



ANALISIS PERBANDINGAN *DETAIL ENGINEERING DESIGN* DENGAN REALISASI STUDI KASUS GEDUNG *GREEN HOUSE DISPLAY* BRIN CIBINONG BOGOR



Pio Ranap Tua Naibaho¹, Eka Daryanto², Kinanti Wijaya²

¹ Universitas Tama Jagakarsa, Jakarta, Indonesia

² Pendidikan Profesi Insinyur, Unimed, Medan, Indonesia

¹ piorthnaibaho@gmail.com

² ekadaryanto@unimed.ac.id

ABSTRAK

Green House Display yang berlokasi di Cibinong, Kabupaten Bogor, Jawa Barat merupakan sebuah bangunan rumah kaca (*greenhouse*) yang dibangun untuk mendukung pelestarian dan perbanyakan plasma nutfah tumbuhan potensial Indonesia. *Greenhouse* tersebut juga berperan dalam memperkenalkan keanekaragaman hayati Indonesia dan mempercepat penyebaran ilmu hayati strategis ke masyarakat. Bangunan tersebut memiliki *design* yang unik, berbentuk seperti bunga *Rafflesia Arnoldi*, dan memiliki dua kelopak atau *dome*. Material bangunan tersebut menggunakan beton dan baja yang di mana material baja digunakan untuk atap sedangkan material beton untuk komponen struktur lainnya seperti kolom, balok, dan pelat lantai. Seiring berjalannya proses pembangunan, terdapat beberapa perubahan *design* dari rencana awal *Detail Engineering Design* (DED), karena kebutuhan di lapangan dan faktor keamanan dari bangunan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara rencana *design* awal dan realisasi di lapangan, untuk keperluan analisis, peneliti menggunakan *software Tekla Structural Designer*. Dari hasil analisis menggunakan *software Tekla Structural Designer*, terdapat perbedaan dari realisasi di lapangan dengan *Detail Engineering Design* (DED). Perubahan tersebut terdapat pada kolom K15 pada area tengah *dome* utama dan penambahan balok pada bagian *Ramp dome* utama. Pada rencana awal (DED) kolom K15 yang merupakan kolom *freestanding*, terdapat perubahan *design* yang terealisasi di lapangan, kolom tersebut dihubungkan oleh balok dan pelat lantai guna untuk menambah kekuatan struktur. Perubahan selanjutnya terjadi pada *Ramp dome* utama yang ditambahkan balok pada kedua sisi pelat lantai *Ramp* yang berfungsi untuk meredam getaran.

Kata kunci: *Green House Display*, Analisis perbandingan, *Tekla Structural Designer*

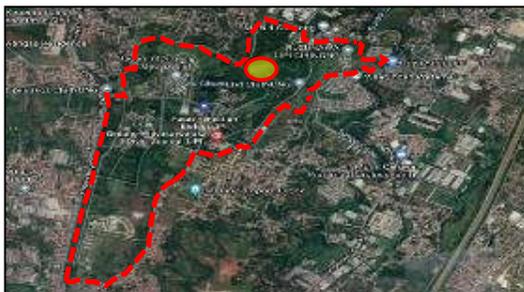
ABSTRACT

The *Green House Display*, located in Cibinong, Bogor Regency, West Java, is a greenhouse building built to support the preservation and propagation of Indonesia's potential plant germplasm. The greenhouse also plays a role in introducing Indonesia's rich culture and accelerating the dissemination of life science strategies to the public. The building has a unique design, shaped like a *Rafflesia Arnoldi* flower, and has two petals or a dome. The building materials use concrete and steel where steel material is used for roofs while concrete material is used for other structural components such as columns, beams, and floor plates. As the development process progresses, there are several design changes from the initial *Detail Engineering Design* (DED) plan, due to field requirements and the safety factor of the building. This study aims to determine the comparison between the initial design plan and the realization in the field. For analysis purposes, researchers use the *Tekla Structural Designer* software. From the results of the analysis using the *Tekla Structural Designer* software, there are differences from the realization in the field of *Detail Engineering Design* (DED). These changes are found in the K15 column in the center area of the main dome and the addition of beams in the main *Ramp dome*. In the initial plan (DED) of the K15 column which was a *freestanding* column, there was a design change that was realized in the field, the column is connected by beams and floor slabs to increase the strength of the structure. Subsequent changes occurred in the main *Ramp dome* which added beams on both sides of the *Ramp* floor plate which functioned to dampen vibrations.

Keywords: *Green House Display*, Comparative analysis, *Tekla Structural Designer*

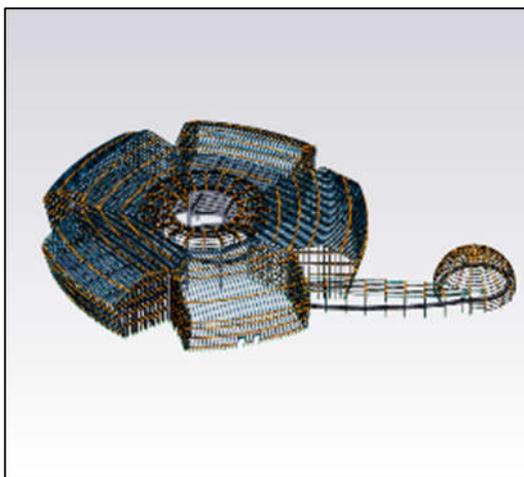
1. Pendahuluan

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) saat ini tengah melaksanakan pembangunan gedung *Green House Display* yang terletak di kawasan Cibinong *Science Center and Botanical Garden* (CSC-BG-LIPI).



Gambar 1. Lokasi pekerjaan pembangunan Gedung *Green House Display*

Gedung *Green House* ini memiliki bentuk atap yang menyerupai kubah (*dome*) dengan radius yang berbeda-beda. Berdasarkan *Detail Engineering Design* (DED) yang didapat, gedung *Green House Display* BRIN Cibinong Bogor diprediksi memiliki dimensi yang cukup besar.



Gambar 2. Hasil Modeling menggunakan *Software Tekla Structural Designer*

Peraturan yang digunakan untuk mendesain struktur bangunan terus diperbarui seiring waktu. Dengan adanya pemberlakuan peraturan tersebut, maka kondisi keamanan dimensi penampang struktur dari perencanaan lama (DED) perlu dilakukan peninjauan kembali. Salah satu cara yang dilakukan untuk meninjau keamanan dimensi penampang struktur yaitu dengan melakukan analisis ulang kapasitas kemampuan struktur jika

diberi gaya dari beban-beban yang bekerja (Taqwana, 2019).

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah perbandingan kondisi keamanan kapasitas struktur gedung *Green House Display* BRIN Cibinong Bogor berdasarkan data perencanaan (DED) dengan data aktual struktur dilapangan. Analisis kekuatan penampang struktur dihitung menggunakan bantuan program *Tekla Structural Designer*. *Tekla Structural Designer* adalah salah satu perangkat lunak desain struktural terancang yang memungkinkan para insinyur membuat model 3D yang akurat dan kaya informasi yang mencakup semua data struktural bangunan. *Tekla* mampu melakukan analisis dan desain struktural, menghasilkan perhitungan dan gambar konstruksi profesional sehingga memberikan layanan perincian lengkap (Prasetyo, 2021).

2. Kajian Literatur

Desain Kapasitas merupakan ragam keruntuhan struktur akibat beban yang bekerja pada elemen-elemen struktur dengan memperhitungkan faktor pembesaran beban sehingga terjadi kondisi elemen-elemen yang kritis dengan mekanisme keruntuhan struktur pada saat kondisi keruntuhan ultimit (Ryanto, 2019). Pada umumnya kegagalan struktur banyak terjadi pada sambungan balok-kolom yang diakibatkan lemahnya kemampuan menahan geser dan rendahnya daktilitas yang direncanakan. Sambungan balok - kolom merupakan bagian penting pada struktur bangunan gedung bertingkat (Anggraini, 2019).

Struktur rangka kaku adalah struktur yang terdiri dari elemen-elemen liner, seperti struktur balok dan kolom yang saling berhubungan pada ujung-ujungnya yaitu joint secara kaku yang dapat mencegah rotasi relatif di antara elemen struktur yang menghubungkannya. Struktur portal sangat berperan untuk menahan beban gravitasi dan beban gempa.

Perilaku struktural dan integritas bangunan beton bertulang yang memikul beban siklik lateral secara dominan tergantung pada kinerja sambungan antara balok dan kolom. Daya dukung sambungan balok kolom dalam menahan beban lateral bergantung pada kekuatan komponennya yaitu balok, kolom, dan *joint*. Desain sambungan balok kolom dari rangka penahan momen memerlukan ketentuan khusus pada semua desain guna memastikan tingkat kerusakan yang terjadi (Al-

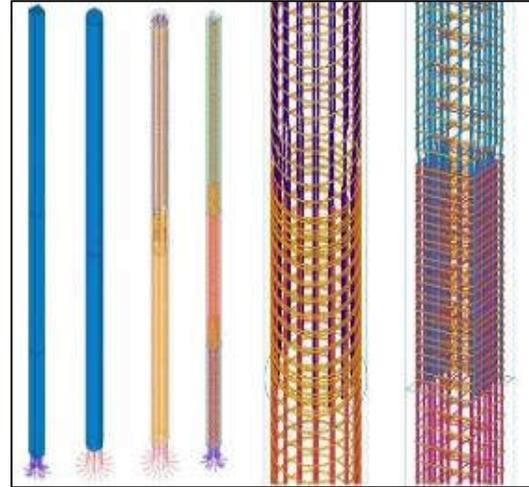
Rousan et al., 2021). Sambungan antara balok dan kolom merupakan zona penting dalam struktur beton bertulang yang bertujuan untuk menahan momen. Perilaku sambungan tersebut sangat mempengaruhi kekuatan dan daktilitas struktur secara keseluruhan. Terdapat beberapa kemungkinan mode kegagalan yang dapat terjadi pada sambungan balok kolom. Mode tersebut meliputi kegagalan lentur kolom, kegagalan geser balok, kegagalan geser sendi, dan kegagalan ikatan tulangan (Allam et al., 2018).

3. Metodologi Penelitian

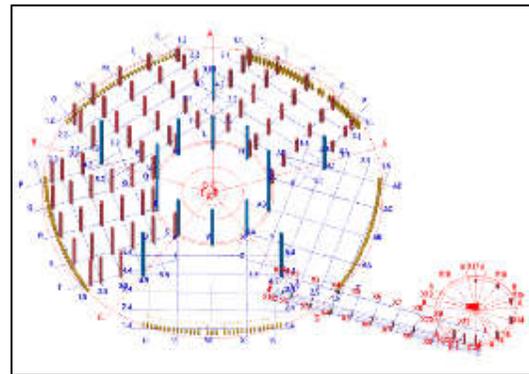
Data atau bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa *Detail Engineering Design* (DED) dan data aktual struktur lapangan. Pemodelan dilakukan untuk menganalisa dan membandingkan perilaku struktur gedung berdasarkan data (DED) dengan data aktual struktur lapangan. Perencanaan pembebanan pada struktur berdasarkan peraturan yang berlaku saat ini. Struktur kolom pada Gedung Green House Display BRIN Cibinong terdiri dari 15 tipe kolom utama dan 2 kolom pedestal. Kolom dengan tipe K1 hingga K13 merupakan kolom dengan penampang persegi, kolom tipe K14 dan K15 merupakan kolom dengan penampang lingkaran,

Tabel 1. Dimensi kolom

Tipe Kolom	Dimensi Kolom (mm)	
	h	b
K1	700	700
K2	700	700
K3	700	700
K4	700	700
K5	700	700
K6	700	700
K7	700	700
K8	700	700
K9	700	700
K10	700	700
K11	700	700
K12	700	700
K13	700	700
K14	Diameter 800 mm	
K15	Diameter 800 mm	
P1	400	800
P2	400	800



Gambar 3. Penampang kolom



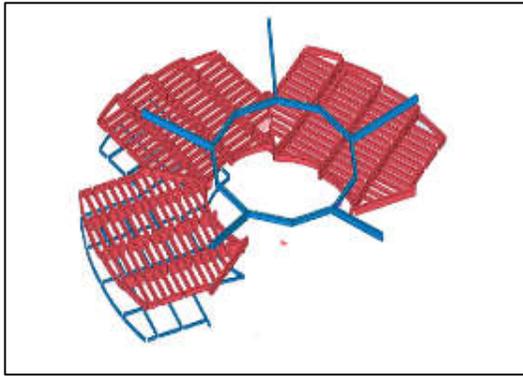
Gambar 4. Hasil pemodelan kolom

Struktur balok gedung *Green House Display* BRIN Cibinong terdiri dari 14 tipe balok. Balok tipe B7, B1 & B2 merupakan balok dengan bentuk melingkar atau *curved*. Ukuran penampang masing-masing tipe balok gedung *Green House Display* BRIN Cibinong dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Dimensi balok

Tipe Balok	Ukuran Balok (mm)	
	b	h
B1, B2, B3, B4, B5	500	900
B6	500	700
B7, B9, B10, B11	600	900
B8	600	1200
B12, B13, B14	450	1900

Hasil pemodelan struktur balok gedung *Green House Display* BRIN Cibinong menggunakan software *Tekla Structural Designer* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

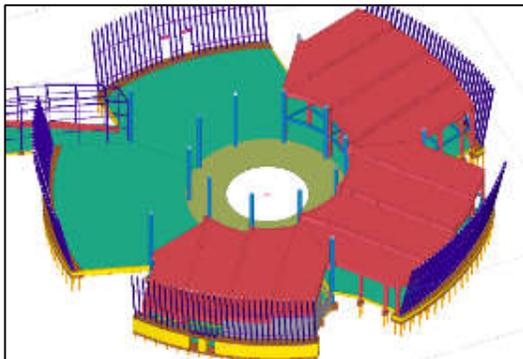


Gambar 5. Hasil pemodelan balok

Slab atau pelat lantai pada gedung *Green House Display* BRIN Cibinong terdiri dari 4 tipe slab. Setiap tipe slab memiliki ketebalan dan penulangan pelat yang berbeda. Ketebalan dari masing-masing tipe slab pada gedung *Green House Display* BRIN Cibinong dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Dimensi pelat lantai

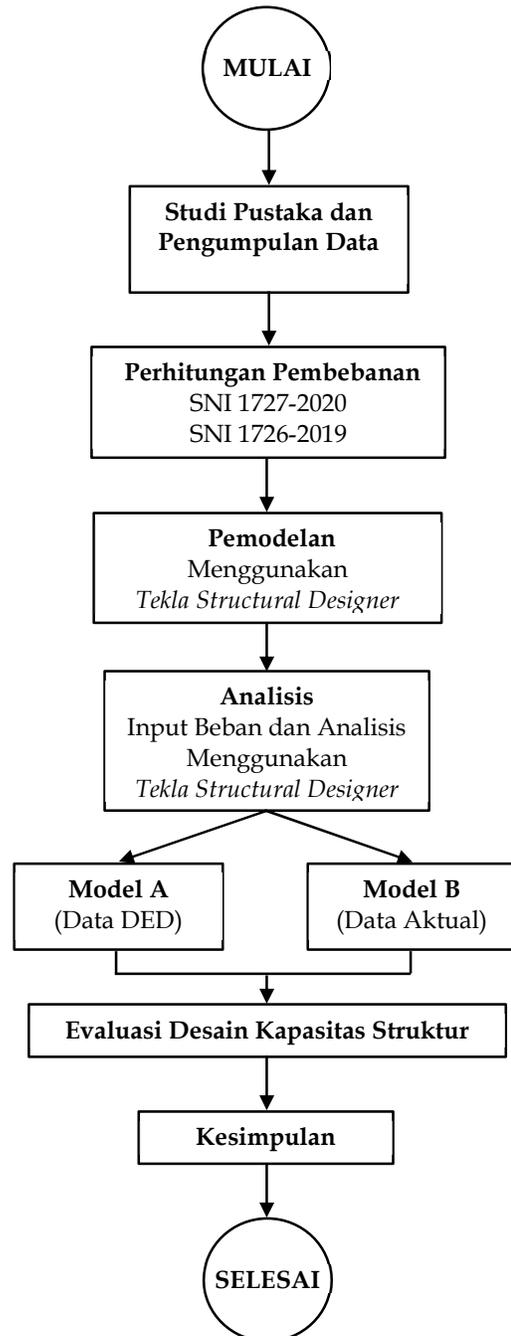
Tipe Slab	Ketebalan (mm)
S1	100
S2	200
S3	400
S4	150



Gambar 6. Hasil pemodelan pelat lantai

Penelitian ini melakukan analisis dengan dua pemodelan, yaitu Model A berdasarkan data DED (*Detail Engineering Design*) dan Model B berdasarkan data aktual dilapangan. Data *Detail Engineering Design* (DED) merupakan data sekunder yang diperoleh dari data perencanaan. Sedangkan Data aktual lapangan diperoleh berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Berikut

merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan.



Gambar 7. Diagram alir penelitian

Berat sendiri elemen struktur terhitung otomatis oleh program *Tekla Structural Designer* (I Agung, 2021). Beban mati tambahan, beban hidup, beban hujan, dan beban angin menggunakan peraturan pembebanan yaitu SNI 1727-2020. Beban gempa pada *Tekla Structural Designer* dimodelkan melalui *Seismic Wizard* dengan memasukkan data parameter respon spektrum yang diperoleh dari aplikasi

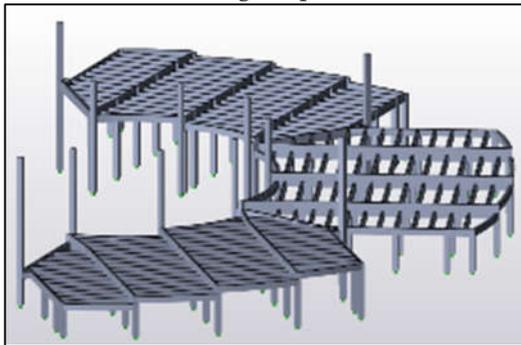
Spektrum Desain Indonesia 2021 yang mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Tahun 2017 serta sesuai dengan peraturan SNI 1726-201. Selain itu, pemodelan pada penelitian ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 2847-2019 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

4. Hasil dan Pembahasan

Model A telah dimodelkan berdasarkan gambar dan data DED, sementara Model B dimodelkan berdasarkan data aktual di lapangan. Pada saat pekerjaan fisik sedang berlangsung, terdapat beberapa perubahan *design* diantaranya penambahan struktur balok penghubung pada struktur kolom utama K14 & K15 yang semula tidak ada dalam rencana, penambahan balok 15x40 cm pada ramp utama, dan perubahan pada rangka baja dome utama WF 500.200.10.16.

Balok Penghubung

Pada awal desain berdasarkan data *Detai Engineering Design* (DED), kolom K14 & K15 merupakan kolom *freestanding* yang direncanakan hanya menopang struktur rangka atap *dome* utama yaitu baja WF 500.200.10.16. Kolom tersebut tidak memiliki koneksi atau sambungan dengan balok, pelat lantai dan kolom dengan tipe lain.



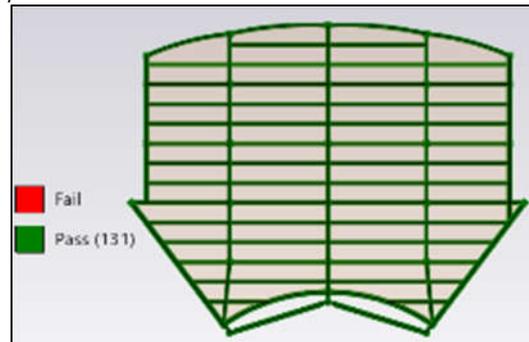
Gambar 8. Modeling kolom, balok dan pelat



Gambar 9. Hasil *running analysis* kolom, balok dan pelat lantai berdasarkan Model A

Hasil analisis Model A (DED) menggunakan *software Tekla Structural Designer*, terlihat bahwa terdapat 6 elemen struktur yang mengalami *fail* dan 10 elemen struktur mengalami status *warning*. Hal ini disebabkan karena kapasitas desain kolom tersebut tidak mampu menahan beban *axial* yang bekerja. Nilai kapasitas rasio (*Capacity Ratio*) antara gaya atau momen ultimate pada penampang yang terjadi beban terfaktor terhadap kuat nominal penampang (*R*) adalah 1.024. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur dengan Model A (DED) tidak memenuhi persyaratan struktur yang daktail dan dapat menimbulkan deformasi yang besar pada elemen struktur (*fail*).

Namun untuk menambah kekuatan struktur dilakukan perubahan desain (Model B) yaitu penambahan struktur balok penghubung pada struktur kolom utama K14 & K15. Setelah dilakukan pemodelan dan analisis struktur sesuai data aktual lapangan (Model B), terlihat bahwa semua elemen struktur berstatus *pass*.



Gambar 10. Hasil *running analysis* kolom dan pelat lantai berdasarkan Model B (data aktual lapangan)

Berdasarkan analisis struktur menggunakan *software Tekla Structural Designer*, nilai kapasitas rasio (*Capacity Ratio*) Model B berada pada (*R*) 0.183. Nilai *Capacity Ratio* tersebut sudah memenuhi persyaratan struktur yang daktail dengan $R < 1$.

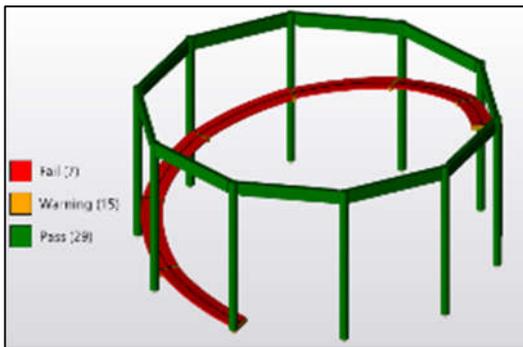
Ramp Utama Gedung

Selain perubahan pada sambungan kolom dan balok, juga terdapat perubahan pada struktur ramp utama gedung. Berdasarkan data perencanaan (DED), pelat ramp utama tersebut di desain dengan tebal 15 cm tanpa balok pada sisi kanan dan kiri ramp atau disebut pelat terjepit penuh sebagian yaitu hanya pada kedua ujung pelatnya. Berikut merupakan hasil pemodelan struktur ramp

utama sesuai data DED gedung *Green House Display BRIN Cibinong Bogor* menggunakan program *Tekla Structural Designer*.



Gambar 11. Modeling ramp utama berdasarkan Model A

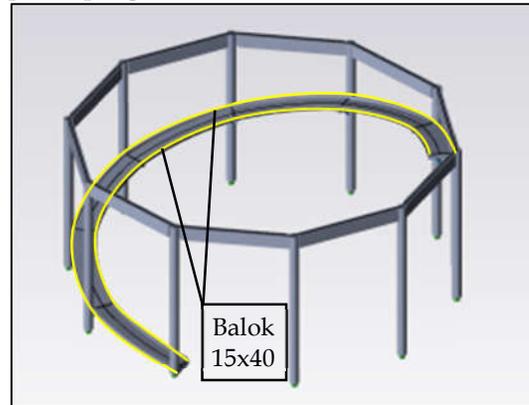


Gambar 12. Analisis ramp utama berdasarkan Model A

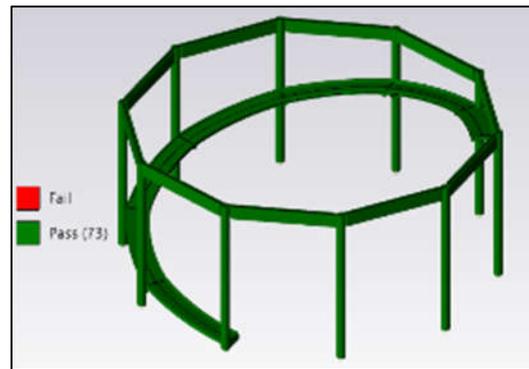
Hasil analisis struktur ramp utama berdasarkan data DED (Model A) terlihat bahwa seluruh pelat ramp utama gedung *Green House Display BRIN Cibinong Bogor* mengalami status *fail* (tidak aman). Batas lendutan maksimum yang diijinkan ($L/240$) yaitu 8,250 mm, sementara defleksi yang terjadi pada pelat ramp utama akibat beban yang diberikan berdasarkan Model A adalah 8,605 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pelat ramp utama berdasarkan Model A mengalami lendutan melebihi ambang batas maksimum defleksi yang diizinkan sehingga dapat menyebabkan kegagalan struktur.

Mengantisipasi permasalahan tersebut, dilakukan perkuatan struktur ramp utama dengan menambahkan balok ukuran 15x40 cm pada kedua sisi ramp utama, sehingga pelat ramp utama tersebut merupakan pelat terjepit penuh (Model B). Perkuatan ini dilakukan bertujuan untuk meredam getaran yang terjadi pada pelat ramp utama. Berikut merupakan

hasil analisis ramp utama dengan penambahan perkuatan struktur menggunakan balok penampang 15x40 cm.



Gambar 13. Modeling ramp utama berdasarkan Model B



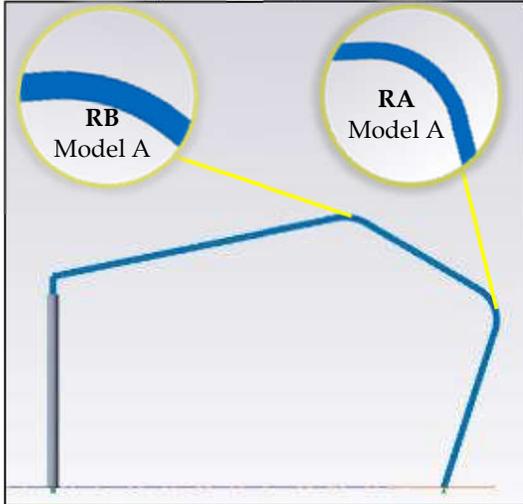
Gambar 14. Analisis ramp utama berdasarkan Model B

Dari gambar hasil analisis di atas, terlihat bahwa seluruh elemen struktur ramp utama berstatus *Pass* (aman). Batas lendutan maksimum yang diijinkan ($L/240$) yaitu 8,250 mm, sementara defleksi yang terjadi pada pelat ramp utama akibat beban yang diberikan berdasarkan Model B adalah 4.304 mm. Artinya penambahan balok pada kedua sisi pelat ramp utama (Model B) dapat mengurangi defleksi dan menambah kapasitas daya dukung pada pelat, sehingga gaya-gaya yang bekerja pada pelat dapat terdistribusi langsung pada kolom.

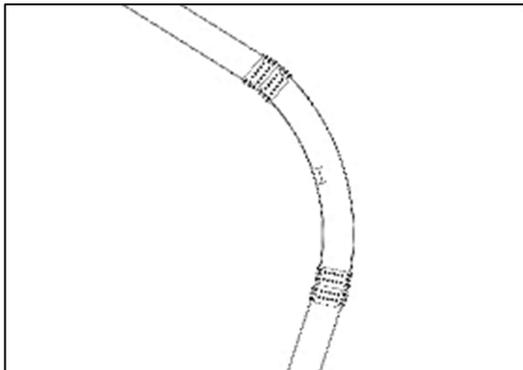
Rangka Atap Dome Utama

Rangka atap dome utama gedung *Green House Display BRIN Cibinong Bogor* merupakan struktur baja dengan profil WF 500.200.10.16. Atap tersebut berbentuk seperti bunga *Rafflesia Arnoldi* yang memiliki 5 kelopak. Setiap kelopak terdiri dari 33 rangka baja dengan 17 tipe kelengkungan yang memiliki radius berbeda-beda. Berdasarkan

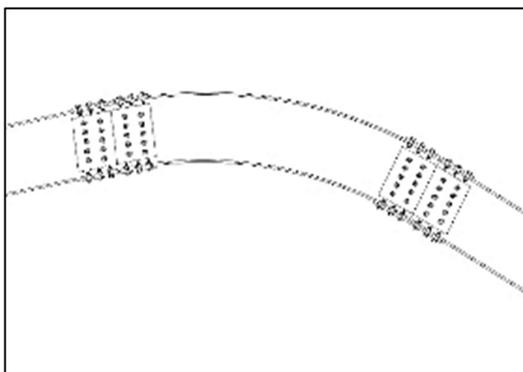
data DED (Model A) rangka atap baja memiliki dua kelengkungan pada masing-masing rangka dengan kode RA & RB. Sesuai data DED (Model A) rangka RA & RB merupakan baja yang ditekuk dengan dengan kelengkungan radius masing-masing 3335 mm dan 3030 mm.



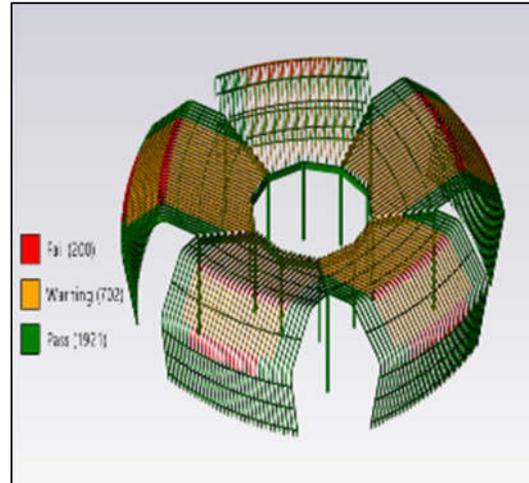
Gambar 15. Pemodelan rangka atap WF 500.200.10.16 berdasarkan Model A



Gambar 15. Detail sambungan RA berdasarkan Model A



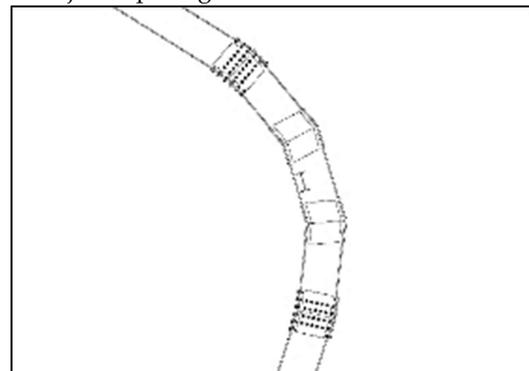
Gambar 16. Detail sambunagn RB berdasarkan Model A



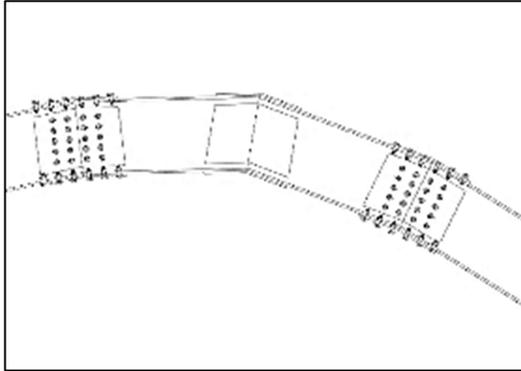
Gambar 17. Analisis rangka atap WF 500.200.10.16 berdasarkan Model A

Hasil analisis struktur rangka atap WF 500.200.10.16 berdasarkan data DED (Model A) terlihat bahwa sebagian rangka pada kelengkungan RA & RB mengalami status *fail and warning* (tidak aman). Batas lendutan maksimum yang diijinkan ($L/360$) pada batang RA yaitu 8,750 mm dan RB yaitu 9,611 mm. Sementara defleksi yang terjadi pada RA dan RB akibat beban yang diberikan berdasarkan Model A adalah 18,829 mm untuk RA dan 19,000 mm untuk RB. Hal ini menunjukkan bahwa pengaplikasian Model A pada rangka atap gedung *Green House Display* BRIN Cibinong dapat menyebabkan kegagalan struktur. Hal ini disebabkan karena baja memiliki sifat yang rentan terhadap tekuk (*buckling*) dan kekuatan baja akan menurun jika mendapat beban siklis.

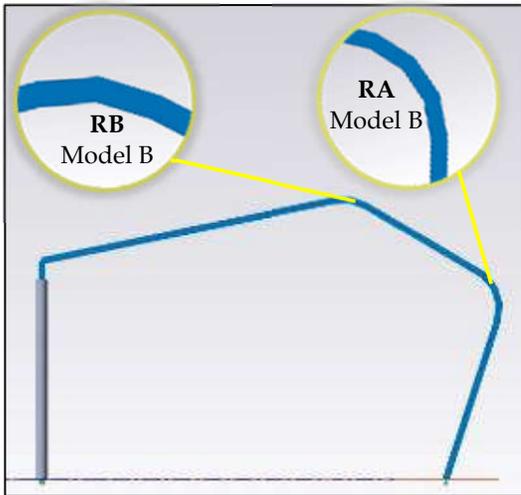
Oleh karena itu maka baja harus diperkuat dengan adanya sambungan pada area melengkung tersebut (Model B) seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



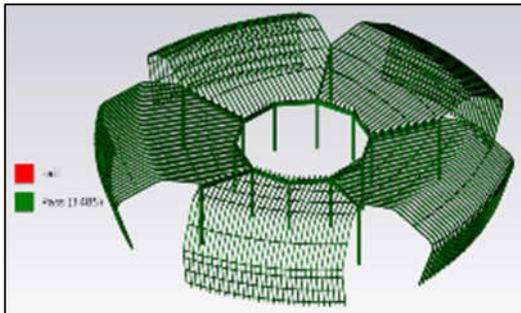
Gambar 18. Detail sambungan RA berdasarkan Model B



Gambar 19. Detail sambungan RB berdasarkan Model B



Gambar 20. Pemodelan rangka atap WF 500.200.10.16 berdasarkan Model B



Gambar 21. Analisis rangka atap WF 500.200.10.16 berdasarkan Model B

Setelah dilakukan pemodelan dan analisis rangka atap sesuai dengan kelengkungan pada model B (gambar 18 & 19), diperoleh hasil dengan status *pass* (aman). Nilai defleksi maksimum yang terjadi pada RA dan RB akibat beban yang diberikan berdasarkan Model B adalah 6,157 mm untuk RA dan 6,240 mm untuk RB dengan batas ijin defleksi maksimum pada batang RA yaitu 8,750 mm

dan RB yaitu 9,611 mm. Hasil tersebut diatas menunjuka bahwa defleksi maksimum (y_{max}) lebih kecil dari pada defleksi ijin (y_{ijin}).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Analisis perbandingan kapasitas struktur berdasarkan data perencanaan (DED) dan data aktual lapangan menggunakan program *Tekla Structural Designer* terhadap struktur kolom, balok, dan ramp utama gedung *Green House Display* BRIN Cibinong Bogor, dapat ditarik kesimpulan dan saran yaitu antara lain:

1. Hasil analisis menggunakan *software Tekla Structural Designer* berdasarkan data DED (Model A), diperoleh 6 elemen struktur yang mengalami *fail* dan 10 elemen struktur mengalami status *warning*. Nilai kapasitas rasio (*Capacity Ratio*) terhadap kuat nominal penampang (R) adalah 1.024. Nilai tersebut menunjukkan bahwa struktur dengan Model A (DED) tidak memenuhi persyaratan struktur yang daktail. Sementara hasil analisis struktur sesuai data aktual lapangan (Model B), terlihat bahwa semua elemen struktur berstatus *pass*. nilai kapasitas rasio (*Capacity Ratio*) Model B berada pada (R) 0.183. Nilai *Capacity Ratio* tersebut sudah memenuhi persyaratan struktur yang daktail dengan $R < 1$. Artinya penambahan balok penghubung antara kolom K14 dan K15 dapat menambah kekuatan struktur secara signifikan.
2. Hasil analisis struktur ramp utama berdasarkan data DED (Model A) terlihat bahwa seluruh pelat ramp utama mengalami status *fail* (tidak aman). Batas lendutan maksimum yang diijinkan ($L/240$) yaitu 8,250 mm, sementara defleksi yang terjadi pada pelat ramp utama akibat beban yang diberikan berdasarkan Model A adalah 8,605 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pelat ramp utama berdasarkan Model A mengalami lendutan melebihi ambang batas maksimum defleksi yang diizinkan. Mengantisipasi permasalahan tersebut, dilakukan penguatan struktur ramp utama dengan menambahkan balok ukuran 15x40 cm pada kedua sisi ramp utama. Nilai defleksi yang terjadi pada pelat ramp utama setelah dilakukan penguatan struktur dengan penambahan balok 15x40 cm (Model B) yaitu 4.304 mm. Artinya penambahan balok pada kedua sisi

pelat ramp utama (Model B) dapat mengurangi defleksi dan menambah kapasitas daya dukung pada pelat.

3. Hasil analisis struktur rangka atap WF 500.200.10.16 berdasarkan (Model A) terlihat bahwa sebagian rangka pada kelengkungan RA & RB mengalami status *fail and warning* (tidak aman). Batas lendutan maksimum yang diijinkan ($L/360$) pada batang RA yaitu 8,750 mm dan RB yaitu 9,611 mm. Sementara defleksi yang terjadi pada RA dan RB Model A adalah 18,829 mm untuk RA dan 19,000 mm untuk RB. Hal ini menunjukkan bahwa pengaplikasian rangka Model A dapat menyebabkan kegagalan struktur. Oleh karena itu maka baja harus diperkuat dengan adanya sambungan pada area melengkung tersebut. Nilai defleksi maksimum yang terjadi pada RA dan RB berdasarkan Model B adalah 6,157 mm untuk RA dan 6,240 mm untuk RB. Hasil tersebut di atas menunjukkan bahwa defleksi maksimum (y_{max}) lebih kecil dari pada defleksi ijin (y_{ijin}).

6. DAFTAR PUSTAKA

- a. J. Taqwana and A. Nusantoro, "Evaluasi Perancangan Struktur Balok dan Kolom Beton Bertulang Bangunan Gedung," 9th Univ. Res. Colloquium 2019 Univ. Muhammadiyah Purworejo kolom, 2019
- b. I. Agung, N. Prasetyo, and T. Rochman, "Perencanaan dan Pemodelan 3D Struktur Gedung Co-Working Space 4 Lantai Soekarno Hatta Kota Malang Berbasis Building Information Modeling (BIM)," J. Online Skripsi, vol. 2, no. 1, pp. 78-84, 2021.
- c. Badan Standardisasi Nasional, SNI 1727-2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, no. 8. 2020
- d. Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," SNI, no. 8, p. 254, 2019.
- e. Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847-2019: Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia," Standar Nas. Indones., no. 8, pp. 1-695, 2019.
- f. Jing Xian, W., & Soffi Md Noh, M. (2022). Comparative Study in the Design of a Reinforced Concrete Structure. *Recent Trends in Civil Engineering and Built Environment*, 3(1), 1169-1177. Accessed Maret 2022. <https://doi.org/10.30880/rtece.2022.03.01.133>.
- g. Bastian Zai (2022). Pemodelan Struktur Gedung Berbasis Building Information Modeling (Studi Kasus: Green House Display BRIN Cibinong - Bogor)
- h. Rita Anggraini (2019). Analisa Sambungan Balok Kolom Beton Bertulang pada Daerah Rawan Gempa (Studi Kasus: Gedung Pasar Inpres Blok IV Kota Padang), vol 8 no 2 096-114. Accessed Oktober 2022.
- i. Al-Rousan, R. Z., Alhassan, M. A., & Al-omary, R. J. (2021). *Response of interior beam-column connections integrated with various schemes of CFRP composites. Case Studies in Construction Materials*, 14. Accessed Januari 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00488>
- j. Allam, S. M., Elbakry, H. M. F., & Arab, I. S. E. (2018). Exterior reinforced concrete beam column joint subjected to monotonic loading. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 4133-4144. Accessed Januari 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.10.015>
- k. Ryanto, M. (2019). Evaluasi Struktur Kolom Kuat Balok Lemah Struktur Rangka Baja Mengacu Sni 1729-2015 (Studi Kasus : Gedung Science Techno Park - ITB). *Techno-Socio Ekonomika*, 12(2), 131-138. <https://doi.org/10.32897/techno.2019.12.2.4>
- l. J. Taqwana and A. Nusantoro, "Evaluasi Perancangan Struktur Balok dan Kolom Beton Bertulang Bangunan

Gedung," 9th Univ. Res. Colloqium
2019 Univ. Muhammadiyah Purworejo
kolom, 2019

- m. K. P. Ditjen Cipta Karya, "Aplikasi
Spektrum Respons Desain Indonesia
2021," 2021.
<http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/>