

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Spesifikasi Lift Barang

Spesifikasi lift merupakan hal yang sangat perlu direncanakan dengan matang, karena spesifikasi lift akan menentukan fungsi lift tersebut. Spesifikasi lift akan menggambarkan ukuran, kapasitas, komponen atau fitur-fitur dalam sebuah lift tergantung dengan kebutuhan penggunaannya. Spesifikasi lift yang dimaksud adalah kapasitas angkut, dimensi kabin, jenis sistem penggerak, material struktur, sistem keamanan serta fitur operasional agar lift bekerja dengan baik dan aman. Pada penelitian ini beberapa data spesifikasi lift didapatkan berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan yang diperoleh peneliti, kemudian diolah untuk mendapatkan nilai dari parameter yang dibutuhkan.

##### 4.1.1 Kapasitas

Penentuan kapasitas lift barang ditentukan berdasarkan beban maksimum (kg) yang diangkut dalam suatu gedung tersebut. Dari hasil wawancara yang telah dilakukan peneliti, beban maximum yang diangkut berupa Kontainer *box* dengan bobot per *box* adalah 19,5 kg (*box container* jumbo ukuran 195 liter). Jumlah kontainer *box* yang rencana diangkut adalah 6 kontainer *box*. Sehingga dalam penentuan kapasitas lift barang pada penelitian ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

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

$Q = 19,5 \text{ kg} \times 6 \text{ Box}$

$Q = 117 \text{ kg}$

$Q = 200 \text{ kg}$

Pada dasarnya lift barang tidak memiliki standar yang baku, karena kapasitas lift tergantung banyaknya barang yang diangkut. Namun pada pelaksanaannya, kapasitas lift barang yang dipakai adalah 500 kg, 1 ton, 3 ton hingga 5 ton (Nikisae Elevator, 2019). Maka pada penelitian ini kapasitas rencana yang digunakan adalah 500 kg.

#### 4.1.2 Sangkar/kereta

Sangkar atau kereta yang digunakan pada lift barang penelitian ini dapat dihitung berdasarkan dimensi barang yang digunakan pada perhitungan kapasitas lift barang sebelumnya yaitu menggunakan dimensi *box container*. Dimensi 1 *box* kontainner adalah 915 x 650 x 700 mm. Maka dimensi kereta atau sangkar lift barang yang dibutuhkan untuk menagangkut 12 kontainer adalah sebagai berikut.

Panjang Sangkar :

$$P = 915 \text{ mm} \times 2 \text{ Box}$$

$$P = 1830 \text{ mm}$$

$$P = 1,83 \text{ m}$$

Maka panjang sangkar yang digunakan adalah 1,83 meter.

Lebar sangkar :

$$L = 650 \text{ mm} \times 2 \text{ Box}$$

$$L = 1300 \text{ mm}$$

$$L = 1,3 \text{ m}$$

Maka lebar sangkar yang digunakan adalah 1,3 meter.

Tinggi sangkar :

$$T = 700 \text{ mm} \times 3 \text{ Box}$$

$$T = 2100 \text{ mm}$$

$$T = 2,1 \text{ m}$$

Maka tinggi sangkar yang digunakan adalah 2,1 meter.

Dari hasil perhitungan diatas maka diperoleh data dimensi sangkar yang digunakan pada penelitian ini adalah 1,83 X 1,3 X 2,1 meter.

#### 4.1.3 Tali kawat baja

Tali yang digunakan menarik sangkar harus dirancang menggunakan tali yang materialnya berasal dari baja atau logam lainnya. Penggunaan tali baja sebagai penarik sangkar juga dipilih karena efisiensi biaya, karena menggunakan tali baja lebih murah dibandingkan menggunakan tali rantai. Dari segi kegagalan, penggunaan tali baja lebih aman dibandingkan penggunaan tali rantai. Tali baja tidak akan langsung putus saat mengalami kegagalan, tali baja bagian luar akan

terlebih dahulu putus sebelum tali bagian luar yang menandakan bahwa tali tersebut perlu diganti. Sedangkan kegagalan pada tali rantai akan langsung putus dan hal ini menimbulkan risiko bahaya yang sangat besar dibandingkan penggunaan tali baja.

#### 1. Menghitung berat kabin kosong ( $G_k$ )

Berat kabin kosong merupakan berat sangkar lift tanpa adanya beban atau muatan yang dimasukkan, perhitungan berat kabin kosong ( $G_k$ ) dapat dilihat pada tabel dan contoh perhitungan berikut.

**Tabel 4. 2** Data elemen kabin/kereta lift barang

| Elemen                             | P       | L   | T    | Berat   |
|------------------------------------|---------|-----|------|---------|
|                                    | m       | m   | m    | kg      |
| Frame Channel 100x50x5x7,5         | 20,8    |     |      | 194,688 |
| Pelat borders (lantai ) tebal 2 mm | 1,8     | 1,3 | 0,02 | 45,2679 |
| Pelat besi (Dinding) tebal 1 mm    | 1,8     | 1,3 | 2,1  | 56,5023 |
| Pelat besi (Atap) tebal 1 mm       | 1,8     | 1,3 | 0,01 | 10,1548 |
|                                    | 306,613 |     |      | kg      |
| Berat total                        | 0,3     |     |      | ton     |

Dimensi setiap elemen sangkar didapatkan dari hasil desain peneliti, yang kemudian dilampirkan kedalam tabel untuk mendapatkan berat sangkar. Berikut salah satu contoh perhitungan elemen sangkar yaitu Frame Channel 100x50x5x7,5.

$$\text{Berat frame} = P \times BJ$$

$$\text{Berat frame} = 20,8 \times 9,36$$

$$\text{Berat frame} = 194,688 \text{ kg}$$

$$\text{Berat frame} = 0,1 \text{ ton}$$

#### 2. Menghitung beban tali ( $G_{kt}$ )

Beban tali yang dimaksud adalah beban dari tali baja pengangkat termasuk kabel-kabel listrik dan tali-tali yang lain yang ada pada perencanaan lift barang ini. Dimana beban tali ini diasumsikan adalah 50 kg atau 0,49 kN.

### 3. Menghitung beban yang dipikul setiap tali kawat baja

Beban total yang ditahan oleh tali baja yang digunakan untuk mengangkat kabin atau sangkar lift dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$S = \frac{G_{\text{tot}}}{n \cdot \eta \cdot \eta_1}$$

Dimana untuk menghitung  $G_{\text{tot}}$  dilakukan perhitungan terlebih dahulu.

$$G_{\text{tot}} = G_k + Q + G_{\text{kt}}$$

$$G_{\text{tot}} = 306,61 \text{ kg} + 500 \text{ kg} + 50 \text{ kg}$$

$$G_{\text{tot}} = 856,61 \text{ kg}$$

$$G_{\text{tot}} = 0,85 \text{ ton}$$

$$S = \frac{G_{\text{tot}}}{n \cdot \eta \cdot \eta_1}$$

$$S = \frac{856,61}{1 \times 0,971 \times 0,98}$$

$$S = 900,2 \text{ kg}$$

$$S = 8,82 \text{ kN}$$

### 4. Luas penampang efektif tiap kawat baja (A)

$$A = \frac{S}{\frac{\sigma_{\text{maks}}}{K} - \frac{d}{D_{\text{min}}} \times \frac{E'}{1,5\sqrt{i}}}$$

$$A = \frac{8822}{\frac{1800}{5,5} - \frac{1}{26,5} \times \frac{77,22}{1,5\sqrt{222}}}$$

$$A = 26,98 \text{ mm}^2$$

Maka luas penampang efektif kawat baja adalah 26,98 mm<sup>2</sup>.

### 5. Diameter utama tali kawat baja (d)

$$d = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 26,98}{3,14}}$$

$$d = 5,86 \text{ mm}$$

Maka diameter utama tali kawat baja yang digunakan adalah 8 mm.

6. Diameter serabut kawat pada tali baja ( $\delta$ )

$$\delta = \frac{d}{1,5\sqrt{i}}$$

$$\delta = \frac{8}{1,5\sqrt{222}}$$

$$\delta = 0,02 \text{ mm}$$

7. Tegangan tarik tali kawat baja utama ( $\sigma_i$ )

$$\sigma_i = \frac{\sigma}{K}$$

$$\sigma_i = \frac{18000}{5,5}$$

$$\sigma_i = 327,27 \text{ N/mm}^2$$

8. Tegangan tarik utama yang sebenarnya terjadi

$$\sigma_t = \frac{S}{A} + \frac{\delta \times E'}{D_{\min} \times d}$$

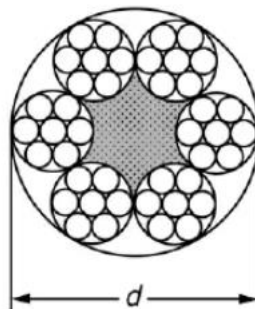
$$\sigma_t = \frac{8822}{26,98} + \frac{0,02 \times 77,22}{26,5 \times 8}$$

$$\sigma_t = 320,22 \text{ N/mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan tarik yang sebenarnya terjadi pada tali lebih kecil dari tegangan tarik yang diijinkan ( $\sigma_t < \sigma_i$ ), dimana  $320,22 \text{ N/mm}^2 < 327,27 \text{ N/mm}^2$ . Maka tali yang digunakan dengan diameter 8 mm aman digunakan pada perencanaan lift barang ini.

Hasil dari perhitungan diatas dapat dilihat pada tabel data spesifikasi tali baja dibawah ini.

**Tabel 4. 3** Spesifikasi tali baja



| Keterangan                   | Simbol | Nilai | Satuan            |
|------------------------------|--------|-------|-------------------|
| Diameter tali                | d      | 8     | mm                |
| <i>Approx weight</i>         | W      | 0,282 | kg/m              |
| <i>Minimum breaking load</i> |        | 1800  | N/mm <sup>2</sup> |

(BALIGE STEEL)

#### 4.1.4 Perencanaan motor listrik

Pemilihan sistem penggerak lift barang dengan sistem motor traksi untuk pada gedung A kampus ITK dengan kapasitas 500 kg dilakukan dengan pertimbangan kelebihan dan kekurangan dari setiap sistem penggerak. Penggunaan sistem penggerak dengan motor traksi digunakan karena sistem ini menawarkan efisiensi energi yang tinggi, kecepatan dan kapasitas layanan yang lebih baik, perawatan yang lebih mudah dan ramah lingkungan, serta fleksibilitas dalam penyesuaian ruang pada kondisi bangunan eksisting. Selain itu, lift traksi memberikan kenyamanan dan keamanan yang lebih baik bagi pengguna, sehingga sangat sesuai untuk mendukung aktivitas kampus yang dinamis dan membutuhkan solusi transportasi vertikal yang andal serta efisien.

Daya motor yang diperlukan untuk mengangkat beban pada lift barang dihitung dengan menggunakan data berikut :

**Tabel 4. 4** Parameter untuk menghitung daya motor

| Keterangan       | Simbol | Nilai | Satuan |
|------------------|--------|-------|--------|
| Kecepatan angkat | V      | 1     | m/s    |
| Efisiensi total  | $\eta$ | 0,85  |        |

$$N = \frac{(Q+G_k) \cdot V}{\eta}$$

$$N = \frac{(500 + 306,613) \cdot 1}{75 \times 0,85}$$

$$N = 12,65 \text{ kw}$$

$$N = 12,65 \times 1,34 = 16,95 \text{ HP} \approx 17 \text{ HP}$$

Dari hasil perhitungan daya motor listrik yang telah dilakukan, maka didapatkan spesifikasi motor listrik sebagai berikut :

**Tabel 4. 5** Spesifikasi motor listrik

| Electric motor 3Phase 17 HP 11kW 1500 rpm                                          |        |       |        |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|--------|
|  |        |       |        |
| Keterangan                                                                         | Simbol | Nilai | Satuan |
| Daya motor                                                                         | $P_m$  | 17    | HP     |
| Putaran motor                                                                      | $n$    | 1500  | rpm    |

(Sumber : PT. Parsial Dua Teknik)

Motor listrik yang digunakan pada sistem ini adalah tipe electric motor tiga fasa dengan daya 17 HP (*Horse Power*) atau setara dengan 11 kW dan memiliki kecepatan putaran sebesar 1500 rpm. Motor ini didesain untuk aplikasi industri yang membutuhkan tenaga besar dan putaran stabil, seperti pada sistem penggerak mesin atau peralatan berat. Daya motor sebesar 17 HP menunjukkan kemampuan motor dalam menghasilkan tenaga mekanis yang cukup besar untuk menggerakkan beban sesuai kebutuhan sistem. Sementara itu, kecepatan putaran 1500 rpm merupakan kecepatan standar untuk motor induksi tiga fasa, yang umumnya digunakan pada sistem transmisi daya karena menghasilkan torsi yang stabil dan efisiensi kerja yang tinggi. Dengan spesifikasi tersebut, motor ini sangat cocok digunakan sebagai penggerak utama dalam aplikasi yang memerlukan performa tinggi dan keandalan operasional, seperti pada lift barang, *conveyor*, atau pompa industri. Selain itu, penggunaan motor tiga fasa memberikan keunggulan dalam hal efisiensi energi dan umur pakai yang lebih panjang dibandingkan motor satu fasa.

## 4.2 Perencanaan Struktur dan Sambungan

### 4.2.1 Pembebanan

#### A. Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan bangunan yang terpasang, seperti dinding, lantai, atap, plafond, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat derek dan sistem pengangkut material. Beban mati yang terdapat pada konstruksi lift barang ini dilampirkan pada tabel berikut:

**Tabel 4. 6** Beban mati

| Jenis Beban | Berat Jenis | Satuan            | Sumber           |
|-------------|-------------|-------------------|------------------|
| Baja        | 7850        | kg/m <sup>2</sup> | SNI 07-2050-2002 |
| Beton       | 2400        | kg/m <sup>2</sup> | PPIUG 1983       |

#### B. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung dan struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati. Beban hidup yang terdapat pada konstruksi lift barang ini dilampirkan pada tabel berikut :

**Tabel 4. 7** Beban hidup

| Jenis Beban                                                                      | Simbol         | Berat Jenis | Satuan | Sumber        |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------|--------|---------------|
| Kapasitas Lift                                                                   | Q              | 500         | kg     |               |
| Kabin kosong                                                                     | G <sub>k</sub> | 306,613     | kg     |               |
| Beban akibat berat sendiri + muatan yang diangkat ( dikalikan dengan koef.kejut) | P              | 806,61      | kg     | PPIUG 1983    |
| Beban lift akibat mesin bergerak maju mundur                                     | R              | 1209,91     | kg     | SNI 1727:2020 |

### C. Beban Lingkungan

#### 1. Beban angin

Beban angin merupakan beban lingkungan dimana semakin tinggi bangunan maka semakin besar pula beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Beban angin rencana pada dasarnya didapat dari kecepatan angin dasar kemudian dikonversikan dengan faktor-faktor tertentu, seperti arah angin, faktor keutamaan bangunan, eksposur, topografi, serta bentuk struktur yang menjadi tekanan atau gaya. Beban angin dianalisis menggunakan SNI 1727-2020, hasil analisis beban angin dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4. 8** Analisis beban angin

| Parameter                            | Simbol | Nilai | Satuan | Acuan                      |
|--------------------------------------|--------|-------|--------|----------------------------|
| Kecepatan Angin Dasar                | V      | 2     | m/s    | BPS Prov Kaltim 2015       |
| Faktor Arah Angin                    | Kd     | 0,85  |        | SNI 1727-2019 (Lembar 143) |
| Eksposur                             |        | B     |        | SNI 1727-2019 (Lembar 144) |
| Faktor Topografi                     | Kzt    | 1     |        | SNI 1727-2019 (Lembar 147) |
| Faktor Elevasi                       | Ke     | 1     |        | SNI 1727-2019 (Lembar 147) |
| Koefisien Eksposur Tekanan Kecepatan | Kz     | 0,76  |        | SNI 1727-2019 (Lembar 148) |
| Tekanan Kecepatan                    | Qz     | 2     | m/s    | SNI 1727-2019 (Lembar 116) |
| Faktor Pengaruh Hembusan Angin       | Gf     | 0,85  |        | SNI 1727-2019 (Lembar 149) |
|                                      | Gcpi   | 0,18  |        | SNI 1727-2019 (Lembar 154) |
| Faktor Ketertutupan                  |        | -0,18 |        |                            |
|                                      |        | 0,8   |        | SNI 1727-2019 (Lembar 163) |

|                             |    |             |                   |                            |
|-----------------------------|----|-------------|-------------------|----------------------------|
| Koefisien Tekanan Eksternal | Cp | 0,85        |                   | SNI 1727-2019 (Lembar 149) |
| Tekanan Angin               | P  | 0,760632958 | N/m <sup>2</sup>  | SNI 1727-2019 (Lembar 159) |
| Tekanan Angin               | P  | 0,000760633 | kN/m <sup>2</sup> | SNI 1727-2019 (Lembar 159) |
| Cek dengan Pmin (0,77) < P  |    | 0,77        | kN/m <sup>2</sup> | SNI 1727-2019 (Lembar 157) |

Maka dari hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan pada beban angin, digunakan beban angin senilai 0,77 kN/m<sup>2</sup>.

## 2. Beban Hujan

Pada atap bangunan, beban hujan baik dalam bentuk butiran air hujan maupun genangan air akan bekerja sebagai beban hidup. Struktur bangunan perlu di desain agar mampu menahan hujan pada kondisi drainase primer ditutup. Hal tersebut disebabkan karena beban hujan merupakan beban yang tidak tetap dan mengakibatkan perubahan pembebanan atap pada struktur bangunan. Atap pada lift barang ini merupakan atap plat datar, dimana pada PPIUG:1983 menyatakan bahwa beban hujan dengan atap datar ( $\alpha = 0$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q_h = 40 - 0,8\alpha$$

$$q_h = 40 - 0,8 (0)$$

$$q_h = 40 \text{ kg/m}^2$$

Maka beban hujan pada pelat lift barang tersebut adalah 40 kg/m<sup>2</sup>

## 3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan perkalian dari massa yang berasal dari struktur dan komponen lainnya yang terdapat pada struktur tersebut dan percepatan tanah yang bersumber dari gempa yang terjadi. Analisis beban gempa secara umum dapat dilakukan melalui 3 cara, yaitu analisis statis ekuivalen, analisis respons spektrum, dan Analisa riwayat waktu. Ketentuan mengenai pembebanan gempa ini mengikuti ketentuan dalam SNI 1726-2020. Pada penelitian ini beban gempa dihitung menggunakan analisis statik ekuivalen

karena struktur lift barang ini termasuk karakteristik struktur gedung beraturan dengan tingkat < 10 dan tinggi struktur < 40 meter. Berikut adalah hasil analisis beban gempa dengan statik ekuivalen yang dilampirkan dalam bentuk tabel.

**Tabel 4. 9** Hasil analisis beban gempa statik ekuivalen

| Parameter                                                                               | Simbol | Nilai       | Satuan | Acuan    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|--------|----------|
| Kategori risiko                                                                         |        | IV          |        | SNI 1726 |
| Faktor keutamaan gempa (Ie)                                                             | Le     | 1,5         |        | SNI 1726 |
| Percepatan dasar pada periode 1 detik (S1)                                              | S1     | 0,7         |        | SNI 1726 |
| Percepatan dasar pada periode pendek (Ss)                                               | Ss     | 0,7         |        | SNI 1726 |
| Kelas situs                                                                             |        | B           |        | PUSKIM   |
| Faktor amlifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (Fa)           | Fa     | 1,1         |        | SNI 1726 |
| Faktor amlifikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (Fv) | Fv     | 1,3         |        | SNI 1726 |
| Parameter sprektum respons percepatan pada periode pendek ( Sms)= Fa x Ss               | Sms    | 1           |        | SNI 1726 |
| Parameter sprektum respons percepatan pada periode 1 detik ( Sm1)= Fv x S1              | Sm1    | 0,91        |        | SNI 1726 |
| Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek (Sds)=2/3*Sms          | Sds    | 0,513333333 |        | SNI 1726 |
| Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik (Sd1)=2/3*Sm1         | Sd1    | 0,606666667 |        | SNI 1726 |
| Respon spektrum design                                                                  | T0     | 0,11        | PUSKIM |          |
|                                                                                         | Ts     | 0,57        |        |          |
|                                                                                         | Pga    | 0,0595      |        |          |
|                                                                                         | tl     | 16          |        |          |
| Koefisien respon seismik                                                                |        |             |        |          |
| Koef. Modifikasi respons (R)                                                            |        | 4,5         |        | SNI 1726 |
| Cs dihitung dengan Cs = (SDs/(R/Ie))                                                    |        | 0,023       |        | SNI 1726 |

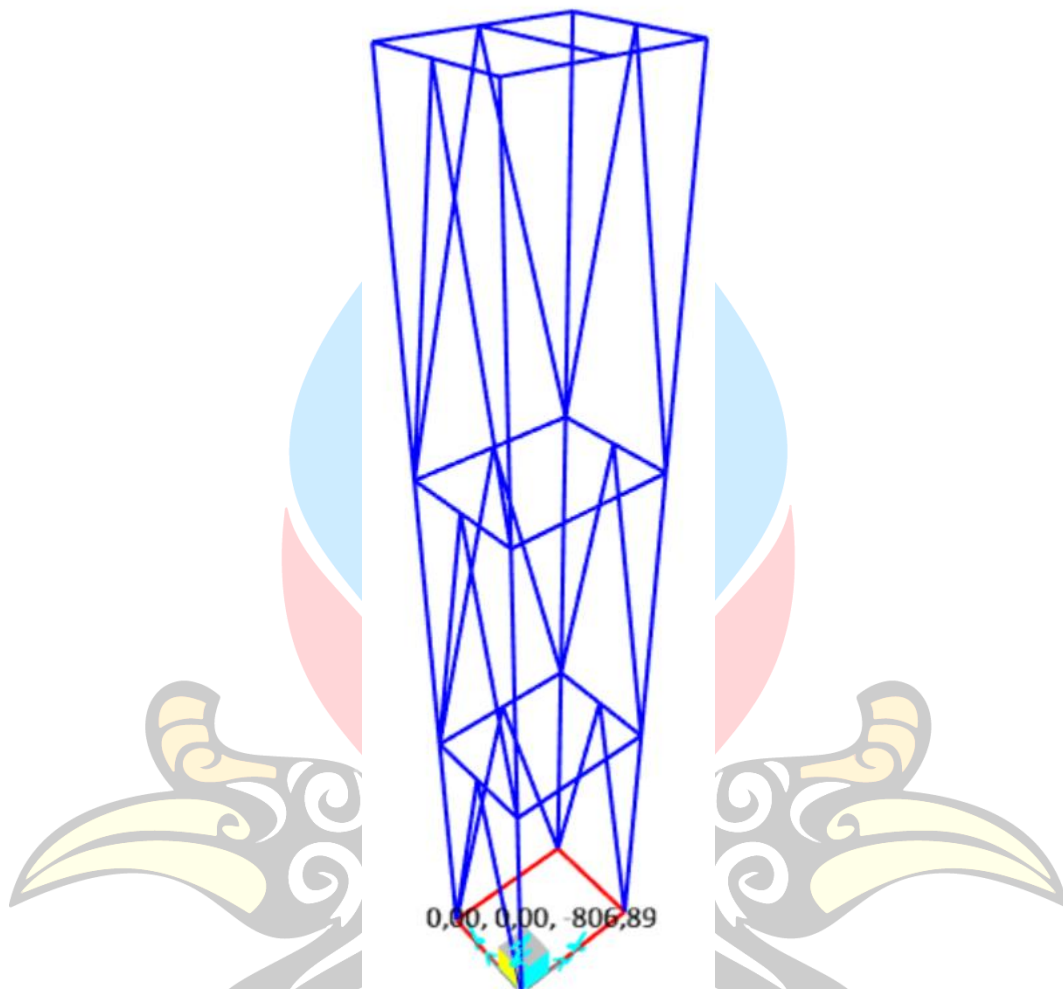
|                                                                                             |        |       |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------|----------|
| Karena $S_1$ lebih kecil dari 0,6 maka nilai $C_s$ harus tidak kurang dari ( $C_s > 0,01$ ) | 0,0004 |       | SNI 1726 |
| Nilai geser seismik (v)                                                                     | 0,01   | kN    | SNI 1726 |
| Berat total bangunan + beban <i>car</i> dari SAP2000 (W)                                    | 64,89  | kN    | SNI 1726 |
| Distribusi gaya gempa lateral                                                               |        |       | SNI 1726 |
| Jumlah lantai (N)                                                                           | 3      |       | SNI 1726 |
| $T_a$                                                                                       | 0,3    | detik | SNI 1726 |
| Koefisien K yang dipakai untuk struktur dengan $T_a = 0,5$ atau lebih kecil, maka nilai K = | 1      |       | SNI 1726 |

**Tabel 4. 10** Beban gempa setiap lantai

| Lantai | $W_i$ (kN) | $h_i$ (m) | k | $h_i^k$ | $W_i \cdot h_i^k$ | $C_{vx}$ | $F_x$ (kN) |
|--------|------------|-----------|---|---------|-------------------|----------|------------|
| 1      | 26,76      | 4,25      | 1 | 4,25    | 113,76            | 0,21     | 0,00276    |
| 2      | 14,901     | 8,5       | 1 | 8,5     | 126,65            | 0,23     | 0,00308    |
| 3      | 23,22      | 12,75     | 1 | 12,75   | 296,07            | 0,55     | 0,0072     |
| Total  |            |           |   |         | 536,50139         | 1        | 0,01304    |

#### 4.2.2 Permodelan

Berikut adalah model struktur lift barang yang didapatkan dari hasil perhitungan spesifikasi teknis. Gambar 4.1 merupakan model yang akan digunakan untuk analisi di aplikasi SAP2000.



**Gambar 4. 1** Hasil permodelan lift barang dengan kapasitas lift 500 kg

Pada gambar diatas, permodelan lift barang dengan dimensi panjang (sumbu x) adalah 2,3 meter dan lebar (sumbu y) adalah 1,69 meter serta tinggi lift barang tersebut adalah 12,75 meter dengan tinggi masing-masing lantai adalah 4,25 meter. Pada setiap sambungan dari permodelan lift barang akan diasumsikan sebagai tumpuan jepit-jepit dimana ketika lift barang bergerak beban lift barang ( kapasitas lift) akan tersalurkan melalui balok struktur yang kemudian diteruskan kekolom sampai pada *base* bawah. Simulasi pembebanan yang terjadi akan disimulasikan menggunakan SAP2000. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur sebelum diaplikasikan di lapangan, dan dapat diteliti terlebih dahulu kemungkinan kegagalan struktur yang terjadi ketika disimulasikan langsung di lapangan. Komponen struktur lift barang dan spesifikasi material yang akan disajikan dalam bentuk tabel, seperti yang terlihat pada tabel berikut.

**Tabel 4. 11** Komponen struktur lift barang

| No. | Elemen            | Keterangan                                                                                                                                |
|-----|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Balok dan kolom   | Struktur rangka lift barang akan menggunakan material baja IWF dengan dimensi kolom adalah 200 x 200 x 8 x 12 dan balok 150 x 100 x 6 x 9 |
| 2.  | Bresing           | Sistem pengaku lateral menggunakan profil IWF 150 x 100 x 6 x 9 dengan konfigurasi bresing adalah V terbalik.                             |
| 3.  | <i>Base Plate</i> | Terdapat 4 buah <i>base plate</i> sebagai tumpuan dari struktur rangka kolom lift barang tersebut                                         |
| 4.  | Angkur            | Terdapat 4 buah angkur untuk setiap <i>base plate</i> dengan diameter angkur adalah 10 mm.                                                |
| 5.  | Pedestal          | Terdapat pedestal dibawah <i>base plate</i> dengan dimensi 350 x 350 mm                                                                   |
| 6.  | <i>Pile Cap</i>   | Terdapat <i>Pile Cap</i> dibawah pedestal dengan dimensi 600 x 600 mm                                                                     |
| 7.  | Pondasi           | Bored pile diameter 300 mm                                                                                                                |

**Tabel 4. 12** Mutu material

| No. | Elemen                  | Mutu material                                                                             |
|-----|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Balok dan kolom         | $f_y = 400 \text{ Mpa}$<br>$f_u = 240 \text{ Mpa}$                                        |
| 2.  | Pelat baja ( sambungan) | $f_y = 250 \text{ Mpa}$<br>$f_u = 410 \text{ Mpa}$                                        |
| 3.  | Baut                    | A325                                                                                      |
| 4.  | Lantai Beton            | $f'_c = 22 \text{ Mpa}$                                                                   |
| 5.  | Fasad                   | <i>Aluminium Composite Panel</i>                                                          |
| 6.  | Atap                    | Pelat bordes                                                                              |
| 7.  | Pedestal                | $f'_c = 22 \text{ Mpa}$                                                                   |
| 8.  | Angkur                  | $f_y = 400 \text{ Mpa}$<br>$f_u = 500 \text{ Mpa}$<br>Hilti RE 500 + HAS Size M12 HAS 5.8 |

#### 4.2.3 Perhitungan Teoritis

Dalam mengetahui kapasitas suatu struktur rangka, terdapat beban-beban yang bekerja pada suatu struktur rangka tersebut. Sebagai indikator beban, dapat

digunakan simbol beban hidup dan beban mati yaitu L (*Live*) dan D (*Dead*). Beban-bekan tersebut akan didapatkan dari hasil perhitungan.

Beban mati berasal dari *self mass* kerangka atau beban struktur sendiri dan beban hidup berasal dari beban rencana yang akan dibebankan pada kerangka, yaitu beban kapasitas lift barang dengan nilai 500 kg. Beban yang bekerja akan dimodelkan dengan beberapa kombinasi Struktur rangka akan di desain untuk menguji elemen balok, kolom, sistem pengaku lateral dan sambungan.

#### 4.2.3.1 Analisis kontrol dinamis

Kontrol dinamis sebuah struktur terbagi menjadi lima bagian berdasarkan SNI 1726:2019 yaitu kontrol rasio partisipasi massa, kontrol periode fundamental struktur, kontrol gaya geser dasar, kontrol dual system, dan kontrol terhadap simpangan antar lantai (*drift*).

##### 1. Kontrol berat struktur

Beban-bekan yang dimasukkan kedalam permodelan berat struktur bangunan harus dipastikan sudah benar sehingga perlu dilakukan kontrol terlebih dahulu antara berat struktur yang ada di SAP-2000 dengan perhitungan manual dengan maksimal perbedaan hasil perhitungan adalah sebesar 5%. Hasil perhitungan berat struktur secara manual dan berat struktur hasil dari SAP2000 dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4. 13** Berat struktur secara manual

| Lantai | Berat       | Satuan |
|--------|-------------|--------|
| All    | 55,2016006  | kN     |
| 1      | 25,24128304 | kN     |
| 2      | 14,5936503  | kN     |
| 3      | 15,36666732 | kN     |

**Tabel 4. 14** Berat struktur dari SAP2000

| GroupNa<br>me | SelfMa<br>ss | SelfWeig<br>ht | TotalMass<br>X | TotalMass<br>Y | TotalMass<br>Z |
|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Text          | KN-<br>s2/mm | KN             | KN-<br>s2/mm   | KN-<br>s2/mm   | KN-<br>s2/mm   |
| ALL           | 0,00581      | 56,978         | 0,00581        | 0,00581        | 0,00581        |

| Group Name | Self Mass | Self Weight | Total Mass X | Total Mass Y | Total Mass Z |
|------------|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Text       | KN-s2/mm  | KN          | KN-s2/mm     | KN-s2/mm     | KN-s2/mm     |
| LANTAI 1   | 0,00273   | 26,768      | 0,00273      | 0,00273      | 0,00273      |
| LANTAI 2   | 0,00151   | 14,901      | 0,001519     | 0,001519     | 0,001519     |
| LANTAI 3   | 0,00156   | 15,309      | 0,001561     | 0,001561     | 0,001561     |

**Tabel 4. 15** Selisih berat struktur manual dan SAP2000

| Elemen   | Beban       |          | Selisih     | Selisih (%)       |
|----------|-------------|----------|-------------|-------------------|
|          | Manual (kN) | SAP (kN) |             |                   |
| LANTAI 1 | 25,24128304 | 26,768   | 1,526716964 | 0,01526717        |
| LANTAI 2 | 14,5936503  | 14,901   | 0,3073497   | 0,003073497       |
| LANTAI 3 | 15,36666732 | 15,309   | 0,057667322 | 0,000576673       |
| Total    | 55,20160066 | 56,978   | 1,891733986 | <b>0,01891734</b> |

Berdasarkan hasil analisis perhitungan diatas, terdapat perbedaan berat struktur dari perhitungan secara manual dan SAP2000. Berat total hasil perhitungan manual dari total seluruh lantai didapatkan sebesar 55,20 kN dan berat total dari program bantu SAP2000 diperoleh sebesar 56,978 kN. Dari hasil perhitungan didapatkan perbedaan sebesar 0,018 atau 1,8 %, dimana sesuai kontrol selisih berat struktur nilai hasil perhitungan harus kurang dari 5%. Karena nilai yang didapatkan adalah 1,8 % maka hasil tersebut kurang dari 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa kontrol berat struktur lift barang ini aman.

## 2. Kontrol periode fundamental

Periode fundamental adalah waktu yang diperlukan untuk satu siklus getaran alami bangunan. SNI 1726:2019 menetapkan batasan pada periode fundamental untuk memastikan bahwa bangunan tidak terlalu fleksibel atau kaku, yang dapat mempengaruhi respons terhadap gempa. Periode fundamental ini harus dihitung dan dibandingkan dengan batasan yang ditetapkan untuk memastikan keamanan struktur. Hasil analisis periode fundamental dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4. 16** Hasil analisis periode fundamental

| Data                                      | Nilai | Satuan |
|-------------------------------------------|-------|--------|
| Tipe struktur (Rangka baja pemikul momen) |       |        |
| Ct                                        | 0,072 |        |
| x                                         | 0,8   |        |
| Ta min                                    | 0,55  | detik  |
| Koefisien Cu                              | 1,4   |        |
| Ta max                                    | 0,77  | detik  |
| Ta SAP2000                                | 0,2   | detik  |

Nilai Tamax dan Tamin yang diperoleh sebesar 0,77 detik dan 0,55 detik. Kemudian nilai Ta hasil dari analisis SAP2000 adalah sebesar 0,2 detik. Ketiga nilai-nilai tersebut di kontrol untuk mengetahui apakah nilai-nilai tersebut memenuhi syarat atau tidak. Kontrol dilakukan dengan persamaan berikut:

$$T_{amin} < T_{asap} < T_{amax}$$

$$0,55 < 0,2 < 0,77$$

Pada perhitungan kontrol didapatkan bahwa nilai Ta SAP lebih besar dari Ta min dan lebih kecil dari Ta max. Sehingga, periode yang digunakan adalah periode SAP2000 (Tc) sebesar  $< 1,00$  detik.

### 3. Kontrol partisipasi massa

Pada SNI 1726:2019 menetapkan bahwa total rasio partisipasi massa kumulatif untuk mode-mode getar yang relevan harus mencapai minimal 90%. Hal ini memastikan bahwa analisis dinamis mencakup respons signifikan dari struktur terhadap gempa.

**Tabel 4. 17** Rasio partisipasi massa dari SAP2000

| Case  | ItemType     | Item | Static  | Dynamic |
|-------|--------------|------|---------|---------|
| Text  | Text         | Text | Percent | Percent |
| Modal | Acceleration | UX   | 100     | 99,5047 |
| Modal | Acceleration | UY   | 100     | 98,8518 |
| Modal | Acceleration | UZ   | 99,9805 | 98,8495 |

### 4. Kontrol geser dasar seismik

Untuk menghitung geser dasar seismik diperlukan data-data berikut sebagai parameter yang diketahui dalam persamaan.

**Tabel 4. 18** Parameter untuk menghitung geser seismik

| Data | Nilai | Satuan |
|------|-------|--------|
| Le   | 1,5   | -      |
| R    | 4,5   | -      |
| SDs  | 0,07  | -      |
| SD1  | 0,04  | -      |

Berdasarkan SNI 1726:2019 yang terdapat pada pasal 7.8.1 menyatakan bahwa nilai gaya geser seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V = C_s \times W$$

Nilai  $C_s$  dan  $W$  yang telah diperoleh kemudian dimasukan kedalam persamaan sebagai berikut

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,023 \times 56,97 \text{ kN}$$

$$V = 0,013 \text{ kN}$$

#### 4.2.3.2 Analisis balok

Analisis pada penampang balok dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai kapasitas dari elemen tersebut. Pengecekan akan dilakukan terhadap kapasitas elemen dari gaya geser dan gaya momen lentur.

##### A. Penampang balok arah x

Data profil baja rencana yang digunakan dalam permodelan adalah baja profil IWF 150 x 100 x 6 x 9 mm, data perencanaan dapat dilihat pada tabel berikut.

1. Pengecekan kapasitas lentur penampang berdasarkan kekompakan penampang

- Perbandingan lebar terhadap tebal sayap (*flage*) :

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = \frac{0,1}{2 \times 0,009} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}}$$

$$\lambda = 5,5 \leq \lambda_p = 346,89$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}} = 912,87$$

Karena  $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$  maka profil sayap tergolong kompak.

- Perbandingan lebar terhadap tebal badan (*web*) :

$$h = H - 2r - 2t_f$$

$$h = 148 - 2(9) - 2(6)$$

$$h = 118 \text{ mm}$$

$$h = 0,118 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = \frac{0,118}{6} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}}$$

$$\lambda = 19,66 \leq \lambda_p = 3432$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}} = 5203$$

Karena  $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$  maka profil badan (*web*) tergolong kompak.

2. Pengecekan kapasitas lentur penampang berdasarkan panjang bentang

Pengecekan panjang bentang dilakukan dengan membagi bentang menjadi tiga bagian, yaitu bentang pendek, menengah dan bentang panjang. Panjang bentang penampang balok (L) adalah 1690 mm.

- $L_p$  (bentang pendek) :

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \times 0,023,7 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}}$$

$$L_p = 38,07 \text{ m}$$

-  $L_r$  (bentang panjang) :

$$L_r = 1,9 \times r_{ts} \left[ \left( \frac{E}{0,7 \times f_y} \right) \times \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right) + \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7 \times f_y}{E} \right)^2}} \right]$$

Untuk mencari nilai  $r_{ts}$  digunakan persamaan berikut dalam pengecekan faktor panjang bentang:

$$r_{ts} = \sqrt{r_{ts}^2}$$

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{I_y \times C_w}{S_x}}$$

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{(1510000 \times 10^{-12}) \times 0,0000000072}{68000 \times 10^{-9}}}$$

$$r_{ts} = 0,039 \text{ m}$$

$$C_w = \frac{I_y \times h_0^2}{S_x}$$

$$C_w = \frac{(1510000 \times 10^{-12}) \times 0,139^2}{68000 \times 10^{-9}}$$

$$C_w = 0,0000000072 \text{ m}^6$$

$$h_0 = H - \left( 2 \times \frac{1}{2} \times t_f \right)$$

$$h_0 = 148 - \left( 2 \times \frac{1}{2} \times 9 \right)$$

$$h_0 = 139 \text{ mm}^2$$

$$h_0 = 0,139 \text{ m}^2$$

$$J = \frac{(2 \times b \times t_f^3) + (d \times t_w^3)}{3}$$

$$= \frac{1}{3} (2 \times 100 \times 9) + (148 \times 6^3)$$

$$J = 0,000000058 \text{ m}^4$$

$$L_r = 1,9 \times r_{ts} \left[ \left( \frac{E}{0,7 \times f_y} \right) \times \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right) + \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7 \times f_y}{E} \right)^2}} \right]$$

$$= 10,30 \text{ m}$$

- Pengecekan bentang:

$$L_b < L_p$$

$$2,23 < 38 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan diatas, didapatkan bahwa penampang balok melintang tersebut termasuk kedalam bentang pendek karena  $L_b < L_p$ .

### 3. Menghitung momen nominal penampang

Momen nominal pada penampang bentang panjang dihitung menggunakan persamaan :

- Persamaan yang dipakai untuk mencari nilai  $M_n$  adalah sebagai berikut.

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 22,66}{(2,5 \times 22,66) + (3 \times 14,90) + (4 \times 22,66) + (3 \times 15,54)}$$

$$C_b = 0,55$$

- Pengecekan nilai  $M_n$ :

$$M_p = M_n = F_y \times Z_x$$

$$M_p = M_n = 33120 \text{ kNm}$$

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

$$M_n = 18519 \text{ kNm}$$

Berdasarkan perhitungan momen nominal yang telah dilakukan yaitu :

$$M_{n1} = 33120 \text{ kNm}$$

$M_{n2} = 18519 \text{ kNm}$  Maka nilai  $M_n$  yang dipakai untuk kontrol adalah nilai  $M_n$  terkecil yaitu 18519 kNm.

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 18519 \text{ kNm} \geq 22,66 \text{ kNm}$$

$$16667 \text{ kNm} \geq 54,89 \text{ kNm (OK)}$$

#### 4. Menghitung kapasitas geser

Untuk menghitung kapasitas geser, diperlukan perhitungan luas penampang dan tahanan geser. Persamaan yang dipakai dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini :

$$A_w = t_w \times h_f$$

$$A_w = 148 \times 6$$

$$A_w = 888 \text{ mm}^2$$

$$A_w = 0,888 \text{ m}^2$$

$$\phi V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$\phi V_n = 0,9(0,6 \times (240 \times 1000) \times 0,888 \times 1)$$

$$\phi V_n = 115084 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$115084 \text{ kN} > 57,90 \text{ kN (OK)}$$

#### 5. Kontrol lendutan

$$\Delta_{maks} < \Delta_{ijin}$$

$$\frac{5ML^2}{48EI} < \frac{l}{360}$$

$$\frac{5 \times 22,66 \times 2,23^2}{48 \times (200000 \times 1000) \times (10200000 \times 10^{-12})} < \frac{2,23}{360}$$

$$0,0013 < 0,0061 \text{ m (OK)}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa kapasitas momen pada balok dapat menahan momen yang bekerja pada elemen tersebut.

#### B. Penampang balok arah y

Data profil baja rencana yang digunakan dalam permodelan adalah baja profil IWF 150 x 100 x 6 x 9 mm, data perencanaan dapat dilihat pada tabel berikut.

#### 1. Pengecekan kapasitas lentur penampang berdasarkan kekompakan penampang

- Perbandingan lebar terhadap tebal sayap (*flage*) :

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = \frac{0,1}{2 \times 0,009} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}}$$

$$\lambda = 5,5 \leq \lambda_p = 346,89$$

$$\lambda_r = 1,0 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}} = 912,87$$

Karena  $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$  maka profil sayap tergolong kompak.

- Perbandingan lebar terhadap tebal badan (*web*) :

$$h = H - 2r - 2t_f$$

$$h = 148 - 2(9) - 2(6)$$

$$h = 118 \text{ mm}$$

$$h = 0,118 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = \frac{0,118}{6} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}}$$

$$\lambda = 19,66 \leq \lambda_p = 3432$$

$$\lambda_r = 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}} = 5203$$

Karena  $\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$  maka profil badan (*web*) tergolong kompak.

2. Pengecekan kapasitas lentur penampang berdasarkan panjang bentang

Pengecekan panjang bentang dilakukan dengan membagi bentang menjadi tiga bagian, yaitu bentang pendek, menengah dan bentang panjang. Panjang bentang penampang balok (L) adalah 1690 mm.

- $L_p$  (bentang pendek) :

$$L_p = 1,76 \times r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \times 0,023,7 \sqrt{\frac{200000 \times 1000}{240 \times 1000}}$$

$$L_p = 38,07 \text{ m}$$

-  $L_r$  (bentang panjang) :

$$L_r = 1,9 \times r_{ts} \left[ \left( \frac{E}{0,7 \times f_y} \right) \times \left( \frac{J}{S_x \times h} \right) + \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7 \times f_y}{E} \right)^2} \right]$$

Untuk mencari nilai  $r_{ts}$  digunakan persamaan berikut dalam pengecekan faktor panjang bentang:

$$r_{ts} = \sqrt{r_{ts}^2}$$

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{I_y \times C_w}{S_x}}$$

$$r_{ts}^2 = \sqrt{\frac{(1510000 \times 10^{-12}) \times 0,0000000072}{68000 \times 10^{-9}}}$$

$$r_{ts} = 0,039 \text{ m}$$

$$C_w = \frac{I_y \times h_o^2}{S_x}$$

$$C_w = \frac{(1510000 \times 10^{-12}) \times 0,139^2}{68000 \times 10^{-9}}$$

$$C_w = 0,0000000072 \text{ m}^6$$

$$h_o = H - \left( 2 \times \frac{1}{2} \times t_f \right)$$

$$h_o = 148 - \left( 2 \times \frac{1}{2} \times 9 \right)$$

$$h_o = 139 \text{ mm}^2$$

$$h_o = 0,139 \text{ m}^2$$

$$J = \frac{(2 \times b \times t_f^3) + (d \times t_w^3)}{3}$$

$$= \frac{1}{3} (2 \times 100 \times 9) + (148 \times 6^3)$$

$$J = 0,000000058 \text{ m}^4$$

$$L_r = 1,9 \times r_{ts} \left[ \left( \frac{E}{0,7 \times f_y} \right) \times \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right) + \sqrt{\left( \frac{J}{S_x \times h} \right)^2 + 6,76 \left( \frac{0,7 \times f_y}{E} \right)^2}} \right]$$

$$= 10,30 \text{ m}$$

- Pengecekan bentang:

$$L_b < L_p$$

$$2,23 < 38 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan diatas, didapatkan bahwa penampang balok melintang tersebut termasuk kedalam bentang pendek karena  $L_b < L_p$ .

### 3. Menghitung momen nominal penampang

Momen nominal pada penampang bentang panjang dihitung menggunakan persamaan :

- Persamaan yang dipakai untuk mencari nilai  $M_n$  adalah sebagai berikut.

$$C_b = \frac{12,5 \times M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 22,66}{(2,5 \times 22,66) + (3 \times 14,90) + (4 \times 22,66) + (3 \times 15,54)}$$

$$C_b = 1,18$$

- Pengecekan nilai  $M_n$ :

$$M_p = M_n = F_y \times Z_x$$

$$M_p = M_n = 33120 \text{ kNm}$$

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

$$M_n = 39241 \text{ kNm}$$

Berdasarkan perhitungan momen nominal yang telah dilakukan yaitu :

$$M_{n1} = 33120 \text{ kNm}$$

$M_{n2} = 39241 \text{ kNm}$  Maka nilai  $M_n$  yang dipakai untuk kontrol adalah nilai  $M_n$  terkecil yaitu 33120 kNm.

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 33120 \text{ kNm} \geq 22,66 \text{ kNm}$$

$$29808 \text{ kNm} \geq 22,66 \text{ kNm (OK)}$$

### 4. Menghitung kapasitas geser

Untuk menghitung kapasitas geser, diperlukan perhitungan luas penampang dan tahanan geser. Persamaan yang dipakai dapat dilihat pada perhitungan dibawah ini :

$$A_w = t_w \times h_f$$

$$A_w = 148 \times 6$$

$$A_w = 888 \text{ mm}^2$$

$$A_w = 0,888 \text{ m}^2$$

$$\phi V_n = 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v$$

$$\phi V_n = 0,9(0,6 \times (240 \times 1000) \times 0,888 \times 1)$$

$$\phi V_n = 115084 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u$$

$$115084 \text{ kN} > 49,006 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

##### 5. Kontrol lendutan

$$\Delta_{maks} < \Delta_{ijin}$$

$$\frac{5ML^2}{48EI} < \frac{l}{360}$$

$$\frac{5 \times 22,66 \times 2,23^2}{48 \times (200000 \times 1000) \times (10200000 \times 10^{-12})} < \frac{2,23}{360}$$

$$0,003 < 0,004 \text{ m} \quad (\text{OK})$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat disimpulkan bahwa kapasitas momen pada balok dapat menahan momen yang bekerja pada elemen tersebut.

**Tabel 4. 19** Gaya dalam dan hasil analisis balok

| Kode | Momen lentur |         |           | Kontrol<br>1 | Tahanan geser |        |           | Kontrol   |
|------|--------------|---------|-----------|--------------|---------------|--------|-----------|-----------|
|      | Mn           | Mu      | $\phi Mn$ |              | Vn            | Vu     | $\phi Vn$ |           |
|      | kN-m         | kN-m    | kN-m      |              | kN            | kN     | kN        |           |
| B1-1 | 18519        | 54,8963 | 16667,1   | <b>OK</b>    | 127872        | 57,901 | 115085    | <b>OK</b> |
| B1-2 | 39242        | 22,6615 | 29808     | <b>OK</b>    | 127872        | 49,006 | 115085    | <b>OK</b> |
| B1-3 | 18519        | 54,8963 | 16667,1   | <b>OK</b>    | 127872        | 57,901 | 115085    | <b>OK</b> |
| B1-4 | 39242        | 22,6615 | 29808     | <b>OK</b>    | 127872        | 49,006 | 115085    | <b>OK</b> |
| B2-1 | 16005,7      | 34,3084 | 14405,1   | <b>OK</b>    | 127872        | 38,427 | 115085    | <b>OK</b> |
| B2-2 | 39291,1      | 12,8181 | 29808     | <b>OK</b>    | 127872        | 33,159 | 115085    | <b>OK</b> |
| B2-3 | 16005,7      | 34,3084 | 14405,1   | <b>OK</b>    | 127872        | 38,427 | 115085    | <b>OK</b> |

| Kode | Momen lentur |         |            | Kontrol<br>1<br>$M_u < \Phi M_n$ | Tahanan geser |        |            | Kontrol<br>$V_u < \Phi V_n$ |
|------|--------------|---------|------------|----------------------------------|---------------|--------|------------|-----------------------------|
|      | $M_n$        | $M_u$   | $\Phi M_n$ |                                  | $V_n$         | $V_u$  | $\Phi V_n$ |                             |
|      | kN-m         | kN-m    | kN-m       |                                  | kN            | kN     | kN         |                             |
| B2-4 | 39291,1      | 12,8181 | 29808      | <b>OK</b>                        | 127872        | 33,159 | 115085     | <b>OK</b>                   |
| B3-1 | 6435,34      | 48,9273 | 5791,8     | <b>OK</b>                        | 127872        | 86,092 | 115085     | <b>OK</b>                   |
| B3-2 | 1913,61      | 45,6239 | 1722,25    | <b>OK</b>                        | 199800        | 72,936 | 179820     | <b>OK</b>                   |
| B3-3 | 6435,34      | 48,9273 | 5791,8     | <b>OK</b>                        | 127872        | 86,092 | 115085     | <b>OK</b>                   |
| B3-4 | 1913,61      | 45,6239 | 1722,25    | <b>OK</b>                        | 199800        | 72,936 | 179820     | <b>OK</b>                   |

**Tabel 4. 20** Hasil analisis lendutan balok

| Kode | Lendutan      |                | Kontrol<br>$\Delta_{maks} < \Delta_{izin}$ |
|------|---------------|----------------|--------------------------------------------|
|      | $\Delta$ ijin | $\Delta_{max}$ |                                            |
|      | m             | m              |                                            |
| B1-1 | 0,006         | 0,001          | OK                                         |
| B1-2 | 0,005         | 0,003          | OK                                         |
| B1-3 | 0,00619       | 0,00139        | OK                                         |
| B1-4 | 0,00469       | 0,0033         | OK                                         |
| B2-1 | 0,006         | 0,001          | OK                                         |
| B2-2 | 0,005         | 0,002          | OK                                         |
| B2-3 | 0,00619       | 0,00087        | OK                                         |
| B2-4 | 0,00469       | 0,00187        | OK                                         |
| B3-1 | 0,006         | 0,001          | OK                                         |
| B3-2 | 0,005         | 0,004          | OK                                         |
| B3-3 | 0,00619       | 0,00124        | OK                                         |
| B3-4 | 0,00469       | 0,00375        | OK                                         |

#### 4.2.3.3 Analisis kolom

Pada elemen kolom akan dilakukan perhitungan terhadap kapasitas elemen tarik aksial, tekan aksial, momen lentur dan geser lentur. Perhitungan ini dilakukan untuk pengecekan kapasitas kolom yang terdapat pada kerangka guna mengetahui besar nilai kapasitas penampang.

1. Pengecekan kapasitas lentur penampang berdasarkan kekompakan penampang

- Perbandingan lebar terhadap tebal sayap (*flage*) :

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = \frac{200}{2 \times 12} \leq \lambda_p = 0,56 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$\lambda = 8,33 \leq \lambda_p = 511$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  maka profil sayap tergolong non langsing

- Perbandingan lebar terhadap tebal badan (*web*) :

$$h = H - 2r - 2t_f$$

$$h = 200 - 2(12) - 2(8)$$

$$h = 150 \text{ mm}$$

$$h = 0,15 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = \frac{200}{8} \leq \lambda_p = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$\lambda = 0,025 \leq \lambda_p = 136$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  maka profil badan (*web*) tergolong non langsing.

## 2. Kuat tarik pada penampang

- Untuk kuat leleh tarik pada penampang bruto

$$P_n = f_y \times A_g$$

$$P_n = 240 \times 6353$$

$$P_n = 1524 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = \frac{1524}{1,67} = 913 \text{ kN}$$

- Untuk keruntuhan tarik pada penampang netto (fraktur)

$$P_n = f_y \times A_g$$

$$P_n = 370 \times 6353$$

$$P_n = 2350 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = \frac{2350}{2} = 1175 \text{ kN}$$

- Kontrol Kuat tarik aksial

$$P_u = 621 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} > P_u$$

$$1175 \text{ kN} > 621 \text{ kN (OK)}$$

### 3. Kontrol tekan aksial

- Panjang efektif

$$\begin{aligned}\frac{L_c}{r} &= \frac{k_c \times L}{r} \\ &= \frac{0,65 \times 4250}{13} \\ &= 55,02 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}4,71 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} \\ = 4299 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\frac{L_c}{r} > 4,71 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

- Tegangan kritis

$$\begin{aligned}F_e &= \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{k_c \times L}{r}\right)^2} \\ &= 651166\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{cr} &= 0,877 \times f_e \\ &= 205690\end{aligned}$$

- Tekuk lentur

$$\begin{aligned}P_n &= F_{cr} \times A_g \\ &= 1306 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} = \frac{1306}{1,67} = 1176 \text{ kN}$$

- Kontrol Kuat tarik aksial

$$P_u = 621,57 \text{ kN}$$

$$\frac{P_n}{\Omega} > P_u$$

$$1176 \text{ kN} > 621,57 \text{ kN (OK)}$$

### 4. Interaksi tekan aksial dan momen lentur

- Klasifikasi penampang

- Perbandingan lebar terhadap tebal sayap (*flage*) :

$$\lambda = \frac{b}{2 \times t_f} \leq \lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = 8,3 \leq \lambda_p = 346$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  maka profil sayap tergolong kompak

b. Perbandingan lebar terhadap tebal badan (*web*) :

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda = 0,025 \leq \lambda_p = 3432$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  maka profil badan (*web*) tergolong kompak.

- Tekuk torsi lateral

a. Bentang pendek ( $L_p$ )

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$L_p = 1,76 \sqrt{\frac{200000}{240}}$$

$$= 800,01 \text{ mm}$$

b. Bentang panjang ( $L_r$ )

$$h_0 = H - \frac{1}{2} \times t_f$$

$$= 200 - \frac{1}{2} \times 12$$

$$= 188 \text{ mm}$$

$$= 0,188 \text{ m}$$

$$C_w = \frac{I_x \times h_0^2}{4}$$

$$C_w = \frac{472000000 \times 188^2}{4}$$

$$C_w = 1,4 \text{ mm}^6$$

$$C_w = 0,00000014 \text{ m}^6$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \times C_w}}{S_x}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\sqrt{1600000 \times 1,4}}{314666,66} \\
&= 0,069 \\
J &= \frac{(2 \times B t_f^2) + (H \times t_w^3)}{3} \\
&= \frac{(2 \times 200 \times 12^2) + (200 \times 8^2)}{3} \\
&= 27682406400 \text{ N/mm}^2 \\
&= 0,0000000000000027 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_r &= 1,95 r_{ts} \frac{E}{0,7 \times f_y} \sqrt{\left(\frac{j}{S_x \times h_o}\right) + \sqrt{\left(\frac{j}{S_x \times h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 \times f_y}{E}\right)^2}} \\
&= 7,3 \text{ m}
\end{aligned}$$

Cek bentang

$$\begin{aligned}
L_p &\leq L_b \leq L_r \\
2550 \text{ mm} &\leq 4250 \text{ mm} \leq 4638199,38 \text{ mm} \quad (\text{OK})
\end{aligned}$$

Sehingga bentang termasuk kedalam kategori bentang menengah

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap nilai  $C_b$  sebagai berikut.

$$C_b = 0,05$$

Sehingga nilai momen nominal yang diperoleh pada kondisi lateral torsional buckling (LTB) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
M_n &= f_{cr} \times A_g \\
&= 205,69 \times 2716 \\
&= 1306753742 \text{ Nmm} \\
&= 1306 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

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

Cek nilai  $M_n$  :

$$\begin{aligned}
M_n &= M_p \\
M_n &= f_y \times Z_x \\
&= 240 \times 472000 \\
&= 113280000 \text{ Nmm} \\
&= 113,28 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\phi M_n = 101,95$$

- Kontrol momen

Berdasarkan momen nominal yang telah didapatkan sebelumnya, maka dilakukan kontrol momen dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$101,95 \text{ kNm} \geq 36,62 \text{ kNm (OK)}$$

**Tabel 4. 21** Gaya dalam aksial dan hasil analisis kolom

| Kode | Tarik aksial |         |         | Kontrol<br>1<br><br>Pn/Ω>Pu | Tekan aksial |         |         | Kontrol<br><br><br>Pn/Ω>Pu |
|------|--------------|---------|---------|-----------------------------|--------------|---------|---------|----------------------------|
|      | Pu           | Pn      | Pn/Ω    |                             | Pu           | Pn      | Pn/Ω    |                            |
|      | kN           | kN      | kN      |                             | kN           | kN      | kN      |                            |
| K1   | 1175,31      | 1524,72 | 1177,22 | OK                          | 1176,08      | 1306,75 | 1177,22 | OK                         |
| K2   | 621,571      | 2350,61 | 1175,31 | OK                          | 621,571      | 1306,75 | 1176,08 | OK                         |
| K3   | 200,969      | 2350,61 | 1175,31 | OK                          | 200,969      | 1306,75 | 1176,08 | OK                         |

#### 4.2.3.4 Analisis pengaku lateral (bresing)

Setelah dilakukan permodelan terhadap sistem pengaku lateral pada software SAP200, selanjutnya dilakukan kontrol kapasitas penampang. Pada pembahasan ini digunakan salah satu contoh perhitungan, dengan data perhitungan sebagai berikut.

**Tabel 4. 22** Data perhitungan

| Gaya Dalam     |          |                 |
|----------------|----------|-----------------|
| Simbol         | Nilai    | Satuan          |
| P tekan        | 183,68   | kN              |
| P tarik        | 273      | kN              |
| Vu             | 5,79     | kN              |
| Mu             | 2,62     | kNm             |
| Data Penampang |          |                 |
| H              | 148      | mm              |
| B              | 100      | mm              |
| t1             | 6        | mm              |
| t2             | 9        | mm              |
| r              | 11       | mm              |
| A              | 2684     | mm <sup>2</sup> |
| BJ             | 21,1     | kg/m            |
| Ix             | 10200000 | mm <sup>4</sup> |

|               |            |                   |
|---------------|------------|-------------------|
| Iy            | 1510000    | mm <sup>4</sup>   |
| rx            | 61,7       | mm                |
| ry            | 23,7       | mm                |
| Zx            | 138000     | cm <sup>3</sup>   |
| Zy            | 30100      | cm <sup>3</sup>   |
| Sx            | 68000      | mm <sup>3</sup>   |
| Sy            | 20133,3333 | mm <sup>3</sup>   |
| E             | 200000     | N/mm <sup>2</sup> |
| Mutu Baja A37 |            |                   |
| Fy            | 240        | Mpa               |
| Fu            | 370        | Mpa               |

## 1. Kontrol kapasitas tegangan

### a. Konfigurasi breis

$$\frac{V}{\cos \alpha} = \frac{5,79}{0,22}$$

$$\frac{V}{\cos \alpha} = 26,32 \text{ kN}$$

$$Pr = 1,5 \times 26,32$$

$$Pr = 39,49 \text{ kN}$$

### b. Stress Increase

$$Pe = \frac{Pr}{1,33}$$

$$Pe = \frac{39,49}{1,33}$$

$$Pe = 29,69 \text{ kN}$$

$$F = \frac{Pe}{A \times 0,155}$$

$$F = \frac{29,69}{26,84 \times 0,155}$$

$$F = 11062 \text{ kN/m}^2$$

### c. Kapasitas Tegangan

$$Ft = 0,6 \times (fy \times 0,014223)$$

$$Ft = 143996 \text{ kN/m}^2$$

$$Ft > F$$

$$143996 > 11062 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK})$$

## 2. Kontrol Kelangsingan

Dilakukan perhitungan kontrol rasio kelangsingan berdasarkan SNI 7860 tahun 2020 tentang ketentuan seismik untuk bangunan gedung pada bab F sebagai berikut :

$$\frac{L_c}{r_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\frac{L_c}{r} = \frac{k_c \times L}{r}$$

$$\frac{L_c}{r_y} = 1,55$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 115,47$$

### 3. Kontrol Kuat Tekan

$$\frac{K \times L}{r} \leq \frac{2625}{\sqrt{f_y}}$$

$$\lambda_x = \frac{K \times L}{r_x}$$

$$\lambda_x = 155,27$$

$$\lambda_y = \frac{K \times L}{r_y}$$

$$\lambda_y = 59,64$$

Maka nilai yang digunakan adalah yang terbesar dari keduanya, sehingga :

$$\frac{K \times L}{r} \leq \frac{2625}{\sqrt{f_y}}$$

$$155,27 \leq 169,44 \quad (\text{OK})$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_c = 0,036$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times \lambda_c}$$

$$\omega = 0,90$$

Sehingga didapatkan kuat tekan nominal sebesar :

$$P_n = A_g \times \frac{f_y}{\omega}$$

$$P_n = 709,59 \text{ kN}$$

Maka,

$$\phi P_n \leq P_u \text{ tekan}$$

$$183,68 \leq 603,15 \text{ (OK)}$$

#### 4. Kontrol Kuat Tarik

$$P_{\max} = R_y \times F_y \times A_g$$

$$P_{\max} = 966,24$$

Kuat rencana :

- Leleh

$$\phi P_n = 0,9 \times f_y \times A_g$$

$$\phi P_n = 579,74$$

- Putus

Untuk mencari nilai  $A_e$  atau luas efektif, perlu direncanakan diameter baut terlebih dahulu dimana diameter baut rencana adalah 16 mm, sehingga :

$$D_{\text{lubang}} = D_{\text{baut}} + 0,15 \text{ cm}$$

$$D_{\text{lubang}} = 1,75 \text{ cm}$$

Luas perlemahan, direncanakan terdapat 2 baris baut di pelat badan dan pelat sayap penampang breis.

- Sayap

$$\text{Sayap} = 4 \times D_{\text{baut}} \times t_f$$

$$\text{Sayap} = 6,3$$

- Badan

$$\text{Badan} = 4 \times D_{\text{baut}} \times t_w$$

$$\text{Badan} = 2,1$$

Maka didapatkan luas penampang efektif sebagai berikut.

$$A_n = A_g - L_{\text{badan}} - L_{\text{sayap}}$$

$$A_n = 18,44 \text{ cm}^2$$

$$A_e = U \times A_n$$

$$A_e = 18,44 \text{ cm}^2$$

Maka didapatkan nilai kuat rencana putus sebagai berikut.

$$\phi P_n = 511,71$$

$$\phi P_n \leq P \text{ tarik}$$

$$273,85 \leq 511,71 \quad (\text{OK})$$

**Tabel 4. 23** Hasil Analisis Kapasitas Penampang Bresing

| Kode | Aksial  |         | Geser | Momen  | Nilai kuat rencana putus |                          |         |
|------|---------|---------|-------|--------|--------------------------|--------------------------|---------|
|      | Tekan   | Tarik   | Vu    | Mu     | $\phi P_n$               | $\phi P_n$<br>(terkecil) | KONTROL |
| 1-Y  | kN      | kN      | kN    | kN     | kN                       | kN                       |         |
| 1-X  | 183,688 | 273,855 | 5,792 | 2,6028 | 511,70                   | 511,70                   | OK      |
| 2-Y  | 333,178 | 516,199 | 7,412 | 8,6152 | 511,70                   | 511,70                   | OK      |
| 2-X  | 138,295 | 223,172 | 5,456 | 1,6269 | 511,70                   | 511,70                   | OK      |
| 3-Y  | 254,883 | 340,91  | 6,853 | 3,276  | 511,70                   | 511,70                   | OK      |
| 3-X  | 94,64   | 157,189 | 5,224 | 1,7346 | 511,70                   | 511,70                   | OK      |
| 1-Y  | 66,587  | 280,187 | 8,191 | 3,9983 | 511,70                   | 511,70                   | OK      |

#### 4.2.3.5 Analisis pelat

Pelat hanya dirancang untuk memikul gaya lentur, sehingga tidak diperlukan penambahan sengkang karena pelat tidak pernah mengalami kegagalan geser. Gaya geser dengan kontribusi dari beton, sudah cukup untuk menahan gaya geser pada pelat karena lebar pelat yang memadai menghasilkan nilai yang besar. Desain tulangan lentur pada pelat mengikuti metode yang sama seperti desain tulangan pada balok, dengan satu perbedaan utama pada sisi lebar. Tulangan pada pelat dirancang setiap satu meter, dengan pemilihan desain tulangan pada saat momen positif dan momen negatif mencapai nilai maksimum.

##### A. Menghitung Luas Penampang Minimum ( $A_{s \min}$ )

Mengacu pada SNI 2487-2019, untuk menghitung nilai minimum yang digunakan adalah menggunakan nilai terbesar diantara kedua persyaratan berikut.

$$A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{f_c'}}{f_y} \times b_{\text{eff}} \times H$$

$$A_{s \min} = 0,0014 \times b_{\text{eff}} \times H$$

Berdasarkan persamaan diatas kemudian dilakukan perhitungan nilai  $A_{s \min}$  sebagai berikut.

$$A_{s \min} = \frac{0,25\sqrt{22}}{420} \times 2230 \times 120$$

$$A_{s \min} = 481,68 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{420} \times 2230 \times 120$$

$$A_{s \min} = 374,64 \text{ mm}^2$$

Dari kedua syarat tersebut, diambil nilai terbesar yang digunakan sebagai nilai  $A_{s \min}$  yaitu sebesar  $481,68 \text{ mm}^2$ .

#### B. Menghitung luas tulangan ( $A_{sb}$ )

Untuk menghitung luas tulangan actual dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$A_{sb} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

Berdasarkan persamaan diatas, dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$A_{sb} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2$$

$$A_{sb} = 78,5 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapatkan nilai luas tulangan actual pada tulangan longitudinal pelat atap yaitu sebesar  $78,5 \text{ mm}^2$ .

#### C. Menentukan jumlah tulangan

Untuk menghitung jumlah tulangan longitudinal yang diperlukan, dapat dilakukan melalui pendekatan trial and error dengan memeriksa kelayakan spasi minimum dan luas tulangan actual yang harus memenuhi standar yang ditetapkan. Adapun persamaan yang digunakan dalam menentukan jumlah tulangan longitudinal adalah sebagai berikut.

$$n = \frac{A_s}{A_{sb}}$$

$$n = \frac{481,68}{78,5}$$

$$n = 6,13 \text{ buah}$$

Dengan mengasumsikan jumlah tulangan yang digunakan sebanyak 6 tulangan ( $n = 6$ ), maka dilakukan perhitungan luas tulangan sebagai berikut.

$$A_s = n \times A_{sb}$$

$$A_s = 6 \times 78,5$$

$$A_s = 481,68 \text{ mm}^2.$$

Sehingga diperoleh nilai luas tulangan ( $A_s$ ) pelat atap yaitu sebesar 281,68 mm<sup>2</sup>. Kemudian, dilakukan pengecekan nilai luas tulangan terhadap luas penampang minimum seperti pada persamaan sebagai berikut.

$$A_s \geq A_{sb}$$

$$481,68 \geq 78,5 \quad (\text{OK})$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan jarak antar tulangan longitudinal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S = \frac{b - (2 \times d_c)}{n - 1}$$

Berdasarkan persamaan diatas kemudain dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$S = \frac{2230 - (2 \times 40)}{6 - 1}$$

$$S = 350,38 \text{ mm}$$

Sehingga didapatkan jarak antar tulangan longitudinal tekan antara satu dengan lainnya yaitu sebesar 140 mm. Setelah mendapatkan jarak tulangan longitudinal tekan, kemudian dapat dilakukan perhitungan jarak minimum tulangan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$S_{min} = 2 \times d_b$$

$$S_{min} = 25 + d_b$$

Berdasarkan persamaan diatas, dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$S_{min} = 2 \times 10$$

$$S_{min} = 20 \text{ mm}$$

$$S_{min} = 25 + d_b$$

$$S_{min} = 25 + 10$$

$$S_{min} = 35 \text{ mm}$$

Dari kedua perhitungan diatas diambil jarak tulangan minimum yang terbesar pada pelat atap arah Y yaitu sebesar 35 mm. Selanjutnya, dilakukan pengecekan terhadap syarat jarak tulangan dimana jarak tulangan pakai (S) harus lebih besar atau sama dengan jarak tulangan minimum ( $S_{min}$ ) dengan menggunakan persyaratan sebagai berikut .

$$S \geq S_{min}$$

$$350,38 \geq 35 \quad (\text{OK})$$

Sehingga didapatkan kebutuhan jumlah tulangan lentur tekan sebanyak 6 tulangan.

D. Menghitung kapasitas momen akibat tulangan

Untuk menghitung kapasitas momen akibat tulangan digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\phi M_n = \phi \left[ A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right]$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

Berdasarkan persamaan diatas, dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$a = \frac{481,68 \times 420}{0,85 \times 22 \times 2230}$$

$$a = 4,85 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \left[ 481,68 \times 420 \left( 10 - \frac{4,85}{2} \right) \right]$$

$$\phi M_n = 11393223,92 \text{ Nmm}$$

$$M_u = 884,46 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$11393223,92 \text{ Nmm} > 9122,52 \text{ Nmm (OK)}$$

Dari hasil perhitungan pelat diatas didapatkan 6 buah tulangan dengan jarak antar tulangan adalah 350 mm.

#### 4.2.3.6 Analisis Sambungan

##### A. Sambungan Balok-Kolom

Sambungan balok dan kolom pada struktur lift barang ini tidak hanya dipengaruhi oleh gaya geser dan gaya tarik yang terjadi pada struktur tersebut tetapi juga dipengaruhi oleh mutu material balok, kolom, plat sambung serta mutu baut rencana. Pada perhitungan sambungan balok-kolom, diambil contoh perhitungan pada sambungan balok lantai atap (x) dan kolom lantai tiga. Berikut merupakan data-data yang diperlukan dalam analisis kapasitas sambungan balok-kolom dan langkah perhitungannya.

**Tabel 4. 24** Mutu material

| Mutu Material Baja Elemen Struktur Balok       |          |       |        |
|------------------------------------------------|----------|-------|--------|
| Keterangan                                     | Simbol   | Nilai | Satuan |
| Tegangan Leleh                                 | $F_y$    | 240   | Mpa    |
| Tegangan Putus                                 | $f_u$    | 370   | Mpa    |
| Mutu Material Baja Elemen Struktur Kolom       |          |       |        |
| Keterangan                                     | Simbol   | Nilai | Satuan |
| Tegangan Leleh                                 | $F_y$    | 240   | Mpa    |
| Tegangan Putus                                 | $f_u$    | 370   | Mpa    |
| Mutu Material Baja Elemen Plat Sambung (BJ 37) |          |       |        |
| Keterangan                                     | Simbol   | Nilai | Satuan |
| Tegangan Leleh                                 | $F_y$    | 240   | Mpa    |
| Tegangan Putus                                 | $f_u$    | 370   | Mpa    |
| Mutu Material Baut Sambung (A325)              |          |       |        |
| Keterangan                                     | Simbol   | Nilai | Satuan |
| Kuat Tarik Nominal                             | $f_{nt}$ | 620   | Mpa    |
| Kuat Tarik Geser                               | $f_{nv}$ | 372   | Mpa    |

**Tabel 4. 25** Dimensi elemen

| Data Dimensi Balok          |        |          |                 |
|-----------------------------|--------|----------|-----------------|
| Keterangan                  | Simbol | Nilai    | Satuan          |
| Panjang badan               | $h_w$  | 148      | mm              |
| Panjang sayap               | $b_f$  | 100      | mm              |
| Tebal badan                 | $t_w$  | 6        | mm              |
| Tebal sayap                 | $h_f$  | 9        | mm              |
| Momen inersia sb. x         | $I_x$  | 10200000 | mm <sup>4</sup> |
| Momen inersia sb. y         | $I_y$  | 1510000  | mm <sup>4</sup> |
| Modulus elastisitas sb. x   | $S_x$  | 61,7     | mm <sup>3</sup> |
| Modulus elastisitas sb. y   | $S_y$  | 23,7     | mm <sup>3</sup> |
| Modulus plastis sb. x       | $Z_x$  | 138000   | mm <sup>3</sup> |
| Modulus plastis sb. y       | $Z_y$  | 30100    | mm <sup>3</sup> |
| Data Dimensi Kolom          |        |          |                 |
| Keterangan                  | Simbol | Nilai    | Satuan          |
| Panjang badan               | $h_w$  | 200      | mm              |
| Panjang sayap               | $b_f$  | 200      | mm              |
| Tebal badan                 | $t_w$  | 8        | mm              |
| Tebal sayap                 | $h_f$  | 12       | mm              |
| Data Dimensi Baut dan pelat |        |          |                 |
| Keterangan                  | Simbol | Nilai    | Satuan          |
| Diameter baut               | $d_b$  | 16       | mm              |
| Tebal plat sambung          | $t_p$  | 10       | mm              |

1. Menghitung pelat penyambung

- Kuat fraktur ( $f_u$ )

$$\begin{aligned}\phi R_n &= l \times t_p \times f_u \\ &= 0,75 \times 75 \times 9 \times 400 \\ &= 27000 \text{ N}\end{aligned}$$

- Kuat leleh ( $f_y$ )

$$\begin{aligned}\phi R_n &= l \times t_p \times f_y \\ &= 0,75 \times 75 \times 9 \times 250 \\ &= 168750 \text{ N}\end{aligned}$$

$R_n$  pada perhitungan ini yang dipakai adalah  $R_n$  dengan nilai terkecil yaitu 168750 N.

- Kontrol geser

$$V_u = 57,90 \text{ kN}$$

$$R_n > V_u$$

$$168750 \text{ N} > 57,90 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

## 2. Jumlah baut

- Menghitung luas baut rencana

$$A_{bd} = \frac{1}{4} \times \pi \times d_b^2$$

$$A_{bd} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2$$

$$A_{bd} = 200,96 \text{ mm}^2$$

- Menghitung tahanan tarik baut

$$R_n = \phi \times A_{bd} \times F_{nt}$$

$$R_n = 0,75 \times 200,96 \times 620$$

$$R_n = 93,44 \text{ kN}$$

- Menghitung tahanan geser baut

$$R_n = \phi \times A_{bd} \times F_{nv}$$

$$R_n = 0,75 \times 200,96 \times 372$$

$$R_n = 56,06 \text{ kN}$$

- Menghitung tahanan tumpu

$$R_n = \phi \times d_b \times t_p \times f_u$$

$$R_n = 0,75 \times 16 \times 9 \times 400$$

$$R_n = 48 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

$R_n$  pakai adalah  $R_n$  maksimum dari tahanan tarik baut, tahanan geser baut dan tahanan tumpu yaitu 93,44 kN.

$$n = \frac{V_u}{R_n}$$

$$n = \frac{57,90}{93,44}$$

$$n = 0,61$$

$$n = 2 \text{ buah}$$

- Jarak baut

$$S_{\min} = 2,67 \times d_b$$

$$S_{\min} = 2,67 \times 16$$

$$S_{\min} = 42,72 \text{ mm}$$

$$S_{\min} \text{ Pakai} = 43 \text{ mm}$$

Karena diameter baut menggunakan diameter 16 mm, maka S1 yang dipakai adalah 22 mm.

$$P \text{ Pakai} = S \times (n - 1) + S1 + S1$$

$$P \text{ Pakai} = 43 \times (2 - 1) + 22 + 22$$

$$P \text{ Pakai} = 87 \text{ mm}$$

- Kapasitas pelat

$$P = H - 2t_f$$

$$P = 148 - 2 \times 9$$

$$P = 130 \text{ mm}$$

Karena panjang pelat lebih besar dari panjang pakai, maka konfigurasi baut dapat dipakai satu baris.

3. Menghitung tahanan las

$$R_n = \phi \times f_u \times a \text{ las}$$

$$R_n = 0,75 \times 415 \times 2191$$

$$\phi R_n = 682167 \text{ kN}$$

Kontrol pada tahanan las dilakukan dengan membandingkan nilai  $R_n$  hitung dengan  $R_n$  SAP2000, dimana:

$$\phi R_n > P_u$$

$$682167 > 200,969 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

**Tabel 4. 26** Hasil analisis sambungan baut

| Kode | Diameter | Jumlah | Jarak antar baut | Jarak tepi baut |
|------|----------|--------|------------------|-----------------|
|      | baut     | baut   | S                | S1              |
|      | mm       | Buah   | mm               | mm              |
| B1-1 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B1-2 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B1-3 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B1-4 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B2-1 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B2-2 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B2-3 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B2-4 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B3-1 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B3-2 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B3-3 | 16       | 2      | 43               | 22              |
| B3-4 | 16       | 2      | 43               | 22              |

**Tabel 4. 27** Hasil analisis pelat penyambung

| Kode | Pelat sambung | Kuat fraktur<br>(fu) | Kuat leleh<br>(fy) | Kuat geser |           |       |
|------|---------------|----------------------|--------------------|------------|-----------|-------|
|      |               | Rn                   | Rn                 | Rn pakai   | Vu<br>SAP | Rn>Vu |
|      |               | kN                   | kN                 | kN         | kN        | SAP   |
|      | mm            | kN                   | kN                 | kN         | kN        |       |
| B1-1 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 41727,3   | OK    |
| B1-2 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 8794,02   | OK    |
| B1-3 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 49,0052   | OK    |
| B1-4 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 49,0052   | OK    |
| B2-1 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 38,4264   | OK    |
| B2-2 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 38,4264   | OK    |
| B2-3 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 33,1585   | OK    |
| B2-4 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 33,1585   | OK    |
| B3-1 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 86,0906   | OK    |
| B3-2 | L90x90x10     | 270                  | 168,75             | 168,75     | 86,0906   | OK    |

|      |           |     |        |        |         |    |
|------|-----------|-----|--------|--------|---------|----|
| B3-3 | L90x90x10 | 270 | 168,75 | 168,75 | 72,9348 | OK |
| B3-4 | L90x90x10 | 270 | 168,75 | 168,75 | 72,9348 | OK |
| BG   | L90x90x10 | 270 | 168,75 | 168,75 | 72,9348 | OK |

## B. Sambungan Bresing

Sambungan bresing baja merupakan bagian penting dalam struktur baja yang berfungsi menghubungkan elemen-elemen bresing (pengaku) dengan elemen utama seperti balok dan kolom, sehingga mampu menyalurkan gaya lateral dan menjaga stabilitas serta kekakuan struktur secara keseluruhan. Dalam perencanaannya, sambungan bresing harus dirancang agar mampu menahan gaya-gaya yang bekerja, baik dari beban gempa, angin, maupun beban lainnya, sehingga kegagalan sambungan dapat dihindari dan struktur tetap aman. Berikut merupakan hasil perhitungan analisis sambungan bresing, pada contoh perhitungan digunakan contoh sambungan pada bresing bawah yaitu sebagai berikut.

### 1. Sambungan pada batang bresing

- Kuat geser baut

$$\phi V_n = \phi \times A_{bd} \times F_{nv}$$

$$\phi V_n = 50,06 \text{ kN}$$

- Kuat tumpu baut

$$\phi V_n = \phi \times d_b \times t_p \times f_u$$

$$\phi V_n = 0,043 \text{ kN}$$

- Jumlah baut

$$n = \frac{P_u}{\phi V_n}$$

$$n = 3,27$$

$$n = 4 \text{ buah}$$

- Jarak baut

$$S_{\min} = 1,5 \times d_b$$

$$S_{\min} = 0,0024 \text{ m}$$

$$S_{\max} = 4 \times t_p + 10 \text{ cm}$$

$$S_{\max} = 0,136 \text{ m}$$

$$S_{\text{Pakai}} = 0,025 \text{ m}$$

Kemudian dihitung jarak antar baut :

$$S_{1 \text{ min}} = 3 \times d_b$$

$$S_{1 \text{ min}} = 0,048 \text{ m}$$

$$S_{1 \text{ maks}} = 15 \times t_p$$

$$S_{1 \text{ maks}} = 0,135 \text{ m}$$

$$S_{1 \text{ pakai}} = 0,05 \text{ m}$$

Karena diameter baut menggunakan diameter 16 mm, maka S1 yang dipakai adalah 22 mm.

$$P_{\text{Pakai}} = S \times (n - 1) + S1 + S1$$

$$P_{\text{Pakai}} = 0,175 \text{ m}$$

## 2. Sambungan las sudut pada pelat buhul

- Kuat nominal las sudut

$$\phi R_{nw} = \phi \times t_e \times (0,6 \times F_{e60})$$

$$\phi R_{nw} = 186750 \text{ kN/m}^2$$

- Lua las

$$A_{we} = L_{we} \times \text{tebal las}$$

$$A_{we} = 0,002 \text{ m}^2$$

- Tegangan yang terjadi pada las sudut

$$\cos \theta = \frac{b}{L}$$

$$\cos \theta = 1,106$$

$$\sin \theta = \frac{b}{L}$$

$$\sin \theta = 0,958$$

$$f_h = \frac{\cos \theta \times P_u}{A_{we}}$$

$$f_h = 93059 \text{ kN/m}^2$$

$$f_v = \frac{\sin \theta \times P_u}{A_{we}}$$

$$f_v = 80578 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{\text{total}} = \sqrt{(f_h^2) + (f_v^2)}$$

$$f_{\text{total}} = 123097 \text{ kN/m}^2$$

- Tebal efektif las sudut

$$t_e \geq \frac{f_{\text{total}}}{\phi R_{\text{nw}}}$$

$$t_e \geq 0,6$$

$$a = \frac{t_e}{0,707}$$

$$a = 0,01 \text{ m}$$

### 3. Kontrol tekuk pelat buhul

Lebar pelat buhul efektif yang dipakai adalah setinggi web bresing yaitu 150 mm.

$$r = \sqrt{\frac{I_{\text{pelat}}}{L}}$$

$$r = 0,000164$$

$$\lambda = \frac{L_{\text{pelat}}}{r}$$

$$\lambda = 13,26$$

$$\lambda_c = \frac{1}{\pi} \times \lambda \times \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$\lambda_c = 0,046$$

$$\lambda_c \leq \omega$$

$$0,046 \leq 1 \quad (\text{OK})$$

$$\phi N_n = \phi \times A_g \times \frac{f_y}{\omega}$$

$$\phi N_n = 2391,9$$

$$\phi N_n \geq P_u$$

$$2391 \geq 183,68 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK})$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil analisis sambungan bresing yang telah dilakukan.

**Tabel 4. 28** Hasil analisis tahanan dan sambungan baut

| Kode  | Kuat geser<br>baut | Kuat<br>tumpu<br>baut | Diameter<br>baut | Jumlah<br>baut | Jarak baut<br>ketepi<br>pelat | Jarak antar<br>baut |
|-------|--------------------|-----------------------|------------------|----------------|-------------------------------|---------------------|
|       | $\phi V_n$         | $\phi R_n$            | db               | n              | S                             | S1                  |
|       | kN                 | kN                    | mm               | buah           | m                             | m                   |
| BC1-1 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC1-2 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC1-3 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 6              | 0,025                         | 0,05                |
| BC1-4 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 6              | 0,025                         | 0,05                |
| BC1-5 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC1-6 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC2-1 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC2-2 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC2-3 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 6              | 0,025                         | 0,05                |
| BC2-4 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 6              | 0,025                         | 0,05                |
| BC2-5 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC2-6 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC3-1 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC3-2 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC3-3 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC3-4 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC3-5 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |
| BC3-6 | 56,06784           | 0,0432                | 16               | 4              | 0,025                         | 0,05                |

**Tabel 4. 29** Hasil analisis sambungan las sudut

| Kode  | Tebal las | $\lambda c$ | $\omega$ | Kontrol                 | $\phi N_n$ | $P_u$   | Kontrol |
|-------|-----------|-------------|----------|-------------------------|------------|---------|---------|
|       | m         |             |          | $\lambda c \leq \omega$ | kN         | kN      |         |
| BC1-1 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 183,688 | OK      |
| BC1-2 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 183,688 | OK      |
| BC1-3 | 0,01      | 0,053754    | 1        | OK                      | 3075,3     | 333,178 | OK      |
| BC1-4 | 0,01      | 0,053754    | 1        | OK                      | 3075,3     | 333,178 | OK      |
| BC1-5 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 183,688 | OK      |
| BC1-6 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 183,688 | OK      |
| BC2-1 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 138,295 | OK      |
| BC2-2 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 138,295 | OK      |
| BC2-3 | 0,01      | 0,053754    | 1        | OK                      | 3075,3     | 254,883 | OK      |
| BC2-4 | 0,01      | 0,053754    | 1        | OK                      | 3075,3     | 254,883 | OK      |
| BC2-5 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 138,295 | OK      |
| BC2-6 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 138,295 | OK      |
| BC3-1 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 94,64   | OK      |
| BC3-2 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 94,64   | OK      |
| BC3-3 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 66,587  | OK      |
| BC3-4 | 0,01      | 0,046267    | 1        | OK                      | 2391,9     | 66,587  | OK      |

| Kode  | Tebal las<br>m | $\lambda_c$ | $\omega$ | Kontrol<br>$\lambda_c \leq \omega$ | $\phi N_n$<br>kN | $P_u$<br>kN | Kontrol |
|-------|----------------|-------------|----------|------------------------------------|------------------|-------------|---------|
| BC3-5 | 0,01           | 0,046267    | 1        | OK                                 | 2391,9           | 94,64       | OK      |
| BC3-6 | 0,01           | 0,046267    | 1        | OK                                 | 2391,9           | 94,64       | OK      |

#### 4.2.3.7 Sambungan pelat dasar kolom (*baseplate*)

Pelat dasar (*base plate*) merupakan pelat yang berada di antara kolom baja dengan pondasi yang berfungsi untuk meneruskan beban dari kolom ke pondasi serta meratakan beban kolom yang terjadi. Pelat dasar yang dihubungkan dengan kolom baja disambung dengan angkur.

**Tabel 4. 30** Data dimensi kolom dan pedestal

| Gaya dalam         |       |          |                   |
|--------------------|-------|----------|-------------------|
| Momen              | $M_u$ | 73,0231  | kNm               |
| Aksial             | $P_u$ | 1177,21  | kN                |
| Geser              | $V_u$ |          | kN                |
| Data kolom         |       |          |                   |
| Panjang badan      | $h_w$ | 200      | mm                |
| Panjang sayap      | $b_f$ | 200      | mm                |
| Gaya dalam momen   | $M_u$ | 86485,63 |                   |
| Gaya dalam aksial  | $P_u$ | 571949,5 |                   |
| Dimensi base plate |       |          |                   |
| Panjang            | $N$   | 300      | mm                |
| Lebar              | $B$   | 300      | mm                |
| Dimensi pedestal   |       |          |                   |
| Panjang            | $N$   | 400      | mm                |
| Lebar              | $B$   | 400      | mm                |
|                    | $F_c$ | 22       | N/mm <sup>2</sup> |
|                    | $F_y$ | 240      |                   |

##### A. Tahanan tumpu beton

##### 1. Menghitung nilai $e$

Setelah merencanakan data spesifikasi yang digunakan, maka selanjutnya adalah menghitung nilai  $e$  dan  $e$  kritis untuk mengetahui apakah termasuk kedalam jenismomen kecil (*small momen base plate*).

Untuk mendapatkan nilai  $e$  dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$e = \frac{M_u}{P_u}$$

$$e = \frac{86485,6}{571950}$$

$$e = 0,15 \text{ mm}$$

## 2. Menghitung nilai tegangan maksimum tumpu beton ( $f_p \text{ max}$ )

Untuk mendapatkan nilai  $f_p \text{ max}$  harus menghitung  $A_1$  dan  $A_2$  sebagai luas dari base plate yang ingin direncanakan, setelah di dapatkan nilai  $A_1$  dan  $A_2$  menggunakan persamaan dibawah ini dapat menghitung nilai  $f_p(\text{max})$  seperti berikut.

$$A_1 = N \times B$$

$$A_1 = 300 \times 300$$

$$A_1 = 90000 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = H \times B$$

$$A_2 = 400 \times 400$$

$$A_2 = 160000 \text{ mm}^2$$

$$f_p \text{ max} = 0,65 \times 0,85 \times f'_c \times \sqrt{\frac{A_1}{A_2}}$$

$$f_p \text{ max} = 0,65 \times 0,85 \times 25 \times \sqrt{\frac{144400}{160000}}$$

$$f_p \text{ max} = 18,41 \text{ Mpa}$$

## 3. Menghitung nilai tekanan maksimum tumpu beton ( $q_{\text{maks}}$ )

Untuk mendapatkan nilai  $q$  maksimum dapat menggunakan persamaan seperti berikut:

$$q_{\text{maks}} = f_p(\text{maks}) \times B$$

$$q_{\text{maks}} = 18,41 \times 300$$

$$q_{\text{maks}} = 5525 \text{ N/mm}$$

## 4. Menghitung nilai eksentrisitas kritis ( $e \text{ crit}$ )

Setelah mendapatkan nilai  $e$ , dapat menggunakan persamaan dibawah ini untuk mendapat nilai  $e$  kritis pada *base plate*

$$e \text{ kritis} = \frac{N}{2} \times \frac{P_u}{2 \times q_{\text{maks}}}$$

$$e \text{ kritis} = \frac{300}{2} \times \frac{571950}{2 \times 5525}$$

$$e \text{ kritis} = 98,23 \text{ mm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai  $e$  adalah 0,15 mm dan  $e_{crit}$  adalah 98,23 mm, maka dapat disimpulkan bahwa desain *base plate* ini termasuk *small moment base plate design* karena nilai  $e < e_{crit}$ .

5. Menghitung panjang bidang tekan beton ( $Y$ )

$$Y_1 = N - 2 \times e$$

$$Y_1 = 300 - 2 \times 0,15$$

$$Y_1 = 299,69 \text{ mm}$$

$$Y_2 = \frac{P_u}{q_{maks}}$$

$$Y_2 = \frac{571949,5}{5525}$$

$$Y_2 = 103,52 \text{ mm}$$

Dari perhitungan kedua nilai  $Y$  tersebut, maka panjang bidang tekan beton yang dipakai adalah nilai terkecil dari kedua nilai tersebut yaitu 103,52 mm. Kemudian dilakukan kontrol nilai  $q$  dan  $q_{maks}$ , dimana  $q$  dihitung dengan persamaan berikut.

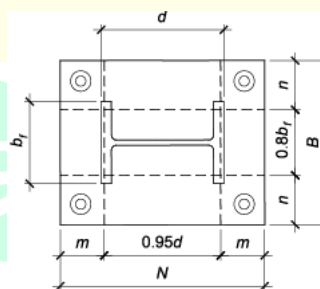
$$q = \frac{P_u}{Y}$$

$$q = \frac{571949,5}{5525}$$

$$q = 5525 \text{ N/mm}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan bahwa nilai  $q \leq q_{maks}$ , maka pedestal yang digunakan aman karena dapat menahan beban yang ada.

B. Dimensi dan tebal base plate



**Gambar 4. 2**

(Sumber : AISC 2<sup>nd</sup> Edition)

1. Menghitung luas beban yang bisa ditahan dan ditransfer *base plate*

$$f = \frac{N}{2} - 1,5$$

$$f = \frac{300}{2} - 1,5$$

$$f = 148,5$$

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 = \left(148,5 + \frac{3000}{2}\right)^2$$

$$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 = 89102,25 \text{ mm}^2$$

$$\frac{2 \times P_u \times e \times f}{q_{maks}} = \frac{2 \times 571949,5 \times 0,15 \times 148,5}{5525}$$

$$\frac{2 \times P_u \times e \times f}{q_{maks}} = 30776,82 \text{ mm}^2$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai beban yang ditransfer *base plate* > luas beban yang bisa ditahan oleh *base plate*, disimpulkan bahwa base plate dapat atau mampu menahan beban yang ada.

## 2. Menghitung tebal pelat pakai (tp)

$$m = \frac{N - 0,95 \times dt}{2}$$

$$m = \frac{300 - 0,95 \times 200}{2}$$

$$m = 55 \text{ mm}$$

$$n = \frac{B - 0,8bf}{2}$$

$$n = \frac{300 - 0,8200}{2}$$

$$n = 70 \text{ mm}$$

l pakai adalah nilai maksimum dari nilai m dan n, maka nilai l adalah 70 mm

$$tp \text{ min} = l \times \sqrt{\frac{2 \times P_u}{0,9 \times f_y \times B \times N}}$$

$$tp \text{ min} = 70 \times \sqrt{\frac{2 \times 571949,5}{0,9 \times 240 \times 300 \times 300}}$$

$$tp \text{ min} = 16,9 \text{ mm}$$

Maka tebal pelat yang digumakan adalah 16,9 mm atau dibulatkan menjadi 20 mm.

## C. Gaya tarik yang terjadi pada angkur

### 1. Menghitung gaya tarik pada angkur baut

$$T_u = q_{maks} \times Y - P_u$$

$$T_u = 5525 \times 103,52 - 571949,5$$

$$T_u = 0 \text{ N}$$

2. Menghitung gaya tarik maksimum satu angkur pada sisi tarik

$$T_{rod} = \frac{T_u}{n_t}$$

$$T_{rod} = \frac{0}{4}$$

$$T_{rod} = 0 \text{ N}$$

3. Menghitung tkuat tarik nominal angkur baut (Nsa)

Luas angkur :

$$A_{se} = \frac{1}{4} \times \pi \times d_o^2$$

$$A_{se} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 14^2$$

$$A_{se} = 116,64 \text{ mm}^2$$

$$N_{sa} = A_{se} \times f_u^b$$

$$N_{sa} = 116,64 \times 500^2$$

$$N_{sa} = 58320 \text{ N}$$

$$\phi N_{sa} = 0,75 \times 58320 \text{ N}$$

$$\phi N_{sa} = 43740 \text{ N}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai  $N_{sa} > T_{rod}$ , maka dapat disimpulkan bahwa angkur mampu menahan beban tarik yang ada.

- D. Gaya geser pada baut

1. Menghitung geser yang terjadi pada angkur

$$V_{u1} = \frac{V_u}{n}$$

$$V_{u1} = \frac{31738,92}{4}$$

$$V_{u1} = 7934,73 \text{ N}$$

Luas angkur :

$$A_{bd} = \frac{1}{4} \times \pi \times d_o^2$$

$$A_{bd} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 14^2$$

$$A_{bd} = 116,64 \text{ mm}^2$$

Maka, kuat geser baut dihitung dengan persamaan :

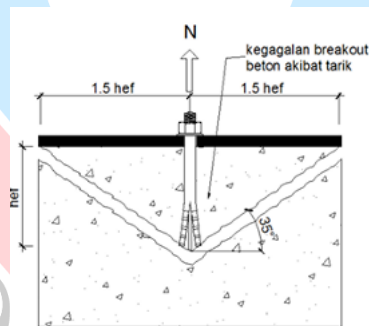
$$R_{nv} = F_{ub} \times A_{bd}$$

$$R_{nv} = 150 \times 116,64$$

$$R_{nv} = 13122 \text{ N}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai  $R_{nv} > V_{u1}$ , maka angkur dapat menahan beban geser yang ada.

#### E. Concrete breakout



**Gambar 4. 3** Kegagalan jebol beton akibat tarik

(Sumber: Amirul Huda, 2020)

$$A_{nc} = 9 \times h_{ef}^{1,5}$$

$$A_{nc} = 9 \times 115^{1,5}$$

$$A_{nc} = 119025 \text{ mm}^2$$

Dimana konfigurasi angkur yang digunakan adalah 2x2 , kemudian dihitung Kekuatan beton dasara dengan persamaan dibawah ini.

$$N_b = k_c \times \sqrt{f'_c} \times h_{ef}^2$$

$$N_b = 24 \times \sqrt{25} \times 115^2$$

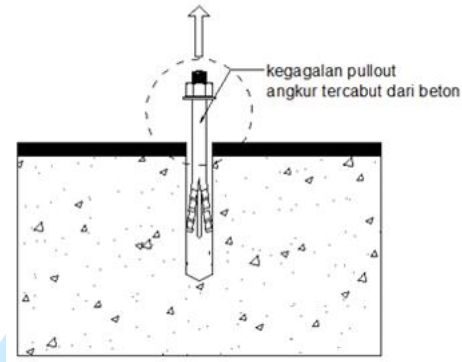
$$N_b = 1587000 \text{ N}$$

$$\phi N_{cbg} = \phi \times \psi_2 \times \psi_3 \times \psi_4 \times N_b$$

$$\phi N_{cbg} = 0,7 \times 0,775 \times 1,25 \times 1 \times 1587000$$

$$\phi N_{cbg} = 1076184,38 \text{ N}$$

#### F. Concrete pullout



**Gambar 4. 4** Kegagalan jebol beton akibat tarik

(Sumber: Amirul Huda, 2020)

Panjang kait :

$$e_h = 4 \times d_o$$

$$e_h = 4 \times 14$$

$$e_h = 56 \text{ mm}$$

$$N_p = 0,9 \times f'_c \times e_h \times d_a$$

$$N_p = 0,9 \times 25 \times 56 \times 12$$

$$N_p = 15120 \text{ N}$$

Maka,

$$\phi N_p = \phi \times \psi_c \times N_p$$

$$\phi N_p = 0,7 \times 1 \times 15120$$

$$\phi N_p = 10584 \text{ N}$$

#### G. Concrete pryout

Karena nilai  $he_{ff} > 2 \text{ inc}$ , maka nilai  $k_{cp}$  yang dipakai adalah 2.

Kemudian dihitung *concrete breakout strength* ( $N_{cp}$ ) dengan persamaan .

$$N_{cp} = k \times \sqrt{f'_c} \times he_{ff}^{1,5}$$

$$N_{cp} = 24 \times \sqrt{25} \times 115^{1,5}$$

$$N_{cp} = 1587000 \text{ N}$$

Kuat nominal *pryout strength* ( $V_{cp}$ ):

$$V_{cp} = k_{cp} \times N_{cp}$$

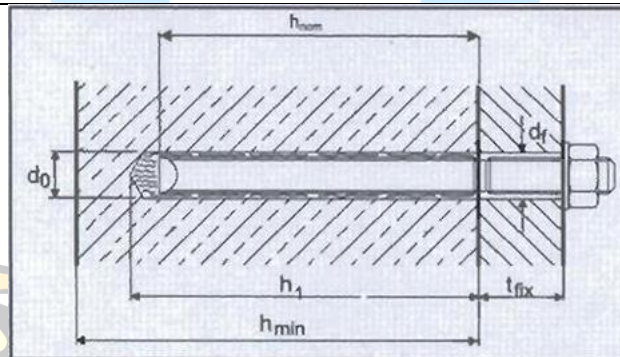
$$V_{cp} = 2 \times 1587000$$

$$V_{cp} = 295977,02 \text{ N}$$

Untuk faktor keselamatan dan ketersediaan produk, digunakan tebal plat baja HRP (Hot Rolled Plate) dari Krakatau Steel dengan ketebalan 20 mm. Selanjutnya setelah dilakukan trial untuk dimensi angkur. Digunakan angkur dari Hilti dengan jenis angkur RE 500 + Has M12. Berikut merupakan tabel dimensi dan mutu angkur.

**Tabel 4. 31** Spesifikasi angkur M12

Gambar penampang angkur M12

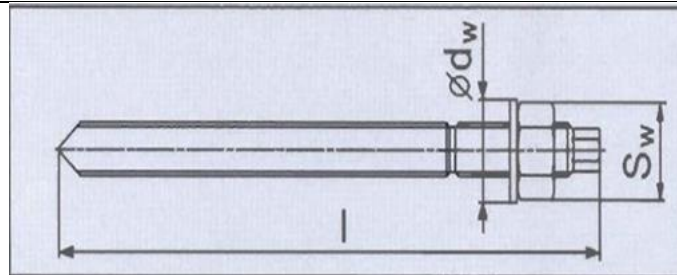


| Keterangan                             | Simbol | Nilai | Satuan |
|----------------------------------------|--------|-------|--------|
| <i>Drill bit diameter</i>              | d0     | 14    | mm     |
| <i>Hole depth</i>                      | h1     | 115   | mm     |
| <i>Nom. anchor depth</i>               | hnom   | 110   | mm     |
| <i>Min. thickness of base material</i> | hmin   | 140   | mm     |
| <i>Max fixture thickness</i>           | tfix   | 14    | mm     |
| <i>Clearance recquired</i>             | df     | 14    | mm     |

(Sumber: Spesifikasi produk angkur baja HILTI)

**Tabel 4. 32** Spesifikasi angkur M12

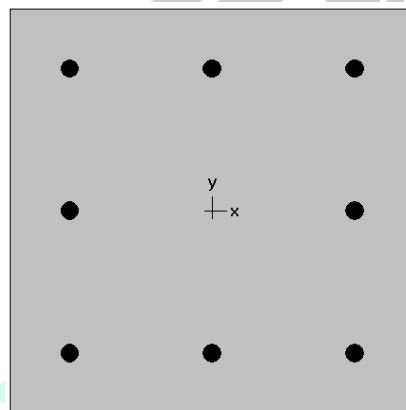
Gambar penampang angkur M12



|                                 |           |      |     |
|---------------------------------|-----------|------|-----|
| <i>Anchor length</i>            | <i>l</i>  | 110  | mm  |
| <i>Stressed cross section</i>   | <i>A</i>  | 84,3 | mm  |
| <i>Nominal tensile strength</i> | <i>fu</i> | 500  | Mpa |
| <i>Yield strength</i>           | <i>fy</i> | 400  | Mpa |
| <i>Width across flats</i>       | <i>Sw</i> | 13   | mm  |
| <i>Washer diameter</i>          | <i>dw</i> | 24   | mm  |

(Sumber: Spesifikasi produk angkur baja HILTI)

#### 4.2.3.5 Perencanaan pedestal



400 x 400 mm  
1.42% reinf.

##### MATERIAL:

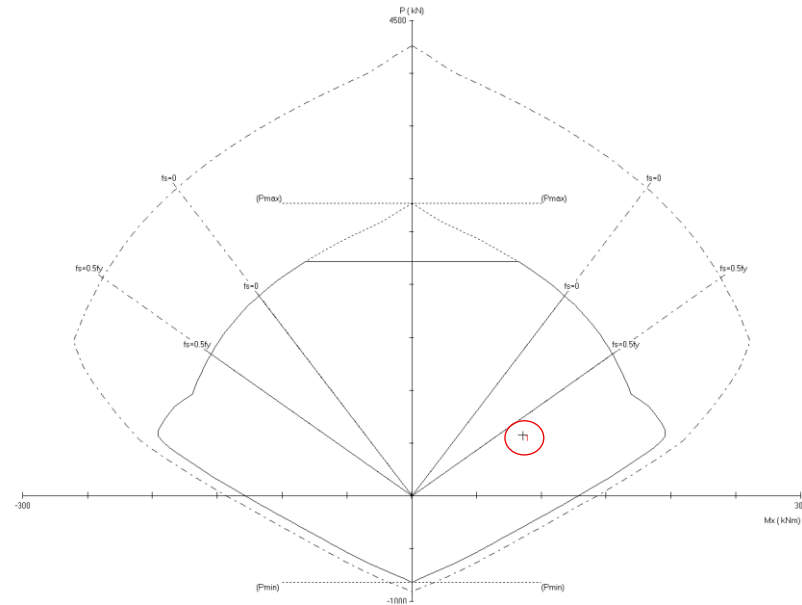
=====  
f'c = 25 MPa  
Ec = 23500 MPa  
fc = 21.25 MPa  
Beta1 = 0.85  
fy = 400 MPa  
Es = 200000 MPa

##### SECTION:

=====  
Ag = 160000 mm<sup>2</sup>  
Ix = 2.13333e+009 mm<sup>4</sup>  
Iy = 2.13333e+009 mm<sup>4</sup>  
Xo = 0 mm  
Yo = 0 mm

##### REINFORCEMENT:

=====  
8 #19 bars @ 1.420%  
As = 2272 mm<sup>2</sup>  
Confinement: Tied  
Clear Cover = 49.50 mm  
Min Clear Spacing = 121.85 mm



**Gambar 4. 5** Hasil analisis tulangan pedestal menggunakan software *SPColumn*

Pada gambar diatas menyatakan bahwa pedestal yang di desain berada di dalam diagram interkasi, hal ini menunjukkan bahwa pedestal tersebut masih mampu menahan beban-beban yang bekerja.

Kebutuhan tulangan utama pada pedestal digunakan software *SPColumn* dimana didapatkan kebutuhan tulangan utama 8-D19 dengan rasio tulangan 1,42 %. Kebutuhan tulangan masih cukup efisien mengingat rasio tulangan berada diantara 1% sampai 4%.

Untuk menghitung memastikan bahwa tulangan hasil dari software aman digunakan, maka dilakukan kontrol tulangan utama dan tulangan sengkang secara manual. Berikut data perencanaan yang dilampirkan dalam bentuk tabel dibawah ini.

**Tabel 4. 33** Data perencanaan pedestal

| Gaya dalam            |        |          |      |
|-----------------------|--------|----------|------|
| Gaya aksial ultimate  | $P_u$  | 1177,219 | kN   |
| Gaya momenl ultimate  | $M_u$  | 73,0231  | kNmm |
| Gaya geser ultimate   | $V_u$  | 27,907   | kN   |
| Data pedestal         |        |          |      |
| Mutu beton            | $f'_c$ | 25       | Mpa  |
| Mutu tulangan         | $f_y$  | 400      | Mpa  |
| Lebar pedestal arah x | $b_x$  | 350      | mm   |
| Lebar pedestal arah y | $b_y$  | 350      | mm   |
| Tinggi pedestal       | $h$    | 350      | mm   |

|                        |    |        |     |
|------------------------|----|--------|-----|
| Selimut beton          | d' | 40     | mm  |
| Jarak efektif tulangan | d  | 310    | mm  |
| Modulus elastisitas    | Es | 200000 | Mpa |
|                        | b1 | 0,85   |     |
|                        | y  | 175    | mm  |

Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan tulangan pedestal yang aman digunakan :

$$C_b = \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) d$$

$$C_b = \left( \frac{600}{600 + 400} \right) 310$$

$$C_b = 186 \text{ mm}$$

$$f_s' = 0,003 \times E_s \times \left( \frac{C_b - d'}{c_b} \right)$$

$$f_s' = 0,003 \times 200000 \times \left( \frac{186 - 40}{186} \right)$$

$$f_s' = 470,96 \text{ Mpa}$$

$$f_s = 0,003 \times 200000 \times \left( \frac{360 - 186}{186} \right)$$

$$f_s = 400 \text{ Mpa}$$

$$a = b_1 \times c_b$$

$$a = 0,85 \times 186$$

$$a = 158,1 \text{ mm}$$

Kebutuhan luas tulangan :

$$A_s \text{ min} = 0,01 \times b_x \times b_y$$

$$A_s \text{ min} = 0,01 \times 350 \times 350$$

$$A_s \text{ min} = 1225 \text{ mm}^2$$

$$A_g = b_x \times b_y$$

$$A_g = 350 \times 350$$

$$A_g = 122500 \text{ mm}^2$$

$$A_c = b_x \times d$$

$$A_c = 350 \times 310$$

$$A_c = 108500 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2014 Bab 10.6.1.1 Menyatakan bahwa tulangan longitudinal tidak kurang dari 1% dan tulangan longitudinal tidak lebih dari 8 % :

$$\rho_{s \text{ min}} = 1\% = 0,01$$

$$\rho_{\text{req}} = 8\% = 0,08$$

Luas tulangan minimal yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan berikut.

$$A_{s \text{ req}} = \rho_{\text{req}} \times b \times h$$

$$A_{s \text{ req}} = 0,01 \times 350 \times 350$$

$$A_{s \text{ req}} = 1225 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan yang dibutuhkan atau dipakai :

Untuk menghitung luas tulangan dilakukan *try and error* pada jumlah tulangan dan diameter tulangan, dimana :

$$n = 8$$

$$d = 16$$

Maka,

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 8$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 1607,68 \text{ mm}^2$$

Setelah mendapatkan luas tulangan, dilakukan kontrol luas tulangan antara luas tulangan pakai dengan luas tulangan minimal yang dibutuhkan ( $A_{s \text{ req}} < A_{s \text{ pakai}}$ ), maka luas tulangan dikatakan cukup dengan 8 tulangan diameter 16 mm.

Pengecekan terhadap kapasitas pedestal :

#### 1. Check aksial

$$P_n = 0,85 \times f'_c \times b \times a + A_{s'} \times f_{s'} - A_s \times f_s$$

$$P_n = 11409 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,65 \times P_n$$

$$\phi P_n = 0,65 \times 11409$$

$$\phi P_n = 7416 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan bahwa nilai  $\phi P_n > P_u$  yaitu  $7416 > 1177 \text{ kN}$ , maka tulangan pedestal yang digunakan aman terhadap gaya aksial yang ada.

2. Check momen

$$M_n = (f'_c \times b \times a) \times \left(y - \frac{a}{2}\right) + (A_{s \text{ req}} \times f_s) \times (y - d') \\ + (A_{s \text{ req}} \times f_s) \times (d - y) \times b$$

$$M_n = 86974 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,85 \times M_n$$

$$\phi M_n = 0,85 \times 86974$$

$$\phi M_n = 73828 \text{ kNm}$$

Karena nilai  $\phi M_n > M_u$  yaitu  $73828 > 73,02 \text{ kNm}$ , maka tulangan pedestal yang digunakan aman terhadap mmomen yang ada.

3. Check geser

$$V_{c1} = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times h$$

$$V_{c1} = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 350 \times 350$$

$$V_{c1} = 3228,15 \text{ kN}$$

$$V_{c2} = 0,3 \times \sqrt{f'_c} \times b \times h$$

$$V_{c2} = 0,3 \times \sqrt{25} \times 350 \times 350$$

$$V_{c2} = 5810,68 \text{ kN}$$

Maka  $V_c$  pakai adalah  $V_c$  minimum dari kedua nilai  $V_c$  diatas, yaitu 3228,15 Kn.

$$\phi V_c = \min(V_{c1}, V_{c2})$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 3228,15$$

$$\phi V_c = 2421,11 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai  $\phi V_c > V_u$  yaitu  $2421 > 27,90 \text{ kN}$ , maka dapat disimpulkan bahwa tulangan pedestal dapat menahan gaya geser yang ada.

Maka dari hasil analisis tulangan yang telah dilakukan didapatkan tulangan utama D16 sebanyak 8 tulangan dan digunakan sengkang dengan diameter Ø10 dan jarak antar tulangan adalah 100 mm.

#### 4.2.3.8 Analisis Fondasi



**Gambar 4. 6** Denah titik sondir

Data penelitian tanah yang digunakan peneliti untuk merencanakan pondasi merupakan data sekunder, dimana peneliti tidak langsung terjun ke lapangan namun data tersebut merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait. Pada penelitian ini data tanah yang digunakan untuk perencanaan pondasi adalah data hasil pengujian tanah di lapangan yaitu uji sondir. Data uji sondir yang digunakan merupakan data hasil uji di lokasi pembangunan Gedung ISSC ITK, dikarenakan data pengujian tanah gedung A dan gedung disekitarnya tidak ada. Pada Tabel 2 SNI 8460:2017 menyatakan bahwa bangunan struktur kurang dari 4 lantai dapat menggunakan 1 titik pengujian dengan akurasi jarak adalah 25 sampai 50 meter. Maka peneliti menggunakan data tanah tersebut dengan pertimbangan menentukan titik hasil pengujian yang paling dekat dengan lokasi penelitian. Titik sondir yang paling dekat dengan lokasi penelitian adalah S11 dengan jarak  $\pm 50$  meter. Jarak lokasi penelitian dengan titik sondir terdekat dapat dilihat pada gambar diatas.

Setelah penentuan titik uji sondir yang akan digunakan dalam analisis perhitungan, maka dilanjutkan dengan perencanaan pondasi. Dimana secara umum fondasi dikelompokkan menjadi 2 yaitu fondasi dangkal (*Shallow footing*) dan Fondasi Dalam (*Depth footing*). Fondasi dangkal terdiri dari Fondasi telapak (*square footing*), fondasi menerus (*continus footing*), fondasi lingkaran (*circle footing*), fondasi rakit (*raft footing*). Sedangkan fondasi dalam terdiri dari fondasi

sumuran, fondasi tiang, fondasi kaison. Pemilihan fondasi dilakukan berdasarkan kondisi tanah pendukungnya dan lingkungan sekitar, pada penelitian ini jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi dalam yaitu pondasi *bor pile* karena lapisan tanah keras terletak pada kedalaman  $> 3$  meter, dimana syarat penggunaan jenis pondasi ini adalah lapisan tanah keras terletak pada kedalaman  $> 3$  m di bawah permukaan tanah lunak (*Soft Soil*). Sedangkan pemilihan jenis fondasi *bored pile* merupakan alternatif lain apabila dalam pelaksanaan pembuatan pondasi tidak memungkinkan untuk menggunakan tiang pancang (*spoon pile*), dikarenakan dampak yang ditimbulkan terhadap lingkungan sekitar (getaran, kebisingan, dan lain- lain), lokasi yang sempit dan kondisi lain yang dapat mengganggu atau mempengaruhi pekerjaan aktifitas disekitar proyek pembangunan (Verison dan Mulya, 2024).

Kedalaman pondasi *bored pile* atau panjang tiang pondasi ditentukan berdasarkan kedalaman lapisan tanah keras yang biasanya diidentifikasi melalui pengujian tanah seperti *Standard Penetration Test* (SPT) atau *Cone Penetration Test* (CPT/sondir). Lapisan tanah keras ini memiliki nilai kekuatan penetrasi ( $q_c$ ) lebih besar dari  $150 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai  $q_c$  ini menunjukkan bahwa tanah sudah cukup padat dan kuat untuk menahan beban struktur, maka pada perencanaan pondasi *bored pile* ini digunakan kedalaman pondasi atau kedalaman tanah keras pada kedalaman 8,6 meter. Berdasarkan SNI 03-2847:2002 pasal 9.7, tebal selimut beton minimum untuk beton yang langsung bersentuhan dengan tanah harus cukup tebal untuk melindungi tulangan dari korosi dan kerusakan akibat kondisi lingkungan tanah. Biasanya ketebalan selimut beton minimal yang disyaratkan adalah 75 mm untuk beton yang bersentuhan langsung dengan tanah. Perencanaan diameter pondasi *bored pile* dengan metode *trial and error* merupakan metode percobaan yang bertujuan mendapatkan dimensi tiang bor yang memenuhi syarat kekuatan dan deformasi sesuai beban struktur dan kondisi tanah. Dengan menggunakan metode *trial and error* digunakan diameter bored pile 300 mm dengan mutu rencana adalah 30 Mpa. Data perencanaan untuk analisis pondasi *bor pile* dapat dilihat pada tabel dan perhitungan berikut ini.

**Tabel 4. 34** Data perencanaan pondasi

| Keterangan                  | Simbol | Nilai | Satuan |
|-----------------------------|--------|-------|--------|
| Kedalaman tiang tanah keras |        | 8,6   | m      |
| Diameter bored pile         | d      | 300   | mm     |
| Tebal dinding/selimut beton | d'     | 75    | mm     |
| Mutu tiang bor              | F'c    | 30    | Mpa    |
| Luas penampang              | Ab     | 70650 | Mm2    |
| Berat jenis baja            |        | 7850  |        |
| Berat jenis beton           |        | 2400  |        |

A. Kapasitas daya dukung pondasi *bored pile*

1. Mengitung kapasitas daya dukung *bored pile*

Perhitungan kapasitas daya dukung ultimate dihitung menggunakan metode Aoko & De Alencar karena perhitungan kapasitas pondasi bor dengan sondir tidak memperhitungkan kuat dukung selimut pondasi bor. Hal ini dikarenakan perlawanan geser tanah yang terjadi pada pondasi bor dianggap sangat kecil sehingga dianggap tidak ada.

$$Q_u = q_b \times A_b$$

Dimana,

$$q_b = q_c / F_b$$

Kemudian untuk kapasitas ultimate akan dibagikan dengan faktor aman, persamaan tersebut dapat dilihat dibawah ini.

$$Q_{all} = \frac{Q}{SF}$$

Dimana, nilai SF pada tiang yang dasar tiangnya dibesarkan ( $d < 2$  m) nilai SF yang digunakan adalah 2,5 dan untuk dasar tiang tanpa pembesaran nilai SF yang digunakan adalah 2. Namun untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur pada pondasi karena ketidakakuratan data tanah yang dapat mempengaruhi desain pondasi, sehingga faktor keamanan harus ditingkatkan (Gumilang dkk, 2016). Maka peneliti menggunakan nilai Safety Factor (SF) = 3,5.

Kapasitas dukung ujung persatuan luas ( $q_b$ ) :

| Kedalaman<br>meter | qc                 |         | JHL    | FR    | Konsistensi<br>Tanh |
|--------------------|--------------------|---------|--------|-------|---------------------|
|                    | Kg/cm <sup>2</sup> | Kpa     | Kg/cm  |       |                     |
| 0                  | 0                  | 0       | 0      | 0     | Sangat Lunak        |
| 0,2                | 2,02               | 198,094 | 1,77   | 4,43  | Sangat Lunak        |
| 0,4                | 3,03               | 297,141 | 5,31   | 5,9   | Sangat Lunak        |
| 0,6                | 7,08               | 694,311 | 8,85   | 2,53  | Sangat Lunak        |
| 0,8                | 10,11              | 991,452 | 14,16  | 2,66  | Sangat Lunak        |
| 1                  | 10,11              | 991,452 | 19,47  | 2,66  | Sangat Lunak        |
| 1,2                | 8,09               | 793,358 | 23,01  | 2,21  | Sangat Lunak        |
| 1,4                | 8,09               | 793,358 | 26,55  | 2,21  | Sangat Lunak        |
| 1,6                | 7,08               | 694,311 | 20,09  | 2,53  | Sangat Lunak        |
| 1,8                | 7,08               | 694,311 | 33,63  | 2,53  | Sangat Lunak        |
| 2                  | 9,1                | 892,405 | 37,17  | 1,97  | Sangat Lunak        |
| 2,2                | 12,14              | 1190,53 | 42,48  | 2,21  | Lunak               |
| 2,4                | 15,17              | 1487,67 | 47,79  | 1,77  | Lunak               |
| 2,6                | 15,17              | 1487,67 | 53,1   | 1,77  | Lunak               |
| 2,8                | 15,17              | 1487,67 | 58,41  | 1,77  | Lunak               |
| 3                  | 16,18              | 1586,72 | 65,49  | 2,21  | Lunak               |
| 3,2                | 16,18              | 1586,72 | 72,57  | 2,21  | Lunak               |
| 3,4                | 18,2               | 1784,81 | 79,65  | 1,97  | Lunak               |
| 3,6                | 20,23              | 1983,89 | 86,73  | 1,77  | Lunak               |
| 3,8                | 20,23              | 1983,89 | 93,81  | 1,77  | Lunak               |
| 4                  | 22,25              | 2181,98 | 102,66 | 2,01  | Menengah            |
| 4,2                | 28,32              | 2777,24 | 111,51 | 1,58  | Menengah            |
| 4,4                | 32,36              | 3173,43 | 122,13 | 1,66  | Menengah            |
| 4,6                | 40,45              | 3966,79 | 134,52 | 1,55  | Menengah            |
| 4,8                | 52,59              | 5157,32 | 158,68 | 1,36  | Kaku                |
| 5                  | 68,77              | 6744,03 | 166,39 | 1,3   | Kaku                |
| 5,2                | 91,02              | 8926,01 | 187,63 | 1,18  | Sangat Kaku         |
| 5,4                | 95,07              | 9323,18 | 208,87 | 1,13  | Sangat Kaku         |
| 5,6                | 104,17             | 10215,6 | 230,11 | 1,03  | Sangat Kaku         |
| 5,8                | 111,25             | 10909,9 | 251,35 | 0,97  | Sangat Kaku         |
| 6                  | 111,25             | 10909,9 | 272,59 | 0,97  | Sangat Kaku         |
| 6,2                | 113,27             | 11108   | 295,6  | 1,03  | Sangat Kaku         |
| 6,4                | 116,3              | 11405,1 | 318,61 | 1     | Sangat Kaku         |
| 6,6                | 119,34             | 11703,3 | 339,85 | 0,9   | Sangat Kaku         |
| 6,8                | 121,36             | 11901,4 | 362,86 | 0,96  | Sangat Kaku         |
| 7                  | 121,36             | 11901,4 | 385,87 | 0,96  | Sangat Kaku         |
| 7,2                | 123,38             | 12099,4 | 408,88 | 0,94  | Sangat Kaku         |
| 7,4                | 137,54             | 13488,1 | 433,66 | 0,91  | Sangat Kaku         |
| 7,6                | 146,61             | 14377,5 | 460,21 | 0,92  | Sangat Kaku         |
| 7,8                | 143,61             | 14083,3 | 483,23 | 0,81  | Sangat Kaku         |
| 8                  | 113,27             | 11108   | 504,47 | 0,95  | Sangat Kaku         |
| 8,2                | 116,3              | 11405,1 | 527,48 | 1     | Sangat Kaku         |
| 8,3                | 122,875            | 12049,9 | 539,87 | 0,985 | Sangat Kaku         |
| 8,4                | 129,45             | 12694,7 | 552,26 | 0,97  | Sangat Kaku         |
| 8,6                | 166,87             | 16364,4 | 587,66 | 1,07  | Keras               |
| 8,8                | 217,44             | 21323,6 | 631,91 | 1,03  | Keras               |

qc > 150

1,5 D (Atas ujung tiang)

qc rata"

1,5 D (Bawah ujung tiang)

**Gambar 4. 7** Penentuan nilai qc rata-rata berdasarkan metode Aoko & De Alencar

Untuk menghitung nilai  $q_b$  maka digunakan persamaan berikut dengan nilai qc rata-rata adalah sebagai berikut.

$$q_c \text{ rata - rata} = \frac{\sum q_c}{n}$$

$$q_c \text{ rata - rata} = \frac{113,27 + 116,3 + 122,88 + 129,45 + 166,87 + 217,44}{6}$$

$$q_c \text{ rata - rata} = 144,36 \text{ kg/cm}^2$$

Maka,

$$q_b = \frac{q_c}{F_b}$$

$$q_b = \frac{144,36}{3,5}$$

$$q_b = 41,24 \text{ kg/cm}^2$$

Kapasitas ultimate, dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_u = q_b \times A_b$$

$$Q_u = 41,24 \times 706,5$$

$$Q_u = 29141,61 \text{ kg}$$

$$Q_u = 29,14 \text{ ton}$$

Kapasitas ijin, dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{29141,61}{3,5}$$

$$Q_{all} = 8326,17 \text{ kg}$$

$$Q_{all} = 8,3 \text{ ton}$$

## 2. Menghitung jumlah tiang bor

Kebutuhan tiang bor dalam satu pilecap dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

Jumlah tiang (n) :

$$n = \frac{P_u}{Q_{all}}$$

$$n = \frac{0,12}{8,3}$$

$$n = 0,01$$

$$n = 1 \text{ Buah tiang}$$

Maka jumlah tiang yang dibutuhkan dalam satu *pile cap* adalah 1 buah.

## B. Penurunan pondasi *bored pile*

Penurunan tiang bor dihitung berdasarkan persamaan Vesic 1997 berikut ini :

$$S_e = S_1 + S_2 + S_3$$

Dimana,

Beban diujung tiang ( $Q_{wp}$ ), dihitung dengan persamaan :

$$Q_{wp} = q_c \times A_p$$

$$Q_{wp} = 144,36 \times 706,5$$

$$Q_{wp} = 101995,63 \text{ kg}$$

$$Q_{wp} = 101,99 \text{ ton}$$

Beban diujung kulit ( $Q_{ws}$ ), dihitung dengan persamaan :

$$Q_{ws} = JHL \times K_N$$

$$Q_{ws} = 208,01 \times (3,14 \times 30)$$

$$Q_{ws} = 19595,44 \text{ kg}$$

$$Q_{ws} = 1,9 \text{ ton}$$

Penurunan elastis tiang ( $S_{e1}$ ), dihitung dengan persamaan :

$$S_1 = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p}$$

Dimana,

$$E_p = 4700\sqrt{f'c}$$

$$E_p = 4700\sqrt{30}$$

$$E_p = 25742,96 \text{ Mpa}$$

$$S_{e1} = \frac{(101,99 + 0,5 \times 1,9) \times 8,6}{706,5 \times 25742,96}$$

$$S_{e1} = 0,00000059 \text{ mm}$$

Penurunan tiang akibat ujung tiang ( $S_{e2}$ ), dihitung dengan persamaan :

$$q_p = \frac{Q_{wp}}{A_p}$$

$$q_p = \frac{101,99}{70,65}$$

$$q_p = 1,44 \text{ ton/m}$$

$$S_2 = \frac{(Q_{wp} \times C_p)}{D \times q_p}$$

$$S_2 = \frac{101,99 \times 0,03}{0,3 \times 1,44}$$

$$S_2 = 21,19 \text{ mm}$$

Penurunan tiang akibat selimut tiang ( $S_{e3}$ ), dihitung dengan persamaan :

$$S_3 = \frac{(Q_{wp} \times C_s)}{L \times q_p}$$

Dimana,

$$C_s = 0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{L}{D}} \times C_p$$

$$C_s = 0,93 + 0,16 \sqrt{\frac{8,6}{0,3}} \times 0,09$$

$$C_s = 1,007$$

Maka,

$$S_3 = \frac{101,99 \times 1,007}{8,6 \times 1,44}$$

$$S_3 = 0,15 \text{ mm}$$

Maka untuk mendapatkan nilai penurunan total, dilakukan penjumlahan ketiga hasil penurunan diatas :

$$S_e = 0,00000059 + 21,19 + 0,15$$

$$S_e = 21,35 \text{ mm}$$

$$S_{ijin} = 10\% \times D$$

$$S_{ijin} = 10\% \times 300$$

$$S_{ijin} = 30 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan penurunan pondasi yang telah dilakukan didapatkan hasil penurunan total adalah 21,35 mm dan penurunan yang diijinkan adalah 30 mm. Dimana nilai  $S_e < S_{ijin}$ , maka dapat disimpulkan bahwa penurunan pondasi yang terjadi aman karena tidak melebihi penurunan yang diijinkan.

### C. Lateral pondasi

Pondasi tiang harus dirancang dengan memperhitungkan beban-beban horizontal atau lateral, seperti, tekanan tanah lateral, beban gelombang air, benturan kapal, dll. Besarnya beban lateral yang terjadi harus dapat ditahan oleh pondasi.

#### 1. Kriteria tiang

Menentukan Kriteria Tiang Menentukan tiang berperilaku seperti tiang panjang atau tiang pendek, maka perlu mengetahui faktor kekakuan tiang yang dapat ditentukan dengan menghitung faktor –

faktor kekakuan T. Faktor kekakuan untuk modulus tanah yang tidak konsisten (T) memiliki beberapa syarat, yaitu :

- Untuk tiang pendek  $\beta hL < 2,5$
- Untuk tiang panjang  $\beta hL > 2,5$

Untuk menentukan kriteria tiang, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Tegangan efektif :

$$\sigma_v = h \times \gamma$$

$$\sigma_v = 0,2 \times 19,62$$

$$\sigma_v = 3,94 \text{ kN/mm}^2$$

Kohesi tanah *undrained* :

$$C_u = \frac{q_c - \sigma_v}{nK}$$

$$C_u = \frac{144,26 - 3,94}{18}$$

$$C_u = 8,018 \text{ kg/cm}^2$$

Modulus reaksi subgrade horizontal :

$$K_h = \frac{k_1}{1,5}$$

$$K_h = \frac{7,3}{1,5}$$

$$K_h = 4,8 \text{ kg/cm}^3$$

Faktor kekakuan relatif :

$$\beta h = \left( \frac{k_h \times h}{4 \times E_p \times I_p} \right)^{1/4}$$

$$\beta h = \left( \frac{4,8 \times 30}{4 \times 25742 \times 0,049} \right)^{1/4}$$

$$\beta h = 0,23$$

Panjang Faktor kekakuan relatif :

$$\beta hL = \beta h \times L$$

$$\beta hL = 0,23 \times 30$$

$$\beta hL = 6,9 \text{ cm}$$

Cek Faktor kekakuan :

Karena nilai  $\beta hL = 6,9$  , maka termasuk tiang panjang  $L > 2,5$  dimana  $\beta hL = 6,9 > 2,5$  cm.

2. Lateral tiang

Kuat lentur beban borepile :

$$f_b = 0,4 \times f'_c$$

$$f_b = 0,4 \times 30$$

$$f_b = 122,36 \text{ kg/cm}^2$$

Tahanan momen :

$$W = \frac{I_p}{\frac{D}{2}}$$

$$W = \frac{\frac{1}{64} \times 3,14 \times 30^4}{\frac{30}{2}}$$

$$W = 2649,37 \text{ kg. cm}$$

Momen leleh tiang :

$$M_y = f_b \times W$$

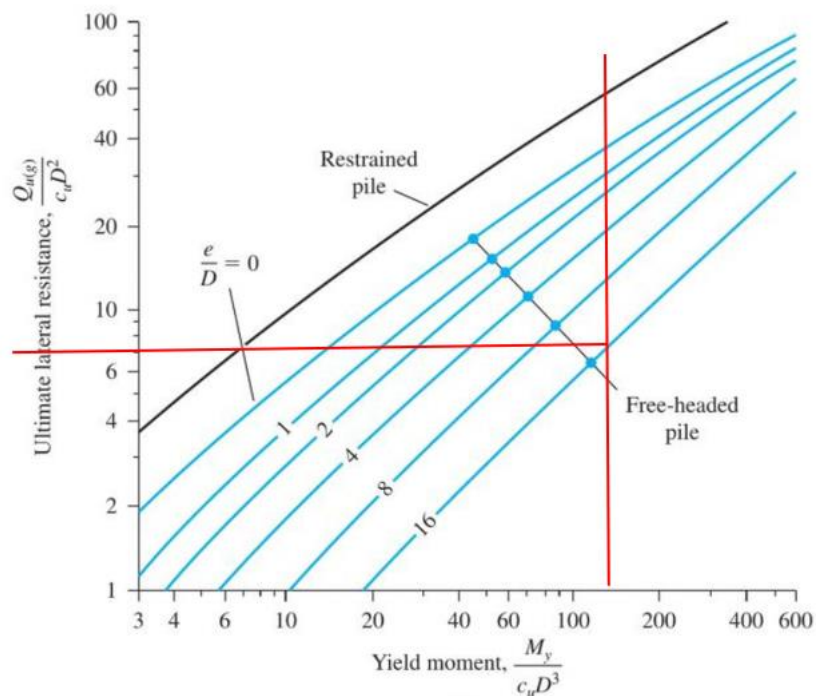
$$M_y = 122,36 \times 2649,37$$

$$M_y = 3179,26 \text{ kg. cm}$$

Kemudian untuk mencari nilai Tahanan lateral ultimit ( $H_u$ ), dilakukan pembacaan grafik dengan mencari nilai  $\frac{M_y}{C_u \times D^3}$  dengan  $\frac{H_u}{C_u \times D^3}$ , kemudian disesuaikan dengan garis pada grafik, apakah termasuk tiang ujung bebas atau tiang ujung jepit.

$$\frac{M_y}{C_u \times D^3} = \frac{3179,26}{8,01 \times 30^3}$$

$$\frac{M_y}{C_u \times D^3} = 146,85$$



**Gambar 4. 8** Grafik nilai  $H_u$ , Metode Brom's

Sumber : Braja M. Das, 2011

Dari pembacaan grafik diatas maka didapatkan nilai  $\frac{H_u}{c_u \times D^3}$  adalah 7.  
Hitung,

$$H_u = 7 \times c_u \times D^3$$

$$H_u = 7 \times 8.018 \times 30^3$$

$$H_u = 50514,62 \text{ kg}$$

$$H_u = 495,54 \text{ kN}$$

Untuk faktor keamanan, maka nilai  $H_u$  dibagi dengan nilai  $SF=2,5$ .

$$H_{u \text{ all}} = \frac{H_u}{SF}$$

$$H_{u \text{ all}} = \frac{495,54}{2,5}$$

$$H_{u \text{ all}} = 198,21 \text{ kN}$$

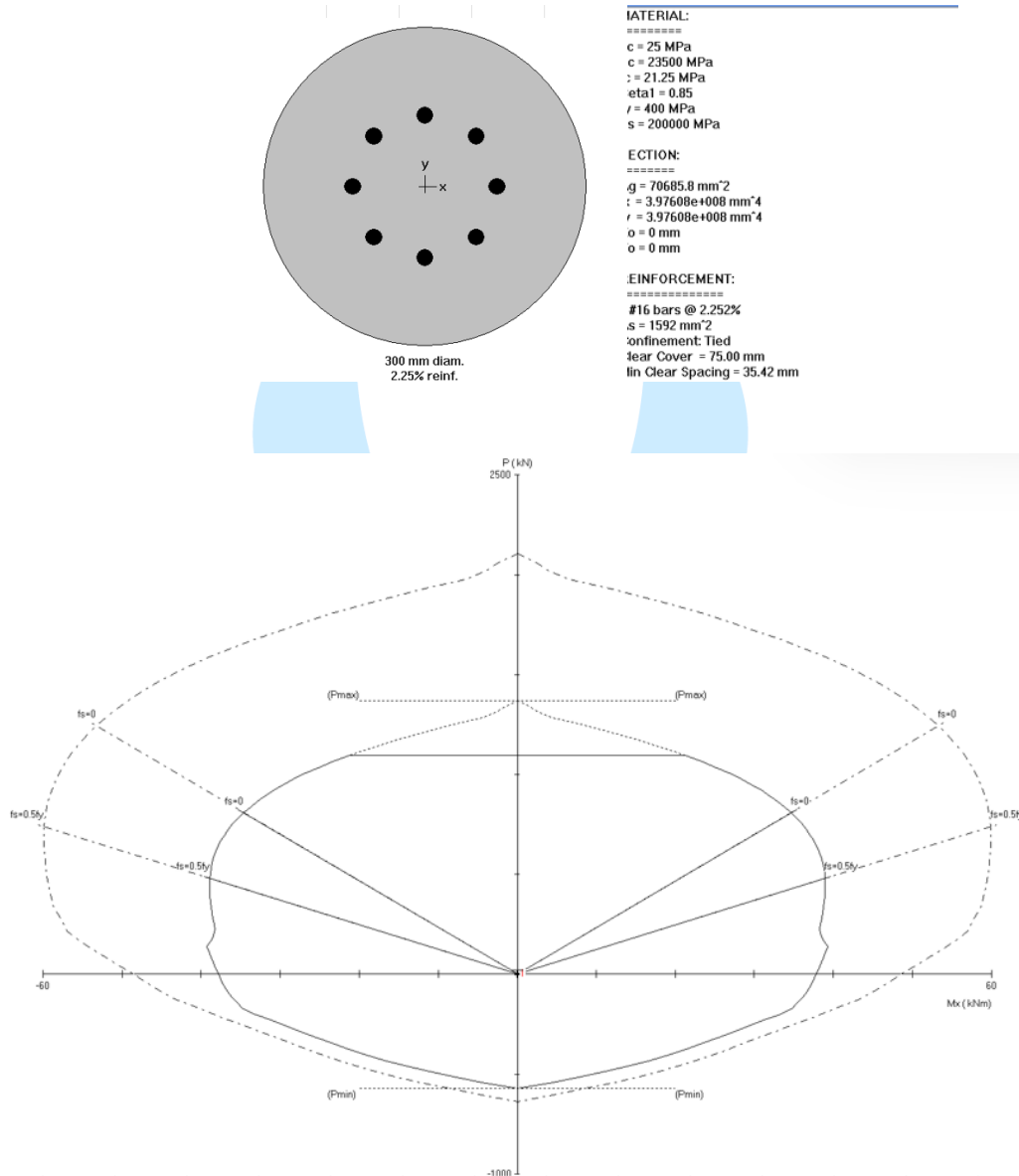
Kontrol nilai tahanan lateral ultimit ( $H_u$ ) terhadap Momen maksimum ( $M_{\text{maks}}$ ) :

$$H_{u \text{ all}} > M_{\text{maks}}$$

$$198,21 > 34,44$$

Setelah itu, dilakukan perhitungan defleksi tiang menurut Broms :

#### D. Perhitungan tulangan bored pile



**Gambar 4. 9** Hasil analisis tulangan *bored pile* menggunakan software *SPColumn*

Pada gambar diatas menyatakan bahwa tiang bor yang di desain berada di dalam diagram interaksi kolom, hal ini menunjukkan bahwa tiang tersebut masih mampu menahan beban-beban yang bekerja.

Kebutuhan tulangan utama pada tiang bor digunakan software *SPColumn* dimana didapatkan kebutuhan tulangan utama 8-D1 dengan rasio tulangan 2,25 %. Kebutuhan tulangan masih cukup efisien mengingat rasio tulangan berada diantara 1% sampai 4%.

Untuk menghitung tulangan sengkang fondasi tiang bor, maka diperlukan data perencanaan yang dilampirkan dalam bentuk tabel dibawah ini.

**Tabel 4. 35** Data perencanaan *bored pile*

| Gaya dalam                 |                     |       |        |
|----------------------------|---------------------|-------|--------|
| Gaya geser                 | Vu                  | 0,37  | kN     |
| Gaya aksial                | Pu                  | 28,78 | kN     |
| Keterangan                 | Simbol              | Nilai | Satuan |
| Mutu beton                 | F'c                 | 25    | Mpa    |
| Diameter <i>bored pile</i> | D tiang             | 300   | mm     |
| Diameter tulangan utama    | D tulangan utama    | 16    | mm     |
| Diameter tulangan sengkang | D tulangan sengkang | 10    | mm     |

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$ds = \text{Selimut beton} + \frac{1}{2} \times D_{\text{tul.utama}} + D_{\text{tulsengkang}}$$

$$ds = 75 + \frac{1}{2} \times 16 + 10$$

$$ds = 88 \text{ mm}$$

$$d = h - ds$$

$$d = 300 - 88$$

$$d = 212 \text{ mm}$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$A_g = 70650 \text{ mm}^2$$

$$b_w = \frac{A_g}{0,8 \times h}$$

$$b_w = \frac{70650}{0,8 \times 300}$$

$$b_w = 294,37 \text{ mm}^2$$

Menghitung gaya geser yang mampu ditahan oleh beton ( $V_c$ ) :

$$V_c = 0,17 \times \left( 1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \left( 1 + \frac{28,78}{14 \times 70650} \right) \times 1 \times \sqrt{25} \times 294,37 \times 212$$

$$V_c = 53047,92 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 53047,92$$

$$\phi V_c = 39785,94 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{Vu - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s = \frac{0,37 - 39785,94}{0,75}$$

$$V_s = 53047,4 \text{ kN}$$

$$V_{s\text{maks}} = 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_{s\text{maks}} = 0,66 \times \sqrt{25} \times 294,37 \times 212$$

$$V_{s\text{maks}} = 205944,8 \text{ kN}$$

Kontrol nilai  $V_s$  dan  $V_{s\text{maks}}$ ,

$$V_s < V_{s\text{maks}}$$

$$53047,4 \text{ kN} < 205944,8 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Maka dapat disimpulkan bahwa ukuran tiang yang digunakan MAMPU menahan geser yang ada.

Menghitung luas sengkang perlu ( $A_v, u$ ), dimana nilai  $S=1000 \text{ mm}$ .

$$A_{v1} = \frac{V_s \times S}{f_y \times d}$$

$$A_{v1} = \frac{-53047,4 \times 1000}{400 \times 212}$$

$$A_{v1} = -625,55 \text{ mm}^2$$

$$A_{v2} = 0,35 \frac{b_w \times S}{f_y}$$

$$A_{v2} = 0,35 \frac{294,37 \times 1000}{400}$$

$$A_{v2} = 257,57 \text{ mm}^2$$

$$A_{v3} = 0,062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b_w \times S}{f_y}$$

$$A_{v3} = 0,062 \times \sqrt{25} \times \frac{294,37 \times 1000}{400}$$

$$A_{v3} = 228,14 \text{ mm}^2$$

Maka nilai  $A_v$  yang digunakan adalah nilai  $A_v$  terbesar yaitu nilai  $A_{v2} = 257,57 \text{ mm}^2$ .

Menghitung jarak sengkang ( $s$ ) :

$$s = \frac{n \times \frac{1}{4} \times d^2 \times S}{A_v}$$

$$s = \frac{1 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times 1000}{257,57}$$

$$s = 97,05 \text{ mm}$$

Kontrol jarak antar sengkang :

$$s1 < 16 \times D_{\text{tul.utama}}$$

$$s1 = 16 \times 16$$

$$s1 = 256 \text{ mm}$$

$$s2 < 48 \times D_{\text{tul.sengkang}}$$

$$s2 = 48 \times 10$$

$$s2 = \text{mm}$$

$$s3 < \frac{d}{2} = \frac{212}{2} = 106 \text{ mm}$$

$$s3 = \frac{212}{2}$$

$$= 106 \text{ mm}$$

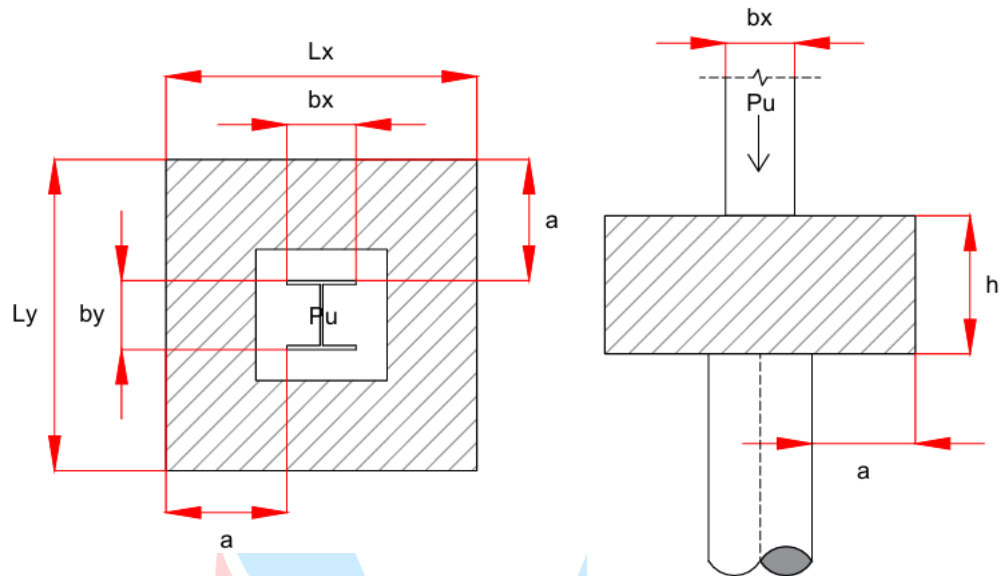
$$s4 < 300 \text{ mm}$$

Setelah dilakukan kontrol nilai s pada nilai s1 sampai s4 maka dipilih nilai yang paling kecil diantaranya, yaitu 106 mm atau dibulatkan ke atas maka nilai s pakai adalah 110 mm.

Dari hasil perhitungan diatas disimpulkan bahwa kebutuhan tulangan sengkang tiang bor didapatkan Ø10-110.

#### E. Perencanaan *pile cap*

Perencanaan *pile cap* pada pondasi *bored pile* ini direncanakan menggunakan standart SNI 2847-2019, dengan menggunakan data perencanaan berikut ini.



**Gambar 4. 10** Gambar tampak atas dan samping atas *pile cap*

**Tabel 4. 36** Data perencanaan

| Data perencanaan <i>pilecap</i> |        |       |        |  |
|---------------------------------|--------|-------|--------|--|
| Keterangan                      | Simbol | Nilai | Satuan |  |
| Diameter <i>bored pile</i>      | d      | 300   | mm     |  |
| Panjang pondasi                 | L      | 6800  | mm     |  |
| Mutu beton                      | $f'_c$ | 25    | Mpa    |  |
| Mutu baja                       | $f_y$  | 400   | MPa    |  |
| Gaya aksial                     | $P_u$  | 28,78 | kN     |  |

1. Dimensi *pile cap*

$$2D = 2 \times 300$$

$$2D = 600 \text{ mm}$$

Karena jumlah tiang bor adalah 1, maka diasumsikan bahwa bentuk *pile cap* adalah persegi, dengan nilai  $L_x = L_y$  maka, panjang *pile cap* adalah 600 mm dan lebar *pile cap* adalah 600 mm. Tebal minimum yang disyaratkan untuk *pile cap* pada pasal 13 SNI 2847:2019 adalah 300 mm, maka tebal *pile cap* yang dipakai adalah 300 mm.

2. Menghitung tulangan lentur

Lebar penampang kritis :

$$B = \frac{\text{Lebar pile cap}}{2} - \frac{\text{Lebar kolom}}{2}$$

$$B = \frac{600}{2} - \frac{200}{2}$$

$$B = 200 \text{ mm}$$

Berat pile cap pada penampang kritis :

$$q' = 4700 \times \text{lebar } pile \text{ cap} \times \text{tebal } pile \text{ cap}$$

$$q' = 4700 \times 600 \times 300$$

$$q' = 432 \text{ kg/m}^2$$

Menghitung nilai  $M_u$  :

$$M_u = \frac{1}{2} \times \frac{P_u}{A} - \frac{1}{2} \times q' \times B^2$$

$$M_u = \frac{1}{2} \times \frac{28,78}{360000} - \frac{1}{2} \times 200^2$$

$$M_u = 486,54 \text{ kNm}$$

Menghitung nilai  $R_n$ :

$$R_n = \frac{M_u}{\phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{486,54}{0,9 \times 600 \times 225^2}$$

$$R_n = 0,000017 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 25}{400} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,0000048}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = 0,000000044 \text{ mm}^2$$

Menghitung  $A_{s\text{perlu}}$  :

$$A_s \text{ perlu} = \rho \times b \times d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,000000044 \times 600 \times 225$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,006 \text{ mm}^2$$

Menghitung nilai  $A_s \text{ min}$ :

$$A_s \text{ min} = 0,0018 \times L \times t$$

$$A_s \text{ min} = 0,0018 \times 600 \times 300$$

$$A_s \text{ min} = 324 \text{ mm}$$

$A_s$  pakai adalah nilai maksimum antara  $A_s$  perlu dan  $A_s \text{ min}$ , dimana nilai maksimum diantara nilai kedua tersebut adalah nilai  $A_s \text{ min}$ , maka nilai  $A_s$  pakainya adalah 324 mm.

Menghitung jarak dan jumlah tulangan :

$$\text{Diameter tulangan (d)} = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak antar tulangan (s)} = 100 \text{ mm}$$

Maka,

$$n = \left( \frac{L}{s} \right)$$

$$n = \frac{600}{100}$$

$$n = 6 \text{ buah}$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n$$

$$A_s = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 16^2 \times 6$$

$$A_s = 1205,76 \text{ mm}$$

Kontrol nilai  $A_s$  :

$$A_s > A_s \text{ pakai}$$

$$1205 > 324 \text{ mm (OK)}$$

Menghitung nilai momen nominal ( $M_n$ ) dan momen ultimate ( $M_u$ ):

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times L}$$

$$a = \frac{1205 \times 400}{0,85 \times 25 \times 600}$$

$$a = 37,82 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta}$$

$$c = \frac{37,82}{0,85}$$

$$c = 44,50 \text{ mm}$$

$$\epsilon_c = \frac{d - c}{c}$$

$$\epsilon_c = \frac{225 - 44,50}{44,50}$$

$$\varepsilon_c = 4,05$$

Karena nilai  $\varepsilon_c > 0,005$  maka nilai  $\phi$  adalah 0,9.

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_n = 0,85 \times 25 \times 37,82 \times 600 \times \left(225 - \frac{37,82}{2}\right)$$

$$M_n = 99396158 \text{ kNmm}$$

$$M_u = \phi \times M_n$$

$$M_u = 0,9 \times 99396158$$

$$M_u = 89456543 \text{ kNmm}$$

Kontrol nilai  $M_u$  :

$$M_u > M_u$$

$$89456543 \text{ kNmm} > 486,54 \text{ kNm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan tekan atas diberikan 20% tulangan utama :

$$20\% \times A_s$$

$$20\% \times 1205$$

$$= 241,15 \text{ mm}$$

Kontrol :

$$A_s > A_s \text{ min}$$

$$795,99 > 324 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Dari hasil analisis perhitungan yang telah dilakukan maka didapatkan dimensi *pile cap*, dengan panjang 600 mm, lebar 600 mm dan tinggi 300 mm. Dengan tulangan bawah D16, jarak 100 mm dan jumlah tulangan 6 buah. Tulangan atas didapatkan dari 20%  $A_s$  tulangan bawah dengan dimateret tulangan atas adalah D13 dan jarak antar tulangan 100 mm dan jumlah tulangan adalah 6 buah.

### 4.3 Analisis bahaya dan pengendalian risiko

Keselamatan dan kesehatan kerja adalah salah satu faktor yang paling penting dalam kelancaran suatu proyek konstruksi. Suatu proyek atau perusahaan harus mampu mencegah dan menangani masalah keselamatan kerja yang ada dalam suatu proyek tersebut. Untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja, maka perlu dilakukan analisis risiko potensi bahaya beserta pengendaliannya. Dalam menganalisis bahaya dan pengendaliannya ada beberapa metode seperti metode

JSA (*job safety analysis*), *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA) / HIRADC, *Fault Tree Analysis* (FTA) dan metode lainnya. Pada penelitian ini metode analisis bahaya dan risiko yang digunakan adalah metode *Hazard Identification and Risk Assessment* (HIRA) / HIRADC karena metode ini termasuk metode yang analisisnya sistematis, menyeluruh, dan terstruktur dalam mengidentifikasi berbagai masalah yang memengaruhi proses dan risiko terkait peralatan yang dapat membahayakan orang atau pekerja, peralatan atau sistem yang ada dalam proyek tersebut. HIRADC berkaitan langsung dengan upaya pencegahan dan manajemen bahaya yang digunakan untuk menetapkan tujuan dari rencana keselamatan dan kesehatan kerja.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh melalui pengumpulan data dari salah satu sumber (perusahaan) yang telah melaksanakan pekerjaan lift dan beberapa referensi lain. Data yang diperoleh berupa daftar kegiatan atau aktivitas beserta potensi bahaya yang mungkin terjadi pada aktivitas tersebut. Proses pengolahan data dengan menggunakan metode HIRADC dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

#### 4.4.1 Identifikasi Bahaya (*Hazard Identification*)

Identifikasi bahaya dilakukan untuk mengenali berbagai potensi bahaya secara menyeluruh, dimana proses ini bertujuan untuk menilai potensi bahaya yang mungkin timbul akibat bahan, alat, atau sistem yang ada pada lift barang sehingga dapat dilakukan atau direncanakan pengendalian risiko yang efektif. Bahaya yang akan diidentifikasi berasal dari bahaya fisik, biologi, kimia, ergonomi, dan psikologi. Identifikasi risiko lift barang yang telah dilakukan dilampirkan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

**Tabel 4. 37** Identifikasi pada operasional lift barang

| Stages of work | Potential hazards                         | Possible risk                     |
|----------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| Loading barang | Adanya celah antara carlift dengan lantai | Terjepit di area celah            |
|                | Tinggi carlift yang tidak sesuai/aman     | Terbentur ke bagian atas car lift |

| Stages of work   | Potential hazards                                    | Possible risk                                                                                                                                                                                    |
|------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operasi lift     | Pintu tidak tertutup rapat                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terjepit pintu lift</li> <li>• Kerusakan barang</li> </ul>                                                                                              |
|                  | Overload                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan mekanis</li> <li>• Kegagalan sling rope</li> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Cedera atau luka berat</li> </ul> |
|                  | sling rope mengalami aus (putus)                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Operator mengalami Cedera atau luka/benturan</li> <li>• Kebisingan (telinga sakit)</li> </ul>  |
|                  | Roda dan rel macet                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• carlift tidak berjalan lancar</li> <li>• Luka atau cedera berat</li> </ul>                                                                              |
|                  | Barang bergeser atau tidak stabil                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Luka atau cedera berat</li> <li>• Lift berhenti mendadak/barang terjebak</li> </ul>            |
|                  | Malfungsi sistem lift                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Luka atau cedera berat</li> </ul>                                                              |
|                  | Korsleting / komponen rusak                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersengat</li> <li>• Kebakaran</li> </ul>                                                                                                               |
|                  | Leveling lift yang tidak akurat                      | carlift berhenti tidak tepat pada lantai tertentu                                                                                                                                                |
| Unloading barang | Adanya celah antara carlift dengan lantai tidak sama | Terjepit diantara celah car lift dan lantai                                                                                                                                                      |
|                  | Tinggi carlift yang tidak sesuai                     | Terbentur ke bagian atas car lift                                                                                                                                                                |
|                  | Pintu tidak tertutup rapat                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terjepit pintu lift</li> <li>• Kerusakan barang</li> </ul>                                                                                              |

#### 4.4.2 Penilaian Risiko (*Risk Assessment*)

Setelah dilakukan identifikasi bahaya pada setiap tahapan pekerjaan maka dilakukan penilaian risiko yang bertujuan untuk mengevaluasi dan menentukan sejauh mana risiko terkait dengan tahapan kegiatan operasional lift barang.

Penilaian risiko diukur dengan tingkat kemungkinan terjadinya bahaya (*likelihood*) dan keparahan (*severity*) dengan pertimbangan kondisi atau situasi yang harus dilindungi, seperti manusia, aset, dan lingkungan. Berikut terlampir penilaian risiko awal dan akhir yang ditampilkan dalam bentuk tabel di bawah ini.

**Tabel 4. 38** Penilaian risiko awal

| Stages of work   | Potential hazards                                    | Penilaian risiko awal |          |            |
|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|----------|------------|
|                  |                                                      | Likelihood            | Severity | Risk Level |
|                  |                                                      | 1                     | S        |            |
| Loading barang   | Adanya celah antara carlift dengan lantai            | 4                     | 1        | 4          |
|                  | Tinggi carlift yang tidak sesuai/aman                | 3                     | 1        | 3          |
|                  | Pintu tidak tertutup rapat                           | 3                     | 2        | 6          |
| Operasi lift     | Overload                                             | 5                     | 3        | 15         |
|                  | sling rope mengalami aus (putus)                     | 2                     | 3        | 6          |
|                  | Roda dan rel macet                                   | 3                     | 2        | 6          |
|                  | Barang bergeser atau tidak stabil                    | 3                     | 2        | 6          |
|                  | Malfungsi sistem lift                                | 2                     | 2        | 4          |
|                  | Korsleting / komponen rusak                          | 2                     | 3        | 6          |
|                  | Leveling lift yang tidak akurat                      | 2                     | 1        | 2          |
| Unloading barang | Adanya celah antara carlift dengan lantai tidak sama | 4                     | 1        | 4          |
|                  | Tinggi carlift yang tidak sesuai                     | 3                     | 1        | 3          |
|                  | Pintu tidak tertutup rapat                           | 3                     | 2        | 6          |

Penilaian risiko awal didapatkan hasil bahwa terdapat 1 risiko ekstrem, 7 risiko sedang dan 5 risiko rendah. Berdasarkan penilaian risiko awal diatas potensi bahaya dengan tingkat risiko yang paling tinggi adalah *overload* yang terjadi ketika operasional lift (setelah barang dimasukkan kedalam car lift ). Hal ini terjadi karena muatan atau beban lift barang yang dimasukkan kedalam lift barang melebihi kapasitas lift yang direncanakan. *Overload* ini dapat menyebabkan motor mengalami pemanasan berlebih (*overheating*) yang mengakibatkan kerusakan pada komponen seperti lilitan kawat dan inti besi motor, bahkan dapat menyebabkan kerusakan permanen atau korsleting listrik. Selain itu, beban berlebih juga dapat merusak komponen mekanis dan listrik lift, meningkatkan risiko kegagalan sistem, dan berpotensi menimbulkan kecelakaan serius. Oleh karena itu, penting untuk memasang sensor beban dan sistem proteksi overload agar kapasitas angkut

lift tetap dalam batas aman, menjaga kestabilan kecepatan motor, serta memperpanjang umur dan keandalan sistem lift barang. Risiko sedang juga sangat perlu diperhatikan untuk mengurangi kemungkinan kejadian atau dampak risiko yang terjadi.

Setelah dilakukannya identifikasi bahaya dan penilaian risiko awal maka dilakukan penilaian risiko akhir, dengan mempertimbangkan rekomendasi saran atau langkah-langkah pengendalian yang dilakukan peneliti guna menciptakan kondisi operasional yang aman dan nyaman dengan menunjukkan hasil dari pengendalian yang dilakukan dengan fokus terhadap perubahan tingkat risiko setelah penerapan pengendalian.

**Tabel 4. 39** Penilaian risiko akhir

| Stages of work | Potential hazards                         | Recommended procedures and actions                       | Penilaian risiko akhir |               |            |
|----------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|---------------|------------|
|                |                                           |                                                          | Likelihood<br>1        | Severity<br>S | Risk Level |
| Loading barang | Adanya celah antara carlift dengan rantai | Penggunaan pelat sebagai penutup celah                   | 4                      | 1             | 4          |
|                | Tinggi carlift yang tidak sesuai/aman     | Perencanaan desain tinggi carlift yang sesuai            | 3                      | 1             | 3          |
|                | Pintu tidak tertutup rapat                | Menggunakan pengunci pintu dari dalam dan luar           | 3                      | 2             | 6          |
| Operasi lift   | Overload                                  | Gunakan sensor overload dan alarm                        | 5                      | 3             | 15         |
|                | sling rope mengalami aus (putus)          | Safety Brake System (Rem Keamanan Otomatis)              | 2                      | 3             | 6          |
|                | Roda dan rel macet                        | Box oli untuk pengaman rel agar tidak aus akibat gesekan | 3                      | 2             | 6          |
|                | Barang bergeser atau tidak stabil         | Susun muatan rapi dan stabil                             | 3                      | 2             | 6          |
|                | Malfungsi sistem lift                     | Sistem Backup Daya (UPS)                                 | 2                      | 2             | 4          |

| Stages of work   | Potential hazards                                    | Recommended procedures and actions            | Penilaian risiko akhir |               |               |
|------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|---------------|---------------|
|                  |                                                      |                                               | Likelihood<br>1        | Severity<br>S | Risk<br>Level |
|                  |                                                      | atau Battery Backup) ( ke power panel)        |                        |               |               |
|                  | Korsleting / komponen rusak                          | Emergency buttom                              | 2                      | 3             | 6             |
|                  | Leveling lift yang tidak akurat                      | sistem kontrol elevator                       | 2                      | 1             | 2             |
| Unloading barang | Adanya celah antara carlift dengan lantai tidak sama | Penggunaan pelat sebagai penutup celah        | 4                      | 1             | 4             |
|                  | Tinggi carlift yang tidak sesuai                     | Perencanaan desain tinggi carlift yang sesuai | 3                      | 1             | 3             |
|                  | Pintu tidak tertutup rapat                           | SOP yang ketat                                | 3                      | 2             | 6             |

Penilaian risiko menunjukkan bahwa penerapan langkah-langkah pengendalian pada lift barang yang telah dilakukan dapat menurunkan tingkat risiko pada semua bahaya yang sudah teridentifikasi sebelumnya. Berikut merupakan rangkuman hasil analisis potensi bahaya dan pengendalian risiko yang dilampirkan dalam bentuk tabel.

**Tabel 4. 40** Dampak dan rekomendasi/saran

| <i>Stages of work</i> | <i>Potential hazards</i>                                     | <i>Possible risk</i>                                                                                | <i>Recommended procedures and actions</i> |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <i>Loading barang</i> | Adanya celah antara carlift dengan lantai                    | Terjepit di area celah                                                                              | Pelat penutup celah                       |
|                       | Perbedaan elevasi antara lantai car lift dengan lantai beton | Tersandung atau terjatuh                                                                            | Pelat yang dipasang miring                |
|                       | Tinggi carlift yang tidak sesuai/aman                        | Terbentur ke bagian atas car lift                                                                   | Tinggi carlift yang sesuai                |
|                       | Pintu tidak tertutup rapat                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terjepit pintu lift</li> <li>• Kerusakan barang</li> </ul> | Pengunci pintu                            |

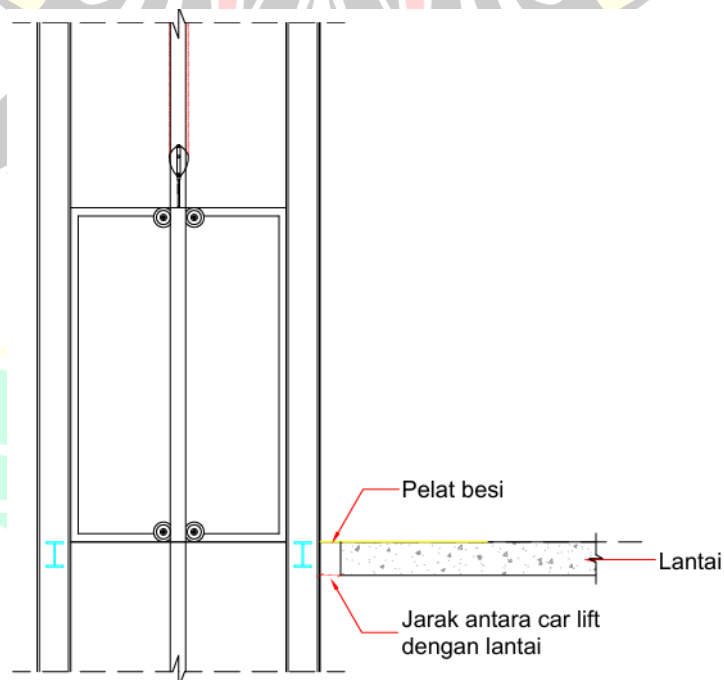
|                  |                                   |                                                                                                                                                                                                  |                                                                |
|------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Operasi lift     | Overload                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan mekanis</li> <li>• Kegagalan sling rope</li> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Cedera atau luka berat</li> </ul> | Sensor overload dan alarm                                      |
|                  | sling rope mengalami aus (putus)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Operator mengalami Cedera atau luka/benturan</li> <li>• Kebisingan (telinga sakit)</li> </ul>  | Safety Brake System (Rem Keamanan Otomatis)                    |
|                  | Roda dan rel macet                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Car lift tidak berjalan lancar</li> <li>• Luka atau cedera berat</li> </ul>                                                                             | Box oli                                                        |
|                  | Barang bergeser atau tidak stabil | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Luka atau cedera berat</li> </ul>                                                              | Muatan tersusun rapi dan stabil                                |
|                  | Malfungsi sistem lift             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lift berhenti mendadak/ba rang terjebak</li> <li>• Kerusakan barang krn terjatuh dari ketinggian</li> <li>• Luka atau cedera berat</li> </ul>           | Sistem Backup Daya (UPS atau Battery Backup) ( ke power panel) |
|                  | Korsleting / komponen rusak       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tersengat</li> <li>• Kebakaran</li> </ul>                                                                                                               | Emergency buttom                                               |
| Unloading barang | Leveling lift yang tidak akurat   | carlift berhenti tidak tepat pada lantai tertentu                                                                                                                                                | Sistem kontrol elevator ( tombol elevator)                     |

|                                                              |                                                                                                                                 |                            |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Adanya celah antara carlift dengan lantai tidak sama         | Terjepit diantara celah car lift dan lantai                                                                                     | Pelat penutup celah        |
| Perbedaan elevasi antara lantai car lift dengan lantai beton | Tersandung atau terjatuh                                                                                                        | Pelat yang dipasang miring |
| Tinggi carlift yang tidak sesuai                             | Terbentur ke bagian atas car lift                                                                                               | Tinggi carlift yang sesuai |
| Pintu tidak tertutup rapat                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terjepit pintu lift</li> <li>• Cedera atau luka</li> <li>• Kerusakan barang</li> </ul> | Pengunci pintu             |

#### 4.4.3 Implementasi mitigasi risiko dalam desain

Berikut merupakan hasil dari pengendalian risiko yang telah disusun dalam bentuk tabel dan masing-masing alat yang digunakan dilampirkan dalam bentuk gambar serta penjelasan dari setiap alat. Tabel tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

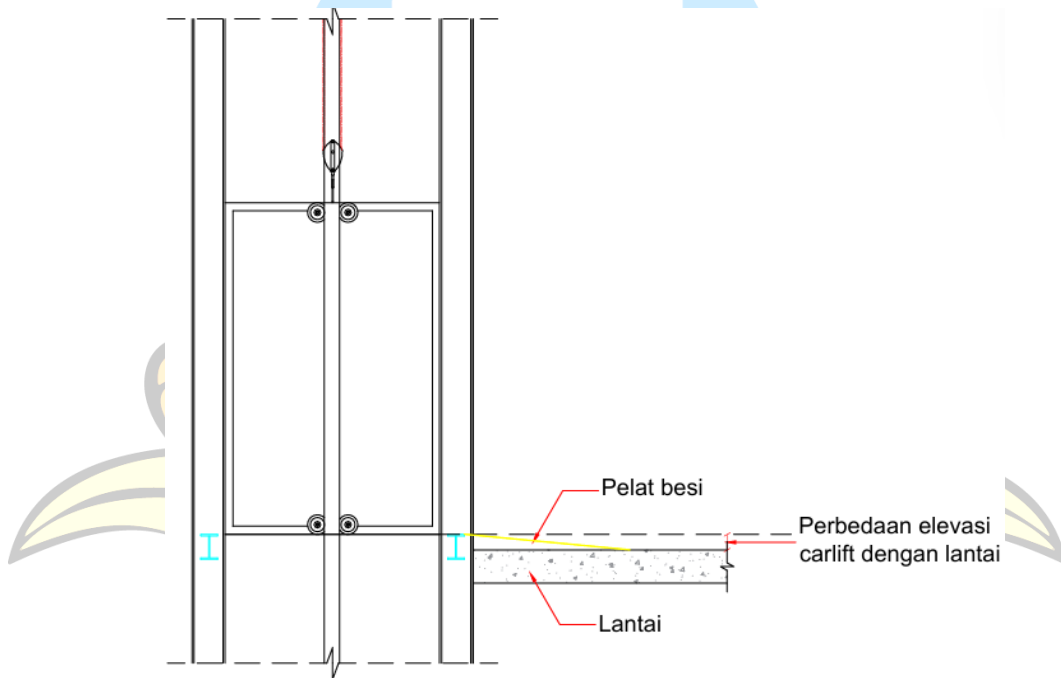
##### 1. Pelat penutup celah



**Gambar 4. 11** Letak pelat besi sebagai penutup celah

Pelat penutup celah dipasang apabila terdapat celah antara lantai car lift dengan lantai beton, berfungsi sebagai penutup agar celah tersebut tidak membahayakan pengguna serta menjaga keamanan dan kenyamanan saat naik turun lift. Pelat ini harus terbuat dari bahan yang kuat dan dipasang secara presisi agar mampu menahan beban serta mencegah benda kecil atau kaki pengguna terperosok ke dalam celah tersebut

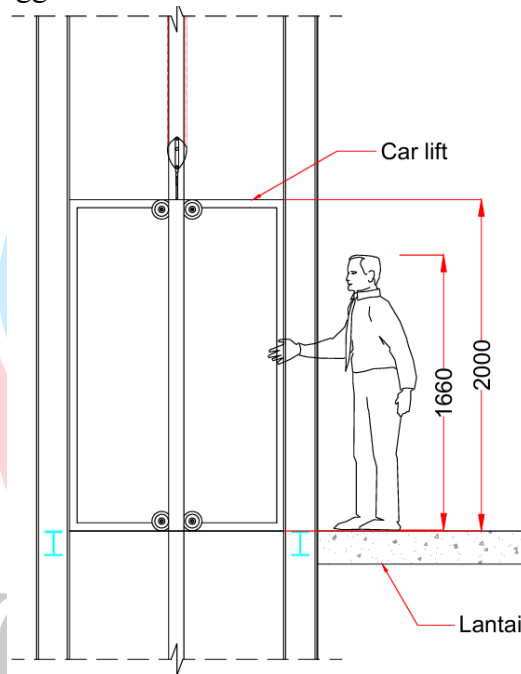
2. Pelat untuk elevasi yang berbeda



**Gambar 4. 12** Letak pelat besi apabila ada perbedaan tinggi/elevasi car lift dengan lantai

Pelat yang dipasang miring digunakan sebagai solusi apabila terdapat perbedaan tinggi atau elevasi antara lantai car lift dengan lantai beton di sekitarnya. Pelat miring ini berfungsi sebagai bidang transisi untuk mengurangi risiko cedera, benturan atau kerusakan akibat perbedaan elevasi tersebut. Selain itu, pemasangan pelat miring juga memastikan aksesibilitas dan kelancaran operasional car lift dalam bangunan yang memiliki selisih ketinggian antar lantai.

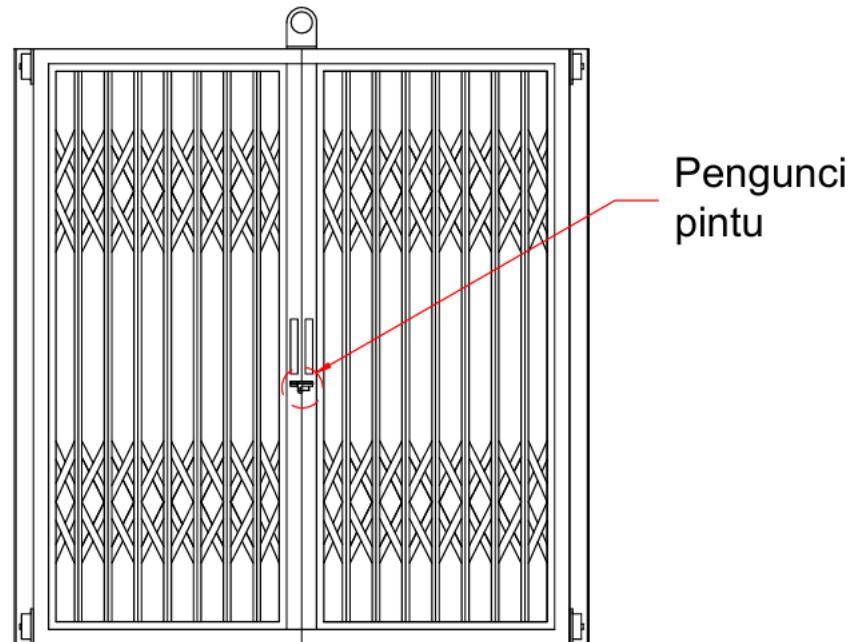
### 3. Penyesuaian tinggi *car lift*



**Gambar 4. 13** Penyesuaian tinggi *car lift*

Tinggi *car lift* barang harus dipertimbangkan dengan cermat untuk mencegah risiko cedera pada operator maupun kerusakan barang. Tinggi kabin lift yang memadai harus memungkinkan operator berdiri dengan nyaman tanpa risiko kepala terantuk bagian atas kabin atau ruang angkut. Selain itu, ruang vertikal yang cukup juga penting agar barang yang diangkut tidak mengalami benturan atau kerusakan selama proses pengangkutan. Standar tinggi kabin biasanya disesuaikan dengan kapasitas dan jenis barang yang diangkut. Dengan memperhatikan tinggi dan dimensi lift yang tepat, keselamatan operator dan keutuhan barang dapat terjamin, sekaligus mengoptimalkan efisiensi operasional.

#### 4. Pengunci pintu



**Gambar 4. 14** Letak pengunci pintu pada *car lift*

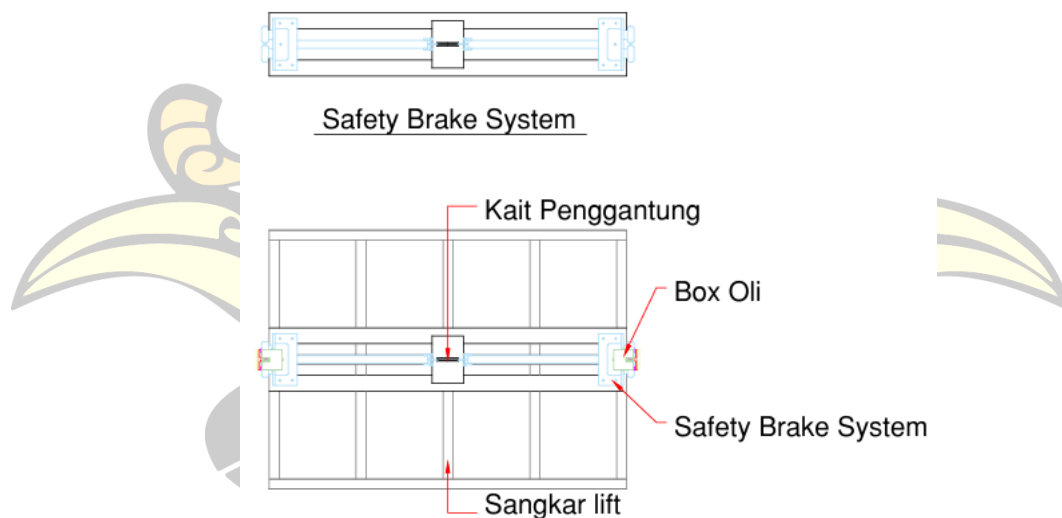
Penggunaan pengunci pintu pada *car lift* barang sangat penting untuk mencegah pintu terbuka saat operasional lift berlangsung. Sistem pengunci ini bekerja dengan mekanisme kait pengunci dan blok pengunci yang memastikan pintu tertutup rapat sebelum lift dapat bergerak. Dengan demikian, pengunci pintu mencegah terjadinya pembukaan pintu secara tidak sengaja yang dapat menyebabkan barang jatuh atau rusak serta menghindari risiko cedera pada operator atau pengguna lift selama proses pengangkutan barang. Selain itu, pengunci pintu juga berfungsi sebagai bagian dari sistem keamanan yang memastikan lift hanya beroperasi ketika pintu dalam keadaan terkunci penuh, sehingga meningkatkan keselamatan operasional secara keseluruhan.

#### 5. Sensor *overload*

*Weight Measuring Device Lift* atau *Overload Sensor* pada lift barang berfungsi sebagai alat sensor beban yang mengukur berat total muatan yang

diangkut oleh lift tersebut. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi berat beban menggunakan teknologi seperti sel beban (load cell) yang mengubah gaya berat menjadi sinyal listrik, sehingga sistem kontrol lift dapat memantau dan mencegah operasi saat terjadi kelebihan beban. Jika terjadi *overload* pada lift barang maka sistem akan otomatis membunyikan alarm, memberikan tanda atau peringatan bahwa beban yang dimasukkan telah melebihi kapasitas angkut lift. Dengan demikian, perangkat ini sangat penting untuk menjamin keselamatan operasional lift barang, mencegah kerusakan mekanis, dan mengoptimalkan kinerja lift dengan memastikan beban yang diangkut tidak melebihi kapasitas yang telah ditentukan.

#### 6. *Safety Brake System* (Rem Keamanan Otomatis)

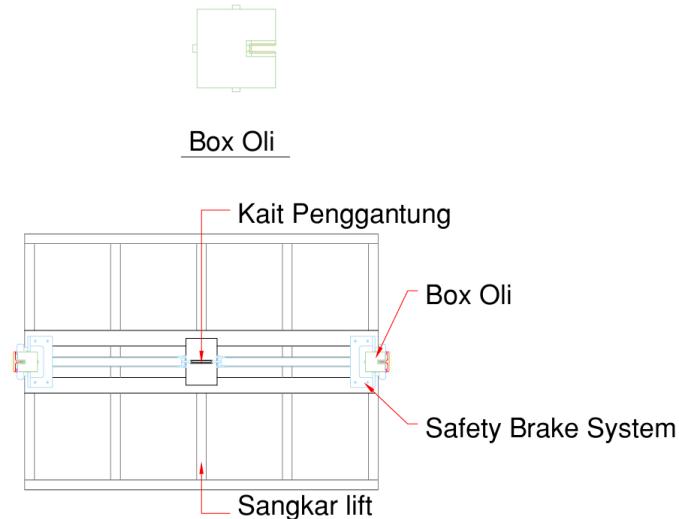


**Gambar 4. 15** *Safety brake system*

*Safety Brake System* (Rem Keamanan Otomatis) pada lift barang adalah sistem pengaman yang dirancang untuk mencegah terjadinya kecelakaan fatal akibat kegagalan mekanis, seperti putusnya kabel atau rantai pengangkat. Sistem ini bekerja secara otomatis dengan mengunci pergerakan lift ketika terjadi kecepatan jatuh yang tidak normal atau gangguan mendadak pada komponen pengangkat, sehingga platform lift tidak jatuh bebas dan tetap berada pada posisinya. Rem ini bisa berupa electromagnetic brake, mechanical interlock brake, atau gravity brake yang mampu menahan beban berat dan menjaga kestabilan operasional lift

barang, terutama yang berkapasitas besar dan berkecepatan tinggi. Dengan adanya safety brake system, risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan, melindungi pekerja dan barang yang diangkut, serta meningkatkan efisiensi dan umur pakai lift barang itu sendiri.

#### 7. Box Oli



**Gambar 4. 16** Box Oli

*Box oli* pada lift barang berfungsi sebagai penampung oli pelumas yang ditempatkan di atas sangkar lift, tepatnya untuk melumasi rel (*rail*) lift. Fungsi utama pelumasan ini adalah mengurangi gesekan antara roda (*guide shoe*) dengan rel sehingga roda dan rel tidak cepat aus dan tetap bergerak lancar tanpa macet. Jika *box oli* berfungsi dengan baik, oli yang menetes ke rel akan membentuk lapisan pelumas yang mengurangi gaya gesek dan mencegah roda serta rel mengalami macet atau tersendat saat lift bergerak. Sebaliknya, jika pelumasan tidak memadai atau *box oli* tidak berfungsi, gesekan antara roda dan rel akan meningkat, yang dapat menyebabkan roda dan rel menjadi macet, mempercepat kerusakan komponen, dan mengganggu kelancaran operasi lift.

#### 8. Sistem *Backup Daya* (UPS atau *Battery Backup*) ( ke power panel)

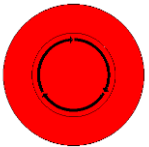
Sistem *Backup Daya* berupa UPS (*Uninterruptible Power Supply*) atau *battery backup* pada panel daya lift barang berfungsi sebagai sumber daya cadangan yang memastikan lift tetap beroperasi saat terjadi gangguan

listrik atau pemadaman mendadak. Dengan adanya UPS, lift barang dapat menurunkan posisi secara otomatis ke tempat aman tanpa berhenti di tengah perjalanan, sehingga mencegah risiko kecelakaan dan kerusakan mekanis akibat kehilangan daya secara tiba-tiba. Penggunaan UPS pada lift barang sangat penting untuk menjaga kelancaran operasional dan keselamatan kerja, terutama di lingkungan yang sangat bergantung pada lift untuk pengangkutan barang.

#### 9. Sistem kontrol lift barang

Panel kontrol pada lift barang berfungsi sebagai pusat pengaturan dan pengendalian seluruh sistem operasional lift. Panel ini memastikan lift dapat bekerja dengan aman, efisien, dan sesuai perintah. Selain panel, sistem ini juga dilengkapi dengan tombol yang berfungsi untuk mengarahkan lift atau mengatur sistem operasional lift tersebut. Berikut merupakan tombol yang digunakan pada lift barang.

**Tabel 4. 41** Simbol, nama dan fungsi tombol lift barang

| Simbol                                                                              | Tombol                             | Fungsi                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Emergency Stop<br>(tombol darurat) | Untuk menghentikan operasi lift secara mendadak dalam keadaan darurat. Ketika tombol ini ditekan, aliran listrik ke sistem kontrol lift akan terputus sehingga lift langsung berhenti demi mencegah kecelakaan atau kerusakan. |
|  | Emergency/Reset/Call               | Mengaktifkan mode darurat, mereset sistem setelah emergency stop ditekan, atau memanggil lift ke lantai tertentu (fitur ini tergantung pada desain lift barang masing-masing).                                                 |

| Simbol                                                                            | Tombol   | Fungsi                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Lantai 3 | Untuk memerintahkan lift menuju lantai 3. Ketika tombol ini ditekan, lift akan bergerak ke lantai 3. |
|  | Lantai 2 | Untuk memerintahkan lift menuju lantai 2. Ketika tombol ini ditekan, lift akan bergerak ke lantai 2. |
|  | Lantai 1 | Untuk memerintahkan lift menuju lantai 1. Ketika tombol ini ditekan, lift akan bergerak ke lantai 1. |

#### 4.4 Gambar kerja

Gambar kerja merupakan salah satu elemen yang paling penting dalam dunia konstruksi. Karena gambar kerja memuat informasi detail teknis seperti dimensi, material, spesifikasi teknik, metode konstruksi, hingga intruksi khusus yang harus diikuti oleh tim pelaksana di lapangan. Gambar kerja juga berfungsi sebagai dokumentasi proyek, meminimalkan kesalahan, dan mempermudah komunikasi. Berikut gambar kerja hasil dari analisis perhitungan peneliti yang dilampirkan di masing-masing lampiran.

##### 1. Site Plan

*Site plan* merupakan gambar tata letak suatu elemen desain yang ditempatkan dalam sebuah bidang menggunakan media yang sebelumnya sudah dikonsep terlebih dahulu. Gambar site plan akan menunjukkan akses ruang dari tapak, perletakan ruang dan hubungannya dengan ruang lain dan dengan tapak, juga view yang didapat setiap ruang. *Site plan* dapat dilihat pada **Lampiran Gambar kerja**.

##### 2. Denah

Denah merupakan tampak atas bangunan yang dipotong horizontal untuk memperlihatkan bagian lantai bangunan. Denah akan menjelaskan secara detail dengan keterangan skala, ukuran ruang, nama ruang, ketinggian ruang, bukaan pada ruang, perletakan furnitur di dalam ruang,

arah mata angin sebagai acuan perletakan ruang di dalam tapak, serta garis potongan dan arah pandangnya. Denah lift barang dapat dilihat pada **Lampiran Gambar kerja.**

### 3. Potongan atau section

Gambar potongan akan menunjukkan struktur yang digunakan termasuk dimensi, jarak perletakkannya, dan bahan yang digunakan. Gambar potongan biasanya di potong secara vertikal dan horizontal untuk melihat sisi dalam bangunan dari kedua sisi. Gambar potongan dapat dilihat pada **Lampiran Gambar kerja.**

### 4. Tampak

Gambar tampak adalah suatu bangunan akan menggambarkan wujud luar fisik bangunan secara dua dimensi. Gambar tampak dapat digambar secara plain atau ditambah efek bayangan untuk mempertegas dimensi atau maju mundurnya bidang pada bangunan. Pada gambar tampak akan disajikan dimensi bangunan, proporsi, gaya arsitektur, warna dan material bangunan, serta estetika bangunan. Arah gambar tampak bisa disesuaikan dengan arah mata angin, atau pun view tertentu yang ingin ditampilkan. Gambar potongan dapat dilihat pada **Lampiran Gambar kerja.**

### 5. Gambar detail

Gambar detail akan menjelaskan berbagai gambar kerja secara lebih detail lagi. Misalnya gambar detail struktur pondasi, detail sambungan, sampai detail desain furniture. Detail gambar struktur dapat dilihat pada **Lampiran Gambar kerja.**

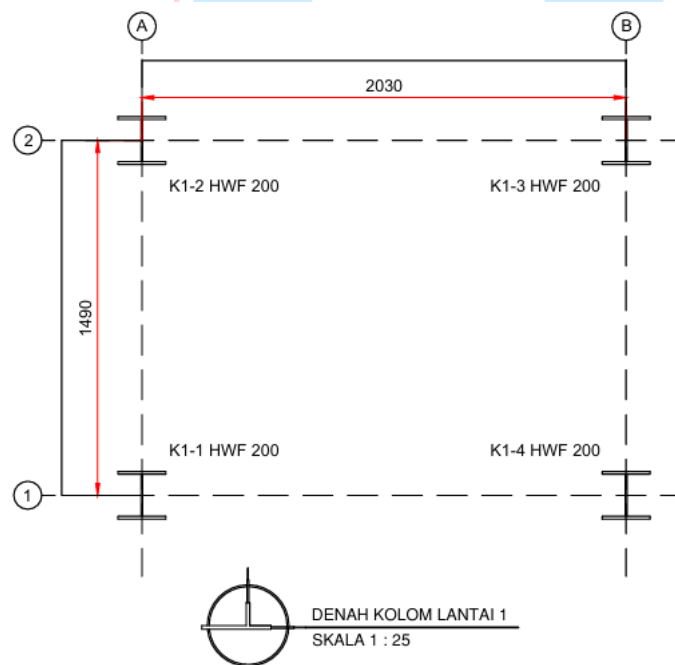
## 4.5 Rencana anggaran biaya (RAB)

Untuk menghitung rencana anggaran biaya (RAB) lift barang pada penelitian ini digunakan langkah-langkah perhitungan sebagai berikut.

### 4.4.1 Gambar

Gambar kerja memiliki fungsi yang sangat penting dalam menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) karena menjadi dasar utama untuk menentukan jenis, volume, dan spesifikasi pekerjaan yang akan dilaksanakan dalam suatu proyek konstruksi. Dengan gambar kerja yang lengkap dan detail, tim perencana

dapat mengidentifikasi semua komponen pekerjaan, mulai dari ukuran, bentuk, hingga jenis material yang digunakan, sehingga memudahkan perhitungan volume pekerjaan secara akurat. Selain itu, gambar kerja juga membantu memperkirakan kebutuhan tenaga kerja dan alat yang diperlukan, sehingga RAB yang disusun menjadi lebih tepat dan efisien. Dengan demikian, gambar kerja tidak hanya berperan sebagai panduan teknis dalam pelaksanaan konstruksi, tetapi juga sebagai alat utama untuk menyusun anggaran biaya yang realistis dan menghindari pemborosan atau kekurangan dana selama proses pembangunan. Berikut merupakan contoh gambar kerja kolom baja pada lantai 1 yang digunakan dalam menghitung volume pekerjaan.



**Gambar 4. 17** Denah kolom lantai 1

#### 4.4.2 Volume pekerjaan

Perhitungan masing-masing volume pekerjaan disesuaikan dengan gambar kerja yang telah ditentukan agar didapatkan hasil yang mendekati kenyataan. Untuk gedung bertingkat perhitungan volume dihitung secara terpisah sesuai dengan dimensi dan spesifikasi yang telah ditentukan. Cara menghitung volume kolom baja dan cara perhitungan menggunakan data lantai 1 adalah sebagai berikut:

Kolom Hbeam 200x200x8x12 :

Kolom = (Panjang profil × jlh) × Berat Baja

Kolom = (4,25 m × 4) × 49,9 kg

Kolom = 843 kg

Maka total kebutuhan baja Hbeam 200x200x8x12 pada lantai 1 dalam satuan kg pada lantai 1 adalah 843 kg.

#### 4.4.2 AHSP dan HSP

Analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) digunakan untuk menghitung harga satuan pekerjaan pekerjaan konstruksi yaitu 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. Penggunaan harga dari standar Kota Balikpapan dalam perhitungan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dilakukan berdasarkan Peraturan Wali Kota Balikpapan Nomor 16 Tahun 2024 tentang Standar Harga Satuan Daerah Tahun Anggaran 2025, yang menetapkan harga satuan pekerjaan sebagai acuan resmi dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan dokumen pelaksanaan anggaran di wilayah Kota Balikpapan. Standar harga ini mencakup komponen biaya tenaga kerja, bahan, dan alat yang disesuaikan dengan kondisi lokal, sehingga memastikan perhitungan AHSP menjadi lebih akurat, transparan, dan sesuai dengan ketentuan pemerintah daerah setempat.

Perhitungan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dan Harga Satuan Pekerjaan (HSP) untuk lift barang dilakukan dengan mengacu pada Pedoman AHSP Bidang Cipta Karya dan Perumahan sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) Nomor 8 Tahun 2023 serta Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi (SE Dirjen BK) Nomor 68 Tahun 2024. Permen PUPR No. 8 Tahun 2023 menetapkan bahwa AHSP adalah perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan untuk memperoleh harga satuan pekerjaan konstruksi lift barang.

Berikut merupakan salah satu contoh AHSP yang digunakan dalam perhitungan struktur kolom baja Hbeam 200x200x8x12. AHSP setiap pekerjaan dapat dilihat pada **Lampiran AHSP**.

Tenaga kerja (A) :

Jumlah harga =(koefisien ×harga satuan)

Jumlah harga =(0,06×Rp141.300,00)

Jumlah harga = Rp8.478,00

Bahan (B) :

Jumlah harga =(koefisien ×harga satuan)

Jumlah harga =(1,15×Rp19.300)

Jumlah harga = Rp22.195,00

Peralatan (C) :

Jumlah harga = (koefisien × harga satuan)

Karena tidak ada peralatan yang dibutuhkan untuk pekerjaan ini maka tidak perlu dihitung.

Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (D) :

$D = A+B+C = \text{Rp}21.654,60 + \text{Rp}21.654,60 + 0$

$D = A+B+C = \text{Rp}43.849,60$

Biaya Umum dan Keuntungan (10% - 15%) x D (E) :

$E = 10\% \times D = 10\% \times \text{Rp}43.849,60$

$E = \text{Rp}4.384,96$

Maka Harga Satuan Pekerjaan dapat dihitung dengan :

Harga satuan pekerjaan = D + E

Harga satuan pekerjaan =  $\text{Rp}43.849,60 + \text{Rp}4.384,96$

Harga satuan pekerjaan =  $\text{Rp}48.234,56$

Berikut merupakan tabel hasil dari perhitungan pekerjaan profil Hbeam 200x200x8x12 yang telah dilakukan.

**Tabel 4. 42** Pekerjaan profil Hbeam 200 x 200 x 8 x 12

| Jenis pekerjaan           |               | Profil Hbeam 200 x 200 x 8 x 12 |           |                  |                   |
|---------------------------|---------------|---------------------------------|-----------|------------------|-------------------|
| Satuan                    |               | kg                              |           |                  |                   |
| No                        | Uraian        | Satuan                          | Koefisien | Harga Satuan(Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
| A Tenaga Kerja            |               |                                 |           |                  |                   |
| 1                         | Pekerja       | OH                              | 0,06      | Rp141.300,00     | Rp8.478,00        |
| 2                         | Tukang Las    | OH                              | 0,06      | Rp188.400,00     | Rp11.304,00       |
| 3                         | Kepala Tukang | OH                              | 0,006     | Rp212.000,00     | Rp1.272,00        |
| 4                         | Mandor        | OH                              | 0,003     | Rp200.200,00     | Rp600,60          |
| Jumlah Harga Tenaga Kerja |               |                                 |           |                  | Rp21.654,60       |
| B Bahan                   |               |                                 |           |                  |                   |

| Jenis pekerjaan    |                                                        | Profil Hbeam 200 x 200 x 8 x 12 |           |                  |                   |
|--------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|------------------|-------------------|
| Satuan             |                                                        | kg                              |           |                  |                   |
| No                 | Uraian                                                 | Satuan                          | Koefisien | Harga Satuan(Rp) | Jumlah Harga (Rp) |
|                    | Baja Profil Hbeam 200 x 200 x 8 x 12                   | kg                              | 1,15      | Rp19.300         | Rp22.195,00       |
| Jumlah Harga Bahan |                                                        |                                 |           |                  | Rp22.195,00       |
| C                  | Peralatan                                              |                                 |           |                  |                   |
| Jumlah Harga Alat  |                                                        |                                 |           |                  | Rp0,00            |
| D                  | Jumlah Harga Tenaga Kerja, Bahan dan Peralatan (A+B+C) |                                 |           |                  | Rp43.849,60       |
| E                  | Biaya Umum dan Keuntungan (10% - 15%) x D              |                                 |           |                  | Rp4.384,96        |
| F                  | Harga Satuan Pekerjaan (D+E)                           |                                 |           |                  | Rp48.234,56       |

#### 4.4.2 Rencana Anggaran Biaya

Setelah dilakukan perhitungan nilai harga satuan pekerjaan maka dilakukan perhitungan RAB perencanaan lift barang di Gedung A Institut Teknologi Kalimantan yang disusun dengan mempertimbangkan aspek teknis dan fungsional lift sebagai alat transportasi vertikal yang esensial untuk mobilitas barang dalam gedung bertingkat. Perencanaan ini mencakup spesifikasi teknis lift barang, kapasitas angkut, dimensi sangkar, serta tata letak ruang mesin, shaft, dan pit yang sesuai dengan standar keselamatan dan efisiensi operasional. Estimasi biaya dalam RAB meliputi instalasi, serta komponen utama lift seperti sistem penggerak, alat pengaman, dan mekanisme kontrol yang dirancang agar memenuhi kebutuhan operasional kampus secara optimal. Berikut merupakan hasil perhitungan RAB yang telah dilakukan peneliti.

**Tabel 4. 43** Rekap rencana anggaran biaya (RAB) pekerjaan lift barang

| No | Uraian pekerjaan    | Total harga  |
|----|---------------------|--------------|
| I  | Pekerjaan Persiapan | 2.075.305,26 |
| II | Pekerjaan Tanah     | 1.686.291,23 |

|     |                                        |                                                                                                        |
|-----|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| III | Pekerjaan Pondasi Bore Pile dia. 0,3 m | 13.753.206,72                                                                                          |
| IV  | Pekerjaan Beton                        | 116.580.749,22                                                                                         |
| V   | Pekerjaan Baja                         | 169.049.193,83                                                                                         |
| VI  | Pekerjaan Arsitektur                   | 75.484.695,00                                                                                          |
| VII | Pekerjaan MEP                          | 13.817.245,00                                                                                          |
|     | Jumlah                                 | <b>392.446.686,25</b>                                                                                  |
|     | PPN (11%)                              | <b>43.169.135,49</b>                                                                                   |
|     | Total                                  | <b>435.615.821,74</b>                                                                                  |
|     | Terbilang                              | <b>Empat ratus tiga puluh lima juta enam ratus lima belas ribu delapan ratus dua puluh satu rupiah</b> |

