasitas disipasi energi yang besar. Ciri khas utama dari sistem EBF yaitu setidaknya ada 1 dari ujung tiap *bracing* yang terhubung balok sehingga menjadikan sebuah segmen terpisah pada balok yang disebut *link beam*. Panjang *link* sangat berpengaruh pada sistem kekakuan dan daktilitas *frame*.



Gambar 2.18 Tipe Portal EBF

*Link beam* merupakan elemen struktur yang direncanakan untuk berperilaku inelastis serta mampu untuk berdeformasi plastis yang besar pada saat terjadi beban lateral. Bagian link ini berfungsi untuk menyerap energi pada saat terjadi beban lateral (gempa). Mekanisme leleh pada elemen link terdiri dari 2 mekanisme leleh, yaitu kelelahan geser dan kelelahan lentur yang tergantung dari panjang *link*. Pada sistem struktur EBF, kekakuan lateral merupakan fungsi dari perbandingan antara panjang *link* ( $e$ ) dengan panjang elemen balok ( $L$ ). Jika panjang elemen link lebih pendek, maka struktur portal menjadi lebih kaku mendekati kekakuan struktur CBF dan jika panjang link lebih panjang, maka kekakuan struktur portal EBF mendekati kekakuan struktur MRFE.



Gambar 2.19 Panjang  $e$  dan  $L$  pada *Split K-Bracing* EBF

#### 2.12.4.3 Perencanaan *Bracing*

##### 1. Kontrol Penampang Profil

Berdasarkan SNI 1729-2020; Tabel B4.1a, rasio lebar terhadap tebal: elemen tekan komponen struktur yang mengalami aksial tekan. Penampang dengan profil IWF dapat dikategorikan sebagai berikut.

a) Pelat Sayap

Apabila  $\left(\lambda = \frac{B}{2t_f}\right) \leq \left(\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}\right)$ , maka dikategorikan sebagai penampang tidak langsing. Namun, apabila  $\left(\lambda = \frac{B}{2t_f}\right) > \left(\lambda_r = 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}}\right)$ , maka dikategorikan sebagai penampang langsing.

b) Pelat Badan

Apabila  $\left(\lambda = \frac{h}{t_w}\right) \leq \left(\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}\right)$ , maka dikategorikan sebagai penampang tidak langsing. Namun, apabila  $\left(\lambda = \frac{h}{t_w}\right) > \left(\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}}\right)$ , maka dikategorikan sebagai penampang langsing.

## 2. Gaya Dalam *Bracing*

Gaya dalam diambil dari *output software* ETABS berupa gaya aksial tekan ultimit ( $P_{utekan}$ ) dan gaya aksial tarik ultimit ( $P_{utarik}$ ).

## 3. Kuat Tekan Nominal *Bracing*

Kekuatan tekan nominal untuk elemen tidak langsing (nonlangsing) ditentukan berdasarkan SNI 1729-2020; Pasal E3 yaitu sebagai berikut.

$$\phi P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (2.80)$$

Nilai  $F_{cr}$  dapat diketahui dengan ketentuan sebagai berikut.

a) Apabila  $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$  atau  $\frac{f_y}{F_e} \leq 2,25$

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e}\right) f_y \quad (2.81)$$

b) Apabila  $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$  atau  $\frac{f_y}{F_e} > 2,25$

$$F_{cr} = 0,877 F_e \quad (2.82)$$

Dimana:

$P_n$  = Kuat tekan nominal (kN)

$\phi$  = Faktor reduksi (0,9)



$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \text{Tegangan kritis (MPa)} \\
 A_g &= \text{Luas penampang melintang bruto komponen struktur (mm}^2\text{)} \\
 L_c &= \text{KL} = \text{panjang efektif komponen struktur (mm)} \\
 r &= \text{jari-jari girasi (mm)} \\
 F_e &= \text{Tegangan tekuk elastis (MPa), yang ditentukan dengan:} \\
 F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r_{\min}}\right)^2} \quad (2.83)
 \end{aligned}$$

#### 4. Kuat Tarik Nominal *Bracing*

Besarnya kuat tarik nominal *bracing* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

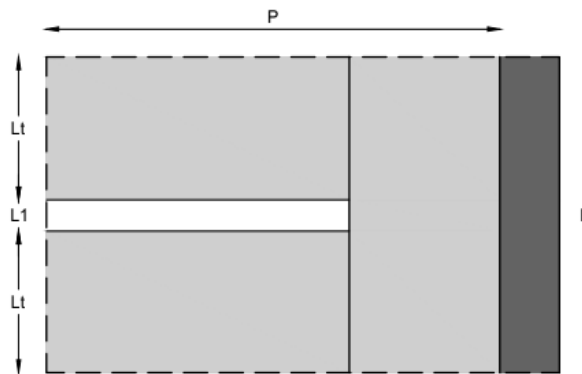
$$\phi P_n = f_y \cdot A_g \quad (2.84)$$

Dimana:

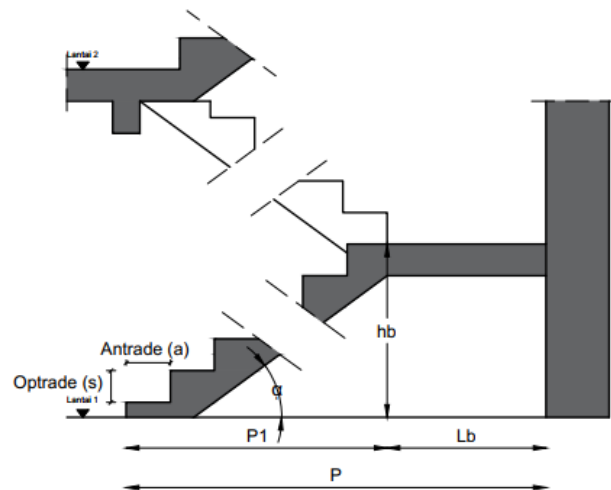
$$\begin{aligned}
 P_n &= \text{Kuat tarik nominal (kN)} \\
 \phi &= \text{Faktor reduksi (0,9)} \\
 A_g &= \text{Luas penampang melintang bruto komponen struktur (mm}^2\text{)} \\
 f_y &= \text{Tegangan leleh baja (MPa)}
 \end{aligned}$$

### 2.12.5 Tangga

Tangga merupakan komponen pada struktur bangunan berlantai banyak yang digunakan sebagai pelayanan aksesibilitas antar lantai. Tangga terdiri dari anak tangga dan pelat tangga. Penempatan tangga harus disesuaikan dengan fungsi dari bangunan untuk mendukung kelancaran bagi para pemakai bangunan tersebut.



Gambar 2.20 Perencanaan Tangga Tipe U



Gambar 2.21 Tampak Samping Tangga

### 2.12.5.1 Perencanaan Tangga

#### 2.12.5.1.1 Penentuan *Antrade* (a) dan *Optrade* (s)

Penentuan lebar injakan atau *antrade* (a) dan tinggi injakan atau *optrade* (s) harus memperhatikan ukuran langkah manusia arah datar, keamanan, dan kenyamanan.

1. Kontrol Terhadap Ukuran Langkah

$$2s + a = 60 \text{ s. d. } 65 \text{ cm} \quad (2.85)$$

2. Kontrol Terhadap Keamanan

$$s + a = \pm 46 \text{ cm} \quad (2.86)$$

3. Kontrol Terhadap Kenyamanan

$$a - s = \pm 12 \text{ cm} \quad (2.87)$$

Pada umumnya, *antrade* (a) diambil antara 22,5 – 30 cm, dan *optrade* (s) diambil antara 14 – 20 cm.

#### 2.12.5.1.2 Penentuan Jumlah Anak Tangga

Banyaknya anak tangga dipengaruhi oleh tinggi antar lantai bangunan, *antrade* (a), *optrade* (s), dan juga bordes. Tinggi maupun lebar anak tangga sebisa mungkin harus dibuat secara seragam. Jumlah anak tangga ditentukan dengan menggunakan hasil pembulatan dari persamaan (2.88).

$$n_s = \frac{h}{s} \quad (2.88)$$

$$n_a = n_s - 1 \quad (2.89)$$

Dimana:

$n_s$  = Jumlah *optrade* (s)

$n_a$  = Jumlah *antrede* (a)

$h$  = Ketinggian dari dasar hingga ujung pelat tangga (tinggi bordes atau tinggi antar lantai)

#### 2.12.5.1.3 Penentuan Tebal Pelat Tangga dan Pelat Bordes

Penentuan tebal minimum pelat tangga dan pelat bordes mengacu pada SNI 2847-2019; Pasal 7.3.1.1. Penentuan dimensi lainnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_1 = n_t \cdot a \quad (2.90)$$

$$L_b = P - P_1 \quad (2.91)$$

$$P_m = \sqrt{P_1^2 - h_b^2} \quad (2.92)$$

$$I = P_m + L_b \quad (2.93)$$

Dimana:

$P$  = Panjang area rencana tangga (mm)

$P_1$  = Panjang tangga arah horizontal (mm)

$L_b$  = Lebar bordes (mm)

$h_b$  = Tinggi bordes (mm)

$P_m$  = Panjang miring pelat (mm)

$I$  = Panjang pelat (mm)

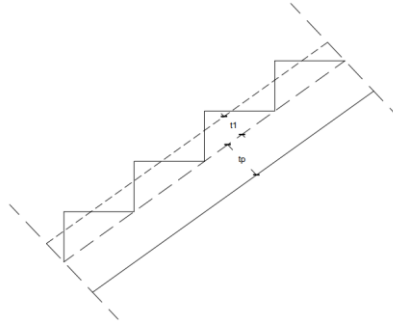
$n_t$  = Jumlah ana tangga yang digunakan

#### 2.12.5.1.4 Penentuan Kemiringan Tangga

Kemiringan tangga harus didesain dengan tidak terlalu curam supaya memudahkan orang naik tanpa mengeluarkan banyak energi, tetapi juga tidak terlalu landai agar tidak akan menjemukan dan tidak memerlukan banyak tempat. Pada umumnya, kemiringan tangga yang wajar yaitu berkisar antara  $25^\circ - 42^\circ$ . Sedangkan untuk bangunan rumah tinggal biasa digunakan kemiringan  $38^\circ$  (Kholiq, 2015).

#### 2.12.5.1.5 Pembebanan pada Tangga

Pembebanan pada struktur tangga mengacu pada SNI 1727-2020. Jenis beban yang diinputkan terdiri dari beban mati (dihitung secara otomatis oleh *software* ETABS), beban mati tambahan, dan juga beban hidup. Perhitungan dalam menentukan beban merata yang akan diinputkan pada anak tangga diuraikan pada persamaan (2.94) dan (2.95).



Gambar 2.22 Tebal Ekuivalen Anak Tangga

$$t_1 = 0,5 \cdot s \cdot \cos \alpha \quad (2.94)$$

$$q_u = L \cdot t_1 \quad (2.95)$$

Dimana:

$t_1$  = Tebal ekuivalen anak tangga

$\alpha$  = Kemiringan tangga

$s$  = *Optrade* (s)

$q_u$  = Beban merata pada anak tangga

$L$  = Lebar satu jalur anak tangga

#### 2.12.6 Lift

*Lift* merupakan alat transportasi vertikal yang digunakan untuk mengangkut orang atau barang yang umumnya digunakan pada gedung bertingkat tinggi (Nur Indriatno Putra Pratama & H, 2018). Pemilihan kapasitas-kapasitas *lift* akan menentukan jumlah *lift* yang juga mempengaruhi kualitas pelayanan gedung. Penentuan jumlah *lift* pada gedung tergantung pada jenis gedung, *round trip*, kapasitas *lift*, kecepatan *lift*, dan zonasi tingkat gedung.

Beban puncak *lift* tergantung pada jenis dan lokasi gedung. Persentase besarnya penghuni kantor di Indonesia antara lain:

1. Kantor 4% dari jumlah penghuni gedung
2. Flat 3% dari jumlah penghuni gedung
3. Hotel 5% dari jumlah penghuni gedung
4. Rumah sakit 5% dari jumlah penghuni gedung

Taksiran kepadatan pengguna gedung per m<sup>2</sup> diantaranya untuk perkantoran 4 m<sup>2</sup>/orang, flat 3 m<sup>2</sup>/orang, dan hotel 5 m<sup>2</sup>/orang. Analisis penentuan kapasitas *lift* diatur dalam SNI 03-6573-2001.

### **2.13 Perencanaan Pembebanan**

Setiap struktur akan memikul gaya yang bekerja dari luar maupun dari dalam, yang dimaksud dengan gaya dari dalam adalah setiap struktur yang memiliki material bermassa akan menahan berat sendirinya yang disebabkan oleh gaya gravitasi. Pembebanan yang bekerja pada konstruksi gedung bertingkat yang disyaratkan antara lain adalah sebagai berikut.

#### **2.13.1 *Dead Load (DL)***

Beban mati/*dead load* merupakan beban dari material sendiri yang dimodelkan secara fisik pada *software* (ETABS) seperti balok, kolom, pelat, *bracing*, maupun dinding geser (*shear wall*).

#### **2.13.2 *Superimposed Dead Load (SIDL)***

Beban mati tambahan/*superimposed dead load* merupakan jenis beban yang digunakan sebagai beban mati yang tidak dimodelkan secara fisik pada *software* (ETABS) seperti berat dinding, keramik, spesi, plafond dan penggantung, instalasi listrik, pipa air bersih serta kotor, dan lain sebagainya. Dalam menentukan berat satuan pada material konstruksi yang akan dipakai, bisa ditentukan dengan mengikuti dari peraturan yang ada di Indonesia, salah satunya yaitu pada SNI 1727-2020 “Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain”.

### 2.13.3 Live Load (LL)

Beban hidup/*live load* adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung dan di dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang menjadi bagian terpisahkan dari Gedung dan dapat diganti selama masa penggunaan dari gedung sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai maupun atap. Jenis beban ini tergantung dari fungsi gedung yang ditinjau dan telah diatur dalam (Badan Standardisasi Nasional, 2020a). Berikut merupakan tabel jenis beban hidup yang disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum,  $L_0$  dan Beban Hidup Terpusat Minimum

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi Beban Hidup Diizinkan	Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan	Terpusat (kN)
<b>Apartemen</b> (lihat rumah tinggal)				
<b>Sistem lantai akses</b>				
- Ruang kantor	2,4	Ya	Ya	8,9
- Ruang komputer	4,79	Ya	Ya	8,9
<b>Gudang persenjataan dan ruang latihan</b>	7,18	Tidak	Tidak	
<b>Ruang pertemuan</b>				
- Kursi tetap (terikat di lantai)	2,87	Tidak	Tidak	
- Lobi	4,79	Tidak	Tidak	
- Kursi dapat dipindahkan	4,79	Tidak	Tidak	
- Panggung pertemuan	4,79	Tidak	Tidak	

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lantai podium</li> <li>- Tribun penonton stadion dan arena dengan kursi tetap (terikat di lantai)</li> <li>- Ruang pertemuan lainnya</li> </ul>	<p style="text-align: center;">7,18</p> <p style="text-align: center;">4,79</p> <p style="text-align: center;">4,79</p>	<p style="text-align: center;">Tidak</p> <p style="text-align: center;">Tidak</p> <p style="text-align: center;">Tidak</p>	<p style="text-align: center;">Tidak</p> <p style="text-align: center;">Tidak</p> <p style="text-align: center;">Tidak</p>	
<b>Balkon dan dek</b>	<p style="text-align: center;">1,5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 4,79 kN/m<sup>2</sup></p>	Ya	Ya	
<b>Jalur untuk akses pemeliharaan</b>	1,92	Ya	Ya	1,33
<b>Koridor</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lantai pertama</li> <li>- Lantai lain</li> </ul>	<p style="text-align: center;">4,79</p> <p style="text-align: center;">Sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain</p>	Ya	Ya	

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
<b>Ruang makan dan restoran</b>	4,79	Tidak	Tidak	
<b>Hunian (lihat rumah tinggal)</b>				
<b>Dudukan mesin elevator</b> (pada area 50 mm x 50 mm)		-	-	1,33
<b>Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan</b> (pada area (25 mm x 25 mm))		-	-	0,89
<b>Jalur penyelamatan saat kebakaran</b>	4,79	Ya	Ya	
- Hunian satu keluarga saja	1,92	Ya	Ya	
<b>Tangga permanen</b>		-	-	Lihat Pasal 4.5.4
<b>Garasi/Parkir (Lihat Pasal 4.10)</b>	1,92	Tidak	Ya	Lihat Pasal 4.10.1
- Mobil penumpang saja	Lihat Pasal 4.10.2	-	-	Lihat Pasal 4.10.2
- Truk dan bus				
<b>Pegangan tangga dan pagar pengaman</b>	Lihat 4.5.1	-	-	Lihat 4.5.1
- Batang pengaman				Lihat 4.5.2
<b>Helipad (Lihat Pasal 4.11)</b>				



<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
- Helikopter dengan berat lepas landas sebesar 13,35 kN atau kurang	1,92	Tidak	-	Lihat Pasal 4.11.2
- Helikopter dengan berat lepas landas lebih dari 13,35 kN	2,87	Tidak	-	Lihat Pasal 4.11.2
<b>Rumah sakit</b>				
- Ruang operasi, laboratorium	2,87	Ya	Ya	4,45
- Ruang pasien	1,92	Ya	Ya	4,45
- Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
<b>Hotel (lihat rumah tinggal)</b>				
<b>Perpustakaan</b>				
- Ruang baca	2,87	Ya	Ya	4,45
- Ruang penyimpanan	7,18	Tidak	Ya	4,45
- Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
<b>Pabrik</b>				
- Ringan	6,00	Tidak	Ya	8,90
- Berat	11,97	Tidak	Ya	13,35
<b>Gedung perkantoran</b>				
- Ruang arsip dan computer harus dirancang untuk beban yang lebih berat				

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
berdasarkan pada perkiraan hunian				
- Lobi dan koridor lantai pertama	4,79	Ya	Ya	8,90
- Kantor	2,40	Ya	Ya	8,90
- Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	8,90
<b>Lembaga hukum</b>				
- Blok sel	1,92	Ya	Ya	
- Koridor	4,79	Ya	Ya	
<b>Tempat rekreasi</b>				
- Tempat bowling, billiard, dan penggunaan sejenis	3,59	Tidak	Tidak	
- Ruang dansa dan <i>ballroom</i>	4,79	Tidak	Tidak	
- Gimnasium	4,79	Tidak	Tidak	
<b>Rumah tinggal</b>				
- Hunian satu dan dua keluarga				
a) Loteng yang tidak dapat dihuni tanpa Gudang	0,48	Ya	Ya	
b) Loteng yang tidak dapat dihuni dengan Gudang	0,96	Ya	Ya	

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
c) Semua ruang kecuali tangga	1,44	Ya	Ya	
- Semua hunian rumah tinggal lainnya				
a) Ruang pribadi dan koridornya	1,92	Ya	Ya	
b) Ruang publik	4,79	Ya	Ya	
c) Koridor ruang publik	4,79	Tidak	Tidak	
<b>Atap</b>				
- Atap datar, berhubung, dan lengkung	0,96	Ya	-	
- Atap yang digunakan penghuni	Sama dengan penggunaan yang dilayani	Ya	-	
- Atap untuk tempat berkumpul	4,70	Ya	-	
- Atap vegetatif dan atap lansekap				
a) Atap bukan untuk penghuni	0,96	Ya	-	
b) Atap untuk tempat berkumpul	4,79	Ya	-	
		Ya	-	

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	Reduksi Beban Hidup Diizinkan	Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan	Terpusat (kN)
<p>c) Atap untuk penghuni lainnya</p> <p>- <i>Awning</i> dan kanopi</p> <p>a) Atap konstruksi pabrik yang didukaung oleh struktur rangka kaku ringan</p> <p>- Rangka penumpu layer penutup</p> <p>- Semua konstruksi lainnya</p>	<p>Sama dengan penggunaan yang dilayani</p> <p>0,24</p> <p>0,24</p> <p>Berdasarkan area tributary dari atap yang didukung oleh komponen struktur rangka</p> <p>0,96</p>	<p>Tidak</p> <p>Tidak</p> <p>Ya</p>	<p>-</p> <p>-</p>	<p>0,89</p>

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komponen struktur atap yang terhubung langsung dengan pekerjaan lantai tempat bekerja               <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Titik panel tunggal dari kord bawah rangka batang atap atau suatu titik sepanjang komponen struktur komponen struktur utama pendukung atap di atas pabrik, Gudang penyimpanan dan pekerjaanya, dan garasi bengkel</li> <li>b) Semua komponen struktur atap utama lainnya</li> </ul> </li> <li>- Semua permukaan atap dengan beban pekerjaan pemeliharaan</li> </ul>				<p style="text-align: center;">8,90</p> <p style="text-align: center;">1,33</p> <p style="text-align: center;">1,33</p>
<p><b>Sekolah</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruang kelas</li> </ul>	1,92	Ya	Ya	4,45

<b>Hunian atau Penggunaan</b>	<b>Merata, Lo (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Diizinkan</b>	<b>Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan</b>	<b>Terpusat (kN)</b>
- Koridor di atas lantai pertama	3,83	Ya	Ya	4,45
- Koridor lantai pertama	4,79	Ya	Ya	4,45
<b>Scuttless. rusuk untuk atap kaca dan langit-langit yang dapat diakses</b>				0,89
<b>Jalan di pinggir untuk pejalan kaki, jalan lintas kendaraan, dan lahan/jalan untuk truk-truk</b>	11,97	Tidak	Ya	35,60
<b>Tangga dan jalan keluar</b>	4,79	Ya	Ya	1,33
- Rumah tinggal untuk satu dan dua keluarga saja	1,92	Ya	Ya	1,33
<b>Gudang di atas langit-langit</b>	0,96	Ya	Ya	
<b>Gudang penyimpanan dan pekerja</b> (harus dirancang untuk beban lebih berat jika diperlukan)				
- Ringan	6,00	Tidak	Ya	
- Berat	11,97	Tidak	Ya	
<b>Toko</b>				
- Eceran	4,79	Ya	Ya	4,45
a) Lantai pertama	3,59	Ya	Ya	4,45
b) Lantai di atasnya	6,00	Tidak	Ya	4,45
- Grosir, di semua lantai				

Hunian atau Penggunaan	Merata, $L_0$ ( $\text{kN/m}^2$ )	Reduksi Beban Hidup Diizinkan	Reduksi Beban Hidup Berlantai Banyak Diizinkan	Terpusat ( $\text{kN}$ )
Penghalang kendaraan				Lihat Pasal 4.5.3
Susunan jalan dan panggung yang ditinggikan (selain jalan keluar)	2,87	Ya	Ya	
Pekrangan dan teras, jalur pejalan kaki	4,79	Tidak	Tidak	

#### 2.13.4 Wind Load (WL)

Beban angin/*wind load* adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh tekanan udara. Beban angin ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang yang ditinjau. Analisis beban angin menggunakan sistem penahan gaya angin utama prosedur terarah. Beban angin desain minimum untuk bangunan gedung tertutup tidak boleh kecil dari  $0,77 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas dinding bangunan gedung dan  $0,38 \text{ kN/m}^2$  dikalikan dengan luas atap bangunan gedung yang terproyeksikan pada bidang vertikal tegak lurus terhadap arah angin yang di asumsikan.

Berdasarkan SNI 1727-2020 untuk menghitung pengaruh angin pada struktur menggunakan parameter sebagai berikut.

##### 2.13.4.1 Kecepatan angin dasar (V)

Kecepatan angin dasar (V) yang digunakan dalam menentukan beban angin desain pada bangunan gedung dan struktur lain ditentukan dari kondisi batas sesuai LRFD.

### 2.13.4.2 Faktor Arah Angin ( $K_d$ )

Efek arah angin dalam menentukan beban angin didasarkan pada analisis rasional dari kecepatan angin. Faktor arah angin ( $K_d$ ) ditentukan dari Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Faktor Arah Angin

<b>Tipe Struktur</b>	<b>Faktor Arah Angin (<math>K_d</math>)</b>
Bangunan Gedung	
- Sistem Penahan Gaya Angin Utama (SPGAU)	0,85
- Komponen dan Klading (K&K)	0,85
Atap Lengkung	0,85
Kubah Berbentuk Budar	1,0 <sup>a</sup>
Cerobong, Tangki, dan Struktur Serupa	
- Persegi	0,90
- Segi Enam	0,95
- Segi Delapan	1,0 <sup>a</sup>
- Bundar	1,0 <sup>a</sup>
Dinding solid yang berdiri bebas, peralatan bagian atap dan panel petunjuk solid yang berdiri bebas serta panel petunjuk terikat	0,85
Panel petunjuk terbuka dan rangka terbuka bidang tunggal	0,85
Rangka Batang Menara	
- Segitiga, persegi atau persegi Panjang	0,95
- Semua penampang lainnya	0,95

<sup>a</sup>Faktor arah angin  $K_d = 0,95$  diizinkan untuk struktur bundar atau struktur segi delapan dengan sistem struktur non-asimetris

### 2.13.4.3 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 yang telah dibangun. Berikut kategori kekasaran permukaan:



1. Kekasaran Permukaan B: Daerah perkotaan dan pinggiran kota, daerah berhutan, atau daerah lain dengan penghalang berjarak dekat seukuran tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar dalam jumlah banyak.
2. Kekasaran Permukaan C: Dataran terbuka dengan penghalang tersebar yang memiliki tinggi umumnya kurang dari 30 ft (9,1m). Kategori ini mencakup daerah terbuka datar dan padang rumput.
3. Kekasaran Permukaan D: Permukaan datar, area tanpa halangan dan permukaan air. Kategori ini termasuk hamparan lumpur halus.

Berikut merupakan kategori eksposur:

1. Eksposur B: Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata kurang dari atau sama dengan 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan B, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 1.500 ft (457m). Untuk bangunan gedung atau struktur lain dengan tinggi atap rata-rata lebih besar dari 30 ft (9,1m), Eksposur B berlaku bilamana Kekasaran Permukaan B berada dalam arah melawan angin untuk jarak lebih besar dari 2.600 ft (792 m) atau 20 kali tinggi bangunan atau struktur, pilih yang terbesar.
2. Eksposur C: Eksposur C berlaku untuk semua kasus di mana Eksposur B atau Eksposur D tidak berlaku.
3. Eksposur D: Eksposur D berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah, sebagaimana ditentukan oleh Kekasaran Permukaan D, berlaku di arah melawan angin untuk jarak yang lebih besar dari 5.000 ft (1.524m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi struktur, pilih yang terbesar. Eksposur D juga berlaku bilamana kekasaran permukaan tanah dekat dari situs dalam arah melawan angin adalah B atau C, dan situs yang berada dalam jarak 600 ft (183 m) atau 20 kali tinggi bangunan gedung atau tinggi truktur, pilih yang terbesar, dari kondisi Eksposur D sebagaimana ditentukan dalam kalimat sebelumnya.

#### 2.13.4.4 Faktor Topografi ( $K_{zt}$ )

Efek peningkatan kecepatan angin pada daerah perkotaan secara umum tidak menimbulkan perubahan mendadak pada topografi, maka nilai  $K_{zt} = 1,0$ .

#### 2.13.4.5 Faktor Elevasi Permukaan Tanah ( $K_e$ )

Faktor elevasi permukaan tanah untuk menyesuaikan densitas udara ( $K_e$ ) harus ditentukan sesuai dengan Tabel dibawah ini. Untuk semua elevasi, boleh diambil nilai  $K_e = 1$ .

Tabel 2.7 Faktor Elevasi Permukaan Tanah

<b>Elevasi Tanah di Atas Permukaan Laut (m)</b>	<b>Faktor Elevasi Permukaan Tanah (<math>K_e</math>)</b>
<0	Lihat catatan
0	1,00
305	0,96
610	0,93
914	0,90
1.219	0,86
1.524	0,83
1.829	0,80
>1.829	Lihat catatan

Catatan:

- Perkiraan konservatif, boleh diambil  $K_e = 1,00$  dalam semua kasus
- Paktor  $K_e$  harus ditentukan dari tabel di atas dengan menggunakan interpolasi atau dari rumus berikut untuk semua elevasi:  

$$K_e = e^{-0,00119z_g}$$
( $Z_g$  = elevasi tanah di atas permukaan laut, dalam m)
- Dalam semua kasus  $K_e$  boleh diambil sebesar 1,00.

#### 2.13.4.6 Faktor Efek Hembusan Angin ( $G$ )

Faktor efek hembusan angin untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0,85.

### 2.13.4.7 Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan

Berdasarkan kategori eksposur yang sudah ditentukan, koefisien eksposur tekanan kecepatan ( $K_z$  atau  $K_h$ ) ditentukan dari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Untuk } 4,6 \text{ m} \leq z \leq Z_g : K_z = 2,01 \left( \frac{z}{Z_g} \right)^{2/\alpha}$$

$$\text{Untuk } z < 4,6 \text{ m} \quad Z_g : K_z = 2,01 \left( \frac{15}{Z_g} \right)^{2/\alpha}$$

Tabel 2.8 Nilai  $\alpha$  dan  $Z_g$

Eksposur	$\alpha$	$Z_g$ (m)
B	7,0	365,76
C	9,5	274,32
D	11,5	213,36

### 2.13.4.8 Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )

Koefisien tekanan internal ( $GC_{pi}$ ) harus ditentukan berdasarkan pada klasifikasi ketertutupan bangunan gedung ditentukan dari Pasal 26.12.

Tabel 2.9 Klasifikasi Ketertutupan Bangunan Gedung

Klasifikasi Ketertutupan	Kriteria untuk Klasifikasi Ketertutupan	Koefisien Tekanan Internal ( $GC_{pi}$ )
Tertutup	$A_o$ kurang dari terkecil $0,01 A_g$ atau $0,37 \text{ m}^2$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	-0,18 -0,18
Tertutup Sebagian	$A_o > 1,1 A_{oi}$ dan $A_o >$ terkecil dari $0,01 A_g$ Atau $0,37 \text{ m}^2$ dan $A_{oi}/A_{gi} \leq 0,2$	-0,55 -0,55
Terbuka Sebagian	Bangunan yang tidak sesuai dengan klasifikasi tertutup, tertutup Sebagian, atau klasifikasi terbuka	-0,18 -0,18

<b>Klasifikasi Ketertutupan</b>	<b>Kriteria untuk Klasifikasi Ketertutupan</b>	<b>Koefisien Tekanan Internal (GC<sub>pi</sub>)</b>
Terbuka	Setiap dinding minimal terbuka 80%	0,00

Untuk bangunan tertutup sebagian yang memiliki sebuah ruangan besar tanpa sekat, koefisien tekanan internal, (GC<sub>pi</sub>), harus dikalikan dengan faktor reduksi, R<sub>i</sub> berikut ini:

$$R_i = 0,5 \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{22,800 A_{og}}}} \right) < 1,0 \quad (2.96)$$

Dimana:

A<sub>og</sub> = Luas total bukaan pada amplop bangunan Gedung (dinding- dinding dan atap, dalam ft<sup>2</sup>)

V<sub>i</sub> = Volume internal ruang tanpa partisi, dalam ft<sup>2</sup>

#### 2.13.4.9 Koefisien Tekanan Eksternal (C<sub>p</sub>)

Koefisien tekanan eksternal dibagi menjadi koefisien untuk dinding dan atap, nilai C<sub>p</sub> ditentukan berdasarkan Tabel 2.10 dan Tabel 2.11.

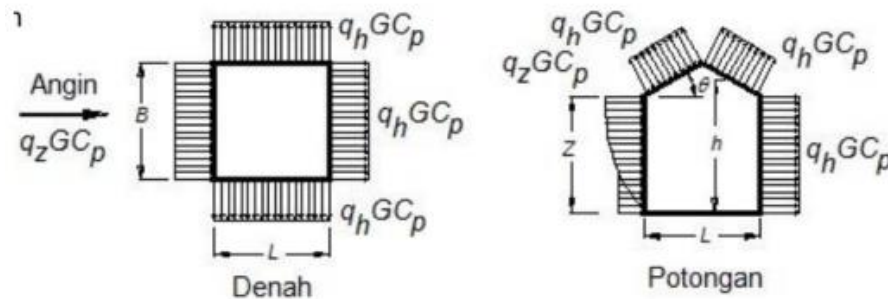
Tabel 2.10 Koefisien Tekanan Eksternal Dinding (C<sub>p</sub>)

<b>Koefisien Tekanan Dinding (C<sub>p</sub>)</b>			
<b>Permukaan</b>	<b>L/B</b>	<b>C<sub>p</sub></b>	<b>Digunakan dengan</b>
Angin datang	Seluruh nilai	0,8	q <sub>z</sub>
Angin pergi	0 – 1	-0,5	q <sub>h</sub>
	2	-0,3	q <sub>h</sub>
	≥ 4	-0,2	q <sub>h</sub>
Dinding tepi	Seluruh nilai	-0,7	q <sub>h</sub>

Tabel 2.11 Koefisien Tekanan Eksternal Atap ( $C_p$ )

Koefisien Tekanan Atap ( $C_p$ ) untuk Digunakan $q_h$							
Arah Angin	h/L	Di sisi angin datang			Di sisi angin pergi		
		Sudut, $\theta$ (derajat)			Sudut, $\theta$ (derajat)		
		10	15	20	10	15	$\geq 20$
Tegak lurus terhadap hubungan untuk, $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7	-0,5	-0,3	-0,3	-0,5	-0,6
		-0,18	0,0 <sup>a</sup>	0,2			
	0,5	-0,9	-0,7	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6
		-0,18	-0,18	0,0 <sup>a</sup>			
	$\geq 1$	-1,3 <sup>b</sup>	-0,1	-0,7	-0,7	-0,6	-0,6
		-0,18	-0,18	-0,18			

Sistem penahan gaya angin utama digambarkan pada ilustrasi Gambar 2.23 berikut.



Gambar 2.23 Sistem Penahan Gaya Angin Utama

Perhitungan tekanan angin desain untuk SPGAU bangunan Gedung pada semua ketinggian dalam  $\text{lb/ft}^2$  ( $\text{N/m}^2$ ) harus ditentukan dengan persamaan (2.97) berikut.

$$p = qGC_p - q_l(GC_{pi}) \quad (2.97)$$

Tekanan kecepatan velositas sebagai berikut:

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

Dimana:

$q$  =  $q_z$  untuk dinding sisi angin datang dan  $q_h$  untuk dinding sisi angin persegi

$G$  = Faktor efek hembusan angin

$C_p$  = Koefisien tekanan eksternal

### 2.13.5 Earthquake Load (EL)

Beban gempa/*earthquake load* untuk desain bangunan gedung menggunakan respon spektrum telah disajikan pada *website* resmi PU sesuai dengan peraturan gempa (Badan Standardisasi Nasional, 2019b). Probabilitas terjadinya gempa yaitu 2% dalam kurun waktu 50 tahun atau gempa dengan periode ulang 2500 tahun yang merupakan gempa Max Considered Earthquake Targeted Risk (MCER). Respon gempa elastis ini memiliki redaman sebesar 5% (SNI 1726-2019, Pasal 6.10.2.1).

Cara untuk mendapatkan nilai dari gaya geser yang bekerja dikarenakan beban gempa, dibutuhkan beberapa syarat dan juga parameter yang harus dipenuhi dan dihitung secara sistematis dan matematis, parameter dan persyaratan yang akan digunakan dalam perancangan pembebanan gempa pada struktur gedung ini adalah SNI 1726 – 2019. Parameternya antara lain sebagai berikut.

#### 2.13.5.1 Kategori Risiko Bangunan

Kategori risiko disesuaikan dengan jenis pemanfaatan atau kegunaan dari bangunan yang direncanakan sesuai dengan SNI 1726-2019, Pasal 4.1.2.

Tabel 2.12 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Gedung dan nongedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, Antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perekebunan, peternakan, dan perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gudang penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Resiko</b>
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, II, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	<b>II</b>
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bioskop</li> <li>- Gedung pertemuan</li> <li>- Stadion</li> <li>- Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas penitipan anak</li> <li>- Penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko 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"> <li>- Pusat pembangkit listrik biasa</li> </ul>	<b>III</b>

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Resiko</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas penanganan air</li> <li>- Fasilitas penanganan limbah</li> <li>- Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori resiko 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>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainya untuk tanggap keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik,</li> </ul>	IV



<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Resiko</b>
<p>tangki air pemadam atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang diisyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</p> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	

### 2.13.5.2 Faktor Keutamaan Gempa

Sesuai dengan SNI 1726-2019, Pasal 4.1.2, semua kategori risiko bangunan gedung dan non gedung pada Tabel 2.13, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ), yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.13 Faktor Keutamaan Gempa

<b>Kategori Resiko</b>	<b>Faktor Keutamaan Gempa (<math>I_e</math>)</b>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

### 2.13.5.3 Klasifikasi Situs

Profil tanah di situs harus diklasifikasikan terlebih dahulu, dengan profil tanah lapisan 30 m paling atas. Apabila tidak tersedia data tanah yang spesifik pada situs hingga 30 m, maka sifat-sifat tanah harus diestimasi oleh seorang ahli geoteknik yang tersertifikasi keahliannya dengan memberikan laporan penyelidikan tanah berdasarkan kondisi geotekniknya (SNI 1726-2019, Pasal 5). Lalu, apabila sifat tanah tidak memadai untuk penentuan kelas situs, maka kelas situs SE (tanah lunak) harus digunakan sesuai dengan syarat yang tertera pada SNI 1726-2019, Pasal 6.2.

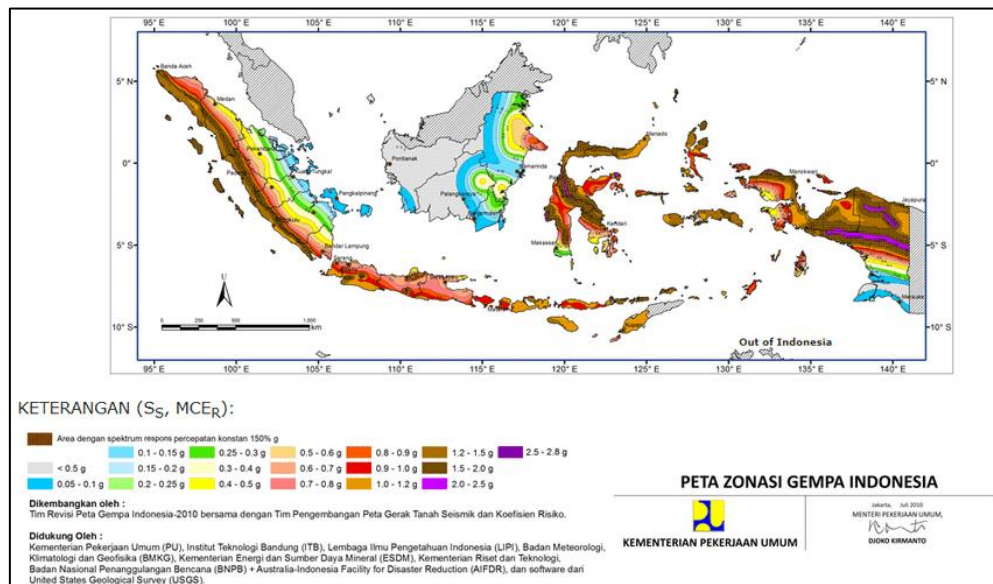
Tabel 2.14 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	7750 - 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 - 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 - 350	15 - 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir $< 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki saah satu atau lebih dari karakteristik sebagai berikut : - Rawan dan berpontesi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$ ) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $< 50$ kPa		

#### 2.13.5.4 Wilayah Gempa Indonesia

Parameter percepatan gempa batuan dasar terdiri dari percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik ( $S_s$ ) dan percepatan batuan dasar pada periode

1 detik ( $S_1$ ) yang harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 dan 1 detik dalam peta gempa untuk periode ulang 2500 tahun.



Gambar 2.24 Peta Zonasi Gempa Indonesia

### 2.13.5.5 Faktor Koefisien Situs

Penentuan respons spectral percepatan gempa  $MCE_R$  di permukaan tanah diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan 1 detik (SNI 1726-2019, Pasal 6.2). Faktor ini 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 respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (2.98)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (2.99)$$

Tabel 2.15 Koefisien Situs,  $F_a$

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$					
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Catatan:

- (a)  $SS$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik analisis respon situs-spesifik

Tabel 2.16 Koefisien Situs,  $F_v$

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Resiko-Tertarget ( $MCE_R$ ) Terpetakan pada Periode 1 detik, $S_1$					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_{S1} \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	3=2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

- (a)  $SS$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik analisis respon situs-spesifik

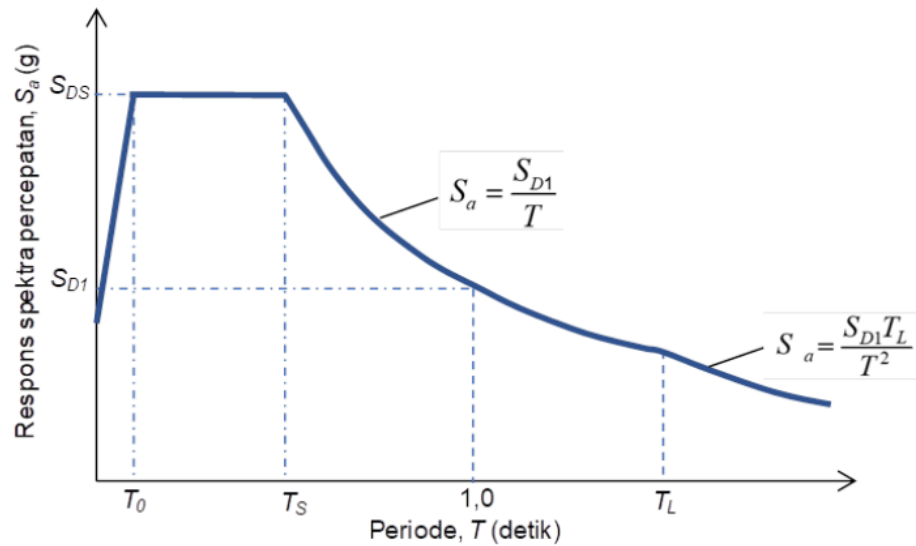
### 2.13.5.6 Respon Spektra Desain

Respon spektra atau resepon spektrum merupakan nilai yang menggambarkan respon maksimum dari system berderajat kebebasan tunggal (SDOF) pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah (SNI 1726-2019, Pasal 6.3 – 6.4). Untuk membuat kurva respon spektra desain, terlebih dahulu harus menentukan parameter percepatan spektra desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) menggunakan persamaan berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.100)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.101)$$

Apabila respon spektra desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik situs tidak digunakan, maka kurva respon spektra desain harus dikembangkan dengan mengikuti beberapa ketentuan dan mengacu pada gambar berikut.



Gambar 2.25 Spektrum Respon Desain

1. Setiap periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ) harus diambil dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.102)$$

2. Setiap periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ) sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Untuk periode yang lebih besar dari  $T_S$  tetapi lebih kecil atau sama dengan  $T_L$ , respon spektra percepatan desain ( $S_a$ ) diambil:

$$S_a = \frac{S_{DI}}{T} \quad (2.103)$$

4. Untuk periode yang lebih besar dari  $T_L$ , respon spectra percepatan desain ( $S_a$ ) diambil:

$$S_a = \frac{S_{DI} T_L}{T^2} \quad (2.104)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = Parameter respon spektral percepatan desain pada periode pendek

$S_{D1}$  = Parameter respon spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = Periode getar fundamental struktur

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

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

$T_L$  = Periode panjang

### 2.13.5.7 Kategori Desain Seismik

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 6.5, kategori desain seismik ditentukan dari kategori risiko bangunan dan tingkat gerakan tanah akibat gempa pada lokasi situs.

Tabel 2.17 Kategori Risiko Berdasarkan Nilai  $S_{DS}$

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,5$	C	D
$S_{DS} \geq 0,50$	D	D

Tabel 2.18 Kategori Kategori Risiko Berdasarkan Nilai  $S_{D1}$

Nilai $S_{D1}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	C	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$S_{D1} \geq 0,20$	D	D

Catatan:

Lokasi dengan nilai  $S_1 \geq 0,75$  g, maka  $K_{DS} = E$ , untuk kategori risiko I,II,III, dan  $K_{DS} = F$ , untuk kategori risiko IV

### 2.13.5.8 Parameter Penahan Gaya Seismik

Beberapa syarat pendetailan yang harus dipenuhi oleh elemen-elemen pemikul gaya seismik disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.19 Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	$\Omega_0$	Cd	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan</b>								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus	7	$2\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa	6	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	8	$2\frac{1}{2}$	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	$2\frac{1}{2}$	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	$7\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	$2\frac{1}{2}$	6	TB	TB	TB	TB	TB

Sistem Pemikul Gaya Seismik	R	$\Omega_0$	Cd	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
<b>D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan</b>								
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	$\frac{2}{1/2}$	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	$\frac{5}{1/2}$	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	$\frac{3}{1/2}$	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	$\frac{2}{1/2}$	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	$\frac{2}{1/2}$	$\frac{6}{1/2}$	TB	TB	TB	TB	TB

Keterangan:

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diijinkan

### 2.13.5.9 Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen

#### 2.13.5.9.1 Gaya Geser Dasar Seismik (V)

Gaya geser dasar (*base shear*) merupakan jumlah gaya-gaya horizontal yang bekerja pada dasar bangunan karena pengaruh gempa (Erwinsyah et al., 2013). Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$V = C_S \times W \quad (2.105)$$

Dimana:

$C_S$  = Koefisien respon seismik

W = Berat seismik efektif



### 2.13.5.9.2 Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

Nilai koefisien respon seismik harus ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.106)$$

Dimana:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek

$R$  = Koefisien modifikasi respon pada Tabel 2.19

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.13

Nilai  $C_s$  yang dihitung tidak perlu melebihi nilai  $C_s$  maksimum pada 2 persamaan berikut.

Untuk  $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.107)$$

Untuk  $T \geq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.108)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung pada persamaan (2.106) tidak boleh kurang dari nilai  $C_s$  minimum, sebagai berikut.

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.109)$$

Dimana:

$S_{D1}$  = Parameter percepatan spectral desain untuk periode 1,0 detik

$S_1$  = Parameter percepatan respons spectral maksimum

$T$  = Periode fundamental struktur (detik)

$R$  = Koefisien modifikasi respons pada

Tabel 2.22

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa sesuai Tabel 2.13

#### 2.13.5.9.3 Berat Seismik Efektif (W)

Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.7.2, berat efektif struktur harus menyertakan seluruh beban mati dan minimum 25% beban hidup lantai.

#### 2.13.5.9.4 Periode Fundamental (T)

Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) pada Tabel 2.27 dan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) yang ditentukan pada persamaan di bawah. Apabila nilai T tidak tersedia dalam melakukan analisis, maka diizinkan langsung menggunakan periode bangunan pendekatan ( $T_a$ ).

##### 1. Periode Fundamental Pendekatan ( $T_a$ )

$$T_a = c_t h_n^x \quad (2.110)$$

Dimana:

$h_n$  = Ketinggian struktur (m)

$c_t$  dan  $x$  = Koefisien, sesuai Tabel 2.21

Tabel 2.20 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
- Rangka baja pemikul momen	0,724	0,8
- Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Untuk struktur *shear wall* batu bata atau *shear wall* beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m, perhitungan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ) diizinkan menggunakan persamaan berikut.

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (2.111)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)\right]} \quad (2.112)$$

Dimana:

$h_n$  = Ketinggian struktur (m)

$A_B$  = Luas dasar struktur ( $m^2$ )

$A_i$  = Luas badan dinding geser ke-i ( $m^2$ )

$D_i$  = Panjang *shear wall* ke-i

$x$  = Jumlah *shear wall* dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau

## 2. Batas Atas Periode Fundamental ( $C_u.T_a$ )

Tabel 2.21 Koefisien Batas Atas pada Periode yang Dihitung

Parameter Percepatan Respon Spektral 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

## 3. Pemilihan Periode Fundamental yang Menentukan

Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi ( $T = C_u.T_a$ ) dan tidak boleh kurang dari periode fundamental pendekatan ( $T_a = C_t(h_n)^x$ ) (SNI 1726-2019, Pasal 7.8.2). Apabila periode fundamental hasil analisis struktur menggunakan computer ( $T_c$ ) lebih besar dari ( $T = C_u.T_a$ ) pada

suatu arah tertentu, maka periode struktur ( $T$ ) harus diambil sebesar ( $T = C_u \cdot T_a$ ) (SNI 1726-2019, Pasal 7.9.1.4).

#### 2.13.5.9.5 Distribusi Beban Gempa Tiap Lantai

Gaya seismik lateral,  $F_x$  (kN) pada semua Tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.113)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.114)$$

Dimana:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN)

$W_i, W_x$  = Berat seismik efektif total struktur yang dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i, h_x$  = Tinggi dasar sampai Tingkat  $i$  atau  $x$  (m)

$k$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur

#### 2.13.5.9.6 Base Shear Tiap Lantai

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat,  $V_x$  (kN) harus ditentukan dengan persamaan berikut.

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (2.115)$$

Dimana:

$F_i$  = Bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) pada tingkat ke- $i$  (kN)

Geser Tingkat desain seismik,  $V_x$  (kN) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem pemikul gaya seismik di tingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relatif elemen pemikul vertikal dan diafragma.

#### 2.13.5.9.7 Batas Simpangan antar Lantai

Simpangan pusat massa tingkat- $x$  ( $\delta$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_e}{I_e} \quad (2.116)$$

Tabel 2.22 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori		
	I dan II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 $h_x$	0,020 $h_x$	0,015 $h_x$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 $h_x$	0,010 $h_x$	0,010 $h_x$
Struktur dinding geser lainnya	0,007 $h_x$	0,007 $h_x$	0,007 $h_x$
Semua struktur lainnya	0,020 $h_x$	0,020 $h_x$	0,020 $h_x$

$$\delta_{ijin} = 0,02 \times h$$

### 2.13.6 Kombinasi Pembebanan

Dalam merencanakan pembebanan terdapat kombinasi yang harus diperhitungkan, dimana hasil dari kombinasi pembebanan ini akan menghasilkan efek beban terfaktor dan desain dari keseluruhan gedung harus memiliki kekuatan desain yang sama atau lebih besar dari efek yang ditimbulkan pada kombinasi pembebanan. Terdapat dua metode kombinasi pembebanan, yaitu kombinasi metode ultimit yang diatur dalam SNI 1726-2019 Pasal 4.2.2 dan metode layan yang diatur dalam SNI 1726-2019 Pasal 4.2.3.

#### 2.13.6.1 Kombinasi Pembebanan Metode Ultimit

Kombinasi beban dasar untuk metode ultimit digunakan beberapa kombinasi sebagai berikut.

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L<sub>r</sub> atau R)

3.  $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (1,0 L \text{ atau } 0,5 W)$
4.  $1,2 D + 1,0 W + 1,0 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5.  $0,9 D + 1,0 W$

Apabila kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik, maka dapat digunakan kombinasi sebagai berikut.

6.  $1,2 D + E_v + E_h + L$
7.  $0,9 D + E_v + E_h$

Dimana:

$$E_h = \rho \cdot Q_E$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} \cdot D$$

Faktor beban untuk L pada kombinasi 3,4, dan 6 diizinkan diambil sama dengan 0,5 untuk semua fungsi ruang apabila  $L_o$  dalam SNI 1727-2019 kurang dari sama dengan  $4,78 \text{ kN/m}^2$ , kecuali garasi atau ruang pertemuan publik.

### 2.13.6.2 Kombinasi Pembebanan Metode Layan

Kombinasi pembebanan dasar dengan menggunakan metode layan dapat digunakan beberapa kombinasi sebagai berikut.

1. D
2. D + L
3. D + ( $L_r$  atau R)
4. D + 0,75 ( $L_r$  atau R)
5. D + 0,6 W
6. D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 ( $L_r$  atau R)
7. 0,6 D + 0,6 W

Apabila kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik, maka dapat digunakan kombinasi sebagai berikut.

8.  $D + 0,7 E_v + 0,7 E_{mh}$
9.  $D + 0,525 E_v + 0,525 E_{mh} + 0,75 L$
10.  $0,6 D - 0,7 E_v + 0,7 E_{mh}$

Dimana:

$$E_{mh} = \Omega_0 \cdot Q_E$$

$$E_v = 0,2 S_{DS} \cdot D$$

#### 2.14 Analisis Riwayat Waktu (*Time History*)

Getaran gempa memiliki intensitas tertentu yang menyebabkan kerusakan maupun keruntuhan pada struktur. Gaya gempa dinamik yang intensitasnya berubah-ubah menurut waktu akan memiliki pengaruh terhadap struktur yang berubah-ubah pula menurut waktu. Metode *Linear Time History Analysis* (LTHA) merupakan metode analisis beban gempa dengan menggunakan rekaman gempa asli (*ground motion*) yang diperoleh secara langsung dari alat peredam gempa (*seismograph*) (Lesmana, 2020). Prosedur yang paling penting dalam metode ini yaitu proses penyetaraan intensitas gempa yang dikenal dengan *spectra matching method*. Metode ini diatur dalam SNI 1726-2019, Pasal 7.9.2.

Pada analisis *time history*, untuk memperoleh respon struktur akibat pembebanan gempa didapatkan dari rekam *accelerograms* (percepatan gempa masukan). *Accelograms* merupakan perekaman akselerasi gerakan dasar bumi pada saat terjadinya gempa. Rekam *accelerograms* yang dipilih pada analisis ini harus mengambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang diperoleh di suatu lokasi dengan keadaan geologi, topografi, serta seismotektoniknya hampir menyamai dengan lokasi yang akan ditinjau.

Analisis *time history* pada umumnya lebih sering digunakan untuk keadaan linear, namun tidak sering juga digunakan untuk keadaan linear saja. Berdasarkan SNI 1726-2019, Pasal 7.9.2.1, analisis *linear time history* harus terdiri dari analisis model matematis linear dari struktur untuk memastikan responnya melalui metode-metode integrasi numerik terhadap rangkaian riwayat percepatan yang dicocokkan secara spectral yang kompatibel dengan rangkaian respon spektra desain di tempat tersebut. Pada SNI 1726-2019; Pasal 7.9.2.3, analisis *linear time history* diperlukan minimal 3 (tiga) rekaman atau simulasi riwayat waktu percepatan gerak tanah horizontal yang dipilih dari beberapa kejadian gempa dengan magnitudo serta jarak sumber gempa (sesar/patahan/subduksi) yang secara konsisten mengontrol gerak tanah gempa  $MCE_R$ .

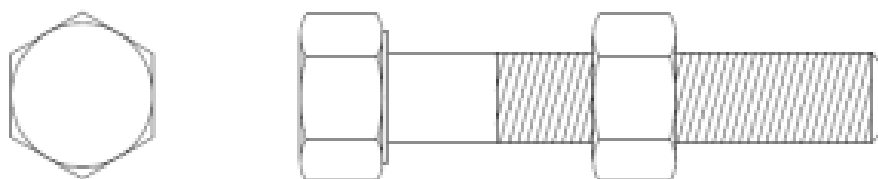
## 2.15 Sambungan

Sesuai dengan peraturan yang terdapat pada SNI 1729-2002 Pasal 13.1.3, kuat rencana setiap sambungan tidak boleh kurang dari beban terfaktor yang dihitung. Adapun beberapa persyaratan yang harus terpenuhi dalam perencanaan sambungan antara lain sebagai berikut.

1. Gaya dalam yang disalurkan berada dalam keseimbangan dengan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan.
2. Deformasi pada sambungan masih berada dalam batas kemampuan deformasi sambungan.
3. Sambungan dan komponen yang berdekatan harus mampu memikul gaya-gaya yang bekerja padanya.

### 2.15.1 Sambungan Baut

Setiap struktur baja merupakan gabungan dari beberapa komponen batang yang disatukan menggunakan alat pengencang. Salah satu alat pengencang selain las yaitu baut terutama baut dengan mutu tinggi. Baut mutu tinggi memiliki beberapa kelebihan dibandingkan paku keeling sebagai alat pengencang struktur baja, di antaranya yaitu jumlah tenaga kerjanya yang lebih sedikit, kemampuan menerima gaya yang lebih besar, dan secara keseluruhan dapat menghemat biaya konstruksi.



Gambar 2.26 Sambungan Baut

Tabel 2.23 Tipe-Tipe Baut dan Spesifikasinya

<b>Tipe Baut</b>	<b>Diameter (mm)</b>	<b><i>Proof Stress</i> (MPa)</b>	<b>Kuat Tarik Min. (MPa)</b>
A307	6,35 – 104	-	60
A325	12,7 – 25,4	585	825
28,6 - 38,1	510	725	-



<b>Tipe Baut</b>	<b>Diameter (mm)</b>	<b><i>Proof Stress</i> (MPa)</b>	<b>Kuat Tarik Min. (MPa)</b>
A490	12,7 – 38,1	825	1035

Tabel 2.24 Data Teknis Baut HTB

<b>Baut</b>	<b>Mutu</b>	<b>Tegangan Geser Ijin (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tegangan Tarik Ijin (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
A307	Normal	960	1600
A325	Tinggi	1225	3080
A490	Tinggi	1540	3780

Dalam pemasangan baut mutu tinggi memerlukan gaya tarik awal yang cukup yang diperoleh dari pengencangan awal. Gaya ini akan memberikan friksi sehingga cukup kuat untuk memikul beban yang bekerja. Gaya ini dinamakan *proof load*. *Proof load* diperoleh dengan mengalikan luas daerah tegangan tarik ( $A_s$ ) dengan kuat leleh.

$$A_s = \frac{\pi}{4} \left[ d_b - \frac{0,9743}{\pi} \right]^2 \quad (2.117)$$

Dengan:

$d_b$  = diameter nominal baut

$\pi$  = jumlah ulir per mm

### 2.15.1.1 Tahanan Nominal Baut

Suatu baut yang memikul beban terfaktor ( $R_u$ ), sesuai persyaratan LRFD harus memenuhi persamaan (2.118).

$$R_u = \phi R_n \quad (2.118)$$

Dengan:

$R_n$  = Tahanan nominal baut

$R_u$  = Besarnya berbeda – beda tergantung tipe baut

$\phi$  = Faktor reduksi, besarnya 0,75

### 2.15.1.2 Tahanan Geser Baut

Tahanan nominal satu buah baut yang memikul gaya geser memenuhi persamaan (2.119).

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2.119)$$

Dengan:

$r_1 = 0,50$  untuk baut tanpa ulir pada bidang geser

$r_1 = 0,40$  untuk baut dengan ulir pada bidang geser

$f_u^b =$  Kuat tarik baut (MPa)

$A_b =$  Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

$m =$  Jumlah bidang geser

### 2.15.1.3 Tahanan Tarik Baut

Baut yang memikul gaya tarik, tahanan nominalnya dihitung menurut persamaan berikut:

$$R_n = m \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \quad (2.120)$$

Dengan:

$f_u^b =$  Kuat tarik baut (MPa)

$A_b =$  Luas bruto penampang baut pada daerah tak berulir

### 2.15.1.4 Tahanan Tumpu Baut

Tahanan tumpu nominal tergantung kondisi yang terlemah dari baut atau komponen pelat yang disambung. Besarnya ditentukan dengan persamaan (2.121).

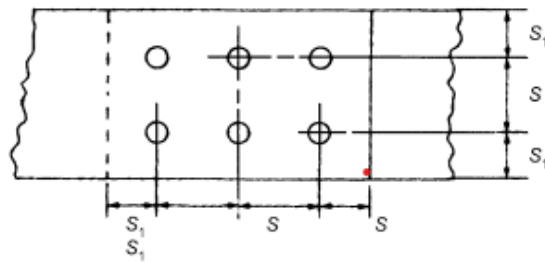
$$R_n = 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.121)$$

Dengan:

$d_b =$  Diameter baut pada daerah tak berulir

$t_p =$  Tebal pelat

$f_u =$  Kuat tarik putus terendah dari baut atau pelat



Gambar 2.27 Tata Letak Baut

$$3d_b < S < 15t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

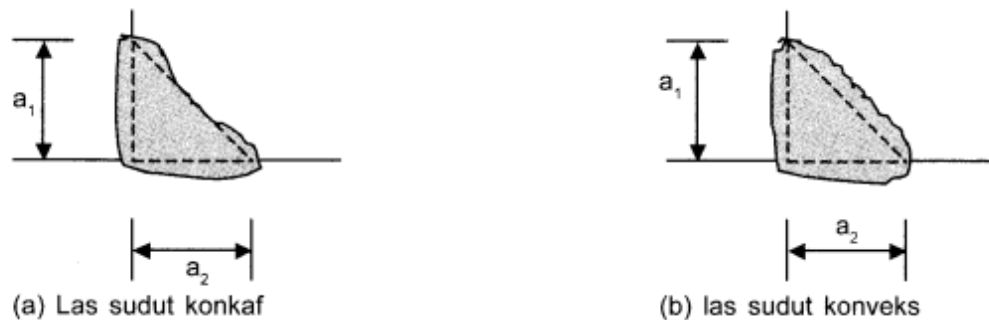
$$1,5d_b < S < (4t_p + 100 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

### 2.15.2 Sambungan Las

Pengelasan merupakan suatu proses penyambungan bahan logam yang menghasilkan peleburan bahan dengan memanasaknya sampai mencapai suhu yang tepat dengan atau tanpa pemberian tekanan serta dengan atau tanpa pemakaian bahan pengisi (Setiawan, 2013).

#### 2.15.2.1 Pembatasan Ukuran Las Sudut

Ukuran las sudut ditentukan oleh panjang kaki yang mana panjang kaki ini harus ditentukan sebagai panjang  $a_1$  dan  $a_2$ .



Gambar 2.28 Ukuran Las Sudut

Tabel 2.25 Ukuran Minimum Las Sudut

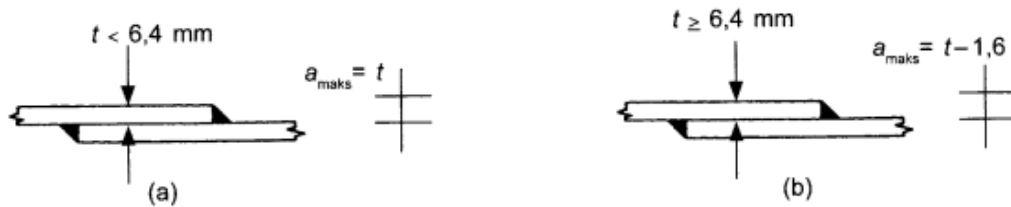
Tebal Pelat ( $t$ , mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut ( $a$ , mm)
$t \leq 7$	3
$7 < t \leq 10$	4
$10 < t < 15$	5

Tebal Pelat (t, mm) Paling Tebal	Ukuran Minimum Las Sudut (a, mm)
$t > 15$	6

Adapun pembatasan ukuran maksimum las sudut yaitu sebagai berikut.

1. Untuk komponen dengan tebal kurang dari 6,4 mm, diambil setebal komponen.
2. Untuk komponen dengan tebal 6,4 mm atau lebih, diambil 1,6 mm lebih kecil dari tebal komponen.

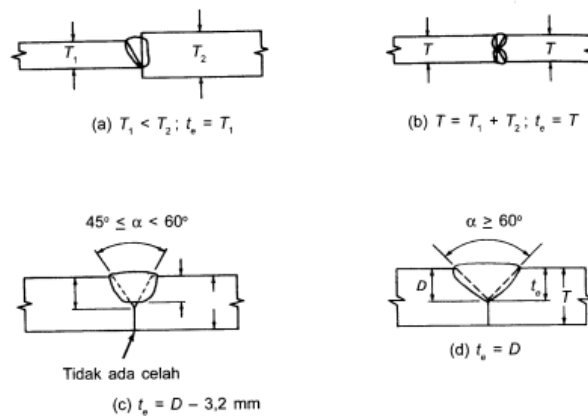
Panjang efektif las sudut yaitu seluruh panjang las sudut berukuran penuh dan paling tidak harus 4 kali ukuran las, jika kurang maka las untuk perencanaan dianggap  $\frac{1}{4}$  kali Panjang efektif (Setiawan, 2013).



Gambar 2.29 Ukuran Maksimum Las

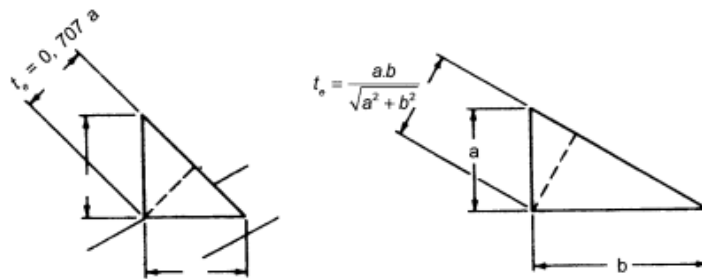
**2.15.2.2 Luas Efektif Las**

Luas efektif las sudut dan las tumpul yaitu hasil perkalian antara tebal efektif ( $t_e$ ) dengan panjang las. Tebal efektif las tergantung dari ukuran dan bentuk las tersebut dan dapat dianggap sebagai lebar minimum bidang keruntuhan.



Gambar 2.30 Tebal Efektif Las Tumpul

Tebal efektif las tumpul penetrasi penuh adalah tebal pelat yang tertipis dari komponen yang disambung, sedangkan tebal efektif las sudut merupakan jarak nominal terkecil dari kemiringan las dengan titik sudut di depannya.



Gambar 2.31 Tebal Efektif Las Sudut

### 2.15.2.3 Tahanan Nominal Sambungan Las

Sesuai dengan peraturan dalam LRFD, persyaratan keamanan suatu struktur terutama untuk las, harus terpenuhinya persamaan (2.122).

$$\phi R_{nw} \geq R_u \quad (2.122)$$

Dimana:

$\phi$  = Faktor tahanan

$R_{nw}$  = Tahanan nominal per satuan Panjang las

$R_u$  = Beban terfaktor per satuan Panjang las

#### 1. Las Tumpul

Kuat las tumpul penetrasi penuh ditetapkan sebagai berikut.

a) Apabila sambungan dibebani dengan gaya tarik atau gaya tekan aksial terhadap luas efektif, maka:

$$\phi R_{nw} = 0,90. t_e. f_y \quad (\text{bahan dasar}) \quad (2.123)$$

$$\phi R_{nw} = 0,90. t_e. f_y \quad (\text{las}) \quad (2.124)$$

b) Apabila sambungan dibebani dengan gaya geser terhadap luas efektif, maka:

$$\phi R_{nw} = 0,90. t_e. (0,6. f_y) \quad (\text{bahan dasar}) \quad (2.125)$$

$$\phi R_{nw} = 0,80. t_e. (0,6. f_{uw}) \quad (\text{las}) \quad (2.126)$$

#### 2. Las Sudut

Kuat rencana per satuan panjang las sudut ditentukan sebagai berikut.

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \quad (\text{bahan dasar}) \quad (2.127)$$

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_u) \quad (\text{las}) \quad (2.128)$$

### 3. Las Baji dan Pasak

Penentuan kuat rencana las baji dan pasak yaitu sebagai berikut.

$$\phi R_{nw} = 0,75 \cdot t_e \cdot (0,6 \cdot f_{uw}) \cdot A_w \quad (2.129)$$

Dimana:

$A_w$  = Luas geser efektif las

$f_{uw}$  = Kuat tarik putus logam las

$f_u$  = Tegangan tarik putus bahan dasar

$t_e$  = Tebal rencana las

## 2.16 Struktur Bawah

Struktur bawah merupakan seluruh bagian bawah dari suatu struktur bangunan/gedung yang berfungsi menahan beban dari struktur atas (Pamungkas & Herianti, 2013).

### 2.16.1 Fondasi

Fondasi merupakan bagian dari struktur bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah dan berfungsi untuk menyalurkan beban yang diterima dari struktur atas ke lapisan tanah (Mandasari & Fauziyah, 2019).

#### 2.16.2 Jenis Fondasi

Secara umum, jenis fondasi dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu sebagai berikut.

##### 1. Fondasi Dangkal

Fondasi dangkal memiliki dasar fondasi pada kedalaman maksimal 2 m dari muka air tanah asli. Jenis fondasi ini terdiri dari beberapa macam, antara lain fondasi telapak, fondasi lajur, fondasi gabungan, serta fondasi *raft/rakit (mat foundation)*.

##### 2. Fondasi Dalam

Jenis fondasi ini memiliki kedalaman tanah keras lebih dari 2 m. Terdapat beberapa jenis pondasai dalam, di antaranya yaitu sistem fondasi tiang pancang dan tiang bor (*bore pile*).

### 2.16.2.1 Dasar Pemilihan Jenis Fondasi

Pemilihan jenis fondasi pada dasarnya tergantung pada letak kedalaman dari tanah keras. Menurut (Pamungkas & Herianti, 2013), beberapa keadaan tanah yang harus diperhatikan dalam memilih jenis fondasi yang akan digunakan yaitu sebagai berikut.

1. Apabila tanah keras terletak pada kedalaman 2-3 m di bawah permukaan tanah, maka bisa menggunakan jenis fondasi dangkal (fondasi lajur atau fondasi telapak).
2. Apabila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 10 m di bawah permukaan tanah, maka jenis fondasi yang digunakan biasanya fondasi tiang *minipile* atau fondasi tiang apung untuk memperbaiki tanah fondasi.
3. Apabila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 20 m di bawah permukaan tanah, maka fondasi yang dipakai biasanya fondasi tiang pancang atau fondasi bor jika tidak diperbolehkan terjadi penurunan.
4. Apabila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 30 m di bawah permukaan tanah, maka jenis fondasi yang digunakan adalah fondasi kaisan terbuka tiang baja atau tiang yang dicor di tempat.
5. Apabila tanah keras terletak pada kedalaman hingga 40 m di bawah permukaan tanah, maka jenis fondasi yang dipakai adalah tiang baja dan tiang beton yang dicor di tempat.

### 2.16.3 Perencanaan Fondasi Tiang Pancang

#### 2.16.3.1 Metode Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang

Berikut disajikan **Error! Reference source not found.** yang merupakan rekapitulasi beberapa metode perhitungan daya dukung fondasi tiang yang dapat digunakan.

Tabel 2.26 Metode Daya Dukung Fondasi Tiang

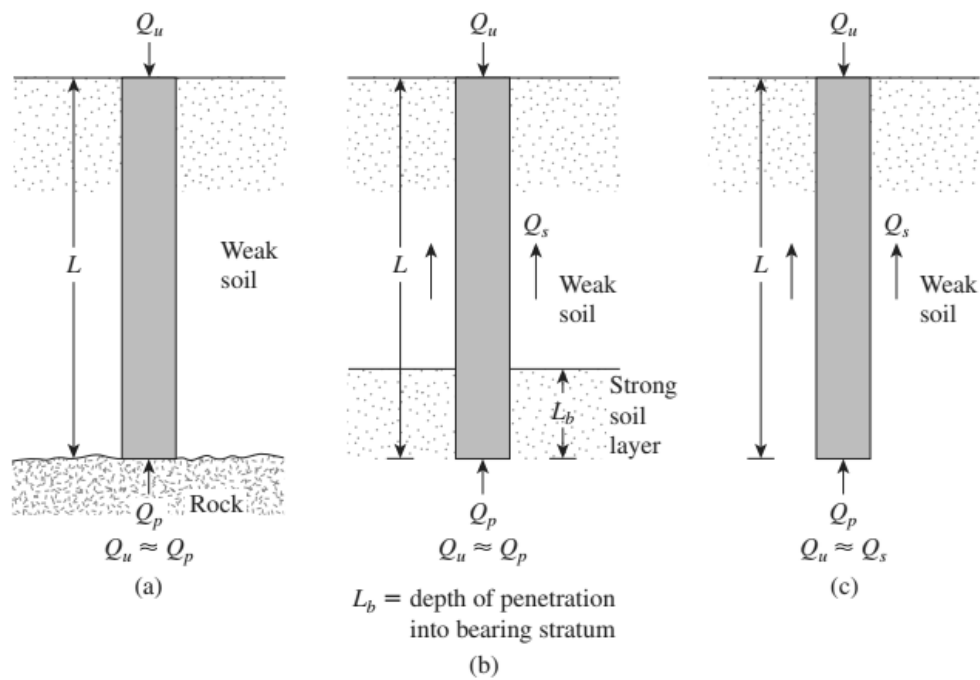
Metode	Daya Dukung							
	Tiang Pancang				Tiang Bor			
	Ujung		Selimut		Ujung		Selimut	
	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>
Mayerhoff (1976)	✓	✓			✓	✓		

Metode		Daya Dukung							
		Tiang Pancang				Tiang Bor			
		Ujung		Selimut		Ujung		Selimut	
		<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>	<i>Clay</i>	<i>Sand</i>
Coyle & Castello (1981)			✓		✓		✓		✓
Reese & Wright (1977)							✓		✓
Metode $\alpha$	API (1986)			✓					
	Tomlinson (1980); (1986)			✓	✓				
	Kulhawy (1991)							✓	
	Reese (1977)							✓	
	Weltman & Healy (1978)			✓				✓	
	Coduto (1994)			✓				✓	
Metode $\beta$				✓	✓			✓	✓
Korelasi SPT			✓						
Korelasi CPT			✓						
Luciano Decourt (1982)		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

### 2.16.3.2 Kapasitas Dukung Fondasi Tiang

Ditinjau dari daya dukungnya terhadap beban, fondasi tiang dapat dibagi menjadi beberapa macam, seperti yang disajikan pada Gambar 2.32, yang diambil dari (Das, 2007).





Gambar 2.32 (a) dan (b) *End Bearing Pile*; (c) *Friction Pile*

*End bearing pile* atau tiang tahanan ujung merupakan kapasitas dukung tiang sepenuhnya, ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di ujung tiang. Sedangkan *friction pile* atau tiang gesek merupakan tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah di sekelilingnya.

### 2.16.3.3 Daya Dukung Ultimit

Perhitungan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) dari fondasi tiang pancang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.130).

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (2.130)$$

Dimana:

$Q_u$  = Daya dukung ultimit tiang tunggal (kN)

$Q_p$  = Tahanan ujung bawah (*end bearing*) (kN)

$Q_s$  = Tahanan gesek selimut (*friction*) (kN)

### 2.16.3.4 Daya Dukung Ultimit Netto

Daya dukung ultimit netto ( $Q_{netto}$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.131).

$$Q_{\text{netto}} = Q_p + Q_s - W_p \quad (2.131)$$

Dimana:

$Q_{\text{netto}}$  = Daya dukung ultimit netto (kN)

$W_p$  = Berat sendiri tiang (kN)

### 2.16.3.5 Daya Dukung Izin

Daya dukung izin ( $Q_{\text{all}}$ ) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.132).

$$Q_{\text{all}} = \frac{Q_u}{FS} \quad (2.132)$$

Dimana:

$Q_{\text{all}}$  = Daya dukung izin (kN)

FS = *Safety factor* atau faktor keamanan

Menurut (Das, 2007), nilai FS yang umumnya digunakan yaitu berkisar antara 2,5 sampai 4. Nilai ini tergantung pada kondisi ketidakpastiannya seputar perhitungan beban ultimit.

### 2.16.3.6 Analisis Tiang Tunggal

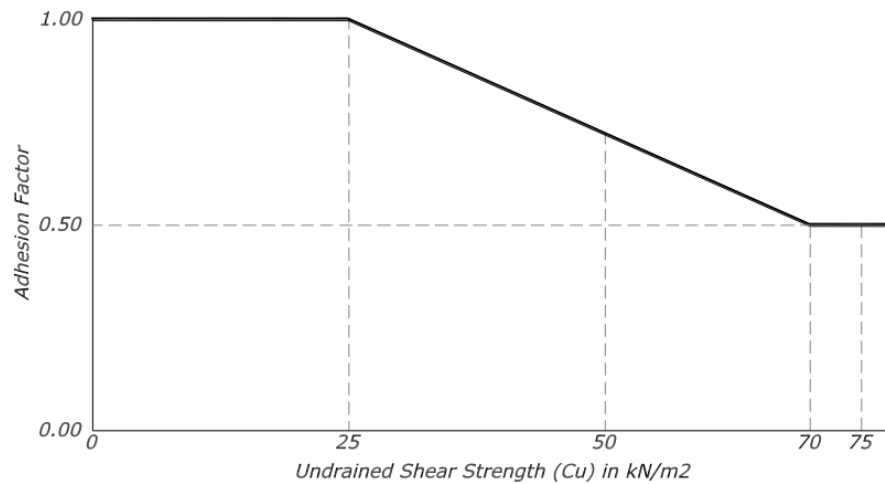
#### 2.16.3.6.1 Daya Dukung pada Tanah Kohesif

Tanah kohesif mempunyai sifat lekatan di antara butir-butirnya seperti tanah lempung. Daya dukung ujungnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.133) dan daya dukung gesek selimutnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.134).

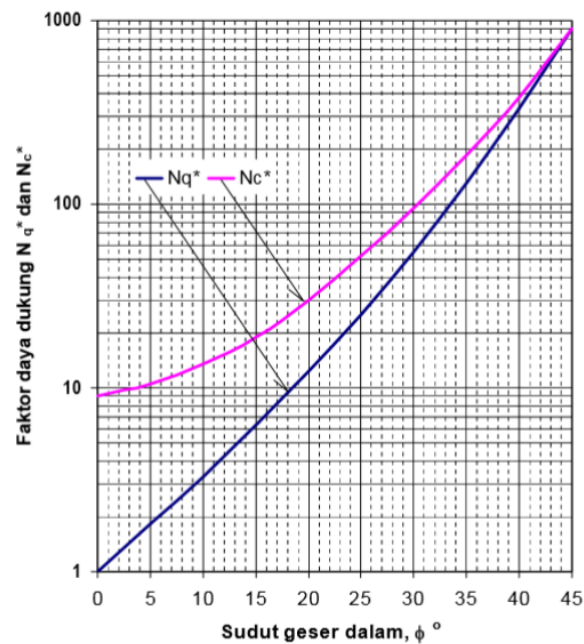
$$Q_p = A_p c(N_c) \quad (2.133)$$

$$Q_s = \sum \pi D \Delta l_i (\alpha C_{u_i}) \quad (2.134)$$

Nilai faktor adhesi ( $\alpha$ ) dapat dicari dengan menggunakan grafik sesuai ketentuan API-2 (1986) yang disajikan pada Gambar 2.33 dan nilai faktor daya dukung ( $N_c$ ) dapat dicari sesuai ketentuan dari grafik metode Mayerhoff yang disajikan pada Gambar 2.34 yang didapat dari (Saputra, 2019).



Gambar 2.33 Grafik Hubungan *Undrained Shear Strength* ( $C_u$ ) Terhadap Faktor Adhesi ( $\alpha$ ) Metode API-2 (1986)



Gambar 2.34 Grafik Hubungan *Soil Friction Angel* dengan  $N_c$  dan  $N_q$  Metode Myerhoff

#### 2.16.3.6.2 Daya Dukung pada Tanah Non Kohesif

Tanah non kohesif hampir tidak mempunyai lekatan di antara butir-butirnya seperti tanah pasir. Daya dukung untuk jenis tanah ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.135) dan daya dukung gesek selimutnya dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.136).

$$Q_p = 40N_b A_p \quad (2.135)$$

$$Q_s = \sum \pi D \Delta l_i (N) \quad (2.136)$$

Dimana:

$N_b$  = Nilai rata-rata N-SPT terkoreksi pada 4D di bawah tiang ( $N_1$ ) dan 8D di bawah tiang ( $N_2$ ). Ditentukan dengan:  $\frac{N_1 + N_2}{2} \leq 40$

$A_p$  = Luas penampang tiang ( $m^2$ )

### 2.16.3.7 Analisis Kelompok Tiang

#### 2.16.3.7.1 Kebutuhan Jumlah Tiang

Pada perencanaan fondasi dibutuhkan jumlah tiang yang akan digunakan. Penentuan ini dapat menggunakan persamaan

$$n_p = \frac{P}{Q_{all}} \quad (2.137)$$

Dimana:

$n_p$  = Jumlah tiang

$P$  = Gaya aksial dari struktur atas (kN)

$Q_{all}$  = Daya dukung izin tiang tunggal

#### 2.16.3.7.2 Jarak Tiang

Jarak tiang minimum yang umumnya digunakan yaitu berkisar  $2,5D < s < 4D$ . Jarak tiang ke tepi *pile cap* diambil berkisar  $1,5D < s < 2D$ .

#### 2.16.3.7.3 Efisiensi Kelompok Tiang

Efisiensi kelompok tiang dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa teori pendekatan, salah satunya yaitu dengan metode *Converse Labarre Formula*. Efisiensi dengan metode ini ditentukan dengan persamaan (2.138).

$$E_g = 1 - \left[ \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \theta \quad (2.138)$$

Dimana:

$E_g$  = Efisiensi kelompok tiang

$m$  = Jumlah tiang

$n$  = Jumlah tiang dalam satu baris

$\theta$  =  $\tan^{-1} (d/s)$  ( $^\circ$ )

- d = Diameter tiang (m)  
s = Jarak antar tiang (s)

### 1. Daya Dukung Kelompok Tiang

Dengan memperhatikan faktor efisiensi tiang, perhitungan kapasitas daya dukung kelompok tiang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$Q_g = E_g n Q_{all} \quad (2.139)$$

Dimana:

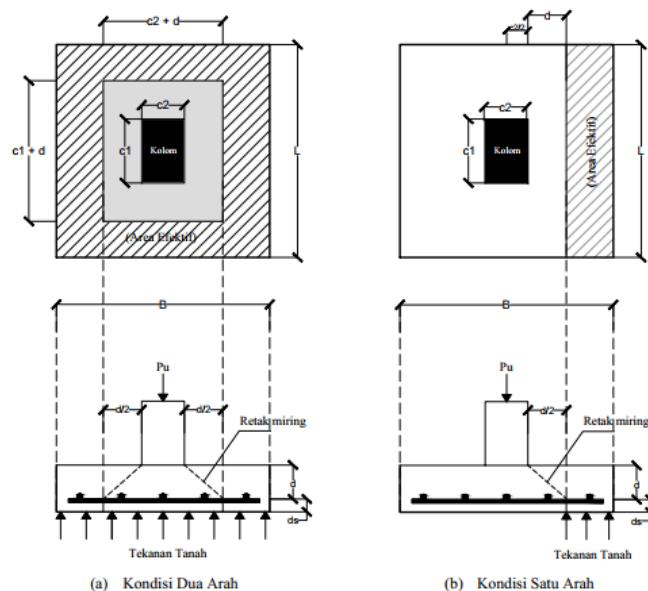
- $Q_g$  = Daya dukung kelompok tiang (kN)  
n = Jumlah tiang

## 2.16.4 Perencanaan *Pile Cap*

*Pile cap* merupakan elemen struktur yang berfungsi untuk mengikat tiang-tiang menjadi satu kesatuan dan memindahkan beban kolom kepada tiang. *Pile cap* biasanya terbuat dari beton bertulang.

### 2.16.4.1 Analisis *Punching Shear*

Apabila terjadi *punching shear* atau kegagalan tarik diagonal, maka akan mengakibatkan retakan miring pada sekitar keliling dari luasan yang dikenai beban terpusat. Jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.35.



Gambar 2.35 Penampang Kritis Analisis Geser pada *Pile Cap*

Tulangan akan dipasang pada kedua arah, perlu diperhatikan juga tinggi efektif pelat *pile cap* pada arah x maupun y.

$$d_x = h - t_s \left( \frac{D}{2} \right) \quad (2.140)$$

$$d_y = h - t_s D \left( \frac{D}{2} \right) \quad (2.141)$$

$$d = \frac{d_x + d_y}{2} \quad (2.142)$$

Geser ultimit ( $V_u$ ) pada kondisi dua arah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.145).

$$A_{eff}(2 \text{ arah}) = A_{pelat} \cdot A_{kritis} \quad (2.143)$$

$$A_{eff}(1 \text{ arah}) = B \cdot L_{kritis} \quad (2.144)$$

$$V_u = \frac{P_u}{A_{pelat}} A_{eff} \quad (2.145)$$

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 22.6.5.2, besaran nilai kuat geser pada perilaku dua arah ketika tulangan geser diabaikan dalam perhitungan, diambil nilai terkecil dari persamaan (2.146) sampai (2.148).

$$V_c = 0,33\lambda\sqrt{f'_c}b_0d \quad (2.146)$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \lambda\sqrt{f'_c}b_0d \quad (2.147)$$

$$V_c = 0,083 \left( 2 + \frac{\alpha_s d}{b_0} \right) \lambda\sqrt{f'_c}b_0d \quad (2.148)$$

Dimana:

$b_0$  = Keliling dari penampang kritis = 4 (b+d)

$\beta$  = Rasio sisi terpanjang dan sisi terpendek dari kolom

$\alpha_s$  = 40 untuk kolom interior, 30 kolom tepi, dan 20 kolom sudut

$d$  = Rata-rata tinggi efektif pelat dari dua arah

$\lambda$  = Faktor modifikasi untuk beton normal = 1

Berdasarkan SNI 2847-2019; Pasal 22.5.5.1, untuk perilaku satu arah ketika tulangan geser diabaikan, maka diambil sesuai persamaan (2.149).

$$V_c = 0,17\lambda\sqrt{f'_c}bd \quad (2.149)$$

Dimana:

- b = Lebar *pile cap*  
 d = Rata-rata tinggi efektif pelat dua arah

#### 2.16.4.2 Beban Aksial pada Masing-Masing Tiang

Kondisi fondasi tiang yang melibatkan gaya aksial dan momen perlu ditentukan secara spesifik besaran nilai aksial yang dipikul oleh masing-masing tiang dalam satu *pile cap*. Berdasarkan (Z et al., 2019), perhitungannya sesuai dengan persamaan (2.150).

$$Q_i = \frac{V}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\Sigma x^2} \pm \frac{M_x y_i}{\Sigma y^2} \quad (2.150)$$

Dimana:

- $Q_i$  = Beban aksial tiang ke-I (kN)  
 $V$  = Jumlah gaya vertikal (kN)  
 $n$  = Jumlah tiang dalam kelompok  
 $M_y$  = Momen terhadap sumbu y (kNm)  
 $M_x$  = Momen terhadap sumbu x (kNm)  
 $x_i$  = Jarak searah sumbu x dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor-i  
 $y_i$  = Jarak searah sumbu y dari pusat berat kelompok tiang ke tiang nomor-i  
 $\Sigma x^2$  = Jumlah kuadrat dari jarak tiap tiang ke pusat kelompok tiang sumbu x  
 $\Sigma y^2$  = Jumlah kuadrat dari jarak tiap tiang ke pusat kelompok tiang sumbu y

#### 2.16.4.3 Desain Tulangan Lentur *Pile Cap*

Desain tulangan lentur *pile cap* menggunakan gaya aksial ultimit, lalu dihitung momen ultimit untuk masing-masing arah x dan y.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (2.151)$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} \quad (2.152)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85f'_c} \quad (2.153)$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2mR_n}{f_y}} \right) \quad (2.154)$$

$$\rho_{\min} = \frac{0,0018 \cdot 420}{f_y} \quad (2.155)$$

$$\rho_{\min} = 0,0014 \quad (2.156)$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho b d \quad (2.157)$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \left( \frac{1000}{s} \right) \left( \frac{1}{4} \pi D^2 \right) \quad (2.158)$$