

Planning and Analysis of Steel Frame Gangway Structure LRFD (Load and Resistance Factor Design) Method [Perencanaan dan Analisis Struktur Gangway Rangka Baja Metode LRFD (Load and Resistance Factor Design)]

Muhammad Bayu Priyanto¹⁾, Hendri Hermawan^{*2)}

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: hendrihermawan@umsida.ac.id

Abstract. Gangways are equipment for getting on and off a ship. Steel materials are used because their capacity to withstand tensile forces is required. The LRFD method is a structural planning technique that works on the principle of decreasing the capacity held by a cross-section. WF 250x125x6x9 is used for columns, longitudinal and transverse girders. UNP 200x70x7x10 is used for diagonal bars. The planning of load combinations in this study is in accordance with the guidelines in SNI 1727:2020. The spectrum response method is used for earthquake load analysis. Based on the output SAP2000 the structure is said to be safe because the capacity ratio in the gangway structure is less than 1 (one) in the SAP2000 analysis. The results of the IDEA StatiCa analysis are known to have the highest utility in the connection between columns, longitudinal and transverse girders with a utility of 81.8% of the 100% bolt strength.

Keywords - Gangway; LRFD Method; Sap2000; IDEA StatiCa; Steel Construction

Abstrak. Gangway adalah peralatan untuk naik dan turun dari kapal. Material baja digunakan karena kapasitasnya untuk menahan gaya tarik diperlukan. Metode LRFD adalah teknik perencanaan struktur yang bekerja berdasarkan prinsip untuk menurunkan kapasitas yang ditahan oleh suatu penampang. WF 250x125x6x9 digunakan untuk kolom, gelagar memanjang dan melintang. UNP 200x70x7x10 digunakan untuk batang diagonal. Perencanaan kombinasi beban pada penelitian ini sesuai pedoman pada SNI 1727:2020. Metode respons spektrum digunakan untuk analisis beban gempa. Berdasarkan output SAP2000 struktur dikatakan aman karena rasio kapasitas pada struktur gangway kurang dari 1 (satu) pada analisis SAP2000. Hasil analisis IDEA StatiCa diketahui utilitas tertinggi terjadi pada sambungan antara kolom, gelagar memanjang dan melintang dengan utilitas 81.8% dari 100% kekuatan baut.

Kata Kunci - Gangway; Metode LRFD; Sap2000; IDEA StatiCa; Konstruksi Baja

I. PENDAHULUAN

Pelabuhan adalah sumber daya yang sangat penting, terutama untuk transportasi laut, yang akan membuat jarak yang diperlukan menjadi lebih pendek. Hal ini sangat penting bagi pertumbuhan ekonomi suatu daerah di mana pusat produksi barang dapat dipasarkan secara efisien dan cepat. Pelabuhan memberikan manfaat bagi pertumbuhan pulau-pulau terpencil selain ekonomi, terutama di wilayah perairan yang sulit dijangkau melalui jalur darat. Pertumbuhan ekonomi Indonesia terus meningkat setiap tahunnya sesuai dengan perkembangan zaman. Konstruksi, perdagangan, dan industri saat ini menyumbang sebagian besar PDB Indonesia.[1] Khususnya industri maritim dalam negeri sedang saat ini bergerak begitu cepat, dapat diketahui dari banyak munculnya dermaga dan rute-rute pelayaran yang baru. Tentu saja, untuk berpindah dari dermaga ke kapal atau sebaliknya, diperlukan peralatan pendukung untuk mendapatkan akses ke akomodasi kapal.[2]

Gangway adalah bagian dari peralatan yang memudahkan orang untuk naik dan turun dari perahu dan kapal. Secara teori, gangway dapat disamakan dengan jalan yang landai. Gangway di kapal sebagian besar digunakan untuk masuk dan keluarnya staf atau penumpang, meskipun kadang-kadang juga digunakan untuk bongkar muat kargo. Karakteristik struktur gangway sama seperti struktur jembatan pada umumnya dan dapat dikatakan sebagai jembatan penyebrangan orang yang membedakan hanya fungsinya saja. Secara keseluruhan, material utama yang digunakan dalam konstruksi jembatan adalah beton dan baja. Kriteria untuk memilih material ini meliputi rincian tentang kondisi lokasi, material yang tersedia, akses ke area konstruksi, dan potensi pengaruh alam. Salah satu manfaat penting dari pemilihan baja sebagai bahan utama adalah waktu pengerjaan yang lebih cepat dibandingkan dengan struktur beton. Jembatan rangka baja memiliki keunggulan yang signifikan dalam kemampuannya menahan momen lentur. Selain itu, baja juga dapat menangani deformasi yang besar tanpa mengalami kegagalan akibat tegangan tarik.

Analisis struktural melibatkan penghitungan dan penilaian dampak beban yang diterapkan pada suatu struktur gedung, jembatan ataupun yang lainnya akan menghasilkan gaya internal yang mempengaruhi struktur. Untuk menentukan aliran, distribusi, dan efek beban pada struktur yang sedang dipertimbangkan, diperlukan analisis struktur. Material yang digunakan dan bentuk (sistem) struktur juga berdampak pada perilaku struktur, selain beban. Perilaku struktur dan tingkat keamanannya di bawah beban yang diantisipasi dapat diamati dengan menggunakan analisis struktur. Dalam penelitian ini SAP2000 sebagai perangkat lunak analisis struktur. Output yang dihasilkan oleh SAP2000 dapat berupa gaya dalam yang menjadi patokan dalam perhitungan.

Dalam analisisnya Fadli menetapkan bahwa pendekatan LRFD lebih hemat biaya dibandingkan pendekatan ASD dan lebih efektif dalam memberikan ketahanan yang tinggi.[3] Berdasarkan grafik rasio tegangan akibat gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser menunjukkan bahwa metode Desain Kekuatan Izin (DKI) rata-rata lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode Desain Faktor Beban Dan Ketahanan (DFBK), besaran perbedaan bervariasi. Dari hasil analisis struktur portal dengan metode Desain Faktor Beban Dan Ketahanan memungkinkan mendapatkan profil penampang yang lebih kecil pada batang tertentu.[4]

Dalam penelitian “Analisis Struktur Pembangunan Pasar Ampera Menggunakan Metode LRFD” metode LRFD mengkombinasikan beban-beban yang bekerja pada struktur dengan faktor beban. Selain itu, kekuatan bahan direduksi dengan faktor reduksi bahan. Kedua hal tersebut dilakukan terhadap perencanaan analisis struktur dengan pertimbangan sebagai angka keamanan pada sistem struktur.[5] Menurut Irawan dalam penelitiannya memakai metode LRFD untuk analisis desain soil nailing lebih efisien 30% dibandingkan dengan menggunakan metode ASD.[6] Dalam penelitian yang berjudul “Analisis Penggunaan Balok Rafter Honeycomb Untuk Struktur Gudang Tahan Gempa Dengan Metode LRFD” filosofi dari metode desain dengan menggunakan pendekatan LRFD adalah dengan menjamin bahwa kekuatan kapasitas dari elemen struktur yang tersedia lebih besar dari beban yang bekerja pada elemen struktur tersebut, sehingga kegagalan struktural dapat dicegah.[7] Dari beberapa penelitian diatas mendukung serta meyakinkan penulis untuk merencanakan struktur gangway dengan menggunakan metode LRFD.

II. METODE

Untuk mendapatkan analisis yang akurat dalam mencapai tujuan penelitian, tahapan dalam analisis data merupakan serangkaian proses yang dilakukan secara metodis sesuai dengan landasan teori permasalahan. Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam penelitian ini:

1. Studi Pustaka

Dengan mengumpulkan informasi dari buku-buku dan peraturan yang relevan, studi literatur berusaha untuk menentukan apa yang diperlukan untuk perencanaan struktur baja dan mendapatkan hasil penelitian dengan dasar yang tepat dan dapat dipertanggungjawabkan. Pedoman berikut ini diikuti dalam pengerjaan tugas akhir ini:

- Perencanaan struktur baja (SNI 1729:2020)
- Perhitungan pembebanan (SNI 1727:2020)
- Perencanaan terhadap ketahanan gempa (SNI 1726:2019)
- Perencanaan dan analisis sambungan (AISC 360-16)

2. Preliminary Design

Sebelum membuat atau merencanakan suatu konstruksi, terlebih dahulu harus mengetahui konsep dari konstruksi tersebut. Seperti halnya perencanaan gangway ini didasari pada kebutuhan akses akomodasi untuk keluar masuknya penumpang pada kapal penyebrangan. Pada perencanaan gangway harus diperhatikan faktor kenyamanan penggunaannya dengan cara memperhatikan elevasi atau kemiringan gangway dibatasi maksimal 10% dari panjang gangway. Faktor utama yang harus diperhitungkan pada perencanaan ini selain kenyamanan adalah kekuatan dan ketahanan strukturnya untuk menahan beban-beban yang diterima struktur karena akan mempengaruhi faktor keselamatan ketika digunakan sesuai fungsinya. Identifikasi awal dari struktur gangway terjadi pada proses perencanaan atau desain awal ini. Ini hanyalah asumsi dan tidak boleh dianggap sebagai hasil akhir. Hasil dari desain awal ini akan diperiksa, dan jika semua persyaratan terpenuhi, langkah selanjutnya akan diambil. Proses desain awal terdiri dari langkah-langkah berikut:

- Menentukan ukuran utama (panjang, lebar dan tinggi)
- Menentukan area perencanaan (untuk analisis pembebanan)
- Menentukan profil struktur utama
- Gambar preliminary design

3. Perencanaan Pembebanan

Beban yang ditempatkan pada struktur gangway harus diperhitungkan saat merencanakannya. Ukuran struktur gangway akan dipengaruhi oleh beban ini. Dalam penelitian ini beban desain diambil dari SNI 1727:2020 sebagai acuan dasar pembebanan. Antara lain beban-beban tersebut adalah:

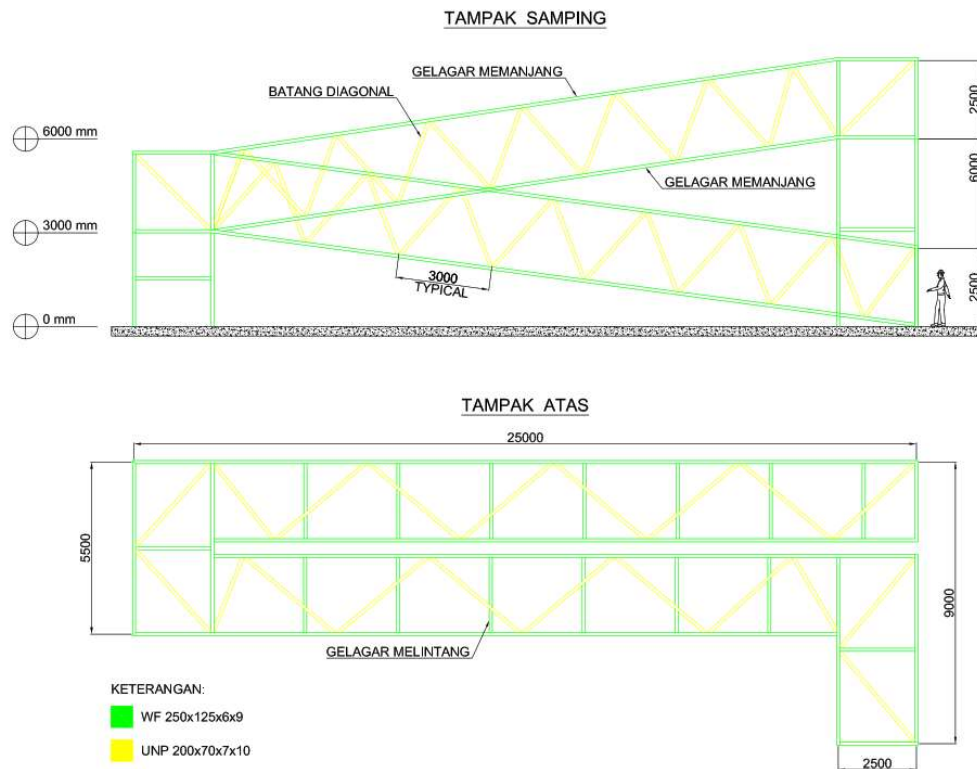
- Beban Mati

- Beban Hidup
 - Beban Gempa
4. Analisis Struktur
- Analisis struktur adalah langkah selanjutnya setelah menentukan beban yang bekerja pada struktur. Di antara langkah-langkah dalam proses analisis struktural adalah:
- Memodelkan struktur sesuai dengan gambar rencana yang telah dibuat pada aplikasi SAP2000
 - Menginput beban-beban yang bekerja pada aplikasi SAP2000
 - Menjalankan proses analisis struktur menggunakan SAP2000
 - Output analisis dari SAP2000
5. Kontrol Desain
- Kontrol desain terhadap struktur baja adalah proses evaluasi untuk memastikan bahwa elemen struktur baja (misalnya balok, kolom, rangka) memiliki kapasitas yang cukup terhadap berbagai gaya dan momen yang bekerja padanya, sesuai dengan ketentuan standar desain (seperti SNI, AISC, atau Eurocode). Menentukan kemampuan profil penampang yang digunakan dalam konstruksi baja memerlukan kontrol ini. Di mana profil dapat mentoleransi gaya yang diterapkan. Dalam hal ini akan menggunakan output gaya dalam berdasarkan hasil analisis SAP2000. Secara umum, kontrol desain pada struktur baja meliputi hal-hal berikut:
- Kontrol penampang profil
Untuk memastikan profil menahan gaya akibat beban yang terjadi, seperti kontrol terhadap momen lentur, kontrol terhadap kapasitas geser, kontrol terhadap kapasitas aksial (Tarik atau Tekan) dan kontrol terhadap interaksi momen dan aksial
 - Kontrol lendutan
Kontrol lendutan (deflection control) adalah proses dalam desain struktur untuk memastikan bahwa lendutan (defleksi) elemen struktur seperti balok atau pelat tidak melebihi batas yang ditentukan, agar struktur tetap nyaman, aman, dan berfungsi sebagaimana mestinya.
6. Perencanaan Sambungan
- Dalam perencanaan struktur baja, sambungan merupakan komponen penting yang berperan dalam memastikan kontinuitas, kestabilan, serta keamanan struktur secara keseluruhan. Kinerja sambungan harus memenuhi kriteria kekuatan, kekakuan, dan daktilitas sesuai standar yang berlaku. Pada penelitian ini, proses perencanaan dan verifikasi sambungan baja dilakukan dengan bantuan perangkat lunak IDEA StatiCa, yang berbasis metode Component-Based Finite Element Model (CBFEM)
- Analisis dilakukan untuk memastikan bahwa sambungan memenuhi syarat peraturan desain seperti Eurocode (EN 1993) atau standar lainnya yang relevan. Selain itu, detail sambungan dirancang agar dapat diproduksi dan dipasang secara efisien di lapangan, dengan mempertimbangkan jenis sambungan (baut, las, atau kombinasi), arah pembebanan, dan geometri profil baja yang digunakan. Perangkat lunak IDEA StatiCa dipilih karena keandalannya dalam memodelkan berbagai jenis sambungan, baik sederhana maupun kompleks, serta kemampuannya memberikan hasil analisis yang detail dan transparan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Preliminary Design

Dalam perencanaan awal diperoleh ukuran profile baja yang akan digunakan untuk struktur gangway. Antara lain profile WF 250x125x6x9 untuk kolom, gelagar memanjang dan gelagar melintang. Profile UNP 200x70x7x10 untuk batang diagonal. Untuk struktur lantai menggunakan pelat baja 5mm dengan tambahan penguat atau stiffener profile L70x70x7. Untuk layout perencanaan sesuai dengan Gambar 1 yang sebelumnya telah dilakukan simulasi 3D model untuk mempermudah perencanaan.



Gambar 1. Layout gangway

B. Perencanaan Pembebanan

Dalam perencanaan pembebanan untuk beban mati struktur tidak dilakukan perhitungan manual melainkan otomatis diinput di SAP2000, sedangkan untuk untuk beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa direncanakan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Beban Gangway

No	Nama Beban	Berat kN/m	Jenis Beban
1	Orang	4,00	Beban Hidup
2	Angin	0,77	Beban Hidup
3	Hujan	1,47	Beban Hidup
4	Railing	1,00	Beban Mati Tambahan

Untuk perencanaan beban gempa menggunakan metode respons spektrum yakni metode yang digunakan untuk menilai kemampuan struktur dalam menahan beban gempa.[8] Analisis respon spektrum adalah suatu metode analisis struktur dengan menyajikan spektrum berupa kurva antar periode struktur T, dengan respon-respon maksimum berdasarkan rasio redaman gempa tertentu. SNI 1726-2019 menyatakan bahwa respons spektral harus dibuat dengan menggunakan data yang saat ini tersedia. Dalam penelitian ini digunakan data perencanaan gempa respons spektrum dari <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/> atau Desain Spektra Indonesia dengan data perencanaan seperti pada Gambar 2.

Kelas
 SBC - Batuan

Rentang T(s)
 Value: 6

PGA MCEG
 0.4585
 (g) bedrock

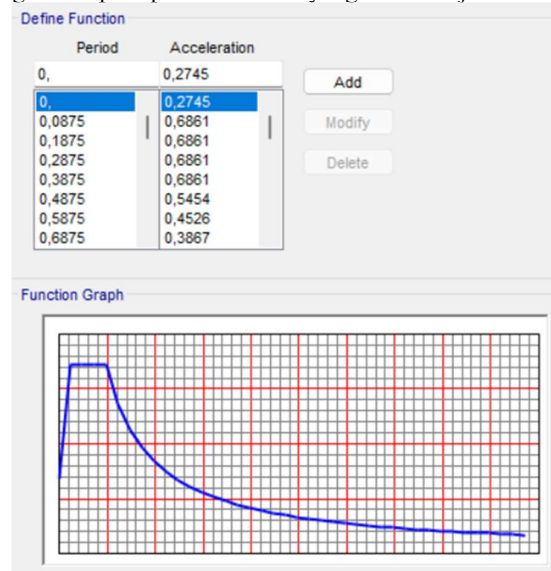
SS MCEr
 1.0292
 (g) bedrock

S1 MCEr
 0.3988
 (g) bedrock

TL
 12
 Detik

Gambar 2. Parameter desain spektra

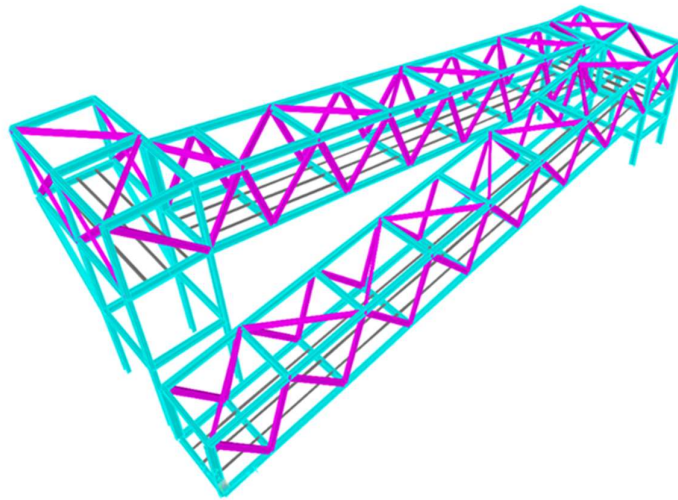
Setelah diperoleh data awal tersebut, selanjutnya dilakukan perhitungan lanjutan sesuai dengan SNI 1726:2019 dengan software Excel untuk membuat spektrum respons desain dengan menentukan nilai spektrum respons percepatan desain (S_a) sesuai periode getar fundamental (T). Dari perhitungan excel diinput pada software SAP2000 sehingga otomatis membentuk grafik seperti pada Gambar 3 yang akan menjadi beban gempa pada struktur gangway.



Gambar 3. Grafik respons spektra

C. Analisis Struktur

Analisis SAP2000 adalah penerapan metode numerik untuk memodelkan dan menghitung respons struktur terhadap beban-beban tertentu (beban mati, hidup, angin, gempa, dll) menggunakan perangkat lunak SAP2000 sebagai alat bantu. Dengan menggunakan standar material BJ 37 dilakukan analisis struktur gangway pada software SAP2000.



Gambar 4. Model Gangway

Setelah pembuatan model, dilakukan input beban sesuai dengan perencanaan pembebanan yang telah dilakukan. Dengan menggunakan kombinasi beban sesuai dengan SNI 1727:2020 untuk metode LFRD seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Beban

(Sumber: SNI 1727:2020)

No	Kombinasi Beban
1	$1.4D$
2	$1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
3	$1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (L \text{ or } 0.5W)$
4	$1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$
5	$1.2D + 1.0E + L + 0.2S$
6	$0.9D + 1.0W$
7	$0.9D + 1.0E$

Dimana,

D = Beban mati

L = Beban hidup

E = Beban gempa

W = Beban angin

R = Beban hujan

S = Beban salju

L_r = Beban hidup atap

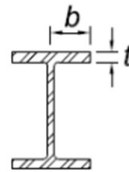
Setelah dilakukan Run Analysis pada software SAP2000 diperoleh output gaya atau reaksi maksimum akibat beban terhadap struktur gangway.

1. Gelagar memanjang
 - Gaya aksial (P_u) = 198.513 kN
 - Gaya geser (V_u) = 21.819 kN
 - Momen (M_{max}) = 26.484 kNm
2. Gelagar melintang
 - Gaya aksial (P_u) = 43.038 kN
 - Gaya geser (V_u) = 18.503 kN
 - Momen (M_{max}) = 14.016 kNm
3. Kolom

- Gaya aksial (P_u) = 257.57 kN
4. Diagonal Samping
 - Gaya aksial (P_u) = 132.869 kN
 - Momen (M_{max}) = 3.92 kNm
 5. Diagonal Atas
 - Gaya aksial (P_u) = 38.29 kN

D. Kontrol Struktur

1. Kontrol penampang profile
Digunakan mutu baja dengan spesifikasi
Tegangan leleh, f_y = 240 Mpa
Tegangan ultimate, f_u = 370 Mpa
Modulus Elastisitas, E = 210000 Mpa
- A. Profile: WF 250x125x6x9
Berdasarkan katalog baja diperoleh spesifikasi profil sebagai berikut:
Modulus plastis lentur (Z_x): $\sim 363 \text{ cm}^3 = 0.000363 \text{ m}^3$
Luas penampang (A): $3366 \text{ mm}^2 = 0.003633 \text{ m}^2$
Radius of gyration $r_x = 60.4 \text{ mm}$ & $r_y = 27.9 \text{ mm}$ (dipakai nilai terkecil)
- Kriteria profil untuk tekuk lokal
Mengacu pada SNI 1729:2020 untuk elemen tekan komponen struktur yang mengalami lentur digunakan persamaan sebagai berikut:
 - a. Sayap



$$\text{Rasio lebar terhadap tebal} : \frac{b}{t} = \frac{62.5}{9} = 6.94$$

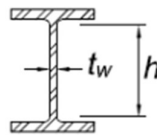
Batas rasio lebar terhadap tebal,

$$\text{untuk elemen kompak} : 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 11.24$$

$$\text{untuk elemen non kompak} : 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 29.58:$$

Karena, $6.94 < 11.24 \Rightarrow$ sayap atau flange = kompak

b. Badan



$$\text{Rasio lebar terhadap tebal} : \frac{h}{t_w} = \frac{232}{6} = 38.67$$

Batas rasio lebar terhadap tebal,

$$\text{untuk elemen kompak} : 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 111.22$$

$$\text{untuk elemen non kompak} : 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5.70 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 168.61$$

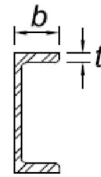
Karena, $38.67 < 111.22 \Rightarrow$ Badan = kompak

Sehingga tidak perlu koreksi reduksi tekuk lokal karena profil WF 250x125x6x9 termasuk dalam kriteria kompak.

- Kapasitas momen lentur nominal
 $\phi_b M_n = \phi_b \times F_y \times Z_x$
 $\phi_b M_n = 0.9 \times 240 \times 10^6 \times 0.000363$
 $\phi_b M_n = 78408 \text{ Nm} = 78.408 \text{ kNm}$

- Kapasitas gaya aksial tarik
 $\phi_t P_n = \phi_t \times F_y \times A$
 $\phi_t P_n = 0.9 \times 240 \times 10^6 \times 0.003633$
 $\phi_t P_n = 784728 \text{ N} = 784.428 \text{ kN}$
 - Kapasitas gaya aksial tekan
 Faktor panjang efektif $K=0.5 \rightarrow$ kondisi jepit-jepit
 Rasio kelangsingan $\lambda = \frac{k.L}{r_y} = \frac{0.5 \times 3000}{27.9} \approx 53.763$
 Kelangsingan tak berdimensi $\lambda_c = \frac{k.L}{r_y} \sqrt{\frac{f_y}{\pi^2 E}} = 53.763 \sqrt{\frac{240}{31.4^2 \times 210000}} \approx 0.622$
 Karena $\lambda_c \leq 1.5$, digunakan rumus: $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \times f_y$
 $F_{cr} = 0.658^{0.622^2} \times 240 = 204.120 \text{ MPa}$
 $\phi_c P_n = \phi_c \times F_{cr} \times A$
 $\phi_c P_n = 0.85 \times 204.120 \times 3633$
 $\phi_c P_n = 630332.766 \text{ N} = 630.332 \text{ kN}$
 - Kapasitas gaya geser
 $h = 250 - 2(9) = 232 \text{ mm}$
 $t_w = 6 \text{ mm}$
 Cek rasio:
 $\frac{h}{t_w} = \frac{232}{6} \approx 38.67$
 Batas tekuk geser
 $1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1.10 \sqrt{\frac{5.34 \times 210000}{240}} = 752.95$
 Karena, $38.67 \leq 752.95$ Maka tidak mengalami tekuk geser sehingga $C_{v1} = 1.0$
 Kapasitas geser
 $V_n = 0.6 \times F_y \times A_w \times C_{v2}$
 Dimana, $A_w = h \times t_w = 232 \times 6 = 1392 \text{ mm}^2$
 $V_n = 0.6 \times 240 \times 1392 = 200448 \text{ N}$
 $\phi V_n = 0.9 \times 200.448 = 180.4 \text{ kN}$
- Dimana:
- C_{v2} = koefisien kekuatan tekuk geser badan,
 - b = lebar kaki yang menahan gaya geser atau tinggi badan profil T
 - t_w = tebal kaki siku atau badan profil T
- B. Profil: UNP 200×70×7×10
 Modulus plastis lentur (Z_x): $\sim 194.4 \text{ cm}^3 = 0.0001944 \text{ m}^3$
 Luas penampang $A = 2692 \text{ mm}^2$
 Faktor panjang efektif $K = 0.5 \rightarrow$ kondisi jepit-jepi
 Radius of gyration $r_x = 77.7 \text{ mm}$ & $r_y = 20.4 \text{ mm}$ (dipakai nilai terkecil)

- Kriteria profil untuk tekuk lokal
 - Sayap atau flange



$$\text{Rasio lebar terhadap tebal} : \frac{b}{t} = \frac{75}{10} = 7.5$$

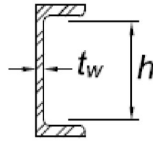
Batas rasio lebar terhadap tebal,

$$\text{untuk elemen kompak} : 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 11.24$$

$$\text{untuk elemen non kompak} : 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 29.58$$

Karena, $7.5 < 11.24 \Rightarrow$ sayap atau flange = kompak

b. Badan atau Web



$$\text{Rasio lebar terhadap tebal} : \frac{h}{t_w} = \frac{180}{7} = 25.71$$

Batas rasio lebar terhadap tebal,

$$\text{untuk elemen kompak} : 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 111.22$$

$$\text{untuk elemen non kompak} : 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 5.70 \sqrt{\frac{210000}{240}} = 168.61$$

Karena, $25.71 < 111.22 \Rightarrow$ Badan atau Web = kompak

Sehingga tidak perlu koreksi reduksi tekuk local karena profil UNP 200x70x7x10 kompak-kompak.

- Kapasitas momen lentur nominal

$$\phi_b M_n = \phi_b \times F_y \times Z_x$$

$$\phi_b M_n = 0.9 \times 240 \times 10^6 \times 0.0001944$$

$$\phi_b M_n = 41990 \text{ Nm} = 41.990 \text{ kNm}$$

- Kapasitas Tekan Nominal:

$$\text{Slenderness Ratio, } \lambda = \frac{k.L}{r_y} = \frac{0.5 \times 3905}{20.4} \approx 95.711$$

$$\text{Kelangsingan tak berdimensi, } \lambda_c = \frac{k.L}{r_y} \sqrt{\frac{f_y}{\pi^2 E}} = 95.711 \sqrt{\frac{240}{31.4^2 \times 210000}} \approx 1.030$$

Karena $\lambda_c \leq 1.5$, digunakan rumus: $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} \times f_y$

$$F_{cr} = 0.658^{1.030^2} \times 240 \approx 153.946 \text{ MPa}$$

$$\phi_c P_n = 0.85 \times F_{cr} \times A$$

$$\phi_c P_n = 0.85 \times 153.946 \times 2692$$

$$\phi_c P_n = 352259.237 \text{ N} = 352.259 \text{ kN}$$

- Kapasitas gaya aksial tarik:

$$\phi_t P_n = 0.9 \times 240 \times 2692$$

$$\phi_t P_n = 581472 \text{ N} = 581.472 \text{ kN}$$

Tabel 3. Kontrol penampang profile

Elemen	Beban Terfaktor	Kapasitas Profil	Syarat	Jenis Gaya	Status
Kolom	257.57 kN	630.332 kN	$\frac{P_{kolom}}{\phi P_n} \leq 1$	Tarik / Tekan	OK
	26.48 kNm	78.408 kNm	$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$	Momen	
Gelagar Memanjang	198.513 kN	630.332 kN	$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$	Tekan / Tarik	OK
	21.819 kN	180.4 kN	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$	Geser	
Gelagar Melintang	18.503 kN	78.408 kNm	$\frac{P_{kolom}}{\phi P_n} \leq 1$	Momen	OK
	14.016 kN	630.332 kN	$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$	Tekan / Tarik	
	19.708 kN	180.4 kN	$\frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1$	Geser	
Batang diagonal	132.869 kN	352.259 kN	$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1$	Tarik / Tekan	OK
	3.92 kNm	41.990 kNm		Momen	

2. Kontrol Lendutan

Dari hasil SAP2000 diperoleh nominal deflection beban mati dan beban hidup sebagai berikut:

A. Gelagar memanjang

$$f_{ada} = 0.559 \text{ mm}$$

Lendutan ijin,

$$f_{ijin} = L/240$$

$$f_{ijin} = 3000/240$$

$$f_{ijin} = 12.5 \text{ mm}$$

Sehingga,

$$f_{ada} < f_{ijin}$$

$$0.559 < 12.5 \text{ (OK)}$$

B. Gelagar melintang

$$f_{ada} = 0.351 \text{ mm}$$

Lendutan ijin,

$$f_{ijin} = L/240$$

$$f_{ijin} = 2500/240$$

$$f_{ijin} = 10.4 \text{ mm}$$

Sehingga,

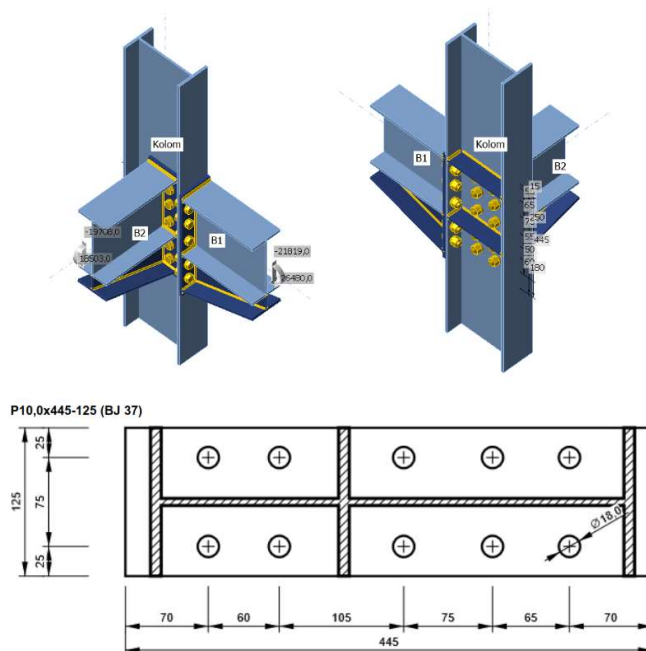
$$f_{ada} < f_{ijin}$$

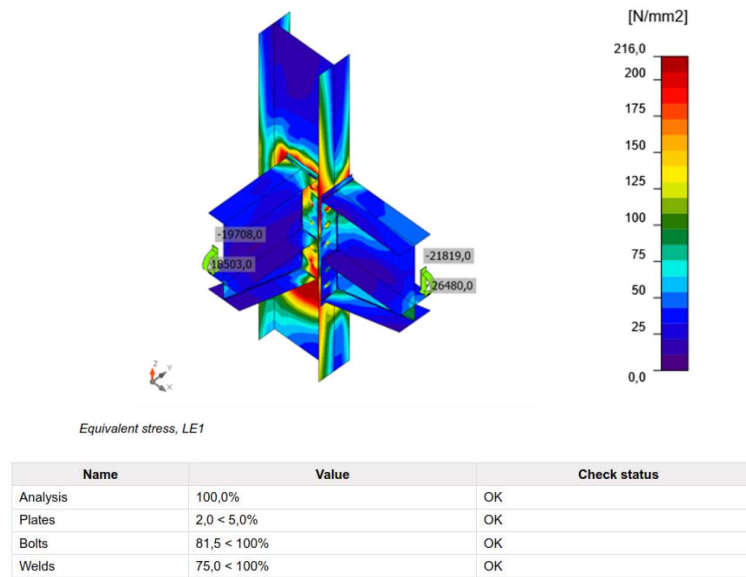
$$0.351 < 10.4 \text{ (OK)}$$

E. Perencanaan Sambungan

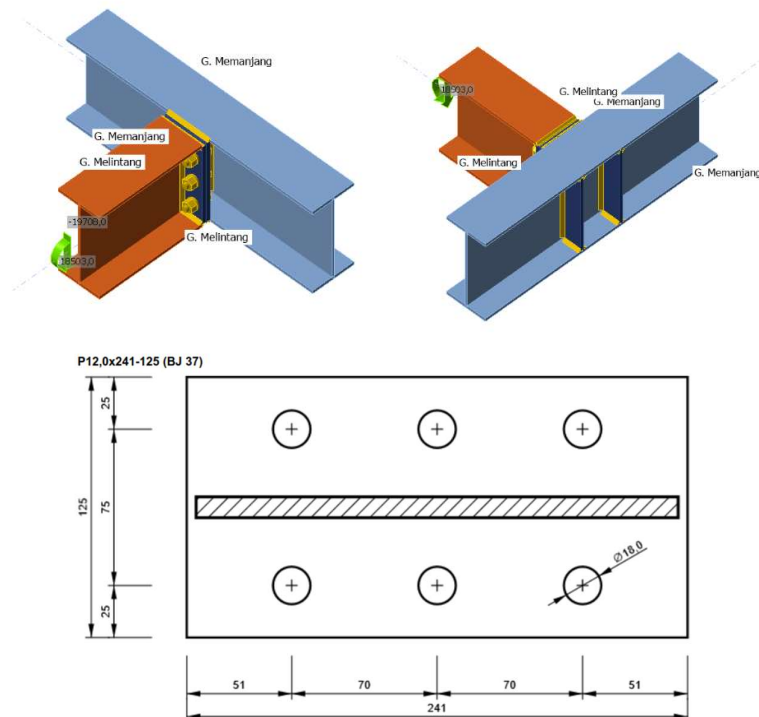
Dalam penelitian ini terdapat 3 tipe sambungan, sambungan didesain dan dianalisis menggunakan perangkat lunak IDEA StatiCa dengan output beban atau load berdasarkan output SAP2000.

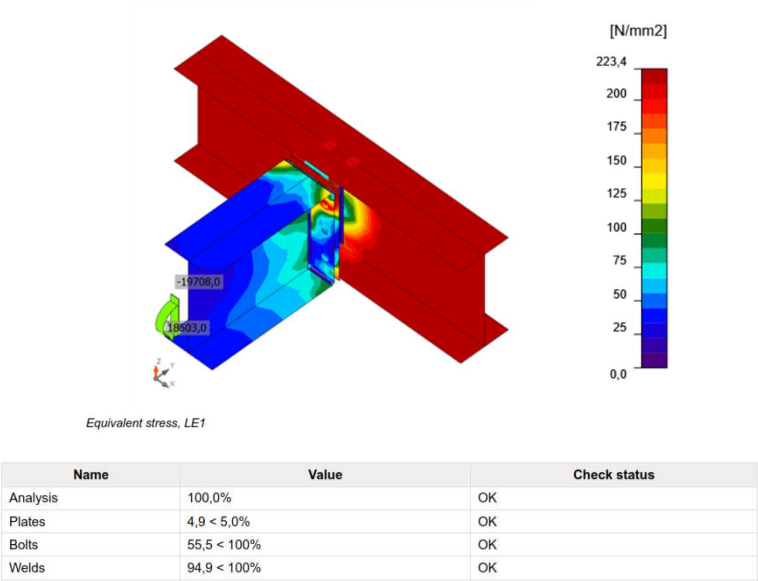
1. Sambungan 1 merupakan pertemuan antara antara kolom, gelagar melintang dan gelagar memanjang dengan menggunakan baut D16 A325M dan pengelasan dengan Throat thickness of weld (T_h) 4.2 mm dan Leg size of weld (L_s) 6 mm dengan tambahan haunch menggunakan potongan profile WF 250x125x6x9 serta tambahan end plate dan stiffener pelat tebal 10mm. Untuk gelagar memanjang yang terdapat kemiringan 9 derajat keatas dan kebawah telah dilakukan analisis tetapi dikarenakan hasilnya tidak jauh berbeda sehingga desainnya sama seperti sambungan 1.



Gambar 5. Desain sambungan 1**Gambar 6.** Analisis sambungan 1

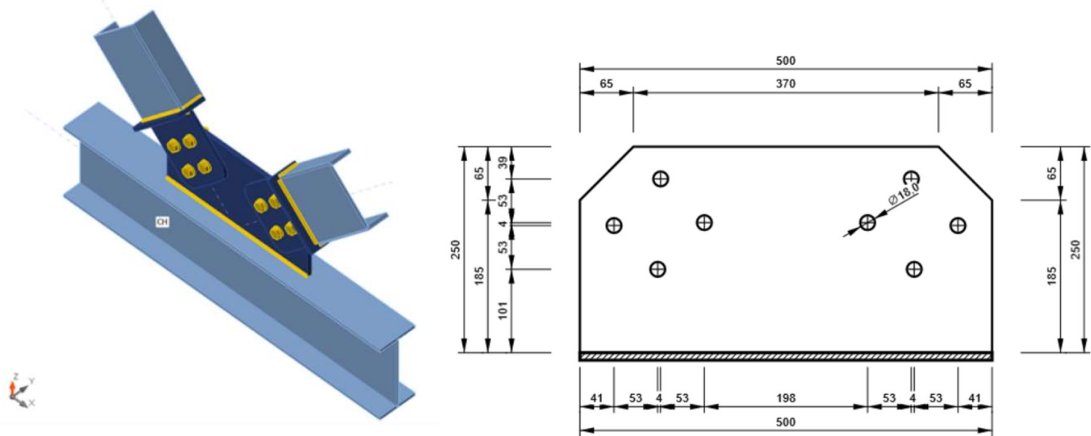
2. Pada sambungan 2 merupakan sambungan antara gelagar melintang dan gelagar memanjang. Dengan menggunakan baut D16 A325M dan pengelasan dengan Throat thickness of weld (T_h) 5.7 mm dan Leg size of weld (L_s) 8 mm dengan tambahan end plate 10mm dan stiffener menggunakan pelat 12mm.

**Gambar 7.** Desain sambungan 2

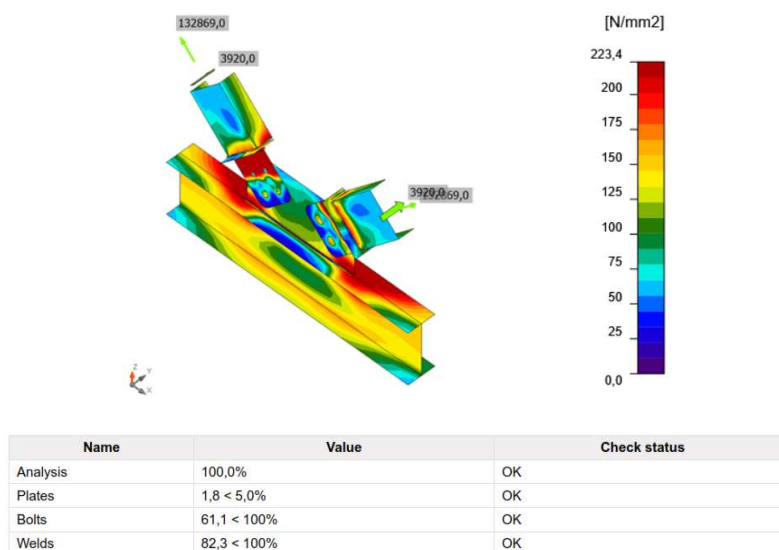


Gambar 8. Analisis sambungan 2

3. Pada sambungan 3 3 merupakan sambungan antara batang diagonal dan gelagar memanjang. Dengan menggunakan baut D16 A325M dan pengelasan dengan Throat thickness of weld (T_h) 4.2 mm dan Leg size of weld (L_s) 6 mm dengan tambahan end plate 12mm dan bracket menggunakan pelat 12mm.



Gambar 9. Desain sambungan 3



Gambar 10. Analisis sambungan 3

IV. SIMPULAN

Struktur gangway yang direncanakan menggunakan metode LRFD ini memiliki kekuatan konstruksi yang telah sesuai dengan spesifikasi, sesuai dengan hasil perencanaan dan analisis. Karena rasio kapasitas pada struktur gangway kurang dari 1 (satu), sesuai dengan hasil analisis struktur yang dilakukan dengan perangkat lunak SAP2000.

Berdasarkan hasil perhitungan, kontrol desain struktur gangway terhadap gaya-gaya yang bekerja menunjukkan bahwa semua nilai masih berada di bawah batas yang diizinkan. Nilai momen lentur maksimum yang terjadi pada gelagar memanjang adalah sebesar 25,96 kNm, yang masih lebih kecil dibandingkan momen izin sebesar 78,408 kNm. Selain itu, gaya geser maksimum yang terjadi sebesar 21,82 kN juga berada jauh di bawah batas gaya geser izin sebesar 180,4 kN.

Gaya aksial maksimum terjadi pada elemen kolom dengan nilai sebesar 257,57 kN, yang masih berada di bawah kapasitas nominal profil kolom sebesar 630,332 kN. Lendutan maksimum yang terjadi pada gelagar memanjang adalah sebesar 0,559 mm, yang lebih kecil dibandingkan lendutan izin sebesar 12,5 mm. Sementara itu, lendutan maksimum pada gelagar melintang tercatat sebesar 0,351 mm, yang juga masih memenuhi batas lendutan izin sebesar 10,4 mm.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan perangkat lunak IDEA StatiCa sambungan yang dianalisis menggunakan metode Component-Based Finite Element Method (CBFEM) terbukti aman terhadap beban-beban yang diterapkan. Dengan menggunakan baut D16 A325M, baut mengalami tegangan kritis pada sambungan 4, dengan tingkat utilisasi tertinggi sebesar 82,3%, namun masih berada dalam batas aman. Las atau Weld paling kritis terjadi pada sambungan 2 dengan utilisasi 94.9% menggunakan Throat thickness of weld (Th) 5.7 mm dan Leg size of weld (Ls) 8 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses penyusunan karya tulis ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada seluruh dosen pengajar di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, atas ilmu, motivasi, dan dedikasi yang telah diberikan selama masa studi. Semoga segala ilmu dan kebaikan yang diberikan menjadi amal jariyah dan senantiasa mendapat balasan terbaik dari Allah SWT.

REFERENSI

- [1] S. Ega Agustin, "ANALISIS STRUKTUR DAN REDESIGN TOWER CRANE POTAIN MD 900," Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh November, 2018.
- [2] M. Izzul Fikri Hidayah and H. Soeroso, "Perancangan Accommodation Ladder And Gangway Portable Kapasitas 1 Ton Sebagai Sarana Penunjang Akses Akomodasi Kapal," 2019.
- [3] S. Fadli, "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*, 2018.
- [4] I. W. Artana and I. P. Sutajaya, "ANALISIS PERBANDINGAN PERENCANAAN STRUKTUR BAJA BERDASARKAN METODE DESAIN KEKUATAN IJIN (DKI) DENGAN DESAIN FAKTOR BEBAN DAN KETAHANAN (DFBK) SESUAI SNI- 1729:2015," *Widya Teknik*, vol. 011, no. 1, pp. 93–104, Apr. 2018.
- [5] D. M. Karim, E. Setiadi, and Y. Yulianto, "Analisis Struktur Pembangunan Pasar Ampera Menggunakan Metode LRFD," *MESA*, vol. 7, no. 2, pp. 48–60, 2023.
- [6] G. Irawan, D. Gregorius, and S. Sentosa, "ANALISIS DESAIN SOIL NAILING MENGGUNAKAN LOAD & RESISTANCE FACTORED DESIGN DIBANDINGKAN DENGAN ALLOWABLE STRESS DESIGN," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 209–222, Feb. 2022.
- [7] J. M. Guci and F. Putri Yastari, "Analisis Penggunaan Balok Rafter Honeycomb Untuk Struktur Gudang Tahan Gempa Dengan Metode LRFD," *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, vol. 2, no. 4, pp. 243–253, Dec. 2024, doi: 10.25077/jbkd.2.4.243-253.2024.
- [8] M. Fadzilah, H. Riakara Husni, and M. Isneini, "Evaluasi Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Akibat Pengaruh Beban Gempa Menggunakan Analisis Dinamik Respon Spektrum (Studi Kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro)," *JRSDD*, vol. 9, no. 4, pp. 885–898, Dec. 2021.
- [9] Badan Standardisasi Nasional (BSN), SNI 1726:2019 – Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, Jakarta, Indonesia: BSN, 2019.
- [10] Badan Standardisasi Nasional (BSN), SNI 1727:2020 - Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lainnya, Jakarta, Indonesia: BSN, 2020.
- [11] Badan Standardisasi Nasional (BSN), SNI 1729:2020 - Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, Jakarta, Indonesia: BSN, 2020.
- [12] American Institute of Steel Construction, Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360-16), Chicago, IL: AISC, 2016.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.