

# ANALISIS STRUKTUR GEDUNG SISTEM STRUKTUR BALOK-KOLOM BETON BERTULANG DENGAN ATAP *MONO BEAM GLULAM*

Nicholas Abram Sere Naibaho<sup>1</sup>, Yosafat Aji Pranata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil - Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas - Universitas Kristen Maranatha

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil - Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas - Universitas Kristen Maranatha  
email: [yosafat.ap@gmail.com](mailto:yosafat.ap@gmail.com)

Received: 15-04-2025 Revised: 06-05-2025 Accepted: 07-05-2025

## Abstract

*The purpose of this research was to study the behavior of a multipurpose building structure with a reinforced concrete beam-column structural system with a mono-beam roof using glulam. This study was conducted with a quantitative approach using a numerical analysis method based on structural calculations. Structural analysis uses finite element analysis software to evaluate the structural response to earthquake loads. The analysis was carried out using the equivalent static method in accordance with SNI 1726:2019. The scope of the study is that the building is located in West Bandung Regency with SDs parameters of 0.77 and SD1 of 0.77. The conclusion obtained from the results of the study is that the vibration time of the first three (three) types meets the translation requirements in both main directions of the building and rotation. The deformation and drift that occur meet the permit limit requirements according to SNI 1726:2019. Reinforced concrete columns and beams have a capacity that can withstand the maximum factored load. The 35m span glulam is planned to have sufficient capacity to withstand the maximum factored load that occurs, so that engineered wood-based technology can be an alternative solution for long-span structures.*

**Keywords:** Building, equivalent static, reinforced concrete, glulam, earthquake.

## Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku struktur gedung serbaguna dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan atap *mono beam* menggunakan *glulam*. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan metode analisis numerik berbasis perhitungan struktural. Analisis struktur menggunakan perangkat lunak analisis elemen hingga untuk mengevaluasi respons struktur terhadap beban gempa. Analisis dilakukan dengan metode statik ekuivalen sesuai dengan SNI 1726:2019. Ruang lingkup penelitian yaitu struktur bangunan gedung terletak di Padalarang, Kabupaten Bandung Barat dengan parameter SDs sebesar 0,77 dan SD1 sebesar 0,77. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu waktu getar ragam 3 (tiga) ragam pertama memenuhi ketentuan translasi pada kedua arah utama gedung dan rotasi. Deformasi dan *drift* yang terjadi memenuhi persyaratan batasan ijin sesuai SNI 1726:2019. Kolom dan balok beton bertulang mempunyai kapasitas yang dapat menahan beban terfaktor maksimum. Glulam bentang 35m direncanakan mempunyai kapasitas yang mencukupi menahan beban terfaktor maksimum yang terjadi sehingga teknologi berbasis kayu rekayasa dapat menjadi alternatif solusi struktur bentang panjang.

**Kata kunci:** Bangunan, statik ekuivalen, beton bertulang, *glulam*, gempa.

## PENDAHULUAN

Bangunan gedung serbaguna mempunyai fungsi antara lain arena olahraga dan tempat pertemuan yang dapat menampung lebih dari 500 orang. Upaya untuk mengatasi tantangan dalam perencanaan struktur gedung serbaguna dengan bentang lebar tanpa kolom, penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem struktur balok-kolom beton bertulang yang dikombinasikan dengan atap *mono beam* berbahan *Glulam* kayu Meranti.

Pemilihan *Glulam* sebagai elemen atap didasarkan pada keunggulannya dalam menopang beban pada bentang panjang serta fleksibilitas dalam pembentukan ukuran dan penyambungan segmen kayu. Analisis struktur dilakukan dengan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2019 (BSN, 2019a) guna memastikan ketahanan bangunan terhadap beban gempa, termasuk evaluasi deformasi, *drift*, serta kapasitas elemen struktural.

Gambar 1 memperlihatkan bahan baku *Glulam* yang diproduksi oleh Woodlam Indonesia. Teknologi ini memungkinkan membuat balok dengan ukuran penampang sesuai kebutuhan dan panjang balok sesuai kebutuhan pula dengan cara membagi balok menjadi beberapa segmen (WI, 2020).



**Gambar 1.** Bahan *glulam* (dokumentasi pribadi).

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku kekakuan dan kekuatan struktur gedung serbaguna dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan atap *mono beam* menggunakan *glulam* kayu Meranti.

Ruang lingkup penelitian yaitu struktur bangunan gedung berfungsi untuk bangunan serbaguna yaitu arena olah raga, gedung terletak di Padalarang, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat dengan parameter SDs sebesar 0,77 dan SD1 sebesar 0,77, gedung termasuk pada kategori resiko IV, perencanaan beban gempa mengacu pada SNI 1726:2019 (BSN, 2019a) dengan menggunakan analisis statik ekuivalen, perilaku yang dipelajari yaitu deformasi dan *drift* akibat beban gempa rencana, analisis kapasitas kolom dan balok beton bertulang, dan kapasitas struktur atap *mono beam glulam*.

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan baik dalam ranah akademik maupun praktis, terutama dalam bidang rekayasa struktur dan teknologi material. Penelitian ini menawarkan pendekatan inovatif dalam perencanaan struktur bangunan serbaguna dengan memanfaatkan kayu rekayasa *Glulam* sebagai elemen struktural atap *mono beam*, yang masih jarang diterapkan di Indonesia untuk bentang lebar.

Sebelumnya, penelitian mengenai struktur bangunan serbaguna lebih banyak menggunakan material baja atau beton bertulang sebagai elemen utama struktur atap

(Dewobroto, 2007). Meskipun material tersebut memiliki kekuatan yang tinggi, penggunaan baja sering kali menghadapi kendala biaya yang lebih mahal serta berat sendiri yang besar, sementara beton bertulang memerlukan cetakan dan proses pengecoran yang lebih kompleks untuk bentang panjang (Wibowo et al., 2022).

Dari segi akademis, penelitian ini menambah wawasan mengenai penggunaan kayu rekayasa *Glulam* sebagai alternatif material struktural untuk bangunan bentang lebar, khususnya dalam analisis kekakuan dan kekuatan terhadap beban gempa. Studi ini juga memperkaya literatur mengenai penerapan metode analisis statik ekuivalen sesuai SNI 1726:2019 (BSN, 2019a) dalam mendesain struktur atap berbahan *Glulam*, yang masih jarang diteliti di Indonesia. Sementara itu, dari segi praktis, penelitian ini memberikan solusi bagi para insinyur dan praktisi konstruksi dalam memilih material yang lebih ringan, ekonomis, dan ramah lingkungan dibandingkan baja atau beton bertulang untuk struktur bentang panjang.

## DASAR TEORI

### *Glulam*

*Glulam* atau *glued laminated timber* adalah produk kayu rekayasa yang terdiri dari beberapa lapisan kayu tipis yang direkatkan bersama menggunakan perekat struktural. *Glulam* digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi karena kekuatannya yang tinggi, daya tahan, dan fleksibilitas dalam desain. Proses pembuatannya melibatkan pemilihan kayu yang kuat dan tahan lama, pengeringan kayu hingga kadar air yang sesuai, penyusunan lapisan kayu dalam orientasi yang diinginkan, penerapan perekat khusus, dan penekanan serta pengeringan hingga perekat mengeras (Sudarman et al., 2014).

*Glulam* merupakan produk kayu yang direkayasa secara tinggi. Lamina kayu yang disambung dengan sambungan jari dan memiliki tingkat kekuatan yang tinggi dapat digunakan untuk membuat balok dengan hampir semua ukuran dan bentuk (Swedish wood, 2024a; Swedish wood, 2024b). Ketebalan lamina menjadi faktor yang mempengaruhi pula. Pungren et al. (Pungren, 2020) dalam penelitiannya mempelajari pengaruh tebal lamina terhadap perilaku lentur kayu *glulam*.

*Glulam* menawarkan beberapa keunggulan, termasuk rasio kekuatan terhadap berat yang baik, fleksibilitas dalam membentuk berbagai desain arsitektur, ketahanan terhadap

api, dan ramah lingkungan. Aplikasi *glulam* meliputi konstruksi bangunan, jembatan, struktur atap, dan bangunan publik seperti gedung olahraga dan aula konser. Dengan keunggulan tersebut, *glulam* menjadi pilihan populer dalam industri konstruksi modern yang mengutamakan keberlanjutan dan estetika (EWA, 2020).

Standar *glulam* memastikan kualitas dan keamanan produk kayu laminasi yang digunakan dalam konstruksi. Standar ini mencakup spesifikasi teknis mengenai jenis kayu yang dapat digunakan, persyaratan kekuatan dan kekerasan, serta metode pengujian untuk memastikan kinerja struktural *glulam*. Selain itu, standar *glulam* mengatur proses pembuatan, termasuk pengeringan kayu hingga kadar air tertentu, aplikasi perekat yang tepat, dan prosedur penekanan serta pengeringan. Standar ini juga menetapkan pedoman untuk inspeksi dan sertifikasi produk akhir, memastikan bahwa *glulam* memenuhi persyaratan keselamatan dan kinerja untuk aplikasi bangunan. Dengan adanya standar *glulam*, pengguna dapat yakin bahwa produk yang digunakan memiliki kualitas yang konsisten dan mampu menahan beban serta kondisi lingkungan sesuai yang diharapkan. Standar yang digunakan adalah ANSI 117 yaitu spesifikasi standar untuk kayu laminasi struktural dari spesies kayu *softwood* (EWA, 2020).

Glulam dapat digunakan untuk elemen lentur bentang panjang (Swedish wood, 2024a; Swedish wood, 2024b). Wang et al. (2024) dalam penelitiannya mempelajari pengaruh lekatan lem pada sambungan pemikul momen balok-ke-balok. Yuan et al. (2020) dalam penelitiannya mempelajari optimisasi Glulam kayu bentang panjang yang digunakan sebagai komponen struktur Utama.

Hadjib et al. (2015) dalam penelitian ini mempelajari karakteristik fisis dan mekanis serta pengaruh komposisi jenis dan perlakuan pengawetan pada glulam baik sejenis maupun campuran sebagai bahan baku kayu pertukangan dan kayu konstruksi.

### Beban Gempa

Beban gempa merujuk pada gaya-gaya dinamis yang bekerja pada struktur bangunan akibat aktivitas seismik, yang sangat penting dalam perencanaan dan desain struktural untuk menghindari kerusakan serius atau keruntuhan. Perhitungan beban gempa menggunakan berbagai metode analisis, seperti metode statik

ekuivalen untuk memprediksi respons struktur terhadap gempa (Imman & Hendrik, 2010).

Faktor-faktor yang diperhitungkan meliputi intensitas dan durasi gempa, karakteristik tanah, desain struktur, dan lokasi geografis. Untuk memastikan ketahanan bangunan, teknik desain seperti penempatan elemen struktural yang tepat untuk mendistribusikan beban gempa secara merata. Kode dan standar yang digunakan sebagai acuan yaitu Standar Nasional Indonesia 1726:2019 (BSN, 2019a) yang menjadi pedoman untuk merancang bangunan tahan gempa. Dengan demikian, melalui analisis yang cermat dan penerapan teknik konstruksi yang tepat, insinyur sipil dapat merancang bangunan yang lebih aman dan mampu menahan beban gempa, melindungi nyawa dan properti dari potensi kerusakan akibat gempa bumi.

### Analisis Gempa Statik Ekuivalen

Analisis gempa statik ekuivalen adalah metode yang digunakan dalam menentukan beban gempa pada struktur bangunan dengan mengasumsikan efek gempa sebagai gaya horizontal statis. Prosesnya melibatkan penentuan massa total bangunan, penentuan pusat massa, perhitungan koefisien seismik berdasarkan parameter seismik daerah, dan perhitungan gaya horizontal ekuivalen menggunakan rumus yang menggabungkan koefisien seismik dan berat total bangunan (Imman & Hendrik, 2010).

Gaya horizontal total yang dihitung kemudian didistribusikan sepanjang tinggi bangunan berdasarkan massa dan ketinggian tiap tingkat. Metode ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti tinggi bangunan, jenis dan kondisi tanah, properti dinamis struktur, dan faktor respons seismik. Analisis gempa statik ekuivalen mudah dipahami dan diterapkan, serta efisien untuk bangunan sederhana dan tidak terlalu tinggi. Metode statik ekuivalen kurang akurat untuk bangunan tinggi atau yang berada di daerah dengan risiko gempa tinggi, karena tidak mempertimbangkan efek dinamis kompleks. Meskipun demikian, metode ini membantu perencanaan struktur dengan memperkirakan beban gempa dan merancang elemen struktural yang mampu menahan gaya-gaya tersebut, sehingga meningkatkan keamanan dan ketahanan bangunan terhadap gempa.

Parameter yang digunakan dalam analisis statik ekuivalen adalah berikut:

$$V = C_s \times W \quad (1)$$

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2)$$

$$C_s = \frac{S_{Ds}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3)$$

$$C_s = 0,044 \times S_{Ds} \times I_e \geq 1 \quad (4)$$

$C_s$  = Koefisien respon seismik.

$W$  = Berat seismik efektif.

$S_{ds}$  = Percepatan spektrum respons desain periode pendek.

$S_{db}$  = Percepatan spektrum respons desain periode 1 detik.

$R$  = Faktor modifikasi respons.

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa.

Selanjutnya gaya lateral ( $F_x$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat dihitung dengan Persamaan 5.

$$F_X = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \times h_i^k} \times V \quad (5)$$

$V$  = Gaya lateral disain total atau geser di dasar struktur (kN).

$W_{(i)}$  = Berat seismik efektif total struktur pada tingkat i.

$H_{(i)}$  = Tinggi (m) dari dasar sampai tingkat i.

$W_{(x)}$  = Berat seismik efektif total struktur pada tingkat x.

$H_{(x)}$  = Tinggi (m) dari dasar sampai tingkat x.

$k_1$  = 1 untuk struktur dengan periode  $\leq 0,5$  detik.

$k_2$  = 2 untuk struktur dengan periode  $\geq 2,5$  detik.

### Beban Gempa Rencana

Parameter respons spektrum dipengaruhi kondisi kegempaan di lokasi bangunan berada, sesuai wilayah gempa dan jenis tanah (Pusgen, 2021; Nikson et al., 2021).

Parameter seismik seperti percepatan puncak tanah, jenis tanah, dan faktor respons spektrum digunakan sebagai data masukan, dan perangkat lunak secara otomatis menghitung koefisien seismik dan gaya horizontal ekuivalen. Gaya gempa total kemudian didistribusikan ke setiap tingkat bangunan berdasarkan massa dan ketinggian tingkat tersebut. Setelah itu, analisis dijalankan untuk menghitung respons struktur terhadap beban yang telah didefinisikan, termasuk gaya dalam, perpindahan, dan gaya reaksi pada dasar

bangunan. Hasil analisis dievaluasi untuk memastikan struktur memenuhi persyaratan kekakuan (Laresi et al., 2020).

### Deskripsi Struktur

Bangunan *green building*, atau bangunan hijau, adalah bangunan yang dirancang dengan mempertimbangkan efisiensi energi, penggunaan sumber daya yang berkelanjutan, dan dampak lingkungan yang rendah. Penggunaan kayu sebagai bahan material dalam penelitian ini merupakan salah satu pertimbangan utama untuk menambahkan komponen struktur ramah lingkungan selain pertimbangan kebutuhan komponen struktur untuk kondisi kebutuhan bentang lebar (Tasya & Putranto, 2016).

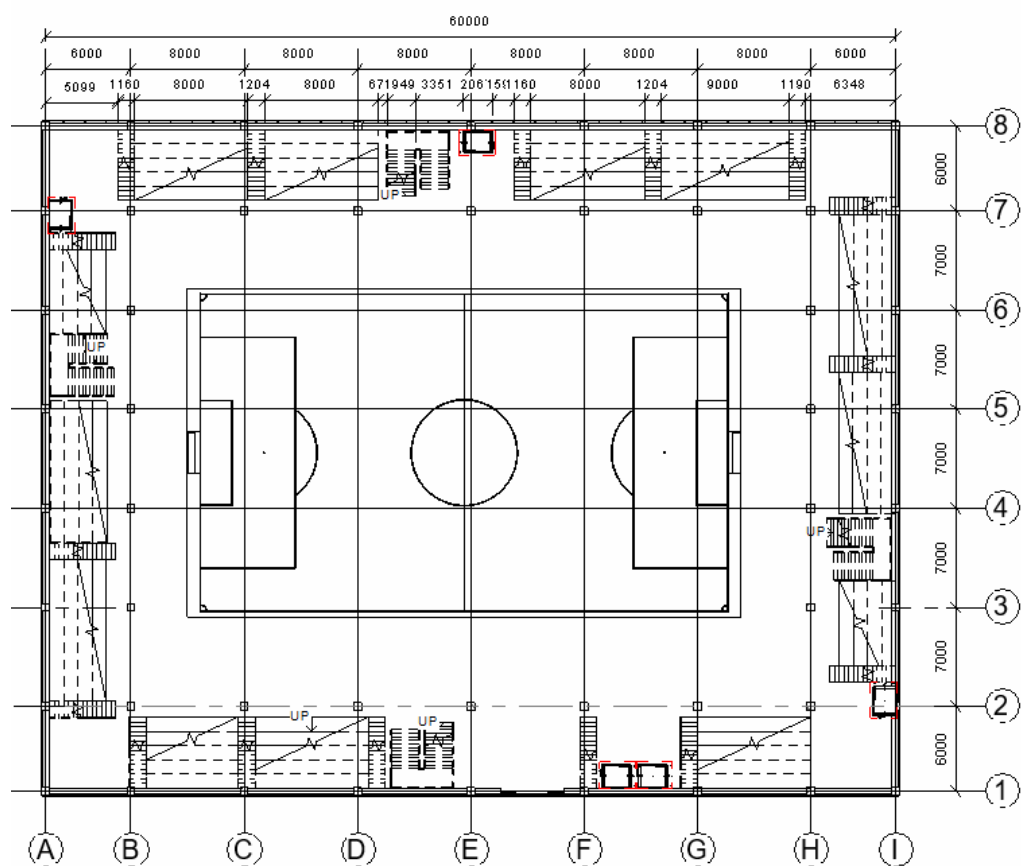
### METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu pemodelan dan analisis struktur bangunan gedung secara 3 dimensi dilakukan dengan pendekatan numerik dengan menggunakan *ETABS* (CSI, 2024). Dimulai dengan pembuatan model tiga dimensi dari struktur yang mencakup elemen utama seperti kolom, balok, dinding geser, pelat lantai, dan struktur balok bentang lebar *glulam*. Perangkat lunak *ETABS* terdapat fitur penentuan properti material dan dimensi elemen secara detail. Beban gravitasi seperti beban mati dan hidup, serta beban gempa sesuai dengan kode bangunan yang berlaku, ditentukan dan diaplikasikan pada model. Kondisi batas dan tumpuan, serta sambungan antar elemen, juga diatur untuk memastikan distribusi beban yang tepat (Pamungkas & Harianti, 2013).

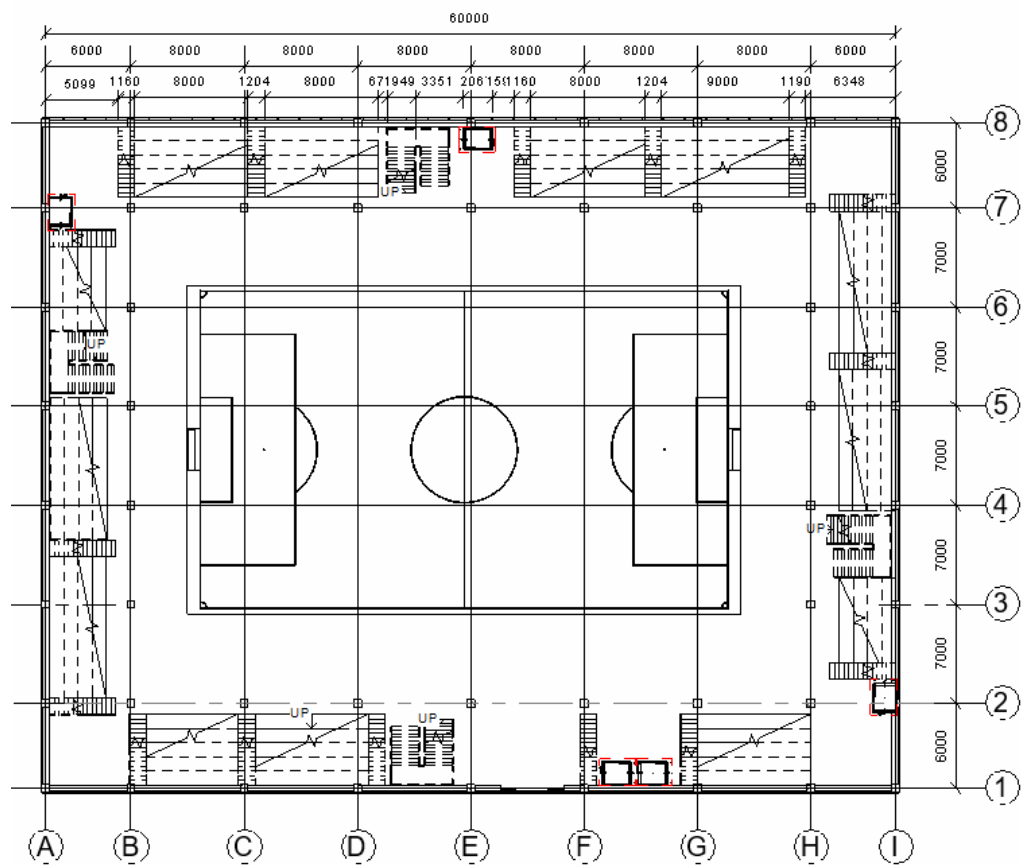
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis struktur bangunan gedung dengan perhitungan beban gempa rencana menggunakan metode statik ekuivalen dengan perangkat lunak *ETABS* Nonlinier dengan tujuan untuk mempelajari perilaku dan respons bangunan akibat beban gempa rencana sesuai SNI 1726:2019 (BSN, 2019a), dengan mengasumsikan bahwa efek gempa sebagai gaya horizontal statis yang bekerja pada struktur.

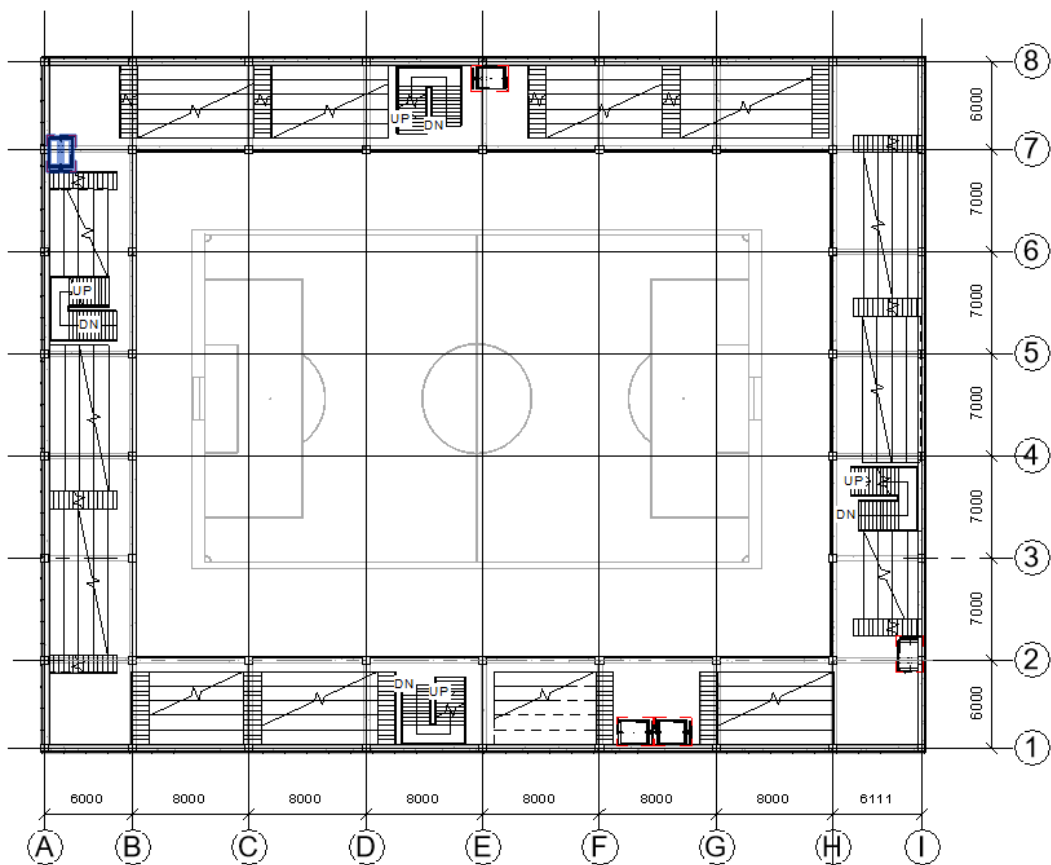
Analisis struktur meliputi analisis statik untuk menentukan gaya dalam dan tegangan akibat beban, serta untuk memahami respons struktur terhadap beban lateral yaitu sebagai contoh beban gempa.



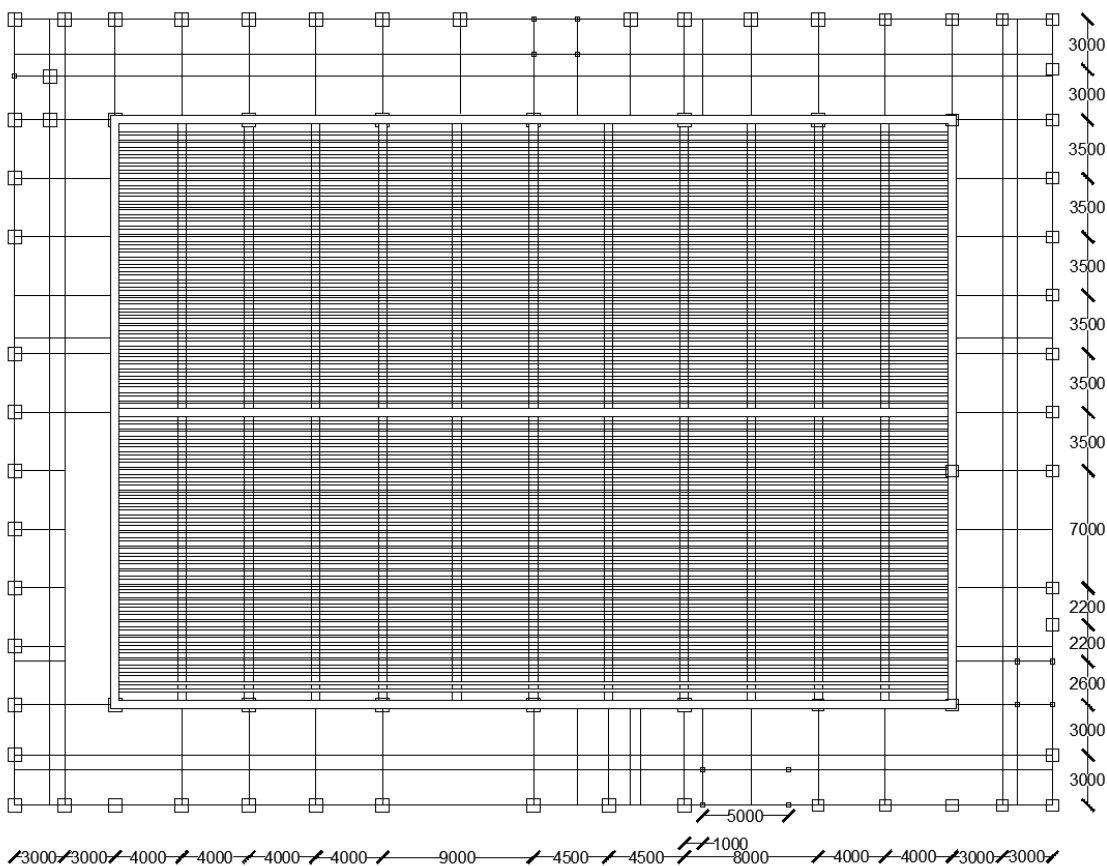
Gambar 2. Denah lantai dasar.



Gambar 3. Denah lantai 1.



Gambar 4. Denah lantai 2.



Gambar 5. Denah lantai atap.

Perangkat lunak *ETABS* menyediakan alat untuk memeriksa kepatuhan desain terhadap berbagai kode bangunan, memungkinkan optimasi desain, dan menghasilkan visualisasi grafis dari hasil analisis, termasuk diagram gaya dalam, momen, dan deformasi (Dewobroto, 2006).

Analisis struktur dilakukan dengan proses dimulai dengan membuat model tiga dimensi dari bangunan yang mencakup elemen-elemen struktural seperti kolom beton bertulang, balok beton bertulang, pelat lantai beton bertulang, struktur atap *mono beam glulam*, serta menentukan properti material dan dimensi penampang dari masing-masing elemen. Sedangkan beban gravitasi yang diperhitungkan dalam penelitian ini meliputi beban mati, beban hidup, air hujan serta beban gempa sesuai dengan standar SNI 1727:2020 (BSN, 2020).

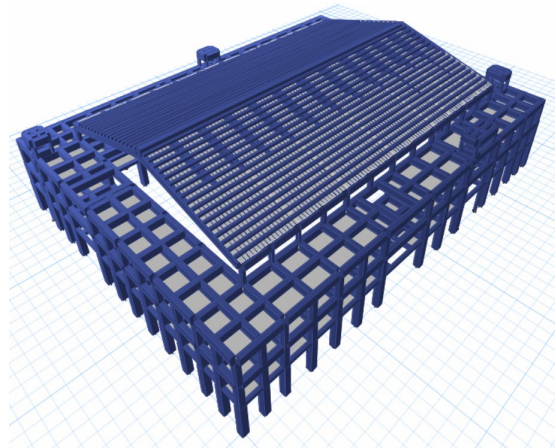
Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 masing-masing memperlihatkan denah lantai dasar, denah lantai 1, denah lantai 2, denah lantai 3, dan denah struktur atap yang menjadi dasar untuk pemodelan gedung dan analisis struktur.

Dalam penelitian ini, bangunan serbaguna adalah struktur yang dirancang untuk menampung berbagai fungsi penting, fleksibilitas ruangnya memungkinkan untuk penggunaan yang beragam, seperti seminar, lokakarya, dan pertandingan olahraga *indoor*.

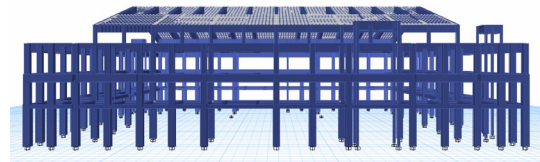
Selanjutnya Gambar 6a memperlihatkan skematik model 3D struktur bangunan gedung dalam pemodelan dengan perangkat lunak *ETABS*. Gambar 6b memperlihatkan skematik tampak samping (3D) gedung, Gambar 6c memperlihatkan tampak atas gedung, dan Gambar 6d memperlihatkan tampak depan gedung. Kolom bertulang menggunakan ukuran penampang yaitu 800mm x 800mm (lantai 1), 700mm x 700mm (lantai 2), dan 600mm x 600mm (lantai 3). Balok beton bertulang menggunakan ukuran penampang 300mm x 500mm, 300mm x 600mm, 400 x 600mm dan 200mm x 500mm. Kolom dan balok tersebut selanjutnya dimodelkan sebagai elemen *frame* dengan pertimbangan bahwa kolom menyalurkan gaya-gaya dalam berupa gaya aksial tekan, gaya geser, dan momen lentur, sedangkan balok menyalurkan gaya-gaya dalam berupa gaya geser dan momen lentur.

Struktur atap mempunyai bentang lebar mencapai 35m sehingga digunakan balok/struktur *mono beam* yang terbuat dari kayu rekayasa yaitu *Glulam* dengan ukuran

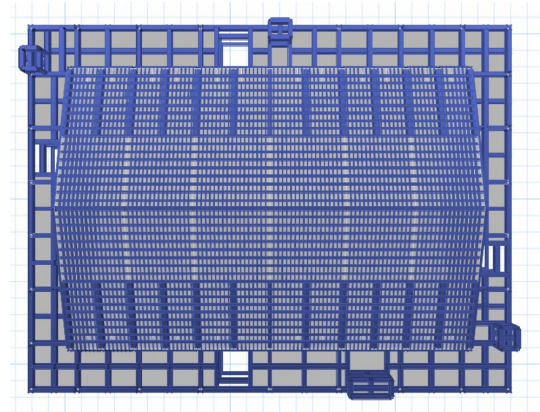
penampang 400mm x 1000mm.



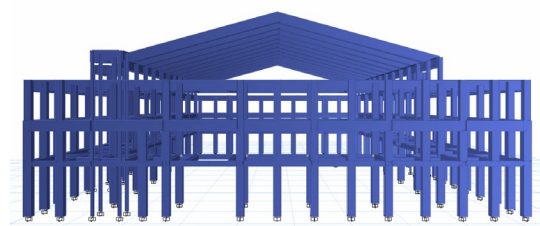
(a). Skematik tampak 3D



(b). Skematik tampak samping (3D).



(c). bagian atas.



(d). Skematik tampak depan (3D).

**Gambar 6.** Skematik tampak 3D model gedung.

Perhitungan beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2019 (BSN, 2019a) yaitu meliputi perhitungan massa bangunan selengkapannya ditampilkan pada Tabel 1. Hasil Analisa dengan perangkat lunak *ETABS* diolah menjadi dua bagian, yaitu bagian pertama mempelajari waktu getar ragam 3 (tiga)

ragam pertama, hasil yang diperoleh yaitu memenuhi ketentuan translasi pada kedua arah utama gedung (ragam pertama dan kedua) dan rotasi (ragam ketiga).

**Tabel 1.** Akumulasi beban bangunan

| Lantai | Massa Struktur (kg) | Berat Struktur (kg) |
|--------|---------------------|---------------------|
| Story3 | 19996,03            | 196161,09           |
| Story2 | 23497,36            | 230509,15           |
| Story1 | 19969,30            | 199378,57           |
| Total  | 63817,41            | 626048,82           |

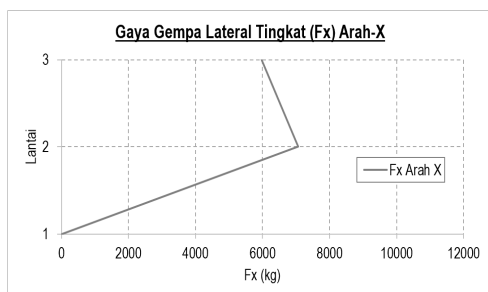
Bagian kedua yaitu pemeriksaan deformasi akibat beban gempa statik ekuivalen pada arah sumbu utama bangunan yaitu sumbu-x (Ex) dan beban gempa arah utama tegak lurusnya, yaitu sumbu-y (Ey). Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 2, Tabel 3, Gambar 7, dan Gambar 8.

**Tabel 2.** Perhitungan gaya lateral ekuivalen arah sumbu-x

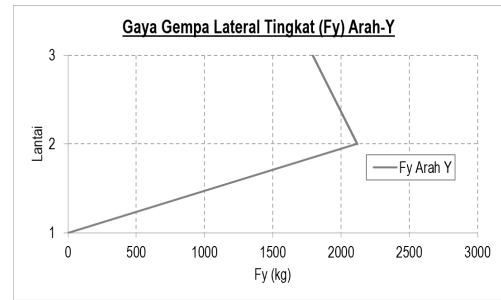
| Lantai | Tinggi Struktur (m) | Berat Struktur (kg) | Fx (kg) |
|--------|---------------------|---------------------|---------|
| Story3 | 3,8                 | 196161,00           | 5080,29 |
| Story2 | 3,8                 | 230509,15           | 5969,85 |
| Story1 | 5,2                 | 199378,57           | 7066,00 |

**Tabel 3.** Perhitungan gaya lateral ekuivalen arah sumbu-y

| Lantai | Tinggi Struktur (m) | Berat Struktur (kg) | Fy (kg) |
|--------|---------------------|---------------------|---------|
| Story3 | 3,8                 | 196161,00           | 1524,08 |
| Story2 | 3,8                 | 230509,15           | 1790,95 |
| Story1 | 5,2                 | 199378,57           | 2119,80 |



**Gambar 7.** Kurva gempa lateral tingkat arah sumbu-x

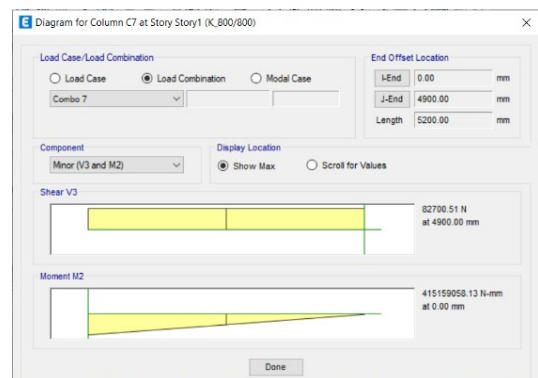


**Gambar 8.** Kurva gempa lateral tingkat arah sumbu-y

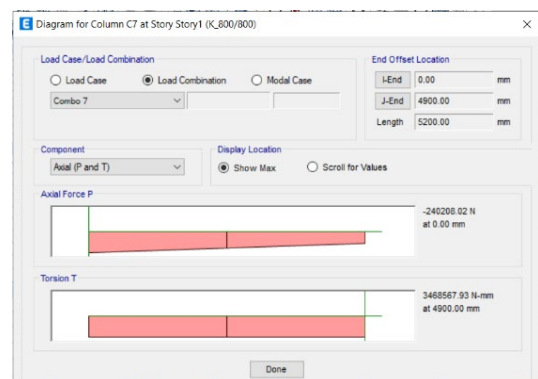
### 3.2 Perencanaan Struktur Atas

Dalam penelitian ini, dilakukan perencanaan penulangan kolom dan balok beton bertulang. Perencanaan mengacu pada peraturan beton Indonesia yaitu SNI 2847:2019 (BSN, 2019b). Dari hasil analisis telah diperoleh gaya-gaya dalam berdasarkan pertimbangan kombinasi beban terfaktor paling maksimum.

Gaya dalam pada kolom (akibat kombinasi beban terfaktor paling maksimum) untuk contoh desain penulangan selengkapnya ditampilkan pada Gambar 9.



(a). Momen lentur dan gaya geser



(b). Gaya aksial

**Gambar 9.** Contoh kolom yang ditinjau: Gaya dalam akibat beban terfaktor maksimum.



**Gambar 10.** Contoh balok yang ditinjau: Gaya dalam akibat beban terfaktor maksimum

Selanjutnya Gambar 10 memperlihatkan hasil analisis yaitu gaya dalam yang terjadi pada balok (akibat kombinasi beban terfaktor paling maksimum) untuk contoh desain penulangan balok.

Detail Hasil perhitungan dan gambar penulangan balok beton bertulang untuk penampang berukuran 300x500mm (balok A1), 300x600mm (balok A2), dan 400x600mm (balok B1 dan B2), serta kolom beton bertulang berukuran penampang 550x550mm (kolom K1, K2, K3) dan 250x400mm (kolom K4) selengkapnya ditampilkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

| TYPE BALOK  | A1           |           |               | A2           |           |               |
|-------------|--------------|-----------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| POTONGAN    | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN  | TUMPUAN KANAN | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN  | TUMPUAN KANAN |
| BALOK       |              |           |               |              |           |               |
| UKURAN LXT  | 300 X 500    | 300 X 500 | 300 X 500     | 300 X 500    | 300 X 500 | 300 X 500     |
| TUL. ATAS   | 5 D19        | 3 D19     | 5 D19         | 8 D19        | 2 D19     | 8 D19         |
| TUL. TENGAH | 2 D10        | 2 D10     | 2 D10         | 2 D10        | 2 D10     | 2 D10         |
| TUL. BAWAH  | 4 D19        | 8 D19     | 4 D19         | 4 D19        | 7 D19     | 4 D19         |
| SENGKANG    | D13-100      | D13-150   | D13-100       | D13-100      | D13-150   | D13-100       |

| TYPE BALOK  | B1           |           |               | B2           |           |               |
|-------------|--------------|-----------|---------------|--------------|-----------|---------------|
| POTONGAN    | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN  | TUMPUAN KANAN | TUMPUAN KIRI | LAPANGAN  | TUMPUAN KANAN |
| BALOK       |              |           |               |              |           |               |
| UKURAN LXT  | 400 X 600    | 400 X 600 | 400 X 600     | 400 X 600    | 400 X 600 | 400 X 600     |
| TUL. ATAS   | 7 D19        | 3 D19     | 8 D19         | 8 D19        | 3 D19     | 7 D19         |
| TUL. TENGAH | 2 D10        | 2 D10     | 2 D10         | 2 D10        | 2 D10     | 2 D10         |
| TUL. BAWAH  | 4 D19        | 5 D19     | 4 D19         | 4 D19        | 5 D19     | 4 D19         |
| SENGKANG    | D13-100      | D13-150   | D13-100       | D13-100      | D13-150   | D13-100       |

**Gambar 11.** Hasil desain: dimensi dan penulangan balok beton bertulang.

| TINGKAT             | TYPE     | K1          | K2          | K3          | K4        |
|---------------------|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| TYPE                |          |             |             |             |           |
| UKURAN              |          | 550 X 550   | 550 X 550   | 550 X 550   | 250 X 400 |
| TULANGAN VERTIKAL   |          | 16 D 19     | 16 D 19     | 12 D 19     | 8 D 16    |
| TULANGAN HORIZONTAL | TUMPUAN  | D13 - 100   | D13 - 100   | D13 - 100   | D10 - 100 |
|                     | LAPANGAN | D13 - 150   | D13 - 150   | D13 - 150   | D10 - 150 |
| TULANGAN PENGIKAT   |          | 2XD10 - 300 | 2XD10 - 300 | 2XD10 - 300 |           |

**Gambar 12.** Hasil desain: dimensi dan penulangan kolom beton bertulang.

Selanjutnya untuk perencanaan balok *glulam* bentang 35m dilakukan berdasarkan acuan peraturan SNI 7973:2013 (BSN, 2013). Gambar 13 memperlihatkan gaya-gaya dalam pada balok (*mono beam*) *glulam* akibat kombinasi beban terfaktor paling maksimum. Selanjutnya dilakukan pengecekan kapasitas lentur dan kapasitas geser berdasarkan acuan SNI 7973 (BSN, 2013).



**Gambar 13.** Hasil analisis: momen lentur, gaya geser, lendutan *glulam* akibat kombinasi beban terfaktor paling maksimum.

Perhitungan pemeriksaan kapasitas lentur *glulam*:

$$\begin{aligned}
 b &= 400 \text{ mm} \\
 h &= 800 \text{ mm} \\
 I_x &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 I_x &= \frac{1}{12} \times 400 \times 800^3 \\
 I_x &= 1,71 \times 10^9 \\
 y &= 1/2 \times h \\
 y &= 1/2 \times 800 \\
 y &= 400 \text{ mm} \\
 S &= I_x / y \\
 S &= 8533333,3 \\
 F_b' &= 35,94 \text{ kN} \\
 M' &= F_b' \times S \\
 M' &= 35,94 \times 8533333,3 \\
 M' &= 306688 \text{ kNmm} \\
 M' &= 3067 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pemeriksaan kapasitas geser *Glulam*:

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,85 C_i \\
 C_i &= 1 \\
 C_f &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= 0,85 \\
 \phi_b &= 0,85 \\
 C_i &= 1
 \end{aligned}$$

Hasil analisis memperlihatkan bahwa *Glulam* dengan ukuran penampang 400mm x 1000mm memenuhi persyaratan kekuatan lentur dan kekuatan geser sesuai acuan SNI 7973:2013 (BSN, 2013).

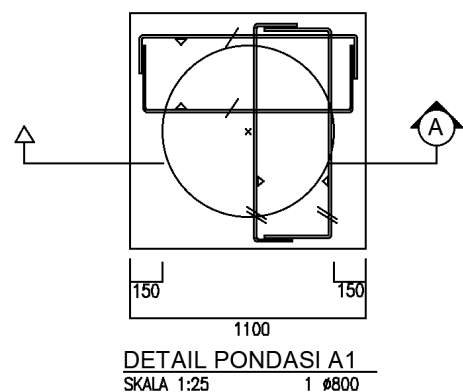
### 3.3 Perencanaan Pondasi

Desain pondasi *bore pile* tahan gempa untuk bangunan tahan gempa mempertimbangkan berbagai faktor untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur di daerah rawan gempa (Mo et al., 2017). Pondasi *bore pile* dipilih karena kemampuannya untuk mentransfer beban bangunan ke lapisan tanah yang lebih dalam dan lebih stabil. Proses desain dimulai dengan investigasi tanah yang komprehensif untuk memahami sifat dan kapasitas tanah di lokasi proyek. Diameter dan kedalaman *bore pile* ditentukan berdasarkan beban yang diterima, termasuk beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

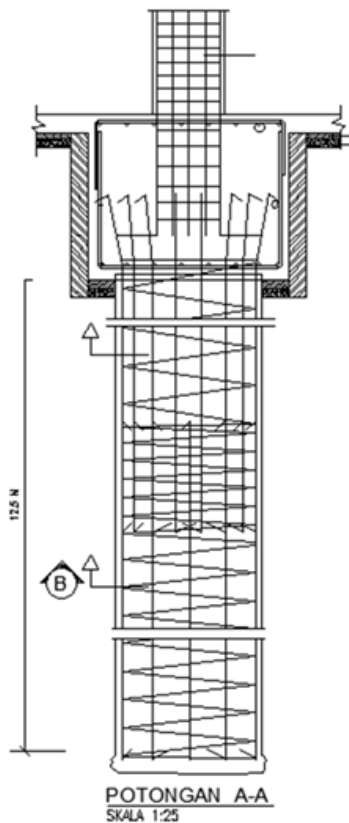
Hasil desain selengkapnya ditampilkan pada Gambar 14 (detail pondasi *bore pile*), Gambar 15 (potongan A-A pondasi), dan Gambar 16 (potongan B-B pondasi).

Perhitungan rencana desain pondasi dilakukan dengan software *Allpile* (CS, 2021) dengan membandingkan kurva momen rencana yang bekerja pada gaya aksial dan lateral.

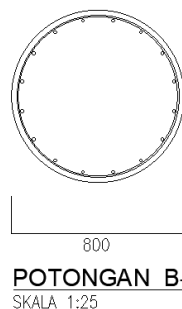
Gambar 17. memperlihatkan data tanah untuk *soft clay* pada uji  $N_{SPT}$  8 dan Gambar 18 memperlihatkan nilai data tanah  $N_{SPT}$  50 *sand/gravel*. Gambar 19. memperlihatkan momen rencana pondasi yang bekerja menahan gaya dalam kolom.



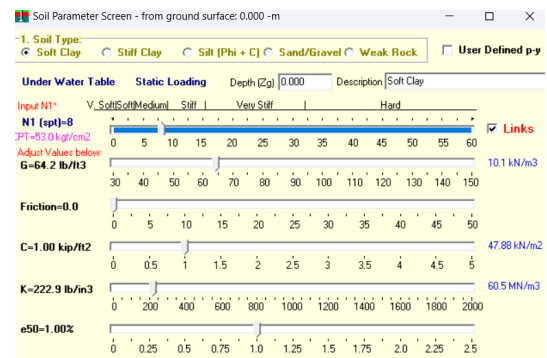
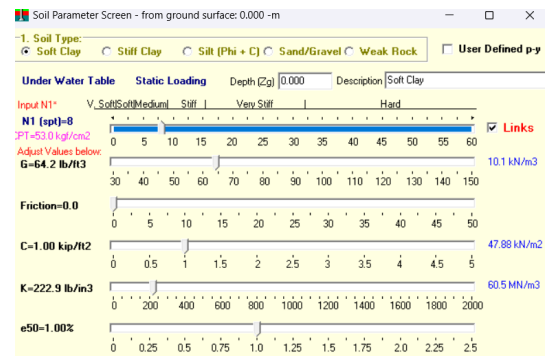
**Gambar 14.** Detail Pondasi



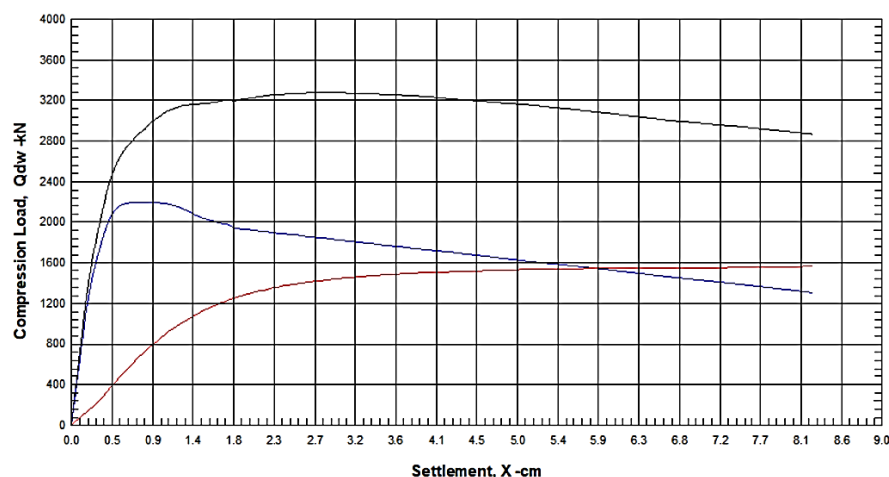
Gambar 15. Potongan A-A Pondasi



Gambar 16. Potongan B-B Pondasi

Gambar 17. Nilai data tanah  $N_{SPT}$  (8) *soft clay*Gambar 18. Nilai Data Tanah  $N_{SPT}$  (50) *sand/gravel*

Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa diameter *bore pile* yang diperlukan yaitu 800 mm, dan kedalamannya dapat mencapai 25 meter. Selain itu, penulangan (*reinforcement*) dalam *bore pile* dirancang untuk menahan gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser yang ditimbulkan oleh gempa. Baja tulangan ditempatkan sepanjang *bore pile* dengan pengaturan yang memastikan kekuatan dan kekakuan yang cukup. Untuk meningkatkan kinerja seismik, *bore pile* juga dapat dilengkapi dengan *casing* atau menggunakan beton berkualitas tinggi yang memiliki daya tahan yang baik terhadap gempa.

Gambar 19. Kurva beban vertikal dan *settlement*

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu waktu getar ragam 3 (tiga) ragam pertama memenuhi ketentuan translasi pada kedua arah utama gedung dan rotasi. Deformasi dan *drift* yang terjadi memenuhi persyaratan batasan ijin sesuai SNI 1726:2019.

Kolom dan balok beton bertulang mempunyai kapasitas yang dapat menahan beban terfaktor maksimum. *Glulam* bentang 35m direncanakan mempunyai kapasitas yang mencukupi menahan beban terfaktor maksimum yang terjadi sehingga teknologi berbasis kayu rekayasa dapat menjadi alternatif solusi struktur bentang panjang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini mendapatkan pendanaan dari Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dan Program Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, tahun anggaran 2024, melalui Penelitian MBKM Skema Riset. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

## DAFTAR PUSTAKA

Civiltech Software. (2021). *AllPile Manual*. USA: Civiltech Software.

Badan Standardisasi Nasional. (2013). *SNI 7973:2013 Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726:2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Computer and Structures, Inc. (2024). *ETABS Building analysis and design Technical Notes*. USA: Computer and Structures, Inc.

Dewobroto, W. (2006). Evaluasi kinerja bangunan baja tahan gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 7-24.

Dewobroto, W. (2007). *Aplikasi rekayasa konstruksi dengan SAP2000 edisi baru*. Jakarta: Penerbit Elex Media Komputindo.

Hadjib, N., Abdurachman, & Basri, E. (2015). Karakteristik fisis dan mekanis glulam jati, mangium, dan trembesi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(2), 105-114.

Imran, I., & Hendrik, F. (2010). *Perencanaan struktur gedung beton bertulang tahan gempa*. Bandung: Penerbit ITB.

Laresi, Y., Ihsan, M., & Alisjahbana, S. (2020). Analisis *pushover* terhadap ketidakberaturan struktur gedung universitas 9 lantai. *Jurnal Infrastruktur*, 4(1), 53-63. DOI: 10.35814/infrastruktur.v4i1.720.

Mo, P.Q., Marshall, A.M., & Hai-Sui, Y. (2017). Interpretation of cone penetration test data in layered soils using cavity expansion analysis. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 143(1), 04016084, DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.000157.

Nikson, A., Yusa, M., & Fatnanta, F. (2021). Pengaruh karakteristik rekaman gempa terhadap respon spektrum. *Rekayasa Sipil*, 10(1), 8-16, DOI: 10.22441/jrs.2021.v10.i1.02.

Pamungkas, A., & Harianti, E. (2013). *Gedung beton bertulang tahan gempa dengan bantuan program ETABS v9.0.7*. Surabaya: Penerbit ITS Press.

Pulngren, T., Chanto, K., & Pansuwan, W. (2020). Effect of lamina thickness on flexural performance and creep behavior of douglas fir glued laminated timber beam. *Wood Research*, 65(5), 715-726, DOI: 10.37763/wr.1336-4561/65.5.715726.

Pusgen. (2021). *Design of Indonesian Spectra*. Ditjen Cipta Karya. Indonesia: Ministry of Public Work and Human Settlement.

Sudarman, Manalip, H., Windah, R.S., & Dapas, S.O. (2014). Analisis pushover pada struktur gedung bertingkat tipe podium. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 201–213.

Swedish Wood. (2024a). The Glulam Handbook Volume 1. Sweden: Swedish Wood.

Swedish Wood. (2024b). The Glulam Handbook Volume 2. Sweden: Swedish Wood.

Tasya, A.F., & Putranto, A.D. (2016). Konsep green Bbuilding pada bangunan kantor (studi kasus: spazio, surabaya). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Arsitektur Universitas Brawijaya*, 5(4), 1-8.

The Engineered Wood Association. (2020). *ANSI 117 Standard specification for structural glued laminated timber of softwood species*. USA: The Engineered Wood Association.

Wang, T., Wang, Y., Ringaby, J., Crocetti, R., Walinder, M., & Blomqvist, L. (2024). Glulam beams adhesively bonded by birch plywood plates in moment-resisting beam-to-beam connections. *Engineering Structures*, 203, 117471, DOI: 10.1016/j.engstruct.2024.117471.

Wibowo A, Adi H.P., & Podjiastoeti, H. (2022). Evaluasi penerapan building information modeling (BIM) pada proyek Ggedung workshop politeknik pekerjaan umum di semarang. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(5): 5416-5430, DOI: 10.36418/syntax-literate.v7i5.7023.

Woodlam Indonesia. (2020). WI Big beam. Indonesia: Woodlam Indonesia.

Yuan, Z., Fang, L., Shuaifeng, Y., & Sui, Y. (2020). Optimization Analysis of a Long-span Glulam Beam String Structure. *Journal of Physics Conference Series*, 1578(1), 012239. DOI: 10.1088/1742-6596/1578/1/012239.