

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab berikut ini menjelaskan tinjauan literatur tentang perencanaan barang, pengertian barang dan penelitian sebelumnya mengenai barang. Pada tulisan berikut terdapat penelitian terdahulu sebagai acuan penulis dalam merencanakan barang pada tugas akhir ini.

#### **2.1 Perencanaan**

Menurut David (2011), perencanaan adalah proses di mana seseorang akan menyelesaikan suatu tugas dengan cara yang berbeda dengan cara yang paling efektif untuk mencapai tujuan yang diinginkan dan bersiap untuk mengatasi kesulitan yang tidak terduga dengan sumber daya.

Menurut Kauffman (2021), perencanaan adalah proses menentukan tujuan dan sasaran yang ingin dicapai dan menentukan jalur dan sumber daya yang diperlukan untuk mencapai tujuan secara efisien dan efektif.

Perencanaan adalah suatu proses yang memungkinkan untuk menentukan masa depan yang tepat, melalui serangkaian pilihan, dengan mempertimbangkan sumber daya yang tersedia (UU RI Nomor 25 Tahun 2004 Tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional, Pasal 1 ayat 1).

Berdasarkan berbagai pendapat di atas, perencanaan dapat didefinisikan sebagai proses yang sistematis untuk menentukan tujuan atau sasaran yang ingin dicapai, memilih cara terbaik untuk mencapainya, dan mengalokasikan sumber daya secara efektif dan efisien. Perencanaan juga mencakup kesiapan menghadapi kesulitan yang tidak terduga dan memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan pilihan yang mempertimbangkan sumber daya yang tersedia dan kondisi masa depan.

#### **2.2 Lift barang**

Elevator atau lift adalah bilik atau ruang yang digunakan untuk mengangkut orang atau barang dari satu lantai ke lantai lainnya secara vertikal dengan

menggunakan seperangkat alat mekanik (Adriansyah dan Hidyatama, 2013). biasanya digunakan di gedung-gedung bertingkat tinggi, gedung yang tidak bertingkat tinggi biasanya menggunakan tangga sebagai alat transportasi vertikalnya. Layanan transportasi vertikal ini sangat penting dalam menjaga kelancaran aktivitas dalam suatu gedung.

*Lift* barang adalah alat transportasi vertikal yang dikhususkan untuk memindahkan barang atau beban berat antar lantai suatu bangunan. Berbeda dengan penumpang, barang umumnya memiliki spesifikasi yang lebih ketat dalam hal kapasitas beban ketahanan struktural. ini biasanya digunakan di pabrik , atau bangunan komersial untuk mendukung operasional logistik.

Sistem sambungan pada konstruksi barang biasanya menggunakan las agar komponen menyatu dengan kokoh. Sambungan menggunakan las juga digunakan agar saat digunakan tidak goyang atau bergetar. Untuk sambungan menggunakan baut mur digunakan pada sambungan :

1. Balok *hoist* dengan tiang kolom
2. Unit roda dengan rangka kargo
3. *Bracing* kolom ( Jika ada)

### 2.3 Jenis-jenis *lift* barang

Pada artikel arsitek dan konstruksi baja menjelaskan bahwa ada 4 jenis *lift* barang berdasarkan jenis bangunannya yaitu :

1. *Lift* barang di tempat tinggal

Penggunaan *lift* sebenarnya tidak diperuntukkan untuk rumah tinggal namun barang ini dibutuhkan untuk mengangkut *furniture* yang banyak dan berat. Dalam menentukan kapasitas barang pada rumah tinggal, harus mengetahui elemen yang dipindahkan yang paling berat dan ditentukan daya angkut nya. Penentuan tata letak harus direncanakan saat perancangan bangunan rumah.

2. *Lift* barang di gudang

Gudang pada bangunan pabrik dan sebagainya yang memerlukan perpindahan barang biasanya menggunakan sebagai alat transportasi barang. Barang yang diangkut digudang biasanya berupa paket dll.

3. *Lift* barang di toko

Latar belakang pemasangan *lift* pada bangunan toko disebabkan oleh ruangan yang terbatas dalam proses angkut barang jika toko tersebut lebih dari 2 lantai. Dimana lantai dasar biasanya digunakan untuk aktivitas jual-beli dan lantai atas digunakan untuk *stock* barang.

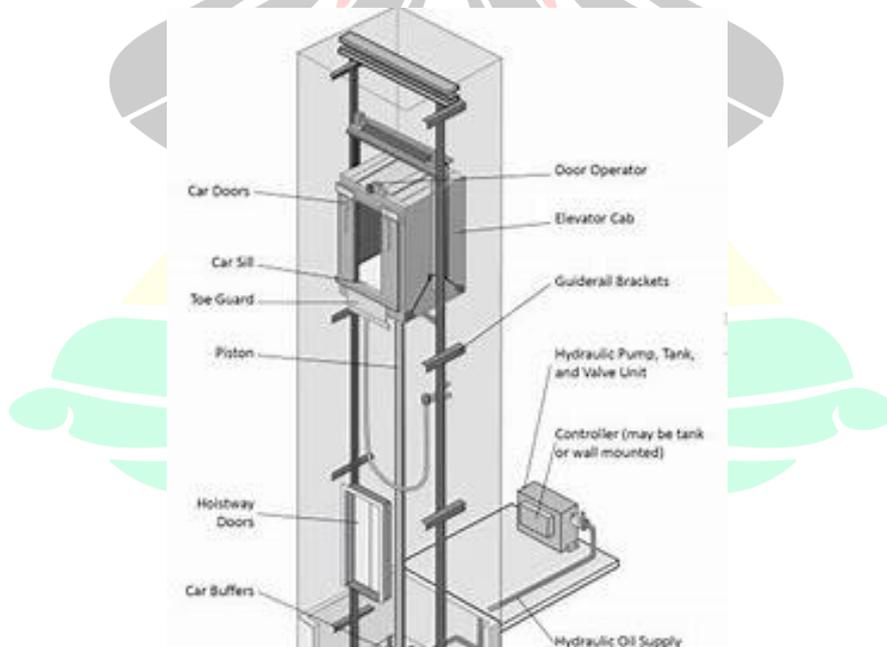
4. *Lift* barang di proyek

*Lift* barang dilapangan/proyek jauh berbeda dengan - barang sebelumnya. Dari segi kegunaan barang pada proyek digunakan untuk mengangkut material dan bahan bangunan, bahkan pekerja proyek. Posisi *lift* barang di proyek dibuat ditempat terbuka untuk mempermudah memasukkan material pada .

Jenis-jenis *lift* barang berdasarkan penggerak digolongkan menjadi 2 yaitu:

1. *Lift* dengan sistem penggerak hidrolis (*hydraulic elevator*)

*Lift* dengan sistem penggerak hidrolis, dimana bergerak menggunakan piston yang dihubungkan kekereta. Kereta akan bergerak naik ketika oli dipompa kedalam silinder dari tangki oli sehingga mendorong piston naik, sebaliknya ketika oli kembali ketangki maka kereta akan bergerak turun.



**Gambar 2. 1** Lift dengan sistem penggerak hidrolis

(Sumber : <http://id.aoyama-elevator.jp/>)

Keuntungan menggunakan sistem penggerak dengan hidrolik :

- a. Kamar mesin lift tidak ditempatkan dilantai atas (tidak diatas hoisway lift) dan dapat ditempatkan sesuai dengan keinginan asal jaraknya tidak boleh melebihi dari piston lift
- b. Tidak memerlukan *overhead* yang tinggi sehingga cocok untuk bangunan yang dekat dengan *airport*, bangunan dengan atap genteng tanpa tonjolan keatas serta lift-lift bertonase besar (lebih dari 5000kg).
- c. Tidak diperlukan tumpuan yang cukup kuat diatas hoistway lift.

Kekurangan menggunakan sistem penggerak dengan hidrolik

- a. Biaya awal yang tinggi

Salah satu kekurangan sistem hidrolik adalah biaya awal yang tinggi. Komponen-komponen hidrolik seperti pompa, katup, dan silinder/piston cenderung mahal, terutama jika kualitas tinggi diperlukan untuk mendukung operasi jangka panjang. Selain itu, biaya instalasi dan penyetelan sistem juga membutuhkan investasi yang cukup besar.

- b. Perawatan yang intensif

Kekurangan lainnya dari sistem hidrolik adalah memerlukan perawatan yang cukup intensif dibandingkan sistem lain. Selain itu, penggantian oli atau fluida secara rutin juga diperlukan untuk menjaga performa optimal.

- c. Adanya risiko pencemaran lingkungan

Sistem hidrolik menggunakan fluida dalam pengoperasiannya. Jika terjadi kebocoran, maka fluida yang digunakan dapat mencemari lingkungan. Namun, hal ini dapat dicegah dengan melakukan perawatan secara rutin. Selain itu, pencemaran lingkungan juga dapat dihindari dengan manajemen pengolahan limbah yang baik.

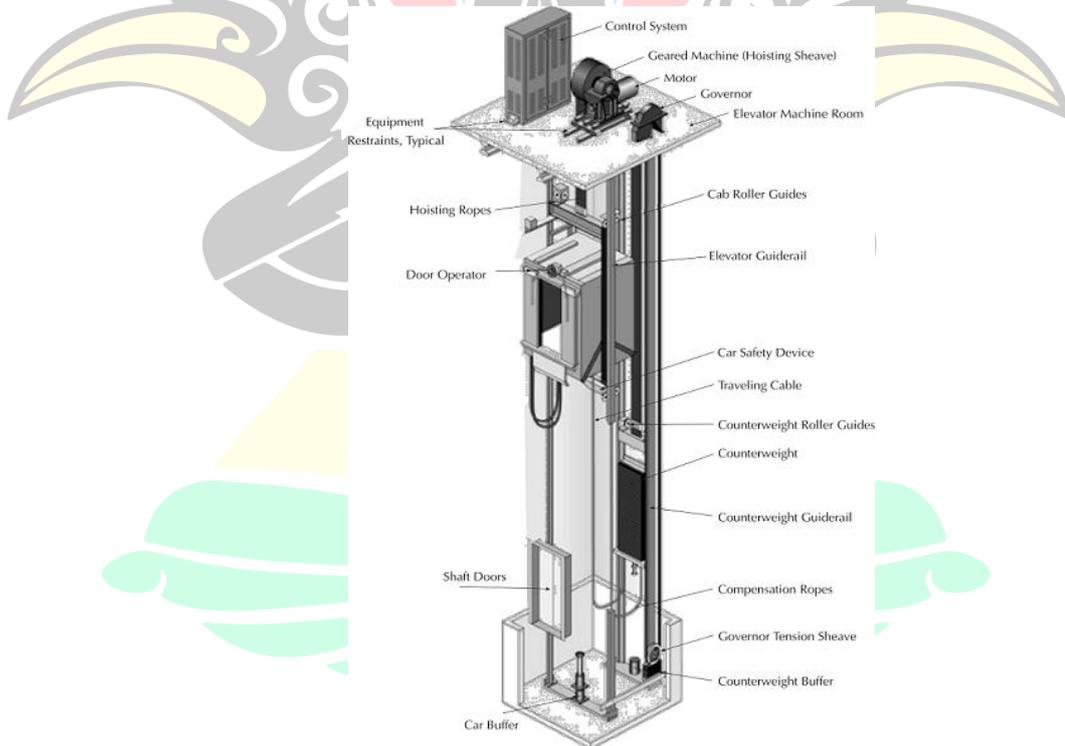
- d. Temperatur dapat berubah-ubah

Perubahan suhu pada sistem hidrolik dapat mengakibatkan perubahan pada tingkat viskositas dan performa fluida hidrolik. Hal ini berpotensi berdampak pada efisiensi dan keandalan sistem. Namun, kekurangan ini sebenarnya bisa diatasi dengan menggunakan oil cooler yang dapat menjaga suhu fluida pada sistem hidrolik.

e. Kebisingan cukup tinggi

Kekurangan lainnya dari sistem ini adalah tingkat kebisingannya yang cukup tinggi, terutama ketika beroperasi pada tekanan tinggi. Suara mesin ini dapat menjadi gangguan bagi operator. Namun, saat ini terdapat banyak komponen hidrolik yang dirancang agar memiliki tingkat kebisingan yang rendah. Selain itu, suara kebisingan sistem ini dapat juga diatasi dengan menerapkan langkah-langkah mengurangi kebisingan.

2. *Lift* dengan sistem penggerak dengan motor listrik (*traction type elevator*)  
Penggerak elektrik adalah motor listrik yang digunakan sebagai penggeraknya dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dimana konstruksinya terdiri dari motor, slip ring, laher stator dan pengganti motor. Pada sistem penggerak motor listrik ini membutuhkan beban penyeimbang (*counter weight*) yang dihubungkan pada kereta menggunakan tali baja.



**Gambar 2. 2** Lift dengan sistem penggerak motor listrik

(Sumber : <http://id.aoyama-elevator.jp/>)

Keuntungan menggunakan sistem penggerak dengan motor listrik (*traction type elevator*) :

a. Efisiensi energi

Efisiensi energi merupakan pertimbangan utama bagi pemilik bangunan, karena membantu mengurangi biaya operasional dari waktu ke waktu. Di gedung bertingkat tinggi, tempat penggunaan lift sering terjadi, penghematan biaya energi bisa sangat besar. Selain itu, peralihan ke sistem tanpa ruang mesin (MRL), yang mengintegrasikan mesin traksi di dalam poros, mengurangi kebutuhan akan ruang tambahan dan semakin meningkatkan penghematan energi.

b. Perjalanan halus dan nyaman

Mesin traksi lift, khususnya sistem tanpa roda gigi, menawarkan pengendalian yang lebih mulus dan nyaman dibandingkan dengan sistem hidrolik atau traksi yang lebih lama. Pengoperasian yang lebih senyap, meningkatkan pengalaman penumpang secara keseluruhan. Hal ini khususnya penting di gedung-gedung tinggi, tempat lift dapat melaju dengan kecepatan tinggi dalam jarak yang jauh. Dengan menghilangkan kebutuhan akan komponen mekanis yang menghasilkan kebisingan atau getaran yang berlebihan, sistem tanpa roda gigi memastikan pengendalian yang senyap dan menyenangkan. Hal ini khususnya menguntungkan di gedung-gedung hunian atau ruang kantor tempat pengurangan kebisingan menjadi prioritas.

c. Mengurangi biaya perawatan

Mesin traksi elevator, khususnya sistem tanpa roda gigi, memerlukan lebih sedikit perawatan karena lebih sedikit komponen yang bergerak. Sistem roda gigi, meskipun efektif, sering kali memerlukan perawatan yang lebih sering karena keausan pada roda gigi. Sebaliknya, sistem tanpa roda gigi memiliki lebih sedikit komponen yang mengalami gesekan, sehingga mengurangi keausan dan memperpanjang interval antara jadwal servis. Hal ini berarti penghematan biaya bagi pemilik gedung, karena lebih sedikit perbaikan dan penggantian yang diperlukan. Lebih jauh lagi, penggunaan sistem tanpa ruang mesin juga mengurangi jumlah

perawatan yang diperlukan, karena sistem ini menghilangkan kebutuhan akan ruang mesin terpisah dan komponen mekanis terkait, sehingga menyederhanakan sistem secara keseluruhan.

d. Performa kecepatan yang tinggi

Sistem lift traksi, terutama yang tanpa roda gigi, mesin traksi lift menawarkan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lift hidrolik. Hal ini membuatnya ideal untuk gedung-gedung tinggi, di mana transportasi vertikal yang cepat sangat penting. Pada bangunan bertingkat tinggi, kemampuan untuk bergerak cepat antar lantai tanpa mengorbankan keselamatan atau kenyamanan merupakan faktor penting. Mesin traksi tanpa roda gigi mampu mencapai kecepatan tinggi dan memberikan pengoperasian yang lancar, bahkan saat lift menempuh jarak yang jauh.

e. Efisiensi ruang

Dalam sistem tanpa ruang mesin (MRL), mesin traksi elevator diintegrasikan langsung ke poros, sehingga menghilangkan kebutuhan akan ruang mesin khusus. Desain ini khususnya bermanfaat di gedung-gedung dengan ruang terbatas atau dalam proyek-proyek yang memprioritaskan memaksimalkan ruang lantai yang dapat digunakan. Dengan menghilangkan kebutuhan akan ruang mesin, sistem MRL memberikan fleksibilitas lebih dalam desain gedung dan dapat menjadi solusi yang lebih hemat biaya.

Kekurangan menggunakan sistem penggerak dengan motor listrik (*traction type elevator*) :

a. Biaya instalasi

Biasanya lebih mahal dibandingkan dengan lift hidrolik, terutama untuk bangunan rendah hingga menengah.

b. Kompleksitas sistem

Memerlukan ruang mesin di bagian atas bangunan (*overhead*) dan perawatan yang lebih kompleks.

c. Pemeliharaan

Memerlukan pemeliharaan rutin untuk memastikan kabel dan mesin traksi berfungsi dengan baik.

Perbedaan *lift* dengan sistem penggerak hidrolis dan motor listrik yaitu sebagai berikut :

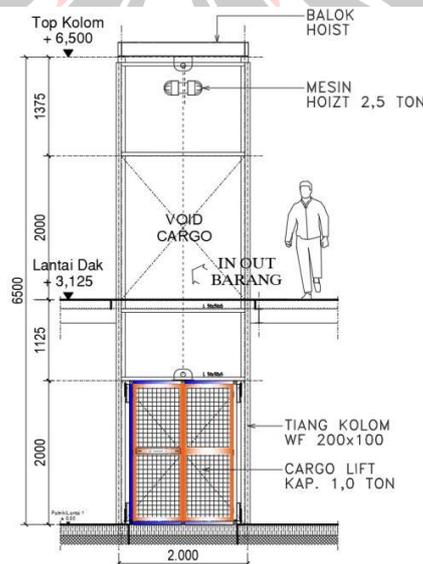
**Tabel 2. 1** Perbedaan lift dengan sistem penggerak *Hydrolic* dan *Traction Machine*

No	Perbandingan	<i>Traction Machine</i>	<i>Hydrolic</i>
1	Pelayanan	Tidak terbatas	Terbatas 20 meter
2	Pemakaian	Lebih dari 80 start / stop perjam	Terbatas 80 start/stop perjam
3	Kecepatan	Tidak terbatas (460m/menit)	Terbatas (maks 90 m/menit)

(Sumber : Prasetyo, 2022)

## 2.4 Komponen Lift Barang

Pada umumnya komponen yang diperlukan dalam pembuatan barang tidak berbeda- beda, namun yang menjadi perbedaan dalam pembuatan *lift* barang adalah desain, ukuran dan cara pemasangannya. Dimana *lift* barang harus disesuaikan menurut jenis dan letaknya. Adapun elemen dari barang adalah sebagai berikut :



**Gambar 2. 3** Komponen *lift* barang

Sumber : arsitekta.com

### 1. Konstruksi tiang ( kolom)

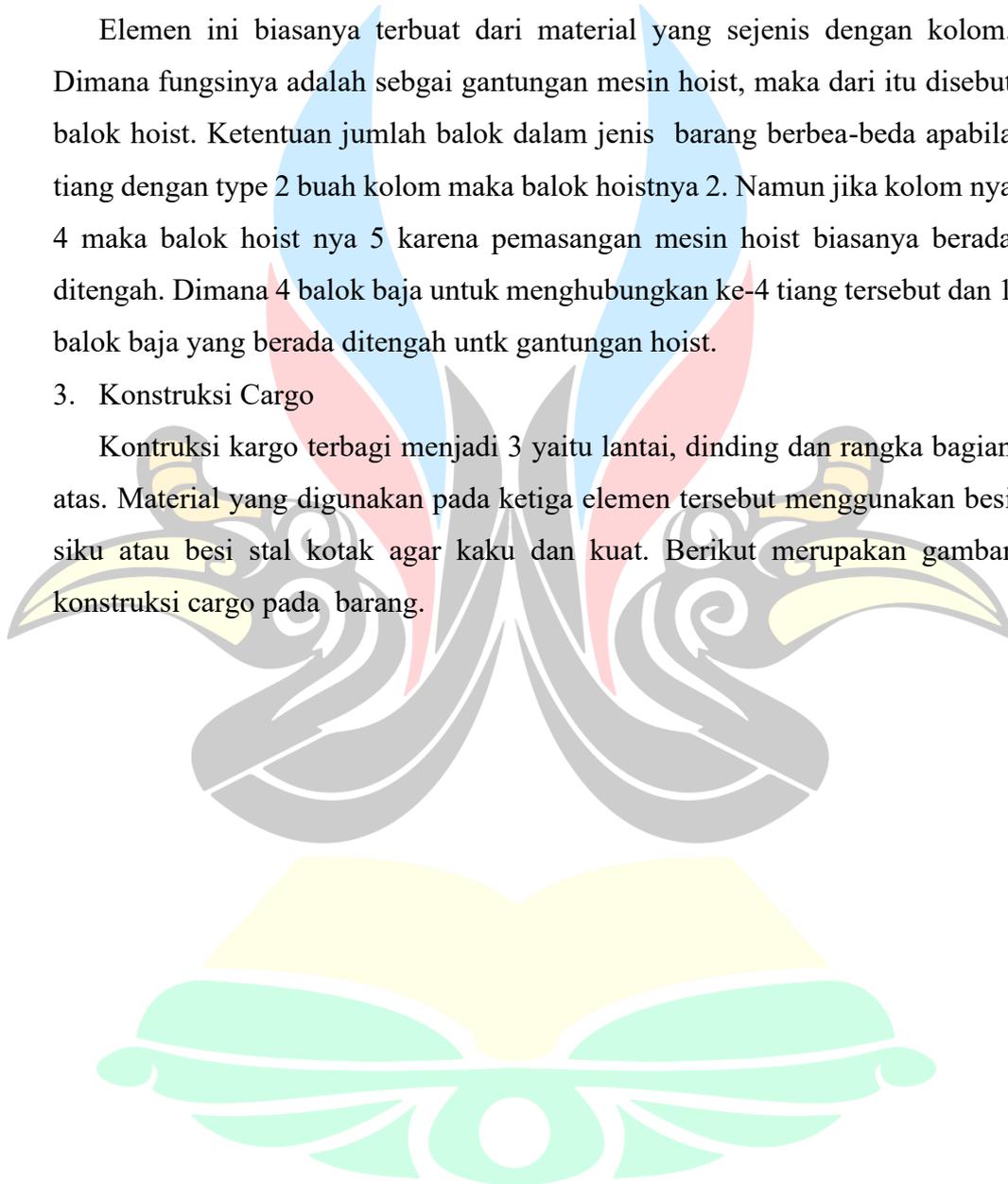
Tiang yang digunakan pada barang biasanya menggunakan baja H-Beam dan WF. Jumlah tiang yang digunakan sebanyak 2 atau 4 buah dan tiang akan digunakan segai rel serta pemasangan roda.

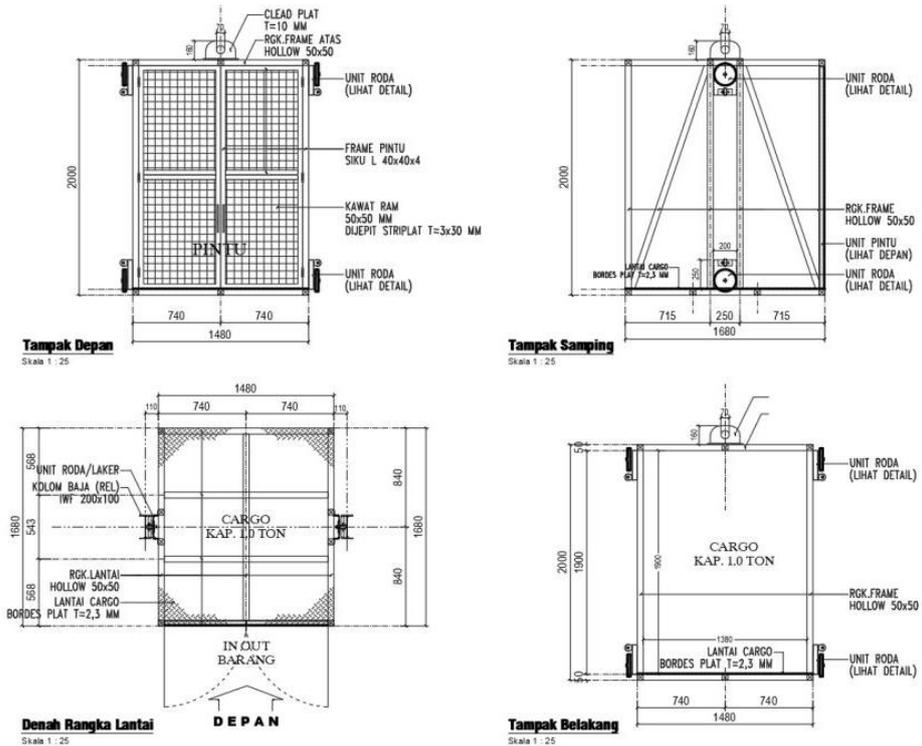
### 2. Balok *hoist*

Elemen ini biasanya terbuat dari material yang sejenis dengan kolom. Dimana fungsinya adalah sebagai gantungan mesin hoist, maka dari itu disebut balok hoist. Ketentuan jumlah balok dalam jenis barang berbea-beda apabila tiang dengan type 2 buah kolom maka balok hoistnya 2. Namun jika kolom nya 4 maka balok hoist nya 5 karena pemasangan mesin hoist biasanya berada ditengah. Dimana 4 balok baja untuk menghubungkan ke-4 tiang tersebut dan 1 balok baja yang berada ditengah untk gantungan hoist.

### 3. Konstruksi Cargo

Kontruksi kargo terbagi menjadi 3 yaitu lantai, dinding dan rangka bagian atas. Material yang digunakan pada ketiga elemen tersebut menggunakan besi siku atau besi stal kotak agar kaku dan kuat. Berikut merupakan gambar konstruksi cargo pada barang.





**Gambar 2. 4** Konstruksi cargo lift barang

(Sumber : arsitekta.com)

#### 4. Komponen Roda

Roda adalah alat yang memudahkan kargo bergerak naik turun dalam keadaan kosong maupun berisi. Jumlah roda yang dipakai adalah sebanyak 4 buah dan masing-masing roda dilengkapi 1 buah bearing. Jika type barang menggunakan 4 kolom maka roda terpasang masing-masing adalah 2 roda. Sehingga roda yang dibutuhkan adalah 8 roda. Dalam hal ini jika roda terlalu banyak, bearing tidak perlu dipasang karena fungsi bearing telah digantikan oleh 4 uni roda tambahan.

#### 5. Mesin Hoist

Mesin hoist adalah komponen yang dilengkapi dengan dinamo dan roda gear pemutar tali. Kargo bisa terangkat dan turun pada jalur roda secara perlahan karena digerakkan oleh tenaga listrik. Penentuan kapasitas mesin hoist tidak boleh sama dengan beban yang diangkat karena ada tambahan berat rangka kargo.

## 6. Railing dan pintu pengaman

Komponen railing tidak terpasang pada konstruksi itu sendiri, namun pada lantai di atasnya. Fungsinya adalah sebagai pengaman agar orang atau benda lain jauh dari area. Fungsi lain dari railing ini adalah sebagai akses masuk kargo saat aktivitas bongkar muat. Material railing umumnya terbuat dari besi pipa atau besi hollow dan bisa juga menggunakan material kombinasi besi beton polos dan besi hollow.

## 7. Mesin traksi

Beban penyeimbang adalah alat yang berfungsi untuk menyeimbangkan beban yang berada disangkar kemudian diteruskan ke mesin traksi untuk meringankan kinerja mesin traksi.

Besar faktor keseimbangan dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2. 2** Besaran faktor bobot imbang

Kapasitas elevator	Faktor keseimbangan
> 1200 kg	40% s/d 42,5%
600 kg s/d 1150 kg	45%
1300 kg s/d 1580 kg	50% s/d 55%

(Sumber : Prasetyo, 2022)

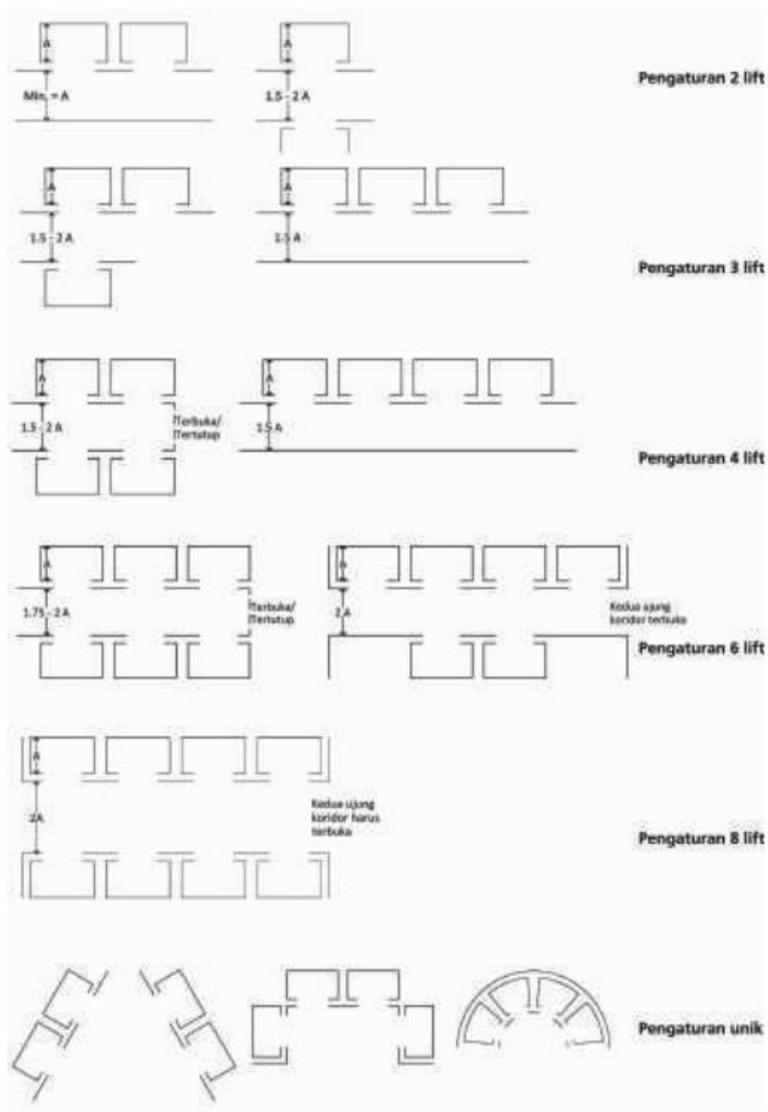
## 8. Tali baja/sling (*wire rope*)

Tali baja digunakan sebagai alat untuk menggantung kereta/sangkar dan beban penyeimbang. Maka dari itu tali baja yang digunakan harus kuat menahan beban kereta dan beban penyeimbang.

## 2.5 Letak *lift* pada bangunan

### 1. Susunan/Konfigurasi *lift*

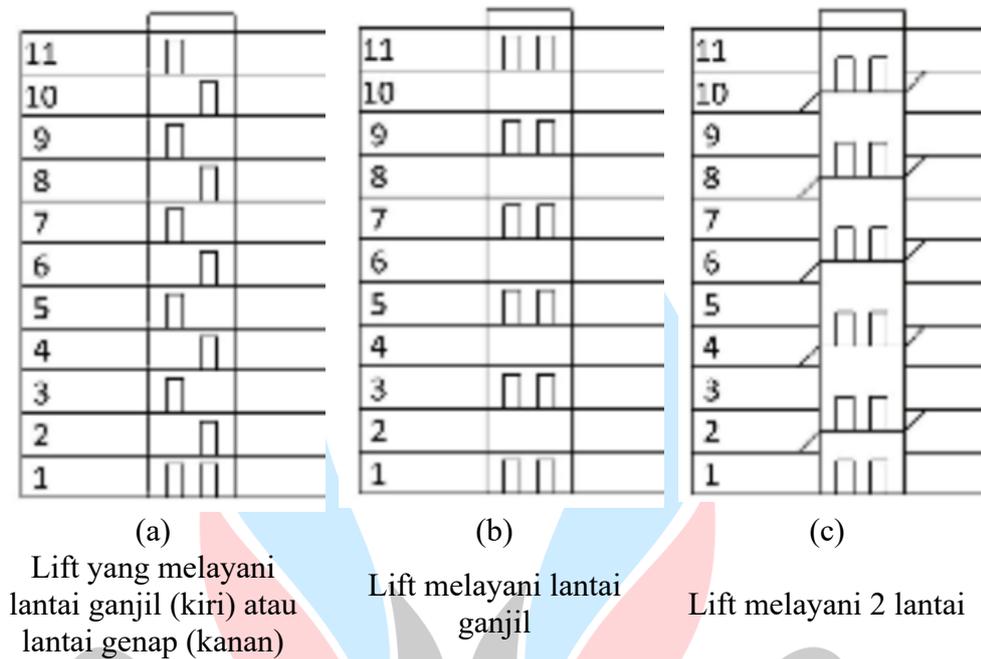
Lahji dkk (2010) mengatakan lift merupakan penghubung antara lantai bawah dan lantai atas, oleh karena itu letak lift harus mudah dapat diakses dari ruangan sekitar, terlihat jelas dan tidak menghalangi pandangan. Lift dapat diletakkan berdampingan atau saling berhadapan dan terdapat maksimal empat pada setiap barisnya, maka jika terdapat lebih dari empat elevator akan ditempatkan saling berhadapan. Dalam hal elevator saling berhadapan, lobi elevator tidak boleh digunakan sebagai ruangan/jalur.



**Gambar 2. 5** Susunan/Konfigurasi *lift*

(Sumber : Lahji dkk, 2010)

## 2. Pengaturan Operasional



**Gambar 2. 6** Pengaturan Operasional

(Sumber : Lahji dkk, 2010)

## 2.6 Perencanaan lift

### 2.6.1 Kapasitas

Kapasitas merupakan faktor yang paling penting dalam perencanaan , karena yang direncanakan akan bergantung pada kapasitas rencananya. Berdasarkan SNI 03-6573-2001 Tata cara perancangan sistem transportasi vertikal dalam gedung, kapasitas dinyatakan dalam kilogram (kg) atau jumlah orang yang dapat diangkat oleh lift tersebut. Kapasitas dapat ditentukan berdasarkan fungsi bangunannya, namun kapasitas ini biasanya dipakai untuk penumpang/orang. Dalam perencanaan barang, kapasitas ditentukan berdasarkan beban maksimum (kg) yang diangkat oleh barang. Kapasitas rencana didapatkan berdasarkan bobot terbesar yang diangkat pada gedung tersebut, dengan mengambil sampel bobot barang terbesar adalah kontainer box. Kontainer box dengan bobot persatuan adalah 19,5 kg (box container jumbo ukuran 195 liter). Jumlah kontainer box yang rencana diangkat adalah 6 kontainer dengan masing-masing bobot kontainer adalah 19,5 kg.



Produk  
**Box Container Jumbo Ukuran 195 Liter  
Shinpo CB 195 Sip 126 Extra**

**Rp 340.000** ~~Rp 350.000~~

★★★★☆<sup>10</sup> Review

Stok : 1000

EXTRA Container Box CB 195 SIP 126 Shinpo Kotak Penyimpanan  
Jumbo  
SKU SIP 126 CB 195  
Quantity 3 set/carton  
Mea's 0.4163 m<sup>3</sup>  
Size 905 x 645 x 475 mm  
Package 915 x 650 x 700 mm  
Weight 19.5 kg  
Volume 195 lt  
Color biru, hijau, orange

**Gambar 2. 7** Box container

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas barang adalah :

$$Q = \text{Beban maksimum} \times \text{Jumlah item ( dalam sekali angkut)} \quad (2.1)$$

Ket :

$$Q = \text{Kapasitas (kg)}$$

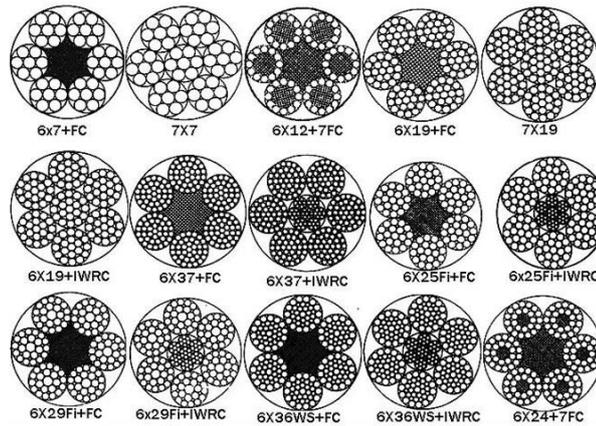
Namun apabila kapasitas yang didapat menggunakan persamaan tidak mencapai kapasitas minimum yang ada pada standar yang dipakai, maka kapasitas yang dipakai adalah kapasitas yang nilainya paling mendekati dengan nilai kapasitas pada standart yang dipakai.

### 2.6.2 Sangkar/Kereta

Sangkar digunakan untuk mengangkat beban ke lantai atau tempat yang diinginkan, dimensi sangkar direncanakan berdasarkan dimensi barang terbesar yang akan diangkut dan berdasarkan luasan lantai kondisi eksisting. Dimensi sangkar rencana ditentukan berdasarkan kapasitas rencana.

### 2.6.3 Tali

Tali pada digunakan untuk menarik sangkar, dimana kedua ujung tali akan disambungkan pada bobot pengimbang dan sangkar. Pada ASME A17.1-2016, tali pengikat yang dirancang harus menggunakan tali yang materialnya berasal dari baja atau logam lainnya. Tali kawat baja dibuat dari kumpulan atau gabungan sejumlah kawat halus (wayar) sampai menjadi satu kesatuan (*strand*) dan kemudian *strand* tersebut digabungkan lagi menjadi satu inti (*core*). Hasil dari rangkaian tali baja tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2. 8** Macam-macam tali baja

(Sumber : Rudenko, 1996)

Dalam merencanakan tali kawat baja pengangkat ( $G_{tot}$ ) harus memperhitungkan beban total yang akan diangkat :

$$G_{tot} = G_k + Q + G_{kt} \quad (2.2)$$

Beban yang dipikul oleh setiap tali kawat baja :

$$S = \frac{G_{tot}}{n \cdot \eta \cdot \eta_1} \quad (2.3)$$

Dimana :

$G_{tot}$  = Beban total yang ditahan tali kawat baja

$n$  = Jumlah kawat baja yang dipakai

$\eta$  = Efisiensi pulley

$\eta_1$  = Koefisien kawat baja saat melewati pulley

Luas penampang efektif tiap kawat baja ( $A$ ) :

$$A = \frac{S}{\frac{\sigma_{max}}{K} \cdot \frac{1}{D_{min}} \times \frac{E'}{1,5\sqrt{i}}} \quad (2.4)$$

Dimana :

$S$  = Beban yang ditahan tiap kawat baja

$\sigma_{max}$  = Tegangan tarik maksimum

$K$  = Faktor keamanan untuk kawat baja pada elevator

$E$  = Modulus elastistas kawat baja

$E'$  = Modulus elastitas kawat baja yang telah di koreksi

$D_{min}$  = Perbandingan diameter drum dengan kawat baja

Diameter utama tali kawat baja (d) :

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} \quad (2.5)$$

Dimana :

A = Luas penampang efektif kawat baja

Diameter serabut kawat pada tali kawat baja ( $\delta$ ) :

$$\delta = \frac{d}{1,5\sqrt{i}} \quad (2.6)$$

Dimana :

d = Pembulatan diameter tali kawat baja

Pemeriksaan tegangan tali kawat baja utama yaitu :

Tegangan tarik tali kawat baja yang diinginkan adalah:

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{\max}}{k} \quad (2.7)$$

Dimana :

$\sigma_{\max}$  = Tegangan tarik maksimum

k = faktor keamanan

Tegangan tarik utama yang sebenarnya terjadi :

$$\sigma_t = \frac{S}{A} + \frac{\delta \times E'}{D_{\min}} \quad (2.8)$$

## 2.6.4 Perencanaan motor listrik

Daya motor diperkirakan berdasarkan persamaan berikut ini :

$$N = \frac{(Q + G_k - G_{CW}) \cdot v}{\eta} \quad (2.9)$$

Dimana :

Q = Kapasitas yang diangkat, kg

$G_k$  = Beban kabin, kg

$G_{CW}$  = Beban penyeimbang, kg

$\eta$  = Efisiensi total

Asumsi efisiensi total  $\eta$  adalah 85%

## 2.7 Pembebanan

Beban adalah gaya luar yang bekerja pada suatu elemen struktur. Pembebanan didefinisikan sebagai faktor penentu perencanaan struktur, dimana jika beban yang bekerja pada suatu elemen melebihi beban yang direncanakan diawal maka akan berdampak fatal pada bangunan. Berdasarkan SNI 1727:2013 beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lainnya, bangunan tersebut harus dirancang berdasarkan material standart dan spesifikasi tertentu dan harus direncanakan sesuai dengan kombinasi beban yang sudah ditetapkan sebagai berikut.

### 2.7.1 Beban mati

Beban mati merupakan berat dari seluruh bahan konstruksi yang digunakan, termasuk lantai, atap, dinding, plafon, tangga dan komponen arsitektural dan struktural lainnya. Namun pada perencanaan barang ini pekerjaan plambing, elektrik, dan lainnya tidak diperhitungkan (masuk kedalam batasan masalah). Maka dari itu untuk beban material tersebut tidak diperhitungkan dalam pembebanan.

Beban mati didapatkan dengan cara memperhitungkan berat sendiri yang terdiri dari berat isi beton, berat isi baja, berat atap dan lain-lain. McCormac & Csernak (2012) mengatakan bahwa estimasi beban atau dimensi profil dapat direncanakan oleh *engineer* dengan mendekati beban atau dimensi kenyataan (dilapangan) untuk menghemat waktu dalam melakukan desain ulang akibat estimasi yang kurang tepat.

**Tabel 2. 3** Berat sendiri bahan bangunan dan komponen gedung

Bahan Bangunan	Berat	Satuan
Baja	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Beton	2200	Kg/m <sup>3</sup>
Beton bertulang	2400	Kg/m <sup>3</sup>
Kayu (Kelas I)	1000	Kg/m <sup>3</sup>
Pasir ( kering udara)	1600	Kg/m <sup>3</sup>
Komponen Gedung		
Spesi dari semen, per cm tebal	21	Kg/m <sup>2</sup>
Dinding bata merah, Pas. ½ bata	250	Kg/m <sup>2</sup>

Bahan Bangunan	Berat	Satuan
Penutup atap genteng	50	Kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai ubin semen per cm tebal	24	Kg/m <sup>2</sup>

(Sumber : PPIUG,1983)

### 2.7.2 Beban hidup

Beban hidup merupakan beban yang ada akibat pengguna gedung tersebut atau struktur lainnya yang tidak termasuk beban lingkungan dan beban konstruksi, seperti beban hujan, beban gempa, beban angin dan beban-beban lainnya. Beban hidup juga didefinisikan sebagai beban maksimum yang bekerja akibat penggunaan gedung tersebut, yang mana nilainya harus lebih besar dari beban merata minimum yang sudah ditetapkan pada SNI 1727:2013. Hal tersebut bisa dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2. 4** Beban hidup terdistribusi merata minimum,  $L_0$ , dan beban hidup terpusat minimum

Hunian atau penggunaan	Merata psf (kN/m <sup>2</sup> )	Terpusat lb (kN)
Apartemen (Rumah tinggal)		
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2.4)	2000(8.9)
Ruang komputer	100 (4.79)	2000(8.9)
Gedung persenjataan dan ruang latihan	150 (7.18)	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat dilantai)	100 (4.79a)	
Lobi	100 (4.79a)	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4.79a)	
Panggung pertemuan	100 (4.79a)	
Lantai podium	100 (4.18a)	
Balkon dan dek	1.5 kali beban hidup untuk daerah yang dilayani. Tidak perlu melebihi 100 psf (4.79 kN/m <sup>2</sup> )	
Jalur untuk akses pemeliharaan	40 (1.92)	300 (1.33)
Koridor	100 (4.79) sama seperti pelayanan hunian kecuali disebutkan lain	
Lantai pertama		
Lantai lain		
Ruang makan dan restoran	100 (4.79)a	

Hunian (lihat rumah tinggal)	
Hunian mesin elevator (pada daerah 2 in x 2 in. (50 mm x 50 mm))	300 (1.33)
Dst.	

(Sumber : SNI 03-1727, 2013)

### 2.7.3 Kombinasi pembebanan

Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727:2017 ada tujuh yang digunakan untuk metode desain kekuatan. Beban-beban tersebut adalah beban mati (D), beban hidup (L), Beban hidup atap (Lr), beban salju (S), beban hujan, beban angin (W), dan beban gempa (E). Kombinasi pembebanan yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 2. Berikut.

**Tabel 2. 5** Kombinasi pembebanan

No	Kombinasi beban (LFRD)
1	1.4D
2	1.2D + 1.6L + 0.5(L r atau S atau R)
3	1.2D + 1.6(L r atau S atau R) + (0.5L atau 0.8W)
4	1.2D + 1.0W + L + 0.5(L r atau S atau R)
5	1.2D + 1.0E + L + 0.2S
6	0.9D + 1.0W
7	0.9D + 1.0E

(Sumber : Badan Standarisasi Nasional, 2013)

### 2.7.4 Pembebanan pada lift

Beban yang bekerja akibat Bergeraknya elevator/ dianggap sebagai beban terpusat akibat gaya yang bekerja terhadap berat kapasitas elevator sendiri yang diasumsikan elevator akan berhenti pada setiap lantai bangunan. Sedangkan beban reaksi akibat ruang mesin dan pit sudah diketahui pada katalog sesuai dengan spesifikasi rencana.

#### 1. Koefisien kejut beban hidup oleh keran

Pada PPIUG 1983 Pasal 3.3(3) menyatakan bahwa beban keran (kereta angkat) yang membebani struktur pemikulnya terdiri dari berat sendiri keran (kereta angkat) ditambah muatan yang diangkatnya, dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau.

Untuk beban rencana beban keran harus diambil dan mengalikannya dengan koefisien kejut yang telah ditentukan dengan rumus berikut :

$$\Psi = (1+K_1.K_2.V) \geq 1,15 \quad (2.14)$$

Dimana :

$\Psi$  = Koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

$V$  = Kecepatan angkat maksimum (m/det) pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keranangkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, dan nilainya tidak perlu diambil lebih dari 1.00 m/det.

$K_1$  = Koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, yang untuk keran induk dengan struktur rangka, pada umumnya nilainya dapat diambil sebesar 0.6

$K_2$  = Koefisien yang bergantung pada sifat mesin angkat dari keranangkatnya, dan diambil sebesar 1.3

- Pada mesin listrik biasa atau mesin-mesin lain dengan sifat-sifat yang sejenis  $K_2 = 1,0$ .
- Pada mesin sangkar asinkron dan mesin termis dengan kopling  $K_2 = 1,3$ .
- Pada mesin dengan pembatas percepatan otomatis dengan alat cengkarm  $K_2 = 0,75$  dan dengan alat kait  $K_2 = 0,50$ .

Untuk menghitung beban yang bekerja pada balok adalah :

$$P = R_1 . \Psi \quad (2.15)$$

## 2. Beban terpusat *lift*

Pada SNI 1727:2020 pasal 4.6 tentang impact load atau beban impact (Peraturan Pembebanan Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain) menyatakan bahwa semua beban elevator harus ditingkatkan 50% untuk mesin yang bergerak maju dan mundur atau unit tenaga-driven, Semua persentase harus meningkat bila disyaratkan oleh produsen.

$$RA = R_1 . K_{LL} \quad (2.16)$$

$$RB = R_2 . K_{LL} \quad (2.17)$$

Dimana :

$K_{LL}$  = faktor elemen beban hidup

$R_1, R_2$  = Reaksi gaya akibat beban lift pada struktur

### 2.7.5 Beban angin

Beban angin merupakan beban yang bekerja pada struktur atau gedung akibat tekanan dari gerakan angin. Beban angin tergantung pada lokasi tempat bangunan itu berdiri dan ketinggian struktur atau bangunan (Agus Setiawan, 2013).

Berdasarkan PPIUG 1983, beban angin ditentukan dengan menganggap bahwa terdapat tekanan positif dan tekanan negatif (isapan) yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan angin dinyatakan dalam satuan  $\text{kg/m}^2$ . Koefisien-koefisien tekanan angin ditentukan sebagai berikut.

- a. Tekanan tiup harus diambil minimal  $25 \text{ kg/m}^2$
- b. Tekanan tiup dilaut dan ditepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai harus diambil minimal  $40 \text{ kg/m}^2$
- c. Untuk daerah-daerah didekat laut dan daerah-daerah lain tertentu, dimana terdapat kecepatan-kecepatan angin yang mungkin menghasilkan tekanan tiup yang besar daripada yang ditentukan dalam ketentuan a,b, maka tekanan tiup ( $p$ ) harus dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$p = \frac{v^2 \text{ kg}}{16 \text{ m}^2} \quad (2.18)$$

Dimana :

$P$  = tekanan tiup angin ( $\text{kg/m}^2$ )

### 2.7.6 Beban gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur atau bangunan karena adanya pergerakan tanah (gempa bumi), baik itu bergerak secara horizontal atau vertikal. Pengaruh gempa horizontal sangat lah menentukan beban gempa dari pada pengaruh gempa vertikal karena percepatan tanah arah horizontal lebih besar (Agus Setiawan, 2013).

Bangunan gedung dan struktur lain, termasuk sistem penahan gaya angin utama (SPGAU) dan seluruh komponen dan klading (K&K) gedung, harus dirancang untuk menahan beban angin sesuai dengan SNI 1727:2020. Untuk mendapatkan nilai statik ekuivalen beban gempa maka dilakukan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut :

1. Kategori risiko bangunan dan faktor keutamaan gempa

Untuk mengetahui beban angin yang bekerja pada suatu bangunan maka dilakukan langkah awal dengan mengkategorikan risiko bangunan termasuk kedalam kategori risiko berapa. Tabel kategori risiko bangunan dan struktur lain dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2. 6** Kategori risiko bangunan dan struktur lain

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur	Kategori risiko
Bangunan gedung dan struktur lain yang merupakan risiko rendah untuk kehidupan manusia dalam kejadian kegagalan	I
Semua bangunan gedung dan struktur lain kecuali mereka terdaftar dalam kategori risiko I, III, dan IV	II
Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan risiko besar bagi kehidupan manusia. Bangunan gedung dan struktur lain, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, dengan potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi substansial dan/atau gangguan massa dari hari ke hari kehidupan sipil pada saat terjadi kegagalan. Bangunan gedung dan struktur lain tidak termasuk dalam risiko kategori IV (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang manufaktur, proses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat seperti bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan peledak) yang mengandung zat beracun atau mudah meledak di mana kuantitas material melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup untuk menimbulkan suatu ancaman kepada publik jika dirilis.	II
Bangunan gedung dan struktur lain yang dianggap sebagai fasilitas	

Penggunaan atau pemanfaatan fungsi bangunan gedung dan struktur

Kategori risiko

penting. Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan bahaya besar bagi masyarakat. Bangunan gedung dan struktur lain (termasuk, namun tidak terbatas pada, fasilitas yang memproduksi, memproses, menangani, menyimpan, menggunakan, atau membuang zat-zat berbahaya seperti bahan bakar, bahan kimia berbahaya, atau limbah berbahaya) yang berisi jumlah yang cukup dari zat yang sangat beracun di mana kuantitas melebihi jumlah ambang batas yang ditetapkan oleh pihak yang berwenang dan cukup menimbulkan ancaman bagi masyarakat jika dirilis. Bangunan gedung dan struktur lain yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi dari kategori risiko IV struktur lainnya.

IV

(Sumber : SNI 1726, 2019)

Kemudian dari kategori risiko bangunan tersebut didapatkan nilai faktor keutamaan gempa berdasarkan tabel 4 pada SNI 1727:2020.

**Tabel 2. 7** Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

(Sumber : SNI 1726, 2019)

- Menentukan kategori desain seismik (KDS) berdasarkan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  berdasarkan tabel berikut.

**Tabel 2. 8** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode pendek

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

(Sumber : SNI 1726, 2019)

**Tabel 2. 9** Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan periode 1 detik

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

(Sumber : SNI 1726, 2019)

3. Nilai koefisien  $C_t$  dan  $x$

Nilai koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan berdasarkan tabel :

**Tabel 2. 10** Nilai parameter periode pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana 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	0,0724	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

(Sumber : SNI 1726, 2019)

4. Nilai koefisien modifikasi respons,  $R$

Nilai koefisien modifikasi respons, R, sesuai dengan KDS berdasarkan tabel pada lampiran, SNI 1726:2019 tabel-12.

5. Nilai periode struktur ( $T_a$ )

$$T_a = C_t \times h_n^x \quad (2.19)$$

Dimana :

$h_n$  = ketinggian struktur diatas dasar hingga tingkat tertinggi struktur

Periode struktur juga dapat dihitung menggunakan persamaan alternatif, yaitu

:

$$T_a = 1 \times N \quad (2.20)$$

Dimana :

N = Jumlah tingkat struktur

6. Faktor k

Faktor k dapat dihitung berdasarkan ketentuan sebagai berikut.

- a. Jika  $T_a \leq 0,5$  , maka nilai  $k = 1$
- b. Jika  $0,5 \leq T_a \leq 2,5$  maka dilakukan perhitungan interpolasi linear

$$y = y_2 + (y_2 - y_1) \times \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.21)$$

- c. Jika  $T_a \geq 2,5$ , maka  $k = 2$

7. Koefisien respon seismik ( $C_s$ )

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (2.22)$$

Nilai  $C_s$  ditentukan berdasarkan batasan sebagai berikut :

- a. Batasan maksimal

Untuk nilai  $T \leq T_r$  maka batasan maksimal  $C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.23)$

- b. Batasan minimal

$$C_{s \min} = 0,004 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \quad (2.24)$$

Khusus untuk struktur yang berlokasi didaerah dengan nilai  $S_1 > 0,6g$ , maka

batasan minimal adalah  $C_{s \min} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.25)$

8. Gaya geser dasar seismik

Nilai gaya geser seismik dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$V = C_s \times W \quad (2.26)$$

Dimana :

$V$  = Gaya geser seismik

$W$  = Berat seismik efektif total

9. Faktor distribusi vertikal,  $C_{vx}$

$$C_{vx} = \frac{W_x \times h^k}{\sum_i^n W_i \times h_i} \quad (2.27)$$

Dimana :

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$W_i$  dan  $W_x$  = berat seismik efektif struktur tingkat  $i$  atau  $x$

$h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$

10. Gaya gempa statik ekuifalen ( $F_x$ )

Gaya gempa statik ekuifalen ( $F_x$ ) dihitung untuk masing-masing tingkat struktur dengan menggunakan persamaan :

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (2.28)$$

Dimana :

$F_x$  = Gaya gempa statik ekuifalen

$V$  = Gaya geser dasar

## 2.8 Struktur baja

### 2.8.1 Baja Konstruksi

Baja adalah suatu paduan logam yang tersusun dari besi sebagai bahan dasar dan karbon sebagai unsur paduan utama. Kandungan unsur karbon baja bervariasi dari hingga 2,1% berat tergantung pada kualitasnya. Karbon mempunyai pengaruh besar terhadap sifat-sifat baja. Penambahan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasannya dan kekuatan tarikannya, namun di sisi lain, membuatnya rapuh atau getas dan mengurangi keuletannya (Beumer, 1994).

Menurut Arifi dan Setyowulan (2021) dalam bukunya tentang struktur baja, baja merupakan salah satu material konstruksi yang banyak digunakan setelah beton.

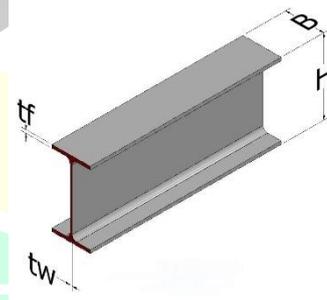
Material berbahan dasar logam ini mempunyai banyak keunggulan khususnya ketahanan dan kecepatan kerja, sangat diminati sebagai material konstruksi, baik untuk struktur bangunan maupun untuk jembatan. Bahan baja sebagai elemen

struktur bergantung pada komposisi kimianya, sifat tariknya dan metode pembuatannya seperti karbon, baja berkekuatan tinggi pada aluminium mutu rendah dan baja karbon yang diberi perlakuan panas. Dasar pengklasifikasian ini akan sangat mempengaruhi sifat-sifat baja sebagai bahan konstruksi.

Ada banyak jenis baja yang digunakan dalam konstruksi dan jenis baja struktur ini dibedakan sesuai dengan bentuk profilnya, setiap profil baja mempunyai fungsi yang berbeda-beda. Berikut beberapa jenis baja profil yang banyak digunakan dalam perencanaan konstruksi, sebagai berikut:

1. *Wide Flange ( IWF )*

Balok IWF merupakan jenis balok konstruksi dengan sayap lebar, tipis, dan badan tebal. Bentuknya menyerupai huruf “I” jika dilihat dari samping, maka dari itu disebut IWF ( *I Section Wide Flange* ). Balok IWF sering digunakan dalam proyek konstruksi karena mempunyai daya dukung yang baik dan efisiensi material yang tinggi. Pemilihan ukuran balok IWF ditentukan berdasarkan beban yang akan didukung dan jenis aplikasi. Biasanya perencana struktur menggunakan spesifikasi standar yang mencantumkan dimensi setiap ukuran balok IWF. Dari spesifikasi standart tersebut, perencana dapat menentukan ukuran yang paling sesuai berdasarkan kebutuhan proyek.



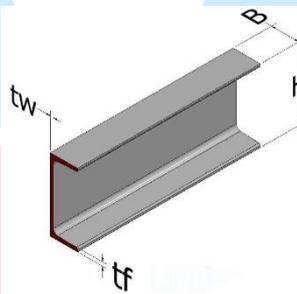
**Gambar 2. 9** Profil Baja IWF

(Sumber : limtrade, 2025)

2. Kanal UNP

Besi UNP, dikenal juga sebagai U-Channel atau Kanal U, merupakan salah satu jenis profil baja yang memiliki bentuk penampang melintang seperti huruf

"U". Profil ini terdiri dari bagian dasar yang datar dan dua sayap vertikal . Bentuknya yang unik menjadikan besi UNP sangat cocok untuk berbagai aplikasi struktur dan mekanik. Besi UNP biasanya terbuat dari baja karbon yang dikenal kuat dan tahan lama. Untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan korosi lebih besar, besi UNP juga dapat diproduksi dari baja galvanis. Kualitas material yang digunakan sangat penting agar besi UNP mampu menahan beban dan tekanan yang diterima dalam berbagai aplikasi. Fungsi besi UNP sendiri sangat beragam. Salah satu kegunaan utamanya adalah sebagaiudukan penutup atap purlin yang berfungsi sebagai penopang atap.



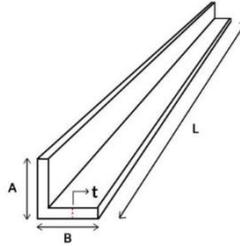
**Gambar 2. 10** Profil kanal UNP

(Sumber : limtrade, 2025)

### 3. Baja Siku (*Angle Bar*)

Besi Siku adalah potongan logam besi yang diletakan secara horizontal dengan sudut 90 derajat atau sudut siku-siku ke arah mesin cetak dan merupakan sebuah bar penopang yang terbuat dari baja galvanis dan sering sekali digunakan untuk las atau bor. Logam Besi ini juga disebut dengan nama lain angle bar, bar siku dan sering juga disebut sebagai "L-Bracket". Bar siku atau angle bar atau bar siku digunakan untuk mengubah jaring ketika besi dimasukan dari samping atau langsung ke former folder, selain itu juga digunakan pada ribbon folder. Biasanya besi ini juga diisi dengan udara dan lubang untuk mengurangi gesekan pada jaring. Besi siku atau angle bar atau bar siku sering juga digunakan sebagai penopang tiang dan fondasi lainnya, namun ternyata kegunaan besi ini dapat melebihi dari yang biasanya digunakan. Selain

itu logam bar besi ini juga berfungsi untuk memberikan kekuatan tambahan serta dapat melindungi struktur dari korosi bahkan menambah stabilitas.



**Gambar 2. 11** Profil Baja Siku

(Sumber : smsperkasa, 2025)

### 2.8.2 Sifat-sifat mekanis baja

Sifat mekanis baja merupakan karakteristik yang memperlihatkan bagaimana material baja tersebut berperilaku ketika diberikan beban. Sifat-sifat mekanis baja dapat diketahui melalui pengujian, yaitu melakukan uji tarik dan uji tekan terhadap baja. Sifat mekanis baja secara umum dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2. 11** Sifat mekanis baja struktural secara umum

Sifat Mekanis	Simbol	Nilai	Satuan
Modulus elastisitas	E	200.000	MPa
Modulus geser	G	80.000	MPa
Nisbah poisson	$\mu$	0,3	
Koefisien pemuaian	$\alpha$	$12 \times 10^{-6}$	/°C

(Sumber : SNI 1729, 2002)

### 2.8.3 Keuntungan dan kerugian penggunaan material baja

Pemilihan material baja sebagai material bangunan didasarkan pada keunggulan yang dimiliki oleh baja itu sendiri, dimana baja memiliki keunggulan sebagai berikut.

- a. Baja memiliki kekuatan yang tinggi dapat mengurangi berat dan ukuran struktur secara keseluruhan.
- b. Tingkat elastisitas baja yang tinggi sesuai dengan hukum hooke dan momen inersia baja dapat dihitung secara akurat.
- c. Daktilitas baja yang cukup tinggi, dimana daktilitas yang dimaksud adalah kemampuan suatu material dalam menahan deformasi yang besar tanpa terjadinya keruntuhan dengan nilai tegangan tarik yang tinggi.
- d. Material baja merupakan material yang kuat karena memiliki nilai daktilitas dan kekuatan yang tinggi. Dimana ketika material baja diberikan beban dan baja tersebut mengalami deformasi, baja tersebut tetap akan bisa menahan beban yang diberikan.
- e. Mudah dipasang dan digabungkan dengan struktur lainnya, sehingga meningkatkan efisiensi waktu pengerjaan.

Namun disamping keunggulan atau keuntungan menggunakan baja sebagai material konstruksi, baja juga memiliki kelemahan yaitu:

- a. Apabila baja terpapar dengan udara dan air secara langsung dapat menyebabkan baja mengalami korosi, maka baja harus diberikan perlakuan khusus seperti dicat secara berkala.
- b. Baja merupakan material penghantar panas yang sangat baik, maka dari itu dibutuhkan lapisan tahan api (*fireproofing*) pada baja.
- c. Tekuk pada baja sering terjadi terutama pada elemen tekan, maka elemen tekan seperti kolom harus diberi pengaku untuk menahan atau mencegah terjadinya tekuk.
- d. Keruntuhan akibat getas dapat terjadi pada baja dimana pada saat tertentu sifat daktilitas baja akan hilang dan terjadi brittle failure pada bagian yang memiliki konsentrasi tegangan tinggi.

## **2.9 Konsep perencanaan struktur baja**

### **2.9.1 Dasar desain struktur baja**

Dalam analisis struktur baja terdapat 2 konsep yang bisa digunakan yaitu konsep ASD (Allowable Stress Design), dimana perencanaan ini didasarkan pada tegangan kerja/*working stress design* dan konsep LRFD (*Load and Resistance*

*Factor Design*) yang didasarkan pada perencanaan kondisi batas/*limit states design*. Dalam kurun waktu lebih dari 100 tahun konsep ASD sudah digunakan dalam perencanaan baja, dan dalam kurun waktu 20 tahun terakhir perencanaan struktur baja beralih pada konsep LFRD berdasarkan konsep probabilitas yang jauh lebih rasional.

LFRD merupakan perencanaan dimana beban terfaktor harus memperhatikan kondisi batas yaitu kondisi maksimum yang dapat diberikan sebuah penampang yang berada di luar batas inelastis (elastisitas) dan memperhitungkan tegangan ultimate baja ( $f_u$ ). Konsep LFRD digunakan dalam AISC (*American Institut of Steel Construction*), dimana syarat struktur dikatakan aman harus memenuhi persyaratan pada persamaan :

$$\sum y_i \cdot Q_i \leq \phi R_n \quad (2.29)$$

Dimana :

$y_i$  = Faktor beban

$Q_i$  = Beban yang harus dipikul oleh struktur

$R_n$  = Kuat nominal

$\phi$  = Faktor reduksi

Desain struktur direncanakan berdasarkan persamaan diatas, dimana  $R_u$  merupakan kekuatan perlu yang berasal dari kombinasi pembebanan DFBT.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.30)$$

Dimana :

$R_u$  = Kekuatan perlu

$R_n$  = Kekuatan nominal

$\phi$  = Faktor reduksi

## 2.9.2 Batang tarik

Baja merupakan material yang memiliki kekuatan untuk menahan gaya tarik dan tekan dan memiliki mutu yang tinggi sehingga dimensinya cenderung langsing (Dewobroto, 2016). Batang tarik biasanya dapat ditemukan pada struktur jembatan, rangka atap, ikatan angin dan lain sebagainya. Beberapa profil yang sering digunakan untuk batang tarik ialah profil siku, WF, pelat, dan lain-lain. Berdasarkan SNI 1729:2020 batang tarik yang dirancang harus memiliki rasio

kelangsingan  $L/r$  tidak melebihi 300, dimana  $L$  adalah panjang batang tarik dan  $r$  adalah jari-jari girasi minimum penampang, tetapi syarat ini tidak berlaku pada batang gantung yang mengalami gaya tarik.

a. Tahanan nominal tarik

Pada batang tarik terdapat 3 jenis keruntuhan yang mungkin akan terjadi :

1. Keruntuhan leleh terjadi pada daerah yang jauh dari sambungan dimana pada kasus ini luas penampang bruto (tanpa pengurangan lubang baut) sangatlah menentukan keruntuhan ini.
2. Keruntuhan fraktur terjadi pada daerah sambungan, dimana keruntuhan ini ditentukan oleh luas neto akibat adanya pengurangan luas lubang baut pada area sambungan.
3. Keruntuhan geser blok terjadi pada daerah sambungan akibat sobeknya elemen plat (pelat penyambung atau pelat profil yang disambung) yang mengalami tarik.

Berdasarkan konsep LFRD kuat tarik desain harus memiliki nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh tarik pada penampang bruto dan keruntuhan tarik pada penampang neto.

$$P_u \leq \phi_t P_n \quad (2.31)$$

Dimana :

$P_u$  = Gaya tarikk aksial terfaktor (kN)

$P_n$  = Tahanan nominal penampang (kN)

$\phi_t$  = Faktor tahanan tarik

Besarnya nilai  $\phi_t$  dan nilai  $P_n$  ditentukan sebagai berikut.

Keruntuhan leleh untuk pada penampang bruto

$$P_n = F_y A_g \quad (2.32)$$

Dimana :

$\phi_t = 0,90$

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

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

Untuk keruntuhan fraktur pada penampang neto

$$P_n = F_u A_e \quad (2.33)$$

Dimana :

$$\phi_t = 0,75$$

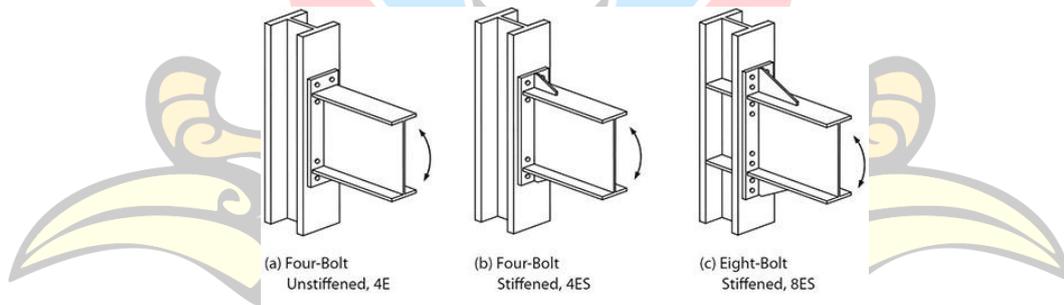
$A_e$  = Luas neto efektif ( $\text{mm}^2$ )

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

a. Luas neto

Lubang yang dibuat pada sambungan untuk menempatkan alat pengencang seperti baut, paku keling mengakibatkan pengurangan luas penampang dan juga tahanan penampang tersebut.

Keruntuhan fraktur pada batang tarik terjadi pada sambungan yang disebabkan oleh berkurangnya luas penampang yang mengalami tarik karena adanya lubang baut. Berikut merupakan gambar contoh sambungan baut pada struktur baja.



**Gambar 2. 12** Sambungan baut pada struktur baja

(Sumber : Segui, 2018)

Perhitungan luas penampang neto dipengaruhi oleh konfigurasi lubang baut terhadap potongan melintang penampang. Terdapat dua konfigurasi lubang baut, yaitu :

1. Lubang baut segaris

$$A_n = A_g - n \cdot d \cdot t \quad (2.34)$$

Dimana :

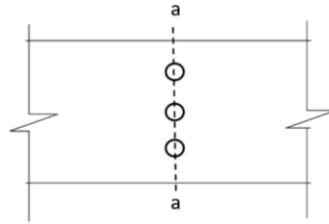
$A_n$  = Luas penampang neto ( $\text{mm}^2$ )

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

$n$  = Jumlah baut segaris

$d$  = Diameter lubang baut (mm)

$t$  = Tebal penampang (mm)



**Gambar 2. 13** Lubang baut segaris

(Sumber : Arifi & Setyowulan, 2020)

2. Baut tidak segaris (*staggered*)

$$A_n = A_g - n.d.t + \sum \frac{s^2.t}{4g} \quad (2.35)$$

Dimana :

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

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

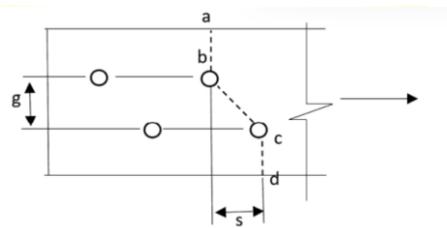
$n$  = Jumlah baut segaris

$d$  = Diameter lubang baut (mm), diambil 1/16 in (2 mm) lebih besar dari diameter baut

$t$  = Tebal penampang (mm)

$s$  = Jarak antar baut dalam arah sejajar gaya (mm)

$g$  = Jarak antar baut dalam arah tegak lurus gaya (mm)



**Gambar 2. 14** Lubang baut tidak segaris

(Sumber : Arifi & Setyowulan, 2020)

b. Luas neto efektif

Efisiensi suatu sambungan merupakan fungsi dari daktilitas material, jarak anatar pengencang, konsentrasi tegangan pada lubang baut serat sebuah

fennomena yang sering disebut dengan istilah *shear lag*. Shear lag akan ada jika sebuah komponen struktur tarik hanya disambung sebagian saja. Salah satu cara mengatasi masalah *shear lag* adalah dengan memperpanjang sambungan. Masalah *shear lag* dalam perhitungan diantisipasi dengan menggunakan istilah luas neto efektif. Luas neto dari komponen struktur batang tarik harus ditentukan sebagai berikut.

$$A_e = A_n U \quad (2.36)$$

Dimana nilai faktor *shear lag* (U) ditentukan berdasarkan tabel D3.1 SNI 1729:2020 (lampiran), dengan beberapa penjelasan sebagai berikut.

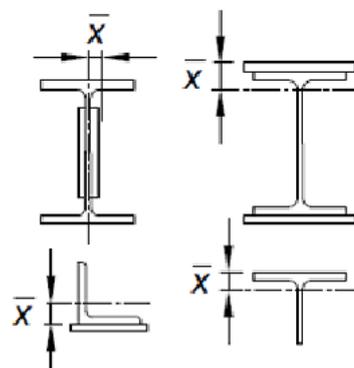
1. Semua komponen struktur batang tarik dimana bebannya disalurkan langsung keelemen profil melintang dengan sambungan las (kecuali dalam kasus 4, 5,6) maka nilai U yang dipakai adalah 1.
2. Semua komponen struktur batang tarik, kecuali pelat dan profil struktur berongga (PSR), dengan beban tarik disalurkan kebeberapa elemen , tetapi tidak semua elemen profil melintang melewati pengencang atau las longitudinal dalam kombinasi dengan las transversal, maka nilai U adalah :

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} \quad (2.37)$$

Dimana :

$\bar{x}$  = eksentrisitas sambungan atau jarak antara titik berat penampang ke sambungan (mm)

l = Panjang las



**Gambar 2. 15** Jarak titik berat antara penampang ke sambungan

(Sumber :SNI 1729, 2020)

3. Semua komponen struktur tarik dimana beban tarik hanya disalurkan melalui las transversal kebeberapa tetapi tidak semua dari elemen profil melintang, maka nilai U adalah 1.
4. Pelat, siku, kanal, T dan profil WF yang elemennya disambung, dengan beban tarik disalurkan hanya melalui las longitudinal, maka nilai U adalah :

$$U = \frac{3l^2}{3l^2 + w^2} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l}\right) \quad (2.38)$$

Dimana :

$l$  = Panjang las

$\bar{x}$  = eksentrisitas sambungan atau jarak antara titik berat penampang ke sambungan (mm)

$w$  = Jarak antar las memanjang (lebar pelat)

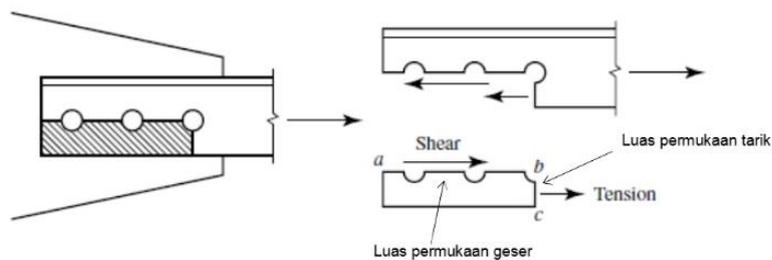
c. Geser blok (*block shear*)

Ketika sebuah elemen pelat tipis yang dibeikan beban tarik dan disambung menggunakan alat pengencang, maka tahanan dari komponen tersebut akan ditentukan oleh kondisi batas sobek atau sering disebut geser blok (Setiawan, 2013). Keruntuhan geser blok merupakan suatu keruntuhan yang mekanisma keruntuhannya adalah kombinasi antara geser dan tarik yang melewati lubang-lubang baut pada komponen struktur tarik. Selain pada pelat tipis yang dikenai beban tarik, keruntuhan geser juga dapat terjadi pada sambungan pendek, dimana sambunagan menggunakan 2 baut atau kurang pada garis searah dengan bekerjanya gaya. Berikut merupakan contoh gambar keruntuhan geser blok pada struktur baja sebagai berikut.



**Gambar 2. 16** Keruntuhan geser blok pada struktur baja  
(Sumber : Green dkk, 2003)

Pada keruntuhan geser ada dua jenis bidang keruntuhan yaitu bidang yang mengalami gaya geser yaitu bidang yang sejajar dengan arah gayaanya dan bergerak disepanjang baut, serta bidang tarik yaitu bidang yang tegak lurus terhadap gaya tarik yang bekerja pda sambungannya. Kombinasi dari kedua gaya ini menyebabkan lepasnya satu blok atau area dari sambungan. Apabila gaya tarik dikerjakan pada sambungan meningkat, bidang yang lemah akan mendekati kekuatan runtuhnya.



**Gambar 2. 17** Kombnasi keruntuhan geser dan tarik pada geser blok  
(Sumber :Nasution, 2019)

Berdasarkan SNI 1729:2020 sesuai desain LRFD, syarat kekuatan batasnya adalah :

$$R_u \leq \phi R_n \tag{2.39}$$

$$R_n = 0,6.F_u.A_{nv} + U_{bs}.F_u.A_{nt} \leq 0,6.F_y.A_{gv} + U_{bs}.F_u.A_{nt} \tag{2.40}$$

Dimana :

$R_u$  = Gaya tarik aksial terfaktor yang terjadi pada sambungan (kN)

$\Phi$  = 0,75

$R_n$  = Kekuatan nominal dari sambungan (kN)

$F_y$  = Tegangan leleh minimum yang diisyaratkan (Mpa)

$F_u$  = Kekuatan leleh minimum yang diisyaratkan (Mpa)

$A_{nv}$  = Luas neto elemen yang menahan gaya tarik ( $\text{mm}^2$ )

$A_{gv}$  = Luas bruto elemen yang menahan gaya tarik ( $\text{mm}^2$ )

$\phi$  = Faktor ketahanan = 0,75

$U_{bs} = 1$ , Jika tegangan tarik merata

$U_{bs} = 0,5$ , Jika tegangan tarik tidak merata

### 2.9.3 Batang tekan

Batang tekan biasanya ditujuan pada komponen struktur yang mengalami beban tekan terpusat pada titik berat penampangnya. Batang tekan banyak dijumpai pada elemen struktur kolom. Contoh pengaplikasian batang tekan pada struktur bangunan dilihat pada **Gambar 2.18**.



**Gambar 2. 18** Struktur kolom menggunakan material baja

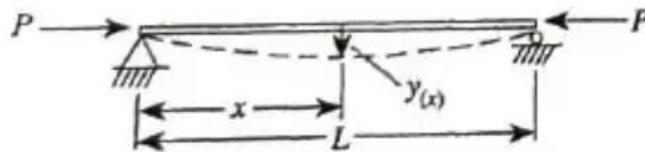
(Sumber : Jasa konstruksi baja H beam, 2016)

Batang tekan dapat mengalami keruntuhan karena terjadinya tekuk (*buckling*), dimana elemen struktur menerima gaya aksial tekan. Maka dari itu syarat kestabilan dalam mendesain kestabilan komponen struktur tekan

sangatlah penting, untuk menghindari terjadinya tekuk pada elemen yang mengalami tekan.

a. Tekuk elastik euler

Teori ini pertama kali dikenalkan oleh Leonhard Euler pada tahun 1744, dimana komponen struktur yang terbebani secara konsentris, apabila seluruh serat bahan masih dalam kondisi elastik hingga terjadinya tekuk, perlahan-lahan akan melengkung, seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



**Gambar 2. 19** Kolom euler

(Sumber :Setiawan, 2018)

b. Panjang efektif

Panjang efektif dari suatu komponen struktur tekan ( $l_c$ ) digunakan untuk menghitung kelangsingan batang tekan ( $l_c/r$ ), dimana nilai  $l_c$  ditentukan berdasarkan nilai faktor panjang efektif, K.

Dimana :

$l_c = KL =$  Panjang efektif batang tekan (mm)

L = Panjang tanpa diberi pengaku lateral dari komponen struktur (mm)

r = Radius girasi, in (mm)

Pada SNI 1729:2020, komponen struktur yang dirancang berdasarkan tekan, rasio kelangsingan efektif  $KL/r$ , sebaiknya tidak melebihi 200.

Nilai K atau faktor panjang tekuk dipengaruhi oleh jenis tumpuan dan panjang batang elemen yang mengalami gaya aksial tekan ditunjukkan pada tabel berikut ini.

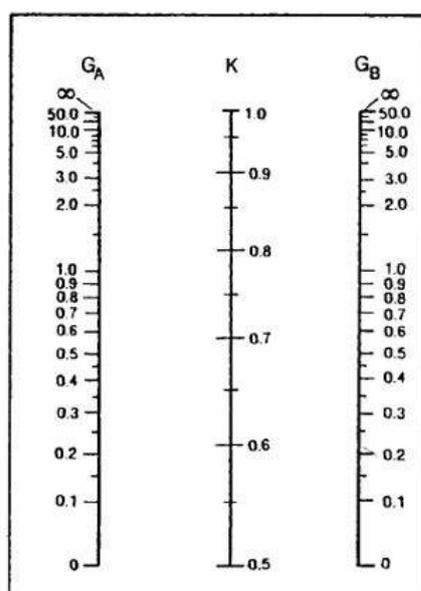
**Tabel 2. 12** Faktor panjang efektif atau faktor panjang tekuk (K)

Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Nilai $\lambda_c$ teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai $\lambda_c$ yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Kode ujung						

(Sumber : AISC, 2010)

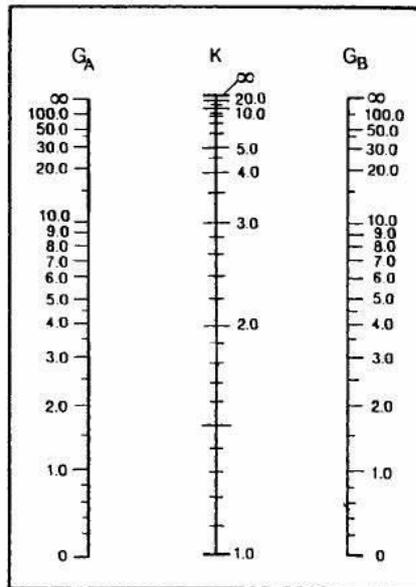
Dalam menentukan nilai K pada struktur portal digunakan nomogram pada Gambar 2. dan Gambar 2. Dengan nilai  $G_A$  dan  $G_B$  ditentukan berdasarkan rumus berikut.

$$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)} = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)} \quad (2.41)$$



**Gambar 2. 20** Nomogram penentuan nilai K pada komponen struktur bergoyang

(Sumber : AISC, 2010)



**Gambar 2. 21** Nomogram penentuan nilai K pada komponen struktur tak bergoyang

(Sumber : AISC, 2010)

c. Tekuk lokal dan tekuk global pada batang tekan

Tekuk merupakan faktor utama dari keruntuhan batang tekan yang harus diperhitungkan khususnya pada elemen yang meminili nilai kelangsingan yang tinggi, dimana tekuk pada suatu batang dipengaruhi oleh beberapa hal yaitu :

1. Luas penampang
2. Bentuk penampang terhadap kekakuan lentur
3. Panjang batang
4. Kondisi tumpuan

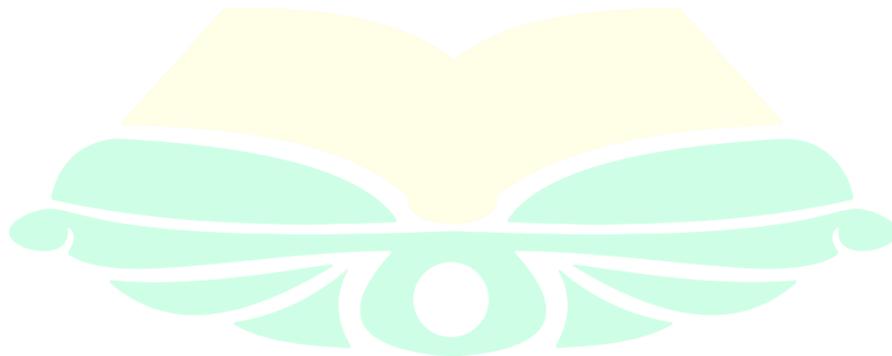
Suatu batang tekan yang mengalami tekuk lokal merupakan tekuk yang terjadi pada elemen penampang sayap atau badan profil akibat adanya gaya tekasan yang bekerja pada elemen tersebut. Apabila elemen cenderung langsing dengan panjang kolom yang pendek, maka batang tekan akan mengalami tekuk lokal seperti pada gambar berikut.

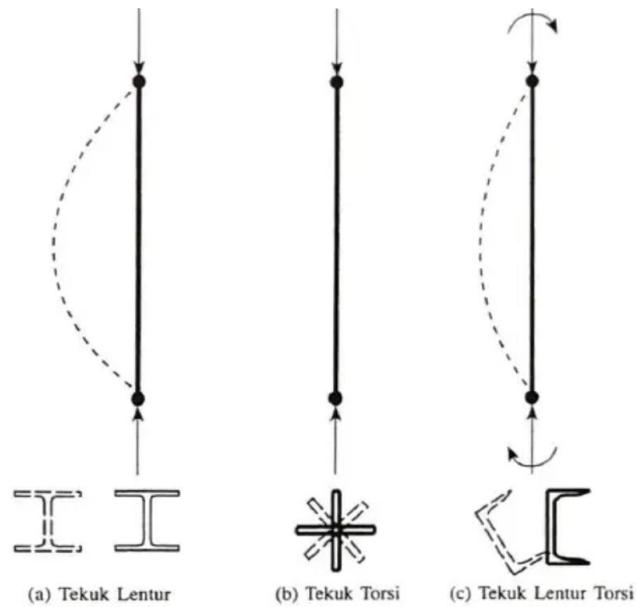


**Gambar 2. 22** Batang tekan yang mengalami tekuk lokal

Sedangkan suatu batang tekan mengalami tekuk global merupakan tekuk yang terjadi pada batang secara memanjang atau longitudinal. Dimana elemen penampang relatif tebal dengan panjang yang relatif panjang, maka batang tekan mengalami tekuk global.

Tekuk lokal terbagi atas dua elemen yaitu elemen non langsing dan elemen langsing. Rasio tebal terhadap lebar elemen tekan yang menahan gaya aksial dapat dilihat pada tabel yang terdapat pada lampiran. Tekuk global terbagi atas 3 kemungkinan jenis tekuk pada struktur yang mengalami gaya aksial tekan yaitu tekuk lentur, tekuk torsi, dan tekuk torsi lentur yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





**Gambar 2. 23** Tiga macam tekuk komponen struktur tekan  
(Sumber : Setiawan, 2013)

d. Kekuatan tekan nominal

Kekuatan nominal ditentukan berdasarkan persamaan :

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (2.42)$$

Dimana :

$P_u$  = Gaya tekan aksial terfaktor (N)

$\phi_c = 0,90$

Pada SNI 1729:2020, desain komponen struktur untuk batang tekan diatur dalam bab E, dimana perencanaan batang tekan untuk pemilihan penerapan profil dapat dilihat pada lampiran.

e. Tekuk lentur tanpa elemen langsing

Pada SNI 1729:2020 Pasal E3, perencanaan batang tekan klasifikasi nonlangsing ( $\lambda < \lambda_r$ ) yang mengalami tekuk lentur. Besarnya kuat tekan nominal  $P_n$  dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \quad (2.43)$$

Dimana :

$P_n$  = Kuat tekan nominal (kN)

$F_{cr}$  = Nilai tegangan kritis

$A_g$  = Luas penampang kotor

Nilai  $F_{cr}$  dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut :

1. Jika  $\frac{L_c}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$ , maka (2.44)

$$F_{cr} = \left(0,658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y \text{ (Mpa)} \quad (2.45)$$

2. Jika  $\frac{L_c}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  atau  $\frac{F_y}{F_e} > 2,25$ , maka (2.46)

$$F_{cr} = (0,877 F_e) \quad (2.47)$$

dengan tegangan tekuk kritis elastis,  $F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2}$  (Mpa) (2.48)

f. Tekuk torsi dan tekuk torsi-lentur siku tunggal tanpa elemen langsing

Selain tekuk lentur, elemen batang tekan juga dapat mengalami tekuk lentur-torsi dan tekuk torsi. Pada SNI 1729:2020 Pasal E4 menjelaskan tentang komponen struktur simetris tunggal dan asimetris, serta komponen struktur simetris ganda yang panjang torsi tidak terkekang melebihi panjang lateral yang tidak terkekang dan pasal ini juga berlaku untuk siku tunggal.

$$b/t > 0,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.49)$$

Dimana :

$E$  = Elastisitas baja

$F_y$  = Tegangan leleh (Mpa)

$b$  = Lebar kaki terpanjang

$t$  = Tebal (mm)

Kuat tekan nominal  $P_n$  harus ditentukan berdasarkan kondisi batas dari tekuk torsi dan lentur sebagai berikut :

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (2.50)$$

Tegangan kritis  $F_{cr}$  ditentukan berdasarkan persamaan :

1. Untuk profil struktur simetris ganda yang mengalami torsi dipusat geser :

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \quad (2.51)$$

2. Untuk profil struktur simetris tunggal yang mengalami torsi dipusat geser dimana  $y$  merupakan sumbu simetris :

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right) \quad (2.52)$$

3. Untuk profil struktur asimetris tunggal yang mengalami torsi dipusat geser :

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left( \frac{x_0}{r_0} \right) - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left( \frac{y_0}{r_0} \right) \quad (2.53)$$

## 2.9.4 Sambungan dan jenis-jenis alat sambungan

Pada konstruksi baja istilah sambungan bukanlah hal yang baru, setiap elemen strukturnya dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan alat penyambung. Biasanya pada struktur baja terdapat titik buhun atau tempat berkumpulnya batang-batang yang disambung menggunakan pelat penyambung atau pelat buhul. Sistem sambungan ternagi menjadi 3 bagian yaitu elemen yang disambung, jenis penyambung dan pelat penyambung. Dalam sambungan baja ada beberapa jenis alat penyambung yang banyak digunakan yaitu :

### a. Sambungan baut

Sambungan baut merupakan jenis penenggang yang terdiri dari kepala baut pada salah satu sisinya dan memiliki ulir sebagai alur untuk mur mengencangkan sambungan baik dipasang secara manual maupun dengan mesin.

### b. Sambungan paku keling

Sambungan tipe ini merupakan tipe pengencang mekanis yang dipasang secara permanen. Sambungan ini memiliki kepala di kedua ujungnya dan sambungan ini tidak mudah kendur akibat getaran.

### c. Sambungan las

Sambungan ini menggunakan las sebagai penyambung elemen-elemennya. Sistem sambungan las disambung menggunakan bahan logam yang dipanasi pada suhu yang tepat.

## 2.9.5 Jenis-jenis sambungan

Perencanaan sambungan ditentukan oleh bidang kerja sambungan, yaitu tempat bekerjanya gaya pada sistem sambungan. Adapun bidang kerja yang terdapat pada suatu sambungan yaitu:

a. Sejajar (dalam bidang atau sebidang)

Pembebanan dimana gaya dan momen lenturnya berada dalam bidang sambungan sehingga gaya yang timbul adalah gaya geser.

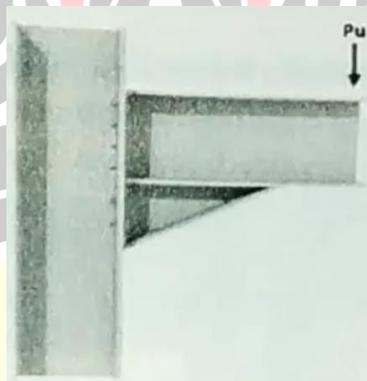


**Gambar 2. 24** Sambungan sejajar

(Sumber : Arifi & Setyowulan, 2020)

b. Tegak lurus (luar bidang atau tak sebidang)

Pembebanan yang gaya atau momen lenturnya menghasilkan gaya yang arahnya tegak lurus bidang sambungan sehingga gaya yang ditimbulkan dalam sambungan adalah gaya tarik .

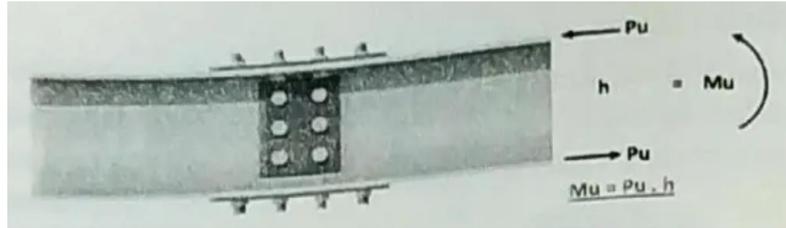


**Gambar 2. 25** Sambungan tegak lurus

(Sumber : Arifi & Setyowulan, 2020)

c. Kombinasi sejajar tegak-lurus

Pembebanan yang gaya atau momen lenturnya menghasilkan gaya yang arahnya sejajar dan tegak lurus bidang sambungan sehingga menghasilkan gaya kombinasi gaya geser dan tarik.



**Gambar 2. 26** Sambungan kombinasi sejajar tegak-lurus

(Sumber : Arifi & Setyowulan, 2020)

### 2.9.6 Ukuran dan lubang baut

Beberapa jenis baut yang tercantum pada SNI 1729:2020 adalah ASTM A307, ASTM A354, ASTM 4A99, ASTM F3043, ASTM F3111, ASTM F3125/F3125M. Secara garis besar terdapat 2 mutu baut yaitu baut biasa yang terbiuat dari baja karbon rendah seperti 307 dan baut mutu tinggi seperti A325 dan A490. Namun berdasarkan SNI 1729:2020 baut mutu tinggi terbagi atas 2 yaitu grup A dan grup B.



**Gambar 2. 27** Baut dengan mutu A325

(Sumber : *Champion bolt and supply inc*, 2019)



**Gambar 2. 28** Baut dengan mutu A490

(Sumber : *Champion bolt and supply inc*, 2019)

**Tabel 2. 13** Pratarik naut minimu (kN)

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

<sup>[a]</sup> Sama dengan 0,70 dikalikan kekuatan tarik minimum baut, dibulatkan ke satuan kN terdekat, seperti dispesifikasikan ASTM F3125/F3125M untuk baut Grade A325M dan baut Grade A490M dengan ulir UNC.

(Sumber : SNI 1729, 2020)

**Tabel 2. 14** Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir, ksi (Mpa)

Deskripsi Pengencang	Kekuatan Tarik Nominal, $F_{nt}$ , ksi (MPa) <sup>[a]</sup>	Kekuatan Geser Nominal pada Sambungan Tipe Tumpu, $F_{nv}$ , ksi (MPa) <sup>[b]</sup>
Baut A307	45 (310) <sup>[c]</sup>	27 (186) <sup>[c][d]</sup>
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir ada di bidang geser	90 (620)	54 (372)
Baut kelompok A (misal, A325), apabila ulir di luar bidang geser	90 (620)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), bila ulir ada di bidang geser	113 (780)	68 (469)
Baut kelompok B (misal, A490), apabila ulir di luar bidang geser	113 (780)	84 (579)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut ada di bidang geser	150 (1.040)	90 (620)
Rakitan baut group C (misal, F3043), apabila ulir dan daerah transisi batang baut di luar bidang geser	150 (1.040)	113 (779)
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir ada di bidang geser	0,75 $F_u$	0,450 $F_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan Pasal A3.4, apabila ulir di luar bidang geser	0,75 $F_u$	0,563 $F_u$

<sup>[a]</sup> Untuk baut kuatantinggi yang memikul beban fatik tarik, lihat Lampiran 3  
<sup>[b]</sup> Untuk ujung sambungan yang dibebani dengan panjang pola pengencang lebih besar dari 38 in. (950 mm),  $F_{nv}$  harus direduksi sampai 83,3% dari nilai pada tabel. Panjang pola pengencang merupakan jarak maksimum sejajar dengan garis gaya antara sumbu baut yang menyambungkan dua bagian dengan satu permukaan *faying*.  
<sup>[c]</sup> Untuk baut A307, nilai yang ditabulasikan harus direduksi sebesar 1% untuk setiap  $1/16$  in. (2 mm) di atas 5 diameter dari panjang pada pegangantersebut.  
<sup>[d]</sup> Ulir diperbolehkan pada bidang geser.

(Sumber : SNI 1729, 2020)

Adapun variasi lubang ukuran baut yang akan dijelaskan pada tabel berikut ini :

**Tabel 2. 15** Dimensi lubang nominal, mm

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

<sup>[a]</sup> Diameter lubang ini memungkinkan penggunaan dengan baut diameter 1 in.

( Sumber : SNI 1729, 2020)

### 2.9.7 Jarak baut

a. Spasi minimum

Jarak antapusat baut ( $s$ ) minimum ialah  $s \geq 2,67 d$ , dan jarak yang direkomendasikan ialah  $s \cong 3 d$  dengan jarak antar baut atau slot  $s \geq d$ .

b. Jarak tepi minimum

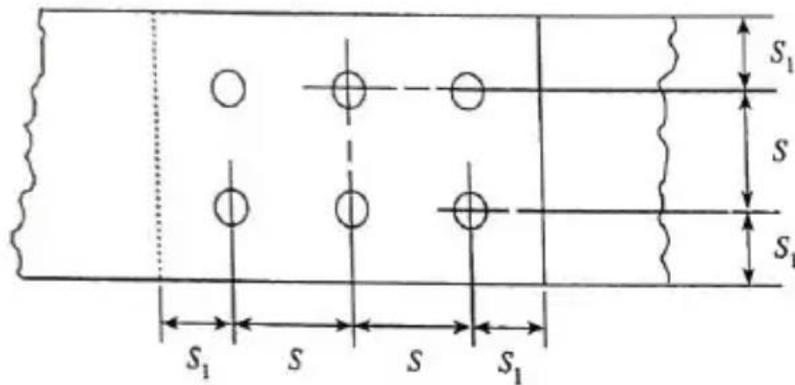
Jarak baut ke tepi sambungan diarah gaya adalah tidak boleh kurang sesuai dengan **Tabel 2.16**

c. Spasi maksimum dan jarak tepi

Jarak maksimum dari pusat baut ke tepi sambungan  $s \leq 12 t$  pelat yang disambung, tetapi harus  $\leq 150$  mm.

Untuk spasi minimum, maka :

1. Komponen struktur yang dicat atau tidak yang tidak mengalami korosi,  $s \leq 24 t$  pelat tipis atau 300 mm.
2. Komponen struktur yang tidak dicat yang terhubung dengan cuaca yang mengalami korosi,  $s \leq 14 t$  pelat tertipis atau 180 mm.



**Gambar 2. 29** Jarak dan spasi baut  
(Sumber : Setiawan, 2013)

**Tabel 2. 16** Jarak tepi minimum baut, mm

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

<sup>[a]</sup>Jika diperlukan, jarak tepi terkecil diperbolehkan asalkan ketentuan yang sesuai dari Pasal J3.10 dan J4 dipenuhi, tetapi jarak tepi yang kurang dari satu diameter baut tidak diperbolehkan tanpa persetujuan dari penanggungjawab perancangan.  
<sup>[b]</sup>Untuk lubang ukuran berlebih atau lubang slot, lihat Tabel J3.5M.

(Sumber : SNI 1729, 2020)

### 2.9.8 Tipe sambungan dan kegagalan sambungan

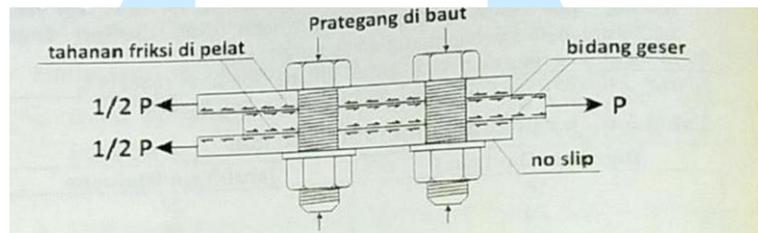
Pada sambungan baut terdapat 2 tipe sambungan, yaitu:

a. Sambungan tipe tumpu

Sambungan tipe tumpu merupakan sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut yang dikencangkan dengan tangan atau baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menghasilkan gaya tarik yang disyaratkan dan kuat rencananya disalurkan oleh gaya geser pada baut dan tumpuan pada bagian yang disambungkan.

b. Sambungan slip kritis

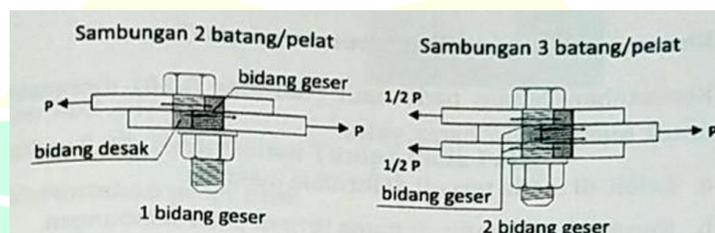
Sambungan slip kritis merupakan sambungan yang dibuat dengan menggunakan baut mutu tinggi yang dikencangkan untuk menghasilkan tarikan baut minimum yang disyaratkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya geser rencana tersalurkan melalui jepitan yang bekerja pada bidang kontak dan gesekan yang ditimbulkan bidang kontak.



**Gambar 2. 30** Mekanisme slip baut  
(Sumber : Dewobroto, 2016)

Kegagalan sambungan pada elemen struktur baja dapat terjadi kapan saja, baik itu ketika baut sebagai penyambung mengalami kegagalan ataupun pelat sebagai elemen yang disambung. Ada beberapa tipe kegagalan sambungan, yaitu:

- a. Keruntuhan geser pada baut terjadi akibat gaya pada sambungan mengalami gaya geser yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu baut.



**Gambar 2. 31** Bidang geser pada sambungan baut  
(Sumber : Arifi & Setyowulan, 2020)

b. Keruntuhan geser pada pelat

Selain baut, elemen oelat yang disambung juga dapat mengalami keruntuhan akibat gaya geser yang bekerja pada sambungan. Tipe keruntuhan

ini terjadi deformasi pada pelat yang secara bertahap ditandai dengan adanya titik (*necking*) pada pelat yang mengalami leleh tarik lokal.

c. Keruntuhan tumpu pada baut

Keruntuhan tumpu baut direncanakan untuk memenuhi 2 batas, yaitu:

1. Leleh terjadi pada sambungan
2. Keruntuhan tumpu terjadi pada sambungan

d. Keruntuhan tumpu pada pelat

Keruntuhan tumpu pada pelat juga dapat terjadi dimana hal ini dipengaruhi oleh jarak bersih antar baut, tebal pelat yang disambung dan tegangan tarik ultimate.

e. Keruntuhan geser blok

Keruntuhan geser blok pada sambungan terjadi karena robeknya pelat yang disambung akibat gaya tarik yang bekerja pada sambungan.

## 2.9.9 Kekuatan baut

Berdasarkan SNI 1729:2020, sebuah baut yang memikul gaya terfaktor harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.54)$$

Terdapat beberapa jenis kekuatan nominal baut yang tergantung pada gaya yang bekerja dan tipe sambungan yang digunakan, yaitu :

a. Kekuatan geser baut

$$R_u = F_{nv} \cdot A_b \quad (2.55)$$

b. Kekuatan tarik baut

$$R_n = F_{nt} \cdot A_b \quad (2.56)$$

c. Kekuatan tumou dan sobek lubang baut

Untuk baut pada sambungan dengan lubang standar, ukuran berlebih dan slot pendek, tidak tergantung dari arah beban, atau lubang slot panjang dengan slot paralel terhadap arah gaya :

Tumpu

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain :

$$R_n = 2,4 d t F_u \quad (2.57)$$

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah bukan tinjauan desain :

$$R_n = 3 d t F_u \quad (2.58)$$

Sobek

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah tinjauan desain :

$$R_n = 1,2 l c t F_u \quad (2.59)$$

- Apabila deformasi dilubang baut pada beban layan adalah bukan tinjauan desain :

$$R_n = 1,5 l c t F_u \quad (2.60)$$

Untuk baut pada sambungan dengan lubang slot panjang dan slot tersebut tegak lurus terhadap arah gaya:

Tumpu

$$R_n = 2,0 d t F_u \quad (2.61)$$

Sobek

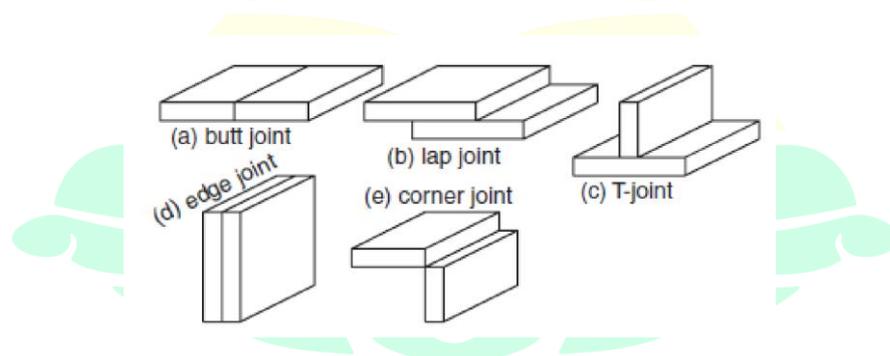
$$R_n = 1,0 l c t F_u \quad (2.62)$$

- d. Baut kekuatan tinggi dalam sambungan slip kritis

$$R_n = \mu D_u \cdot h_f \cdot T_b \cdot n_s \quad (2.63)$$

### 2.9.10 Jenis-jenis las dan sambungan las

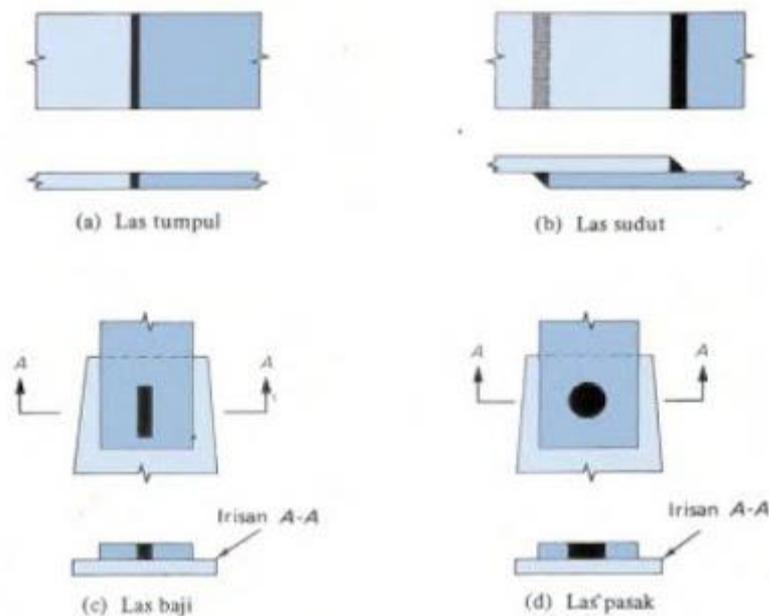
Pada sambungan las terdapat 5 jenis yaitu sambungan sebidang (*butt joint*), sambungan sudut (*corner joint*), sambungan lewatan (*lap joint*) sambungan tegak (*tee joint*), dan sambungan sisi (*edge joint*).



**Gambar 2. 32** Jenis-jenis sambungan las

(Sumber : Patel, 2018)

Jenis-jenis las dibagi menjadi 4 yaitu las tumpul, las sudut, lasa baji, dan las pasak seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2. 33** Jenis-jenis las

(Sumber : Soemardi, 2005)

### 2.9.11 Base plate

Pelat dasar adalah pelat yang terletak di antara kolom baja dan pondasi yang umumnya terbuat dari beton. Fungsi pelat dasar adalah meneruskan beban kolom ke pondasi untuk meratakan beban kolom yang ada. Pelat dasar dihubungkan dengan kolom baja melalui sambungan las, sedangkan pelat dasar, sebagai rancangan sambungan antara baja dengan pondasi beton yang memiliki 2 jenis perletakan yaitu :

1. Perletakan Sendi, dimana baut angkur tidak memikul momen hanya memikul beban tekan atau beban tarik
2. Perletakan Jepit, dimana sebagian baut angkur memikul tarik akibat momen sedangkan yang lainnya memikul tekan.

#### 2.9.11.1 Beban aksial tekan konsentris (*Concentric compressive axial loads*)

Ketika dasar kolom hanya menahan aksial kolom dengan beban tekan, pelat dasar harus mampu untuk menahan gaya dukung yang

ditransfer dari pelat dasar dan pelat dasar harus memiliki ketebalan yang cukup untuk menahan beban yang bekerja. Kekuatan dukung desain pada beton dijelaskan pada ACI 318-02, bagian 10.17, dengan  $\phi(0,85 f'c A_1)$  jika permukaan penyangga tidak lebih besar dari pelat dasar. Tetapi apabila permukaan pendukung lebih besar daripada area yang dibebani, kekuatan dukung desain di atas diizinkan untuk dikalikan dengan  $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$ . Kekuatan dukung nominal ( $P_p$ ) untuk kriteria desain menggunakan ASD dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini.

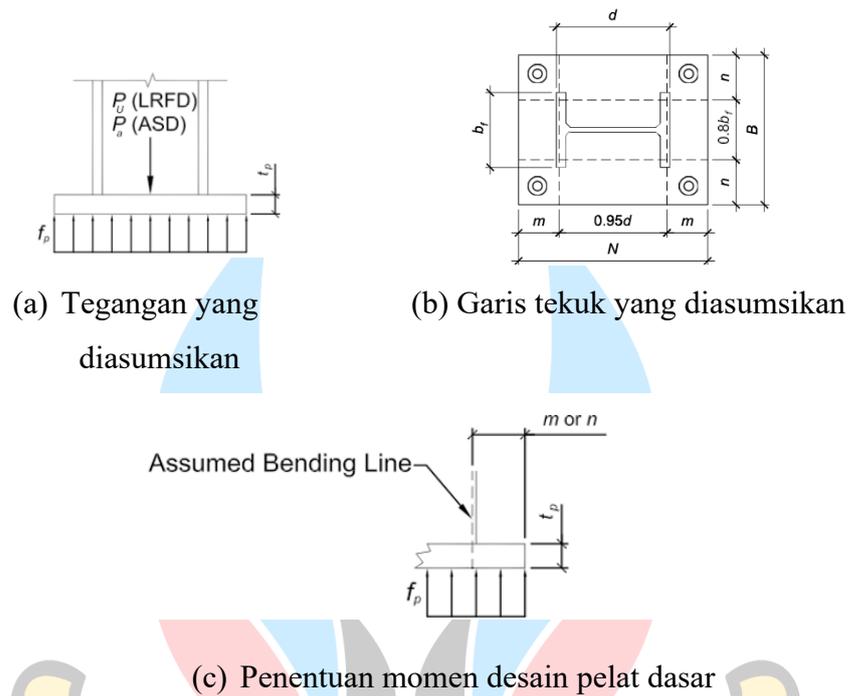
$$P_p = (0,85 f'c A_1) \left( \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \right) \leq 1,7 f'c A_1 \quad (2.64)$$

Persamaan tersebut dikalikan dengan faktor resistan ( $\phi$ ) untuk LFRD dan dibagi dengan faktor keamanan ( $\Omega$ ) untuk ASD. Plat dasar dengan beban aksial, tegangan tumpuan yang ada dibawah tumpuan plat dasar akan diasumsikan terdistribusi secara seragam dan dapat ditekan seperti pada persamaan berikut.

$$f_{pu} = \frac{P_u}{BN} \text{ (LFRD)} \quad (2.65)$$

$$f_{pu} = \frac{P_u}{BN} \text{ (ASD)} \quad (2.66)$$

Tekanan yang menyebabkan pembengkokan pada pelat dasar dibagian kritis yang diasumsikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar berikut.



**Gambar 2. 34** Desain base plate dengan beban aksial tekan

(Sumber : Fisher & Kloiber, 2006)

Kekuatan pelat dasar yang diperlukan ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$M_{pl} = f_{pa} \left( \frac{l^2}{2} \right) \quad (\text{LFRD}) \quad (2.67)$$

$$M_{pl} = f_{pu} \left( \frac{l^2}{2} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (2.68)$$

Ketebalan minimum untuk batas leleh pada *base plate* dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini.

$$t_{\min} = 1 \sqrt{\frac{2P_a}{\phi f_y B N}} \quad (\text{LFRD}) \quad (2.69)$$

$$t_{\min} = 1 \sqrt{\frac{2\Omega P_u}{\phi f_y B N}} \quad (\text{ASD}) \quad (2.70)$$

Dimana :

$P_p$  = Kuat dukung nominal plat dasar

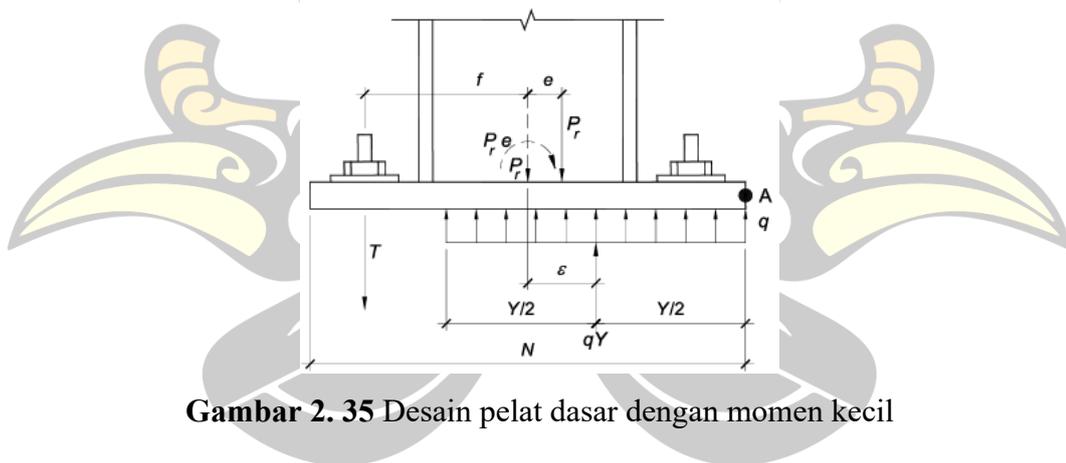
$P_u$  = Gaya aksial tekan (LFRD)

$P_a$  = Gaya aksial tekan (ASD)

- $\phi$  = Faktor resitan (LFRD)
- $\Omega$  = Faktor keamanan (ASD)
- $t_{\min}$  = tebal plat dasar

### 2.9.11.2 Desain plat dasar dengan gaya momen kecil (*Design of column base plate with small moments*)

Pelat dasar dengan nilai eksentrisitas kecil, gaya aksial yang bekerja ditahan oleh plat dasarnya saja. Tetapi untuk plat dasar dengan nilai eksentrisitas besar, hanya menggunakan pelat dasar tidak akan dapat menahan gaya yang bekerja. Pada kasus ini diperlukan angkur untuk mendukung pelat dasar dalam menerima beban.



**Gambar 2. 35** Desain pelat dasar dengan momen kecil

(Sumber : Fisher dan Kloiber, 2006)

Sebuah pelat dasar dikatakan menerima eksentrisitas kecil dapat dibuktikan apabila nilai  $e$  lebih kecil dari nilai  $e_{kritis}$ . Untuk menghitung nilai  $e$  dan nilai  $e_{kritis}$  digunakan persamaan sebagai berikut.

$$e = \frac{M_r}{P_r} \quad (2.71)$$

$$e_{kritis} = \frac{N}{2} - \frac{P_r}{2q_{\max}} \quad (2.72)$$

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung kuat lentur nominal per satuan lebar pelat.

$$\phi_b R_n = \phi_b f_y \frac{t_p^2}{4} \quad (LFRD) \quad (2.72)$$

$$\frac{R_n}{\Omega} = \phi_b f_y \frac{f_y t_p^2}{\Omega 4} \quad (\text{ASD}) \quad (2.73)$$

Untuk menentukan ketebalan pelat dasar dengan momen kecil dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

Untuk  $Y \geq m$ , maka

$$t_{p(\text{req})} = \sqrt{\frac{4(f_p \frac{m^2}{2})}{f_y}} = 1,5m \frac{f_p}{f_y} \quad (\text{LFRD}) \quad (2.71)$$

$$t_{p(\text{req})} = \sqrt{\frac{4(f_p \frac{m^2}{2})}{f_y/1,67}} = 1,83m \frac{f_p}{f_y} \quad (\text{ASD}) \quad (2.72)$$

Untuk  $Y < m$ , maka

$$t_{p(\text{req})} = 2,11 \sqrt{\frac{f_p Y(m-\frac{Y}{2})}{f_y}} \quad (\text{LFRD}) \quad (2.73)$$

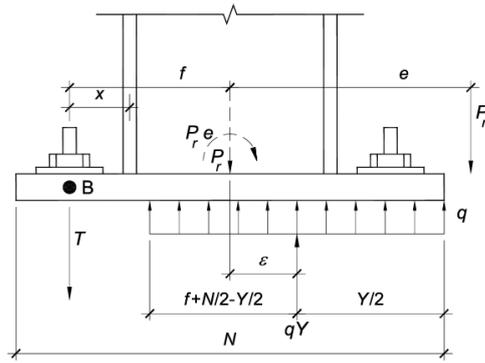
$$t_{p(\text{req})} = 2,58 \sqrt{\frac{f_p Y(m-\frac{Y}{2})}{f_y}} \quad (\text{ASD}) \quad (2.74)$$

Dimana :

$t_{p(\text{req})}$  = Tebal minimum pelat

### 2.9.11.3 Desain plat dasar dengan gaya momen besar (*Design of column base plate with large moments*)

Ketika momen besar yang terjadi pada beban aksial kolom, diperlukan angkur untuk menghubungkan pelat dasar ke pondasi beton agar plat dasar tidak miring atau mengalami . Hal ini biasanya terjadi padadrangka kaku yang didesain untuk menahan beban gempa lateral atau angin. Desain pelat dasar dengan momen besar dapat dilihat pada gambar dibawah.



**Gambar 2. 36** Desain pelat dasar dengan momen besar

(Sumber : Fisher dan Kloiber, 2006)

Dalam menyatakan bahwa sebuah pelat dasar menerima eksentrisitas kecil dapat dipastikan dengan nilai  $e$  lebih besar dari pada  $e_{kritis}$ . Untuk menghitung nilai  $e$  dan nilai  $e_{kritis}$ , maka digunakan persamaan berikut :

$$e = M_r / P_r \quad (2.75)$$

$$e_{kritis} = \frac{N}{2} - \frac{P_r}{2q_{max}} \quad (2.76)$$

Pelat dasar yang diirencanakan adalah pelat dengan dimensi asumsi, dimana pelat dasar tersebut akan dikontrol setelah adanya nilai beban. Pelat dasar dapat dikontrol dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\left(f + \frac{L}{2}\right)^2 > \frac{1P_u(e+f)}{q_{max}} \quad (2.77)$$

Untuk menghitung tebal pelat ( $t_p$ ) yang dibutuhkan, dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Y = f + \frac{L}{2} \pm \sqrt{f + \frac{L}{2} - \frac{2P_u(e+f)}{q_{max}}} \quad (2.78)$$

Untuk  $Y \geq m$ , maka

$$t_{p(req)} = 1,5m \sqrt{\frac{f_p(max)}{f_y}} \quad (\text{LFRD}) \quad (2.79)$$

$$t_{p(req)} = 1,83m \sqrt{\frac{f_p(max)}{f_y}} \quad (\text{ASD}) \quad (2.80)$$

Untuk  $Y < m$ , maka

$$t_{p(req)} = 2,11 \sqrt{\frac{f_p(max)Y(m-\frac{Y}{2})}{f_y}} \quad (\text{LFRD}) \quad (2.81)$$

$$t_{p(\text{req})} = 2,58 \sqrt{\frac{f_{p(\text{max})} Y(m-\frac{Y}{2})}{f_y}} \quad (\text{ASD}) \quad (2.82)$$

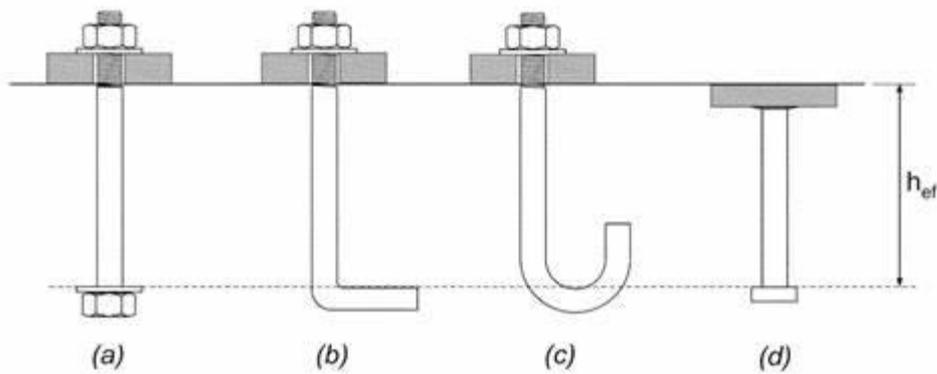
Dimana :

$t_{p(\text{req})}$  = Tebal minimum pelat

### 2.9.12 Pengankuran

Sistem pengankuran berlaku pada semua *baseplate*, karena angkur pada akan menjaganya tetap pada tumpuan dan mencegah kegagalan pada *baseplate baseplate*. Angkur berfungsi untuk mengikat konstruksi baja dengan beton (pondasi), tanpa menggunakan angkur konstruksi rangka tidak dapat menyatu dengan struktur lainnya.

Berdasarkan laman *chemical anchor indonesia*, angkur terbagi menjadi 2 jenis berdasarkan pemasangannya yaitu *chemical anchor* dan *mechanical anchor*. *chemical anchor* merupakan pemasangan angkur dengan bantuan zat kimia yang berfungsi untuk menambah daya rekat sehingga angkur lebih kuat dalam menahan beban. Sedangkan *mechanical anchor* merupakan pemasangan angkur yang tidak menggunakan zat kimia sebagai perekatnya, namun daya rekat angkur berasal dari kekuatan material yang digunakan untuk menempel. Metode *chemical anchor* biasanya dipakai dalam pemasangan baja *wide flange* (WF) dan H-Beam untuk pemabngunan konstruksi baja, baik itu berupa kolom, balok dan elemen struktur lainnya. Dari segi sistem pemasangan, angkur terbagi atas 2 yaitu *cast in place* dan *post installed*. Dimana *cast in place* merupakan angkur yang ditanam dalam beton sebelum beton dicor, dalam hal ini angkur yang terpasang tidak dapat dipindahkan lagi karena telah tertanam permanen pada beton yang mengeras. Sedangkan *post installed* merupakan angkur yang dipasang setelah beton mengeras, hal ini memungkinkan angkur masih dapat dipindahkan karena sistem angkur terpasang pasca cor (SNI 2847-2019). Gambar Jenis-jenis angkur pada sistem pemasangan *cast in place* dan *post installed* dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2. 37** Jenis-jenis angkur berdasarkan sistem pemasangan *cast in place*

(Sumber : Dewobroto, 2015)

Dimana pada gambar diatas jenis-jenis bautnya adalah :

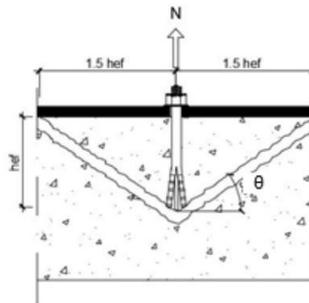
- a. Baut segienam dan *ring*
- b. Baut-L
- c. Baut-J
- d. *Stud*

### 2.9.12.1 Perilaku kegagalan angkur terhadap beban tarik

Kegagalan dapat terjadi apabila angkur diberikan beban tarik. Kegagalan dapat terjadi pada beton maupun material ankurnya.

#### 1. Kegagalan jebol pada beton (*concrete breakout*)

Kegagalan jebol pada beton (*concrete breakout*) bisa terjadi apabila kedalaman pemasangan angkur relatif kecil (pendek), proses mencabut angkur akan menyebabkan pengembangan permukaan sehingga terjadi kegagalan disekitar angkur dalam bentuk kerucut dengan sudut  $35^\circ$ .



**Gambar 2. 38** Kegagalan *concrete breakout*

(Sumber : Kresiarati, 2022)

Kuat jebol beton terhadap tarik dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$N_{cb} = \frac{A_{nc}}{A_{nco}} \times y_{edN} \times y_cN \times y_pN \times y_{nbN} \quad (2.83)$$

Dimana jika :

- Angkur dengan  $c_a < 1,5h_{ef}$ , maka

$$A_{nc} = (2 \times 1,5h_{ef}) \times (c_a + 1,5h_{ef})$$

- Angkur dengan  $c_a > 1,5h_{ef}$ , maka

$$A_{nc} = A_{nco} = 1,0$$

- Luas proyeksi maksimum kerusakan  $A_{nco}$ , maka

$$A_{nco} = (2 \times 1,5h_{ef}) \times (2 \times 1,5h_{ef}) = h_{cf}^2$$

- Faktor modifikasi  $y_{edN}$  jika  $c_a \geq 1,5h_{ef}$ , maka

$$y_{edN} = 1,0$$

- Faktor modifikasi  $y_{edN}$  jika  $c_a < 1,5h_{ef}$ , maka

$$y_{edN} = 0,7 + 0,3 \frac{c_a}{1,5} h_{cf}$$

- Faktor modifikasi  $y_cN$  untuk angkur cor ditempat bernilai 1,25

- Faktor modifikasi  $y_cN$  untuk angkur pasca cor bernilai 1,4

- Kuat dasar jebol beton  $N_b$

$$N_b = k_c \times l_a \sqrt{f_c} \times h_{cf}^{1,5}$$

- Nilai  $k_c$  untuk angkur dengan tipe cor ditempat adalah 1,0

Dimana :

$N_{cb}$  = Kuat jebol nominal

$A_{nco}$  = Luas proyeksi maksimum kerusakan ankur

$y_{ed}N$  = Faktor modifikasi untuk memephrhitungkan pengaruh ankur dibagian pinggir pondasi

$y_cN$  = Faktor modifikasi untuk meningkatkan kuat tarik

$N_b$  = Kuat dasar jebol beton ankur terhadap tarik pada kondisi brton retak

## 2. Kegagalan ankur cabut (*Pull-out failure*)

Kegagalan ini terjadi pada pengangkutan yang menyebabkan ankur tercabut ke atas dan tidak diikuti oleh material betonnya. Beban tarik yang bekerja pada ankur menyebabkan sistem *interlock* tidak dapat menahan beban tarik.

Dalam Building code requirements for structural concrete dari American Concrete Institut (ACI) dan beberapa standart lainnya tidak memodelkan kapasitas *Pull-out failure* rencanan sehingga kegagalan ini diasumsikan menggunakan pendekatan bond slip ( ankur kehilangan lekatan) pada tulangan ulir.

Kuat cabut ankur terhadap tarik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$R_n / \phi = (A_{\text{ankur}} \times f_{nt}) / \phi \quad (2.84)$$

Dimana :

$R_n$  = Kuat nominal ankur

$f_{nt}$  = Tegangan tarik ankur

$\phi$  = Faktor reduksikuat ankur terhadap tarik

Kuat cabut ankur dari beton dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$R_n / \phi = (8 \times A \times f'_c \times y_{cp} N) / \phi \quad (2.85)$$

$R_n$  = Kuat cabut nominal

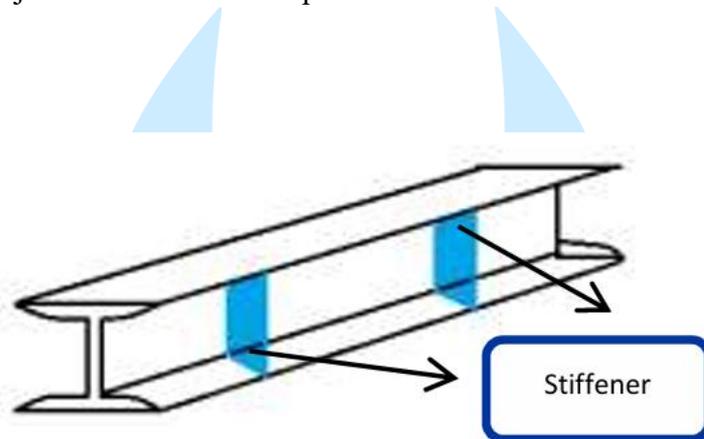
$f'_c$  = Kuat tekan beton

$A$  = luas tumpu netto dari ankur kepala segienam

$y_{cp}N$  = Faktor modifikasi ankur pada daerah yang secara analisis belum timbull retak pada kondisi beban kerja. Nilai faktor jika terjadi retak dalah 1,0.

### 2.9.13 Stiffener (pengaku)

*Stiffener* merupakan bantalan atau pelat pengaku yang digunakan pada titik tumpuan balok ketika badan balok tidak mampu menahan beban terpusat. Kondisi batas yang terjadi adalah leleh likal pada web dan tekuk lokal web (Olivia Maria, 2016).



**Gambar 2. 39** *Stiffener* pada badan balok baja WF

(Sumber : Maria, 2016)

Kegagalan yang terjadi pada baja adalah kegagalan tekuk (*buckling*). Tekuk terjadi karena gaya aksial atau gaya yang bekerja pada sumbu utama penampang struktur, tekuk pada abaja terbagi menjadi 2 jenis yaitu tekuk lokal dan tekuk global. Tekuk biasanya terjadi pada profil baja yang memiliki kelangsingan , untuk mencegah terjadinya tekuk lokal pada daerah tekan akibat gaya lateral, maka perlu direncanakan stfinnener yang dapat mencegah tekuk lokal pada badan profil (*web*) akibat gaya geser dan mencegah tekuk lokal pada sayap profil (*flage*).

Dalam perencanaan *stiffener* harus ditinjau dari kebutuhan profil. Apabila  $R_u > \phi \times R_b$  maka perlu dipasang *stiffener*. Untuk mengontrol kapasitas *stiffener* digunakan persamaan sebagai berikut.

- Lebar *stiffener* ( $b_s$ )

$$b_s > \frac{b_f}{3} - \frac{t_w}{2} \quad (2.86)$$

- Tebal *stiffener* ( $t_f$ )

$$t_f > \frac{t_f}{2} \text{ dan harus memenuhi } \frac{b_s}{t_s} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.87)$$

- Luas minimum ( $A_s$ )

$$A_s \geq 0,5 \times D \times A_w \times (1 + c_v) \times \left( \frac{a}{h} - \frac{\left(\frac{a}{h}\right)^2}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}} \right) \quad (2.88)$$

## 2.10 Pondasi

### 2.10.1 Pengertian pondasi

Fondasi adalah bangunan yang sangat menentukan kuatnya struktur nya, baik struktur atas maupun struktur bawah. Struktur bawah merupakan bagian bangunan yang letaknya dibawah permukaan tanah dan biasa disebut sebagai pondasi. Pondasi berfungsi untuk meneruskan beban struktur atas dan berat pondasi itu sendiri ke lapisan tanah yang ada dibawahnya tanpa diikuti dengan keruntuhan (Surendro, 2020).

### 2.10.2 Jenis-jenis pondasi

Secara umum fondasi terbagi atas 2 macam yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan ditentukan berdasarkan keadaan perbandingan antara kedalaman fondasi ( $D$ ) dan lebar pondasi ( $B$ ), sebagai berikut :

- Pondasi dangkal jika  $D/B < 1$
- Pondasi dalam jika  $D/B > 4-5$

Penentuan tipe pondasi dirancang berdasarkan kondisi tanah yang ada di area lokasi pembangunan, ada dua jenis pondasi yang dapat digunakan , yaitu :

#### 1. Pondasi dangkal

Jika kedalaman tanah keras terletak dekat dari permukaan tanah adalah  $< 3$  m maka pondasi yang dapat digunakan adalah :

- Pondasi persegi/bujur sangkar atau persegi panjang (*spread footing*)
- Pondasi lajur (*strip footing*)
- Pondasi umpak (*trapesium footing*)
- Pondasi *raft* (plat penuh)
- Pondasi block (kaison, sumuran atau blok dengan angker)
- Pondasi persegi/bujur sangkar yang diperbesar (*enlarge pad* atau *enlarge spread footing*)

## 2. Pondasi dalam

Jika kedalaman tanah keras terletak jauh dari permukaan tanah yaitu  $> -3\text{m}$ , maka pondasi yang dapat digunakan adalah

- a. Pondasi tiang pancang
- b. Pondasi tiang bor
- c. Pondasi tiang strauss dan sebagainya

Istilah tanah keras dapat diasumsikan memiliki kriteria sebagai berikut :

1. Secara visual tidak terurai, masif, berbentuk batuan, tidak bisa dipecah dengan manual tapi harus dengan ripper atau blasting.
2. Mempunyai tekanan konus  $q_c \geq 200 \text{ kg/cm}^2$  (uji DCPT/sondir) dan atau nilai N-SPT  $\geq 50$ .

### 2.11 Rencana Anggaran Biaya

John W. Niron dalam bukunya Pedoman Praktis Anggaran dan Borongan Rencana anggaran biaya bangunan (1992), rencana perhitungan biaya anggaran memiliki defenisi sebagai berikut :

1. Rencana : Sekumpulan rencana yang meliputi rincian dan rencana pelaksanaan pembangunan suatu bangunan
2. Aggaran : Perhitungan biaya berdasarkan gambar bestek
3. Biaya : Jumlah pengeluaran yang dikeluarkan yang berhubungan dengan borongan dimana hal tersebut sesuai dengan persyaratan yang sudah ada

Perhitungan anggaran biaya ini bertujuan untuk menentukan besarnya biaya yang diperlukan, untuk mengendalikan pengeluaran per pekerjaan yang akan dilaksanakan, untuk menghindari penundaan atau penghentian pekerjaan dan untuk meminimalkan pemborosan biaya yang terjadi selama pelaksanaan pekerjaan. Perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan berdasarkan gambar rencana , spesifikasi yang telah ditentukan, upah dan harga bahan dan alat.

Adapun komponen penyusun Rencana Anggaran Biaya :

1. Biaya Langsung
  - a. Kebutuhan Material (Unsur Bahan) Kebutuhan material meliputi semua komponen pokok dan komponen penunjang dari material yang digunakan,

mengingat kedua komponen tersebut akan berpengaruh cukup besar pada biaya. Hal yang harus diperhitungkan dalam kebutuhan material yaitu:

- 1) Tercecer pada saat mengangkut
  - 2) Untuk struktur sambungan
  - 3) Rusak dan cacat
  - 4) Susut oleh sebab lain
  - 5) Struktur penunjang sementara
  - 6) Kebutuhan Tenaga Kerja (Unsur Upah)
  - 7) Biaya Peralatan
- b. Biaya Tak Langsung Penetapan biaya tenaga kerja merupakan komponen yang paling sulit dari analisis Rencana Anggaran Biaya. Hal ini disebabkan adanya beberapa faktor yang mempengaruhi, yaitu:
- 1) Kondisi tempat kerja
  - 2) Keterampilan
  - 3) Lama waktu kerja
  - 4) Persaingan tenaga kerja
  - 5) Indeks biaya hidup
- c. Kebutuhan Peralatan Kebutuhan peralatan meliputi antara lain:
- 1) Pembelian dan sewa alat
  - 2) Mobilisasi dan demobilisasi
  - 3) Transportasi
  - 4) Memasang dan membongkar
  - 5) Pengoperasian selama konstruksi berlangsung
2. Biaya Tak Langsung
- a. Biaya Umum Biaya umum terdiri dari:
- 1) Gaji pekerja tetap
  - 2) Sewa kantor
  - 3) Akomodasi perjalanan
  - 4) Dokumentasi
  - 5) Bunga bank
  - 6) Peralatan kecil dan habis pakai
- b. Biaya Proyek Biaya proyek terdiri dari:

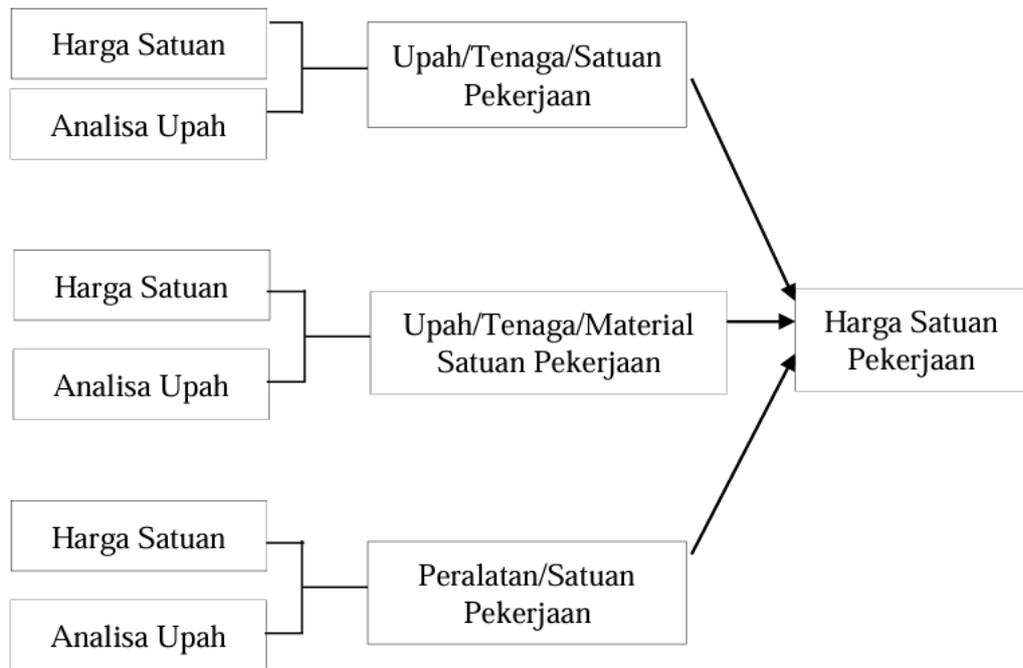
- 1) Keamanan dan keselamatan kerja
- 2) Asuransi
- 3) Pajak
- 4) Surat ijin
- 5) Pengujian dan pengetesan

Pada buku Rencana dan *Estimate Real of Cost* ( H. Bachtiar Ibrahim, 1993) dijelaskan bahwa anggaran biaya suatu bangunan atau proyek merupakan hitungan banyaknya biaya yang dibutuhkan untuk bahan, upah tenaga kerja berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan biaya-biaya lainnya yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek konstruksi tersebut. Biaya anggaran merupakan jumlah dari masing-masing hasil perkalian volume dengan harga satuan pekerjaan (HSP) yang berhubungan dengan proyek. Maka dapat disimpulkan untuk mencari rencana anggaran biaya dalam suatu proyek adalah sebagai berikut :

$$RAB = \sum(\text{Volume} \times \text{Harga satuan pekerjaan}) \quad (2.89)$$

### **2.11.1 Analisa Harga Satuan Pekerjaan**

Analisis harga satuan pekerjaan adalah suatu cara menghitung harga satuan pekerjaan konstruksi berupa perkalian kebutuhan bahan, upah peralatan dengan harga bahan konstruksi yang digunakan, standar pekerja dan harga sewa/pembelian alat yang akan dipakai untuk menyelesaikan pekerjaan per satuan. Analisis harga satuan tenaga kerja dipengaruhi oleh angka koefisien yang menunjukkan nilai satuan alat dan upah tenaga kerja yang dapat dijadikan acuan untuk merencanakan atau mengendalikan biaya pekerjaan. Dalam analisis BOW ditetapkan angka (indek) jumlah tenaga pekerja dan bahan atau material bangunan untuk per satuan pekerjaan, berikut merupakan skema harga satuan pekerjaan :



**Gambar 2. 40** Skema Harga Satuan Pekerjaan (HSP)  
(Sumber : Ibrahim, 1993)

a. Analisis harga satuan bahan/material

Harga satuan bahan adalah harga satuan dari bahan atau material bangunan yang ada dipasaran pada saat anggaran biaya tersebut dibuat. Koefisien bahan merupakan koefisien yang menunjukkan keperluan bahan atau material bangunan untuk setiap jenis pekerjaan.

$$\sum_{\text{Bahan}} = \text{Harga satuan bahan} \times \text{Koefisien analisa bahan} \quad (2.90)$$

b. Analisis harga satuan upah pekerja

Harga satuan upah pekerja adalah kebutuhan tenaga kerja (SDM) dan biaya untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut per satuan pekerjaan. Koefisien upah pekerja merupakan kebutuhan tenaga kerja untuk setiap posisi/ penempatan kerja.

$$\sum_{\text{Upah}} = \text{Harga satuan upah} \times \text{Koefisien analisa upah} \quad (2.91)$$

c. Analisis harga satuan alat

Harga satuan alat adalah perhitungan banyaknya alat yang digunakan dan besarnya biaya sewa alat untuk menyelesaikan per satuan pekerjaan. Koefisien alat merupakan kebutuhan alat untuk setiap item pekerjaan.

$$\sum_{\text{Alat}} = \text{Harga satuan alat} \times \text{Koefisien analisa alat} \quad (2.92)$$

Maka untuk menghitung harga satuan pekerjaan (HSP) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{HSP} = \text{Bahan} + \text{Upah} + \text{Alat} \quad (2.93)$$

### 2.11.2 Tahapan penyusunan rencana anggaran biaya

Berdasarkan buku Manajemen Proyek Konstruksi yang disusun oleh Mahyuddin tahun 2023 penyusunan rencana anggaran biaya terbagi menjadi dua tahap yaitu tahap persiapan dan tahap penyusunan rencana anggaran biaya, dimana tahapan dalam perencanaan anggaran biaya dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2. 41** Tahapan penyusunan rencanan anggaran biaya

(Sumber : Mahyuddin dkk, 2023)

## **2.12 Bahaya dan Pengendalian Resiko Kecelakaan Kerja**

### **2.12.1 Bahaya**

Bahaya berarti segala sesuatu termasuk situasi, tindakan yang mungkin menyebabkan kecelakaan atau kerugian pada orang, kerusakan atau gangguan lainnya. Oleh karena adanya suatu bahaya, maka diperlukan upaya pengendalian agar bahaya tersebut tidak menimbulkan akibat yang merugikan (Ramli, 2010). Mengidentifikasi bahaya berarti memperjelas dan mengendalikan bahaya dan risiko yang terkait dengan kegiatan operasional dan produksi setiap perusahaan, baik kegiatan rutin maupun non-rutin.

### **2.11.2 Sumber Bahaya**

Pada umumnya di semua tempat kerja selalu terdapat sumber bahaya yang dapat mengancam kesehatan dan keselamatan pekerja. Syukri Sahab (1997) mengatakan bahwa kecelakaan dan penyakit akibat kerja bisa terjadi karena adanya sumber bahaya di lingkungan kerja tersebut yang membahayakan pekerja. Dimana sumber bahaya yang dimaksudkan berasal dari :

#### **1. Bangunan, peralatan, dan instalasi**

Bangunan, peralatan, dan instalasi dapat menimbulkan bahaya bagi pekerja maupun manusia disekitarnya. Bahaya yang ditimbulkan bisa berasal dari bangunan yang kurang kokoh atau tidak memenuhi persyaratan yang sesuai standart. Desain ruang dan tempat kerja serta ventilasi yang baik juga harus diperhatikan guna untuk mencegah adanya sumber bahaya.

#### **2. Bahan**

Bahaya yang berasal dari bahan memiliki risiko berdasarkan sifat bahan tersebut yaitu :

- a. Mudah terbakar
- b. Mudah meledak
- c. Menimbulkan alergi atau iritasi
- d. Bersifat racun
- e. Radioaktif
- f. Menimbulkan kerusakan pada kulit dan jaringan tubuh
- g. Mengakibatkan kelainan pada janin

h. Menyebabkan kanker

### 3. Proses

Proses dapat menimbulkan bahaya yang bermacam-macam tergantung dari teknologi yang digunakan. Dalam proses pada industri ada proses yang sederhana namun ada juga proses yang rumit. Dalam proses biasanya menggunakan suhu atau tekanan yang tinggi yang menyebabkan timbulnya resiko bahaya. Dari proses ini biasanya akan timbul asap, hawa panas, kebisingan, dan bahaya mekanis seperti terjepit atau tertimpa material atau bahan. Hal ini lah yang mengharuskan kita harus berhati-hati dan teliti saat bekerja.

### 4. Cara kerja

Bahaya dapat berasal dari cara kerja yang dilakukan oleh pekerja, dimana cara kerja yang kurang tepat dapat membahayakan pekerja maupun manusia disekitarnya, bahaya yang dimaksud dapat terjadi karena :

- a. Cara mengangkat atau mengangkut, jika dilakukan dengan cara yang salah atau kurang tepat maka dapat menyebabkan cedera pada tulang punggung.
- b. Cra kerja yang menyebabkan banyak debu berhamburan atau serbuk logam, petcikan api dan tumpahan bahan berbahaya.
- c. Tidak memakai alat pelindung diri sesuai dengan standart keselamatan, atau memakai APD tidak sesuai dengan kebutuhan.

### 5. Lingkungan/tempat kerja

Lingkungan/tempat kerja juga dapat menimbulkan bahaya, berdasarkan permenaker No. PER. 05/MEN/1996 pasal 1 tentang SMK3 mengatakan bahwa tempat kerja merupakan lapangan atau ruangan, tertutup atau terbuka, bergerak atau tetap, dimana pekerja bekerja, atau tempat yang sering dimasuki oleh pekerja untuk kepentingan suatu usaha. Dimana

## **2.12.3 Resiko Kecelakaan Kerja**

Kecelakaan kerja adalah kejadian yang tidak diinginkan yang terjadi secara tiba-tiba dan menimbulkan kerugian materiil, kerugian atau bahkan korban jiwa. Lingkungan kerja yang berbahaya dan kesalahan manusia adalah asal muasal kecelakaan kerja ( Tarwaka, 2012). Banyak faktor yang memengaruhi terjadinya

kecelakaan kerja. Notoatmodjo (2003) mengatakan bahwa kecelakaan kerja terjadi karena ulah pekerja itu sendiri, seperti kurangnya keterampilan, kelelahan akibat jam kerja yang berlebihan, kesalahan rekrutmen pekerja dan pengawasan yang kurang memadai. Kecelakaan kerja juga terjadi karena lingkungan kerja yang tidak memenuhi standar, perlengkapan peralatan yang digunakan selama bekerja, alat pelindung diri Ketidakersediaan pribadi, tingkat pengetahuan tentang K3 yang kurang dan pedoman operasional baku yang minim.

### 2.13 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel 4.1:

**Tabel 4. 1** Penelitian terdahulu

No.	Nama dan Tahun Publikasi	Hasil Penelitian
1.	Decky Edianto, 2019	<p>Judul : Perencanaan elevator barang untuk proyek pembangunan gedung 13 lantai dengan kapasitas angkut maksimum</p> <p>Metode : Kuantitatif</p> <p><b>Hasil</b> : Dari perencanaan elevator barang untuk proyek pembangunan gedung 13 lantai dengan kapasitas angkat maksimum dapat disimpulkan bahwa motor listrik yang digunakan adalah 23,53 kw dan 32 HP. Dengan putaran motor (n) 1500 rpm dan Induksi motor listrik AC 3 phase 380 V. Untuk tali kawat yang digunakan adalah tali kawat baja dengan diameter 20,00 mm. Diameter serabut kawat (<math>\delta</math>) 0,98 mm dan Tipe tali kawat yang digunakan 6 <math>\times</math> 37. Drum pengangkat berdiamter 530 mm, Panjang keseluruhan drum (L) 1060,00 mm dan tebal dinding drum (W0) 20,6 mm. Pulley pengakat berdiameter 540 mm. Poros drum penggerak berdiameter 130 mm. Pasak pada poros drum penggerak, Lebar pasak (b) 32 mm, tebal pasak (h) 18 mm, kedalaman alur pada poros (<math>t_1</math>) 11 mm, dan kedalaman alur pada hub (<math>t_2</math>) 7,4 mm. Rem blok ganda Momen gaya poros pada motor (M) 1527,89 kg cm. Diameter poros roda gigi cacing (<math>d_{21}</math>) 90,00 mm. Poros cacing (<math>d_{22}</math>) 40.00 mm, modul normal</p>

---

(*mn*) 35,11 mm, diameter lingkaran Tinggi kepala cacing (*hk*) 13,11 mm, tinggi kaki gigi cacing (*hf*) 40,62 mm. Kelonggaran puncak (*c*) 5,51 mm. Tinggi gigi (*H*) 75,73 mm, diameter luar cacing (*dk1*) 272,39 mm, diameter kaki cacing (*dr1*) 120,93 mm, diameter kepala roda cacing (*dr*) 526,60 mm dan diameter kaki roda cacing (*dr2*) 357,15 mm. untuk diameter Poros pulley pendukung diameter poros (*ds*) 150 mm. Pegas untuk buffer kabin dengan diameter pegas (*D*) 300 mm, diameter kawat pegas (*d*) 30 mm. Pegas untuk buffer bobotimbang berdiameter 300mm dan diameter kawat pegas 30 mm.

---

2. Yanuar Eka Wijaya, Rachmat Firdaus, 2024

**Judul :** Perencanaan *Lift* Barang Kapasitas 600 Kg dengan Variabel Tali Baja (Steel Wire Rope) Tunggal

**Metode :** Deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif

**Hasil :** Dari hasil analisis data yang telah dilakukan didapatkan umur tali baja dengan tipe yang berbeda 600Kg, dengan tipe tali 6x7, 6x19, 6x37 dan 6x61 maka dihasilkan kesimpulan bahwa, untuk tali baja dengan tipe 6x19 dengan beban 600 kg yang memiliki tegangan sebesar 401 N/mm<sup>2</sup> dengan jarak waktu umur yaitu 17 bulan dengan perlakuan kerja relatif ringan. Untuk tali Baja dengan tipe 6x7 dengan beban 600kg didapati tegangan sebesar 350 N/mm<sup>2</sup> dan umur yang didapat 15 bulan digunakan untuk jenis pekerjaan ringan. Untuk tali baja dengan tipe 6x37 dengan beban 600 kg yang memiliki tegangan sebesar 333 N/mm<sup>2</sup> dengan jarak waktu umur yaitu 17 bulan dengan perlakuan kerja relatif ringan. Untuk tali baja dengan tipe 6x61 dengan beban 600kg didapati tegangan sebesar 327 N/mm<sup>2</sup> dan umur yang didapat 34 bulan dengan perlakuan kerja relatif ringan.

---

3. Totok Suwanda1, Sudarisman, Ajis Kurniawan, Nur Ardiyansyah, 2023

**Judul :** Pembuatan *Lift* Barang Untuk Rumah Dua Lantai

**Metode :** Studi Literatur

**Hasil :** Hasil pembuatan *lift* barang memiliki dimensi tinggi 6 meter, panjang 0,8 meter dan lebar 0,8 meter, sedangkan sangkar mempunyai dimensi tinggi 1,5 meter panjang 0,74 meter dan lebar 0,74 meter dengan berat 78,63 Kg . Penggerak yang digunakan adalah Electric hoist MOLLAR 1200 kg dengan spesifikasi V/HZ/W : 220v/50HZ/1800W, dalam menarik dan menurunkan Motor penggerak

---

menggunakan tali baja (wirerope) 6 mm yang melingkar pada puli mesin (sheave) dengan kecepatan dari motor penggerak adalah 10 m/s. Proses pembuatan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu Pembuatan rangka utama, Pembuatan sangkar dan pembuatan tempat elektrikal hoist. Proses pembuatan membutuhkan waktu 2 bulan dengan rincian total biaya meliputi biaya bahan, pekerja dan mesin yang berjumlah Rp 21.276.000,00.

4. Asep Risdiyana

**Judul** : Analisis kekuatan tali baja pada elevator barang dengan kapasitas angkat *hoist* 3 ton

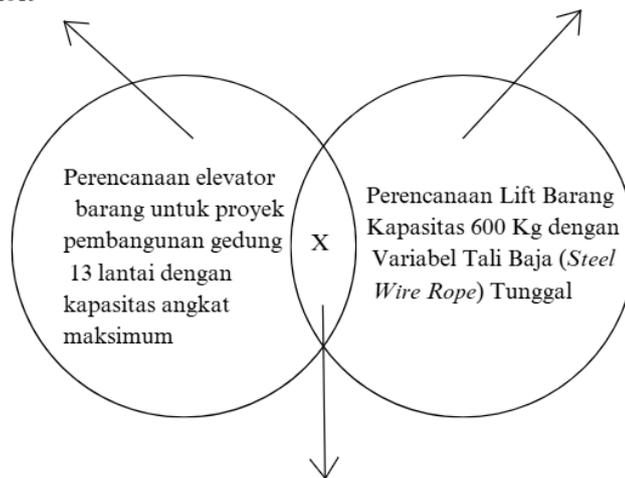
**Metode** : Kuantitatif

**Hasil** : Pada beban total pada elevator 2662.5 kg, maka Hoist yang dipakai kapasitas 3 Ton dalam titik aman  $Q$  total 2662,5 kg (2,6 Ton) < 3000 kg (3 Ton), toleransi safety 11.25 %. Pada Tegangan maksimum  $S = 1401.35$  kg, lebih kecil dari tegangan yang diizinkan  $S = 1965,270$  kg, toleransi safety 28,69 % . Pada beban patah maksimum adalah  $P = 7864,52$  kg, lebih kecil dibandingkan tegangan patah yang diizinkan standar SNI ( $P_b$ ) = 10808.99 kg, toleransi safety 27,24 β 0,7 0,5 0,4 0,3 0,2 %. Pada tegangan tarik pada tarikan tali baja Maksimum  $\sigma_t = 9.09$  kg/mm<sup>2</sup>, lebih kecil dibandingkan dengan tegangan tarik yang diizinkan  $\sigma_{\Sigma} = 29,09$  kg / mm<sup>2</sup>, toleransi safety tegangan tarik adalah 68,75 %

Pada penelitian tugas akhir ini, posisi penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini untuk melihat variabel x yang berkaitan dengan penelitian terdahulu.

Decky Edianto, 2019

Yanuar Eka Wijaya,  
Eng Rachmat Firdaus, 2024



Pianti Putriana Panjaitan, 2024

**Gambar 2. 42** Posisi Penelitian