

**ANALISIS TRANSFER TOWER DENGAN
METODE ASD DAN LRFD****Rama Tri Afit¹, Deded Eka Sahputra², Rafki Imani^{3*}, Nanda⁴**^{1,2,3,4}Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Putra Indonesia YPTK Padang*e-mail: rafimani17@yahoo.co.id**ABSTRACT**

The Banko Barat Tanjung Enim transfer tower is a coal handling facility. The operating loads in transfer tower buildings with steel structures are transferred to the base via the pedestal column. In this example, the pedestal column attached to the anchor bolt serves as the transition material from the steel structure to the concrete structure. Connections must be evaluated in order to minimize structural failure due to internal forces generated. The calculations are performed using two methods: LRFD (Load Resistance Factor Design) and ASD (Allowable Safety Design). The response spectrum analysis approach was applied, which was aided by the SAP 2000 application program. The analytical findings show that the structure of the transfer tower is strong against internal forces caused by operating loads, whether employing the LRFD approach or the ASD method. These two approaches conclude that the LRFD method allows the transfer tower structure to sustain nominal shear loads up to 59% higher than the ASD method, while the tensile resistance of anchor bolts is up to 22% higher than the ASD method.

Keywords: Transfer tower, LRFD, Anchor bolt, Pedestal column, ASD.

ABSTRAK

Transfer tower merupakan fasilitas penanganan batubara yang terletak di Bangko Barat Tanjung Enim. Pada bangunan transfer tower yang menggunakan struktur baja, beban-beban yang bekerja diteruskan ke fondasi melalui kolom pedestal. Peralihan material dari struktur baja ke struktur beton dalam hal ini adalah kolom pedestal dihubungkan dengan anchor bolt. Sambungan perlu dianalisis agar terhindar dari kegagalan struktur. Analisis ditinjau dari gaya-gaya dalam yang ditimbulkan. Perhitungan dilakukan dengan 2 metode yaitu LRFD (Load Resistance Factor Design) dan ASD (Allowable Stress Design). Metode yang digunakan yaitu dengan analisis respon spectrum dibantu program aplikasi SAP 2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode LRFD maupun dengan ASD, struktur transfer tower kuat terhadap gaya-gaya dalam yang terjadi sebagai akibat beban-beban luar yang bekerja. Kedua metode ini menyimpulkan bahwa dengan metode LRFD, struktur transfer tower mampu menahan beban geser nominal hingga 59 % lebih kuat dibandingkan metode ASD, sementara tahanan tarik yang mampu ditahan anchor bolt hingga 22% lebih baik dibandingkan menggunakan ASD.

Kata kunci: Transfer tower, LRFD, Baut angkur, Kolom pedestal, ASD

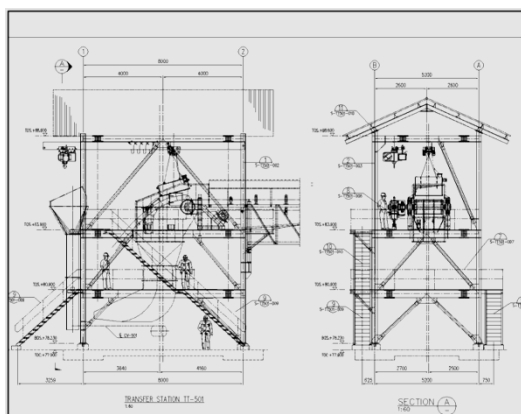
PENDAHULUAN

Dalam beberapa model struktur, baja menjadi pilihan untuk konstruksi tertentu dengan denah yang terbatas. Struktur baja adalah struktur bangunan yang umumnya terbuat dari komponen baja, yang dapat mendukung dan menyalurkan beban-beban ke seluruh struktur berdasarkan konfigurasi struktural [1]. Struktur ini biasanya saling terhubung satu sama lain agar dapat memberikan kekakuan penuh pada

bangunan [2]. Struktur ini sangat cocok digunakan untuk bangunan bertingkat, bangunan industri berat, menara, jembatan dan juga bangunan-bangunan infrastruktur lainnya. Meskipun berbagai kelebihan dimiliki oleh baja, dalam perencanaannya perlu diperhatikan faktor-faktor seperti faktor keamanan, kekuatan, stabilitas serta efisiensi pengerjaannya [3-4].

Salah satu bangunan industri yang menggunakan struktur baja adalah

proyek konstruksi fasilitas penanganan batu bara, yang berlokasi di Bangko Barat Tanjung Enim Provinsi Sumatera Selatan. Bangunan ini merupakan menara baja 3 tingkat yang berfungsi sebagai stasiun perpindahan. Pada bangunan ini beban-beban yang bekerja akan diteruskan ke fondasi. Bangunan Transfer Tower seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Peralihan material dari struktur baja ke struktur beton dalam hal ini adalah kolom pedestal dihubungkan dengan *anchor bolt*. Sambungan perlu dianalisis agar terhindar dari kegagalan struktur. Analisis dilakukan dengan 2 metode yaitu metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*) dan ASD (*Allowable Stress Design*) [5].



Gambar 1. Denah struktur

LRFD merupakan metode perencanaan bangunan gedung yang memperhitungkan faktor beban dan faktor ketahanan material. Konsep desain ini pada prinsipnya tegangan yang terjadi dalam setiap elemen struktur harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan, dengan pengertian lain, beban yang bekerja harus lebih kecil dari kapasitas kekuatan elemen dibagi dengan suatu faktor keamanan (*safety factor*). Metode LRFD menitikberatkan kepada model probabilitas, sehingga mampu mengantisipasi kemungkinan terjadinya ketidakpastian dari beban dan material [6-7]. Metode ASD menggunakan beban servis sebagai beban yang harus dapat ditahan oleh material konstruksi. Agar konstruksi

aman maka harus direncanakan bentuk dan kekuatan bahan yang mampu menahan beban tersebut, dalam artian

Metode ASD lebih menitikberatkan kepada batas elastis bajanya [8], [9], [10]. Tegangan maksimum yang diizinkan terjadi pada suatu konstruksi saat beban servis bekerja harus lebih kecil atau sama dengan tegangan leleh. Seiring perkembangan, metode LRFD semakin banyak digunakan, karena metode ini dianggap cukup handal. Dalam perencanaannya, kedua metode ini diatur oleh SNI-03-1729-2015 tentang analisis struktur baja [10-11].

Faktor tahanan komponen struktur yang memikul gaya tarik aksial harus kuat terhadap tarik leleh dan terhadap kuat tarik fraktur. Luas netto penampang batang tarik yang disambung dengan paku keling atau baut harus dilubangi, sehingga menyebabkan berkurangnya luas penampang yang dibutuhkan untuk memikul gaya tarik, maka kekuatan tarik batang akan berkurang.

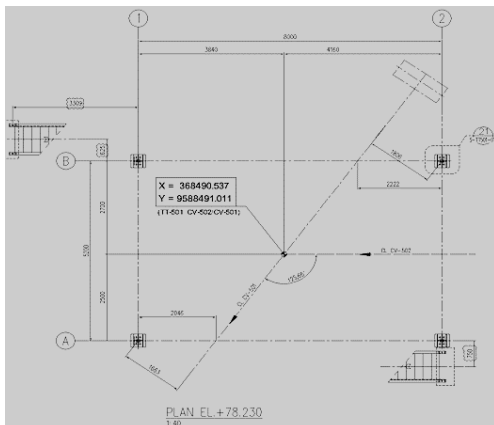
Menurut Azhari (2015), analisis menggunakan metode LRFD untuk menentukan kekuatan nominal penampang suatu batang tarik dengan kuat tarik minimal yaitu 114 kN. Untuk metode ASD, kekuatan batang tarik pada beban maksimum yang dapat dipikul lebih kecil dari 60,3 kN, dan untuk pembebanan sementara kurang dari 80,2 kN. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa dengan LRFD mampu menahan beban lebih besar dibandingkan dengan ASD [9].

Penelitian oleh Irawan & Sentosa (2022) telah menyimpulkan bahwa, analisis desain *Soil nailing* menggunakan LRFD hasilnya lebih efisien dibandingkan dengan AD hingga efisiensi 30%, dan dinyatakan bahwa ASD kurang aman dengan faktor keamanan, *SF*, sebesar 1,50 [12]. Analisis terhadap Gable Frame yang dihasilkan oleh Cahya (2014), menyimpulkan bahwa LRFD

lebih efisien dan ekonomis sebesar 21,87% dibandingkan dengan ASD [13]. Penelitian lainnya juga telah menyimpulkan bahwa ada efisiensi bila analisis dengan LRFD lebih mampu memberikan ketahanan tinggi dan lebih ekonomis dibandingkan dengan ASD [14].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian analisis yang bertujuan untuk menganalisis struktur baja pada *anchor bolt* struktur *Transfer Tower* yang berlokasi di Bangko Barat Tanjung Enim Provinsi Sumatera Selatan. Pengumpulan data-data yang diperlukan diantaranya gambar detail pekerjaan (Gambar 2 dan 3). Berdasarkan Gambar 2, bangunan dimodelkan dan dianalisis dengan analisis respon spektrum gempa wilayah Banko Barat Tanjung Enim.



Gambar 2. Detail *anchor bold* dan *base plate*.

Data yang dibutuhkan adalah data kondisi perencanaan seperti kriteria desain, beban desain dan data umum *anchor* dan *base plate* yang sudah ditetapkan oleh proyek. *Software* yang digunakan untuk analisis adalah SAP2000. Untuk pembebanan dibedakan berdasarkan metode LRFD dan ASD. Hasil *output* gaya-gaya dalam dari kedua metode ini dibandingkan dengan tegangan yang diizinkan. Analisis dengan metode LRFD

dilakukan pada sambungan yang melibatkan beban terfaktor dan memiliki syarat yang mengacu pada SNI-2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.

Tahapan analisis dalam penelitian ini dimulai dengan studi literatur, Pengumpulan data primer dan data sekunder, perhitungan *allowable bearing*, momen lentur dan dimensi rencana *stiffness* pada *baseplate*, perhitungan eksentrisitas beban, perhitungan gaya tarik dan geser pada angkur baut, perhitungan gaya tumpu pada angkur baut, perhitungan kombinasi geser dan tarik dan perhitungan kontrol panjang angkur baut. Adapun tahapan analisis dijelaskan dengan formula berikut.

Analisis Ancor Bolt dengan Metode LRFD

1. Gaya Tarik pada angkur baut
 - a. Gaya tarik pada angkur baut

$$T_{ul} = \frac{P_t}{n_t} \quad (1)$$
 - b. Gaya yang bekerja pada angkur baut yang tertarik

$$T_{ul} = \frac{P_t}{n_t} \quad (2)$$
 - c. Luas penampang angkur baut

$$A_b = \pi / 4d^2 \quad (3)$$
 - d. Tahanan tarik nominal angkur baut

$$T_n = 0,75 \times A_b \times f_u^b \quad (4)$$
 - e. Tahanan tarik angkur baut

$$\phi_t \times T_n \quad (5)$$
 - f. Syarat yang harus terpenuhi

$$T_{ul} \leq \phi_t \times T_n \quad (6)$$

Dengan f adalah jarak baut terhadap pusat (mm), h adalah lebar kolom baja (mm), P_u adalah gaya aksial akibat beban terfaktor (N), P_t adalah gaya tarik pada angkur baut dan n_t adalah jumlah angkur baut.

2. Gaya geser pada angkur baut

a. Gaya geser pada angkur baut

$$T_{ul} = \frac{P_t}{n_t} \quad (7)$$

b. Luas penampang angkur baut

$$A_b = \pi / 4 d^2 \quad (8)$$

c. Tahanan geser nominal

$$V_n = r_1 \times m \times A_b \times f_u^b \quad (9)$$

d. Tahanan geser baut

$$\phi_t \times V_n \quad (10)$$

e. Syarat yang harus terpenuhi

$$V_{ul} \leq \phi_f \times V_n \quad (11)$$

Dengan ϕ_f adalah faktor reduksi kekuatan geser, V_n adalah tahanan geser nominal (N), V_{ul} adalah gaya geser akibat beban terfaktor (N), r_1 adalah faktor pengaruh ulir pada bidang geser, m adalah jumlah penampang geser, A_b adalah luas penampang angkur baut (mm^2), dan $f_{u,b}$ adalah tegangan tarik putus angkur baut (Mpa).

3. Gaya tumpu pada angkur baut

a. Gaya tumpu pada angkur baut

$$R_{ul} = V_{ul} \quad (12)$$

b. Tahanan Tumpu nominal

$$R_n = 2,4 \times d \times t \times f_{u,b} \quad (13)$$

Tahanan tumpu

$$\phi_n = R_n \quad (14)$$

c. Syarat yang harus dipenuhi

$$R_{ul} \leq \phi_n \times R_n \quad (15)$$

dimana V_{ul} adalah gaya geser pada angkur baut (N), d adalah diameter angkur baut (mm), t adalah tebal pelat tumpu (mm), $f_{u,b}$ adalah tegangan tarik putus plat (MPa), R_n adalah tahanan tumpu nominal (N), dan ϕ_n adalah faktor reduksi kekuatan geser.

4. Kombinasi geser dan tarik

a. Tegangan geser akibat beban terfaktor

$$f_{uv} = \frac{V_u}{n \cdot A_b} \quad (16)$$

b. Kuat geser baut angkur (*anchor bolt*)

$$\phi_f \times r_1 \times m \times f_{u,b} \quad (17)$$

c. Syarat yang harus terpenuhi

$$f_{uv} = \frac{V_n}{n A_b} \leq \phi_f \times r_1 \times m \times f_u^b \quad (18)$$

d. Tahanan tarik angkur baut

$$\phi_f \times T_n = \phi_f \times f_t \times f_u^b \quad (19)$$

e. Syarat yang harus terpenuhi

$$T_{ul} \leq \phi_f \times f_t \times A_b \quad (20)$$

f. Kuat tarik angkur baut

$$f_t = 0,75 \times f_u^b \quad (21)$$

g. Batas regangan kombinasi

$$f_1 - r_2 \times f_{uv} \quad (22)$$

h. Syarat yang harus terpenuhi

$$f_t \leq f_1 - r_2 \times f_{uv} \quad (23)$$

dengan V_u adalah gaya geser pada angkur baut (N), n adalah jumlah angkur baut, r_1 adalah faktor pengaruh ulir pada bidang geser, m adalah jumlah penampang geser, f_t adalah kuat tarik angkur, r_2 merupakan faktor pengaruh dari kuat geser, f_t adalah kuat tarik baut angkur (MPa). r_2 adalah faktor pengaruh ulir pada bidang geser, dan f_{uv} adalah tegangan geser akibat beban terfaktor (MPa).

5. Kontrol panjang angkur baut

a. Panjang angkur minimum yang diperlukan

$$t_{\min} = l \sqrt{\frac{2P_u}{\phi \cdot F_y \cdot B \cdot N}}$$

$$L_{\min} = \frac{f_y}{(4 \sqrt{f'c})d} \quad (24)$$

b. Syarat yang harus terpenuhi

$$L_{\min} \leq L_a \quad (25)$$

Dimana f_y adalah tegangan leleh baja (MPa), $f'c$ adalah kuat tekan beton (MPa), d adalah diameter angkur baut (mm), L_{\min} adalah panjang angkur minimum (mm), L_a adalah panjang angkur tanam yang digunakan (mm).

Analisis dengan Metode ASD

Formulasi analisis dengan ASD ini mengacu pada SNI-03-1729-2015.

1. Analisis *Ancor Bolt*

a. Kekuatan geser desain baut

$$R_n = mA_b(0,6 \times f_{u,b}) \quad (26)$$

dengan R_n adalah kekuatan nominal pada suatu penyambung, m adalah banyaknya bidang geser yang terlibat (irisan tunggal atau irisan ganda), A_b adalah luas penampang lintang bruto yang melintang pada bagian tangkai baut yang tak berulir (cm^2) dan $f_{u,b}$ adalah kekuatan tarik bahan baut.

2. Kekuatan tumpu desain baut

$$R_n = 2,4 \cdot f_u \cdot D \cdot t \quad (27)$$

dimana R_n adalah kekuatan nominal pada suatu penyambung, F_u adalah kekuatan tarik baja yang membentuk bagian yang disambung, D adalah diameter nominal baut (mm), dan t adalah ketebalan pelat yang memikul baut (mm).

Analisis *Base Plate* dengan ASD dan LRFD

Ketebalan yang diperlukan diambil berdasarkan formula dari *Steel Construction*, AISC-8 3-99), dimana:

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} \quad (28)$$

$$n = \frac{B - 0,8bf}{2} \quad (29)$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \quad (30)$$

dengan B adalah lebar *base plate* (cm), N adalah panjang *base plate* (cm), b adalah lebar sayap/*flens* kolom (cm), d adalah tinggi profil kolom (cm), dan f adalah jarak angkur kesumbu *base plate* dan sumbu kolom (cm).

Berdasarkan LRFD, gaya tekan maksimum (f_i) tidak boleh melebihi gaya tekan yang diizinkan (P_p), dimana:

$$P_u \leq \phi P_p = 0,85\phi c f' c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (\text{LRFD}) \quad (31)$$

$$P_a \leq \frac{P_p}{\Omega} = \frac{0,85\phi c f' c A_1}{\Omega} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (\text{ASD}) \quad (32)$$

dengan $f'c$ adalah mutu beton (MPa), A_1 adalah luas *base plate* (cm^2), A_2 adalah luas beton dasar (bantalan) (cm^2), ϕc adalah faktor resistensi pada beton (0,6) dan Ω adalah *safety factor* untuk ASD (1,67).

Untuk pelat dasar yang dibebani secara aksial, tegangan bantalan di bawah pelat dasar diasumsikan terdistribusi secara merata dan dapat dinyatakan dengan,

$$f_{pu} = \frac{P_u}{BN} \quad (\text{untuk LRFD}) \quad (33)$$

$$f_{pa} = \frac{P_a}{BN} \quad (\text{untuk ASD}) \quad (34)$$

Prosedur berikut memungkinkan satu prosedur untuk menentukan ketebalan pelat dasar untuk kedua situasi. Kekuatan pelat dasar yang dibutuhkan dapat ditentukan sebagai

$$M_{pl} = f_{pu} \left(\frac{l^2}{2} \right) \quad (\text{untuk LRFD}) \quad (35)$$

$$M_{pl} = f_{pa} \left(\frac{l^2}{2} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (36)$$

Untuk keadaan batas leleh, ketebalan minimum pelat dasar yang diperlukan dapat dihitung sebagai berikut (AISC, 2005):

$$t_{\min} = l \sqrt{\frac{2P_u}{\phi \cdot F_y \cdot B \cdot N}} \left(\frac{l^2}{2} \right) \quad (\text{LRFD}) \quad (37)$$

$$t_{\min} = l \sqrt{\frac{2\Omega P_u}{\phi \cdot F_y \cdot B \cdot N}} \left(\frac{l^2}{2} \right) \quad (\text{ASD}) \quad (38)$$

dimana ϕ adalah faktor tahanan lentur (0,90), f_y adalah tegangan leleh minimum yang ditentukan dari pelat dasar, dan Ω adalah *safety factor* untuk ASD yang nilainya adalah 1,67.

HASIL dan PEMBAHASAN

Jenis Pembebanan

Pembebanan dihitung berdasarkan kriteria berikut.

1. Beban-beban dari struktur
 - a. *DL*-Atap
Beban Atap = 1,204 kN/m
 - b. *DL*-*Mechanical*
Beban *Head Pulley* = 7,93 kN
Beban *Pulley* = 4,21 kN
Tambahkan *frame* = 0,49 kN/m
Tambahkan *frame* = 0,49 kN
 - c. Beban *LL-walkway*, *LL*=2,452 kN/m²
 - d. Beban hidup dari atap, *LR*=1,24 kN/m
 - e. Beban hidup dari hujan, *LR*=1,145 kN/m

2. Beban Gempa Respon Spektrum

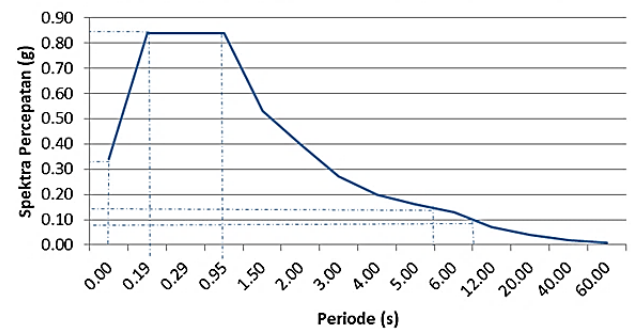
Perencanaan beban gempa struktur transfer tower inir diambil berdasarkan spektrum desain yang tersedia di puskim.pu.go.id, dengan data berikut:

- a. Kategori risiko IV
- b. Faktor keutamaan gempa, $I_e=1,50$
- c. Kelas situs S_E (tanah lunak)
- d. $S_S=1,5$
- e. $S_I=0,6$
- f. $F_a=0,8$; untuk $S_S \rightarrow S_E \geq 1,5$ (SNI-1726-2019)
- g. $F_v=2,0$; untuk $S_I \rightarrow S_E \geq 0,5$ (SNI1726-2019)
- h. $S_{MS} = F_a \times S_S$
 $= 0,8 \times 1,5$
 $= 1,2 \text{ g}$
- i. $S_{MI} = F_v \times S_I$
 $= 2 \times 0,6$
 $= 1,2 \text{ g}$
- j. $S_{DS} = 2/3 \times S_{MS}$
 $= 2/3 \times 1,2$
 $= 0,8 \text{ g}$
- k. $S_{DI} = F_v \times S_{MI}$
 $= 2/3 \times 1,2$
 $= 0,8 \text{ g}$
- l. $T_0 = 0,2 \times S_{DI}/S_{DS}$
 $= 0,2 \times 0,8/0,8$
 $= 0,2 \text{ detik}$

- m. $T_s = S_{DI}/S_{DS}$
 $= 0,8/0,8$
 $= 1 \text{ detik}$
- n. Menggambar grafik respon spektrum desain dengan ketentuan:
Pada waktu getar $\leq T_0$, maka
 $S_a = S_{DS} \times (0,4 + 0,6 (T/T_0))$
Pada waktu getar $T_0 \leq T_s$, maka
 $S_a = S_{DS}$
Pada waktu getar $\geq T_s$, maka
 $S_a = S_{DI}/T$
Pada waktu getar periode panjang $\geq T_s$, maka $S_a = S_{DI} \cdot T_1 / T_2$

Tabel 1. Percepatan respon desain.

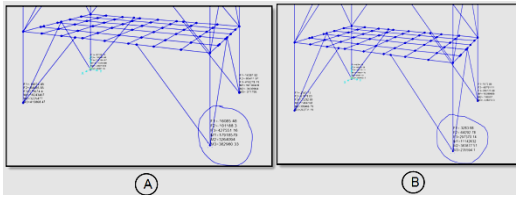
Periode, <i>T</i> (detik)	Spektra Percepatan, <i>S_a</i> (g)
0.00	0.34
0.19	0.84
0.29	0.84
0.95	0.84
1.50	0.53
2.00	0.40
3.00	0.27
4.00	0.20
5.00	0.16
6.00	0.13
12.00	0.07
20.00	0.04
40.00	0.02
60.00	0.01



Gambar 3. Nilai respon spektrum wilayah Tanjung Enim Sumatera Selatan.

Analisis Anchor Bolt dan Base Plate

1. Beban kolom



Gambar 4. (A) Gaya aksial dan gaya tarik LRFD, (B) Gaya aksial dan gaya tarik ASD.

Gaya aksial akibat beban terfaktor dengan LRFD, $P_u = 427.551 \text{ N}$

Gaya aksial tanpa beban terfaktor dengan ASD = 297.370 N

Gaya tarik beban terfaktor (LRFD),

$$P_t = 22.893 \text{ N}$$

Gaya tarik tanpa beban terfaktor (ASD) = 57.292 N

Gaya geser akibat beban terfaktor (LRFD), $V_u = 101.188 \text{ N}$

Gaya geser tanpa beban terfaktor (ASD) = 64.292 N

2. Data base plate

Tegangan leleh baja, $f_y = 240 \text{ MPa}$

Tegangan tarik putus pelat, $f_{u,p} = 370 \text{ Mpa}$

Lebar pelat tumpuan, $B = 380 \text{ mm}$

Panjang pelat tumpuan, $L = 380 \text{ mm}$

3. Data kolom pedestal

Kuat tekan beton, $f'_c = 24,9 \text{ Mpa}$

Lebar penampang kolom, $I = 400 \text{ mm}$

Panjang penampang kolom, $J = 400 \text{ mm}$

4. Data dimensi kolom baja

Profil baja: H250.250.9.14

Tinggi total, $b_f = 250 \text{ mm}$

Tebal badan, $t_w = 9 \text{ mm}$

Tebal sayap, $t_f = 14 \text{ mm}$

5. Baut angkur

Jenis angkur baut tipe: SS400

Tegangan tarik putus angkur baut, $f_{u,b} = 370 \text{ Mpa}$

Tegangan leleh angkur baut,

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

Diameter angkur baut, $d = 24 \text{ mm}$

Jumlah angkur baut pada sisi tarik,

$$n_t = 2bh$$

Jumlah angkur baut pada sisi tekan,

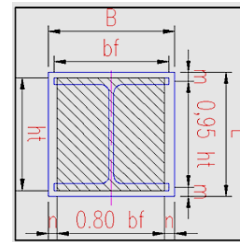
$$n_c = 2bh$$

Jarak baut terhadap pusat penampang kolom arah B, $f = 60 \text{ mm}$

Panjang angkur baut yang tertanam pada beton, $L_a = 380 \text{ mm}$

Analisis Menggunakan Metode LRFD

1. Analisis Base Plate



Gambar 5. Dimensi base plate.

Ketebalan yang diperlukan ditentukan sebagai berikut:

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} = 71,25 \text{ mm}$$

$$n = \frac{B - 0,8bf}{2} = 90 \text{ mm}$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2} = 72 \text{ mm}$$

$$c = 90 \text{ mm}$$

Luasan base plate, $A_1 = 144.400 \text{ mm}^2$

Luasan pedestal, $A_2 = 160.000 \text{ mm}^2$

Allowable bearing, $\phi f_n = 1.930.248 \text{ N}$

$$f_c = 366.747$$

$$\phi f_n < f_c$$

$$1.930.248 < 3.667.471 \text{ (OKE)}$$

dicoba tebal base plate, $t_p = 20 \text{ mm}$

maka tebal base plate yang diperlukan,

$$t = 15 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

Tegangan tumpu pada beton,

$$f_p = 2.960.879,5 \text{ Mpa}$$

Momen terlentur pada base plate,

$$M_{u,p} = 6.928.033,33 \text{ Nmm}$$

Momen Nominal base plate,

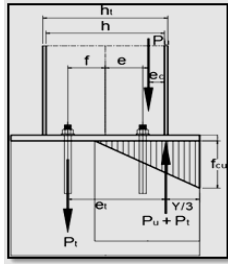
$$\phi M_{pl} = 8.208.000 \text{ Nmm}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$M_{up} < \phi M_{pl}$$

$$6.928.033,33 < 8.208.000 \text{ (OKE)}$$

2. Analisis *Anchor Bolt*



Gambar 6. Gaya-gaya yang terjadi pada *anchor bolt*.

$L/6 = 63.333 \text{ mm}$
 $h = ht - 2 \times tf = 222 \text{ mm}$
 $et = f + h/2 = 171 \text{ mm}$
 $ec = f - h/2 = 51 \text{ mm}$
 Jumlah angkur baut,
 $n = nt + nc = 4bh$
 Gaya tarik pada angkur baut,
 $P't = 127.515,21 \text{ N}$
 Gaya tarik yang terjadi,
 $Pt_{max} = 127.515,21 \text{ N}$
 Gaya Tarik pada Angkur Baut
 Gaya tarik pada angkur baut,
 $T_{ul} = P_t/n_t = 63.758 \text{ N}$
 Tegangan tarik putus angkur baut,
 $f_{u,b} = 370 \text{ Mpa}$
 Luas penampang angkur baut,
 $A_b = \pi/4 \times d^2 = 452 \text{ mm}^2$
 Faktor reduksi kekuatan tarik, $\phi_t = 0,75$
 Tahanan tarik nominal angkur baut,
 $T_n = 0,75 \times A_b \times f_{u,b} = 125.588 \text{ N}$
 Tahanan tarik angkur baut,
 $\phi_t \times T_n = 94.191 \text{ N}$
 Syarat yang harus dipenuhi:
 $T_{ul} \leq \phi_t \times T_n$
 $63.758 < 94.191 \text{ (OKE)}$

Gaya Geser pada Angkur Baut
 Gaya geser yang terjadi,
 $V_u = 101.188 \text{ N}$
 Tegangan tarik putus baut,
 $f_{u,b} = 370 \text{ Mpa}$
 Luas penampang baut,
 $A_b = \pi/4 d^2 = 453 \text{ mm}^2$
 Faktor reduksi kekuatan geser
 (SNI-2487-2019), $\phi_f = 0,65$
 Tahan geser nominal,
 $V_n = 0,75 \times n \times A_b \times 0,6 \times f_{u,b} = 301.412 \text{ N}$

Tahanan geser angkur baut,
 $\phi_f \times V_n = 195.918 \text{ N}$
 Syarat yang harus dipenuhi:
 $V_u \leq \phi_f \times V_n$
 $101.188 < 195.918 \text{ (OKE)}$

Gaya Tumpu pada Angkur Baut
 Gaya tumpu yang terjadi,
 $R_{u1,max} = (P_t, P'_t) = 127.903 \text{ N}$
 Diameter baut, $d = 24 \text{ mm}$
 Tebal pelat tumpu, $t = 19 \text{ mm}$
 Tegangan tarik putus pelat,
 $f_{u,p} = 370 \text{ Mpa}$
 Tahanan tumpu nominal,
 $R_n = 2,4 \times d \times t \times f_{u,p} = 404.928 \text{ N}$
 Tahanan tumpu, $\phi_f \times R_n = 263.203 \text{ N}$
 Syarat yang harus dipenuhi:
 $R_{u1} \leq \phi_f \times R_n$
 $127.903 < 263.203 \text{ (OKE)}$

Kombinasi Geser dan Tarik
 Konstanta tegangan untuk baut mutu tinggi,
 $f_1 = 363 \text{ Mpa}, f_2 = 279 \text{ Mpa}$
 Faktor pengaruh ulir pada bidang geser,
 $r_2 = 1,9$
 Luas *shear key*, $A_{s,key} = 0 \text{ mm}^2$
 Tegangan geser akibat beban terfaktor
 $f_{u,v} = V_u / ((n \times A_b) + (A_{s,key})) = 55,89 \text{ Mpa}$
 Kuat geser angkur baut,
 $\phi_f \times 0,6 \times m \times f_{u,b} = 144,3 \text{ Mpa}$
 Syarat yang harus dipenuhi:
 $f_{u,v} \leq \phi_f \times 0,6 \times m \times f_{u,b}$
 $56 < 144 \text{ (OKE)}$

Gaya tarik akibat beban terfaktor,
 $T_{ul} = 63.757 \text{ N}$
 Tahanan tarik angkur baut,
 $\phi_f \times T_n = \phi_f \times f_1 \times A_b = 106.784 \text{ N}$
 Syarat yang harus dipenuhi:
 $T_{ul} \leq \phi_f \times f_1 \times A_b$
 $63758 < 106784 \text{ (OKE)}$

Kuat tarik angkur baut,
 $f_t = 0,75 \times f_{u,b} = 277,50 \text{ Mpa}$
 Batas tegangan kombinasi,
 $f_1 - r_2 \times f_{uv} = 257,18 \text{ Mpa}$
 $f_2 = 278,51 \text{ Mpa}$
 Syarat yang harus dipenuhi:
 $f_t \leq f_2$
 $278 < 279 \text{ (OKE)}$

Kontrol panjang Angkur Baut

Panjang angkur tanam yang digunakan,

$$L_a = 380 \text{ mm}$$

Kuat tekan beton, $f'_c = 24.9$

Tegangan leleh baja, $f_y = 240$

Diameter angkur baut, $d = 24$

Panjang angkur tanam minimum yang diperlukan

$$L_{min} = f_y / (4 \times \sqrt{f'_c}) \times d = 289 \text{ mm}$$

Syarat yang harus dipenuhi:

$$L_{min} \leq L_a$$

$$289 < 380 \text{ (OKE)}$$

Analisis Menggunakan Metode ASD

1. Analisis Base Plate

Gaya Tekan,

$$P_a = 5.093.710 \times 1,0526 \\ = 5.361.800 \text{ N}$$

Kekuatan pelat dasar,

$$M_{pl} = 1.082.525 \text{ Nmm}$$

2. Analisis Anchor bolt

Kekuatan geser desain baut,

$$R_n = m \cdot A_b (0,6 \cdot f_{u,b}) = 100.471 \text{ N}$$

Kekuatan tumpu desain,

$$R_n = 2,4 \cdot f_u \cdot d \cdot t = 426.240 \text{ N}$$

Perbandingan Hasil Analisis Metode LRFD dan Metode ASD

Berdasarkan analisis sambungan *anchor bolt* dengan *base plate* pada bangunan *Transfer Tower* diperoleh seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis dengan metode LRFD dan ASD.

LRFD	Beban aksial terfaktor, P_u (N)	427.551
	Beban geser nominal, ϕV_n (N)	195.918
	Tahanan tarik angkur baut, R_n (N)	94.191
ASD	Beban aksial terfaktor, P_u (N)	297.370
	Beban geser nominal, ϕT_n (N)	100.471
	Tahanan tarik angkur baut, R_n (N)	426.240

Berikut hasil analisis untuk bangunan *transfer tower* seperti uraian berikut:

- Allowable bearing* atau gaya yang dapat ditampung pada *baseplate* yaitu mendapatkan hasil 1.930.248 N.

- Hasil momen terlentur yang didapatkan pada *baseplate* adalah 6.928.033.33 Nmm.

- Hasil beban eksentris diperoleh sebesar 127.515,21 N.

- Gaya tarik pada angkur baut yang dihasilkan adalah 63.758 N.

- Gaya geser pada angkur baut yang dihasilkan adalah 101.188 N.

- Gaya tumpu pada ankur baut yang di hasilkan adalah 127.903 N.

- Kombinasi geser dan tarik pada angkur baut yang dihasilkan adalah 56 Mpa dengan gaya tarik akibat beban terfaktornya 63.758 N dan kuat tarik angkurnya yaitu 278 Mpa.

- Kontrol panjang angkur baut minimum yang diperlukan 289 mm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa dengan metode LRFD, struktur transfer tower mampu menahan beban geser nominal hingga 59 % lebih kuat dibandingkan metode ASD, sementara tahanan tarik yang mampu ditahan *anchor bolt* hingga 22% lebih baik dibandingkan menggunakan ASD.

DAFTAR PUSTAKA

- Artana, I.W & Sutajaya, I.P. 2018. Analisis Perbandingan Perencanaan Struktur Baja Berdasarkan Metode Desain Kekuatan Ijin (DKI) dengan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) sesuai SNI-1729-2015: Studi Kasus: Alternatif Perencanaan Gedung Graha Pijat dan Refleksi. _____ . Vol. 11, No. 01, hal. 93-104.
- Fajarani, I.S & Eratodi, I.G.L.B. 2020. Evaluasi Perencanaan Struktur Komposit Menggunakan Metode *Load Resistance Factor Design* (LRFD) Pada Gedung C UNDIKNAS Denpasar. Jurnal

- Ilmiah Telsinas. Vol. 3, No. 1, hal. 1-5.
- [3] Wibisana, J.B.I.W.A., Indra, S, & Santosa, A. 2020. Perencanaan Portal Baja Menggunakan Metode LRFD pada Gedung Fakultas Ilmu Keolahragaan Universitas Negeri Malang. *Jurnal Gelagar*. Vol. 2, No. 1, hal. 25-35.
- [4] Lihin, M.Z. 2020. Studi Perencanaan Portal Baja Menggunakan Metode LRFD pada Gedung RS. Bhayangkara Makassar. _____, hal. 18-28.
- [5] Saputra, A.Z., Winarto, S. & Ridwan, A. 2020. *Jurmateks*. Perencanaan Struktur Baja Pada Konstruksi Empat Lantai pada Hotel Jaya Baya. Vol.1, No. 2, hal. 248-258.
- [6] Ridwan, K.B. & Bakhtiar. A. 2015. Studi Perbandingan Struktur Baja Metode LRFD SNI-03-1729-2002 dengan PPBBI 1987 pada Proyek Pembangunan Gudang PT. Sadhana Purwosari Pasuruan. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 3, No. 2, hal. 85-99.
- [7] Setiawan, A. 2000. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI-03-1729-2002)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [8] Hendra. 2021. Perencanaan Struktur Baja Menggunakan Kombinasi Sistem Rangka Bresing Tahan Tekuk dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus Dengan Metoda ASD dan Metoda LRFD. *Skripsi* _____, hal. 1-6.
- [9] Azhari, G. 2015. Analisa Sambungan Batang Tarik Struktur Baja dengan Metode ASD Dan Metode LRFD. *Jurnal Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*. Vol. 13, No. 1, hal. 1-6.
- [10] Oentoeng. 2000. Perhitungan Struktur Baja dengan Metode Lrfd Dengan Contoh Batang Tarik dan Tekan. *Dimensi Teknik Sipil*. Vol. 2, No.1, hal. 71-75.
- [11] Harjunanto. 1999. Studi Komparasi Disain Balok Komposit Baja-Beton dengan Metode ASD AISC dan LRFD AISC. *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- [12] Irawan, G. & Santosa, G.S. 2022. Analisis Desain *Soil Nailing* Menggunakan *Load & Resistance Factored Design* Dibandingkan dengan *Allowable Stress Design*. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. Vol. 5, No. 1, hal. 209-222.
- [13] Cahya, H. N. 2014. Studi Analisis Perbandingan Metode ASD (*Allowable Stress Design*) Dengan LRFD (*Load And Resistance Factor Design*) pada Struktur *Gable Frame* di Pembangunan Pasar Baru Kabupaten Lumajang. *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Teknologi Nasional Malang.
- [14] Fadli, S. 2018. Analisis dan Desain Konstruksi Baja Metode LRFD/DFBK (*Load and Resistance Factor Design/Desain Faktor Beban dan Ketahanan*) Berdasarkan SNI-1729:2015 Menggunakan Program Microsoft Excel. *Tugas Akhir*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Narotama Surabaya.
- [15] Yaqin, A. 2021. Studi Perbandingan Struktur Baja pada Pembangunan Terminal Bandara Bima dengan Metode LRFD (*Load And Resistance Factor Design*) Dan Metode ASD (*Allowable Stress Design*). *Skripsi*. Program

- Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang.
- [16] Rini, W.D. 2014. Studi Numerik dan Kajian Eksperimental Perilaku Besi Beton sebagai Angkur Penghubung Geser Akibat Geser Murni pada Beton Mutu Tinggi.
- [17] American Institute of Steel Construction (AISC) Inc, 1994, “*Manual Of Steel Construction, LRFD volume II, Connections*”, second edition. Chicago.
- [18] SNI-2847:2019 Tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung.
- [19] SNI-1726-2019 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- [20] SNI-1729-2020 Tentang Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural.
- [21] ASTM-A325 Tentang *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*.
- [22] Eligehausen, R. 2016. *Behavior and design of adhesive bonded anchors*.
- [23] American Institute of Steel Construction, AISC-2010.