

Rekayasa Sipil

by Yosafat Pranata

Submission date: 15-Mar-2025 08:29PM (UTC+0700)

Submission ID: 2575010841

File name: 32524-91956-1-SM.pdf (913.66K)

Word count: 3965

Character count: 24706

ANALISIS STRUKTUR GEDUNG SISTEM STRUKTUR BALOK-KOLOM BETON BERTULANG DENGAN ATAP *MONOBEAM* *GLULAM*

Nicholas Abram Sere Naibaho¹, Yosafat Aji Pranata²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil-Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas-Universitas Kristen Maranatha

²Program Studi Magister Teknik Sipil-Fakultas Teknologi dan Rekayasa Cerdas-Universitas Kristen Maranatha
²email: yosafat.ap@gmail.com

Received: Revised: Accepted:

Abstract

The structure of a multipurpose building features a wide span of up to 35 meters without columns, necessitating an alternative structural element, namely engineered wood known as glulam. This study aims to analyze the stiffness and strength behavior of the multipurpose building structure using a reinforced concrete beam-column system with a monobeam roof made of Meranti glulam. This research employs a quantitative approach using numerical analysis based on structural calculations. The analysis process involves structural modeling using finite element analysis software to evaluate the building's response to seismic loads. The analysis follows the equivalent static method based on SNI 1726:2019, which includes evaluating deformation, drift, and the capacity of structural elements such as beams, columns, and the glulam monobeam roof. The scope of this study covers a multipurpose building structure functioning as a sports arena, located in Padalarang, West Bandung Regency, West Java Province, with seismic parameters SDs of 0.77 and $SD1$ of 0.77. The building is classified under risk category IV, and earthquake load planning follows SNI 1726:2019 using the equivalent static analysis method. The study examines deformation and drift due to the design earthquake load, the capacity analysis of reinforced concrete beams and columns, and the capacity of the Glulam monobeam roof structure. The study concludes that the first three vibration modes satisfy translational requirements in both principal directions of the building and rotational requirements. The observed deformation and drift comply with the allowable limits specified in SNI 1726:2019. The reinforced concrete beams and columns have sufficient capacity to withstand the maximum factored load. The 35-meter glulam span is designed to have adequate capacity to sustain the maximum factored load, demonstrating that engineered wood technology can serve as an alternative solution for long-span structures.

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

Abstrak

Pada struktur bangunan gedung serbaguna terdapat bentang lebar mencapai 35 meter tanpa kolom, sehingga alternatif solusi elemen struktur yang digunakan adalah kayu rekayasa yaitu glulam. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari perilaku kekakuan dan kekuatan struktur gedung serbaguna dengan sistem struktur balok-kolom beton bertulang dengan atap monobeam menggunakan glulam kayu Meranti. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif menggunakan metode analisis numerik berbasis perhitungan struktural. Proses analisis dilakukan dengan pemodelan 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, yang melibatkan evaluasi deformasi, drift, serta kapasitas elemen struktural seperti balok, kolom, dan atap monobeam berbahan glulam. Ruang lingkup penelitian yaitu struktur bangunan gedung berfungsi untuk bangunan serbaguna yaitu arena olahraga, 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 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 *monobeam glulam*. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu waktu getas 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 *monobeam* berbahan *Glulam* kayu Meranti.

Pemilihan *Glulam* sebagai elemen atap didasarkan pada keunggulannya dalam menopang beban pada bentang panjang serta fleksibilitas dalam pembentukan ukuran dan sambungan 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.



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 *monobeam* 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 masuk 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 *monobeam 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 *monobeam*, 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 & Adi, 2019). 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 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.

METODE PENELITIAN

15 *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 dkk., 2020).

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 (*The Engineered Wood Association*., 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: Spesifikasi Standar untuk Kayu Laminasi Struktural dari Spesies Kayu Lunak (Sulistiyawati, I., Hadi, Y., Surjokusumo, S., Nugroho, N., 2008).

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 (Imran dan 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 (SNI) 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 (Imran dan 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 perioda pendek.

S_{dtb} = Percepatan spektrum respons desain perioda 1 detik.

R = Faktor modifikasi respons.

I_e = Faktor keutamaan gempa.

Selanjutnya gaya lateral (F_x) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari 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

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 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 *monobeam 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).

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, Y., Ihsan, M., Sofia W. dan Alisjahbana., 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, A dan Putranto, A., 2016).

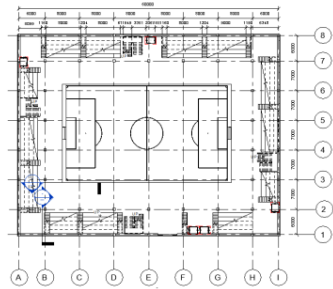
Bangunan *green building* menggunakan teknologi dan material yang ramah lingkungan, seperti penggunaan bahan daur ulang, sistem pencahayaan alami yang optimal, dan sistem pendingin udara yang efisien energi. Tujuan utamanya adalah untuk mengurangi jejak karbon bangunan dan menciptakan lingkungan *indoor* yang sehat dan nyaman bagi penghuninya. Dengan menerapkan prinsip-prinsip desain hijau ini, bangunan *green building* tidak hanya mengurangi biaya operasional jangka panjang tetapi juga berkontribusi positif terhadap lingkungan global (Fikriyah dan Ary, 2016).

Perangkat Lunak

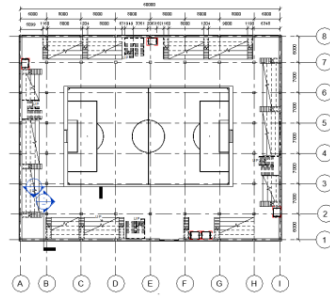
Pemodelan dan analisis struktur menggunakan *ETABS* Nonlinier adalah proses komprehensif yang memanfaatkan perangkat lunak canggih untuk merancang dan mengevaluasi bangunan serta infrastruktur secara efisien dan akurat. Dimulai dengan pembuatan model tiga dimensi dari struktur yang mencakup elemen utama seperti kolom, balok, dinding geser, dan pelat lantai, *ETABS* memungkinkan 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, A. dan Harianti, E., 2013). Analisis struktur meliputi analisis statik untuk menentukan gaya dalam dan tegangan akibat beban, serta analisis dinamik seperti *modal analysis* atau *time-history analysis* untuk memahami respons struktur terhadap beban lateral yaitu sebagai contoh beban gempa. 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, W., 2006).

HASIL DAN PEMBAHASAN

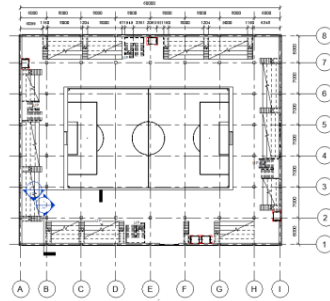
Dalam penelitian ini, bangunan serbaguna adalah struktur yang dirancang untuk menampung berbagai fungsi penting, fleksibilitas ruangnya memungkinkan untuk penggunaan yang beragam, seperti seminar, lokakarya, dan pertandingan olahraga *indoor*.



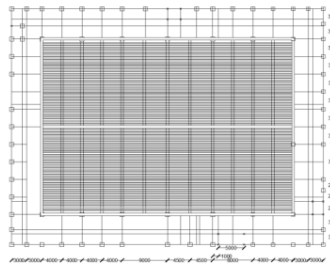
Gambar 2. Denah lantai dasar.



Gambar 3. Denah lantai 1.

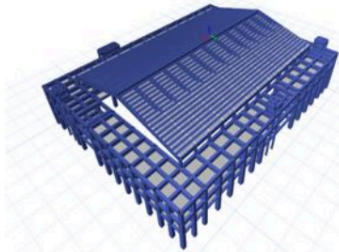


Gambar 4. Denah Lantai 2.

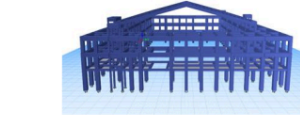


Gambar 5. Denah Lantai atap

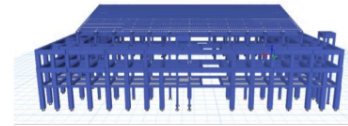
Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5 masing-masing memperlihatkan denah lantai dasar, denah lantai 1, denah lantai 2, denah lantai 3, dan denah struktur atap yang menjadi dasar untuk pemodelan gedung dan analisis struktur.



(a) Skematik tampak 3D bagian atas.



(b) Skematik tampak 3D bagian samping



(c) Skematik tampak 3D bagian depan.
Gambar 6. Skematik tampak 3D model gedung.

Selanjutnya Gambar 6 memperlihatkan skematik model 3D struktur bangunan gedung dalam pemodelan dengan perangkat lunak *ETABS*. 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 *monobeam* yang terbuat dari kayu rekayasa yaitu *Glulam* dengan ukuran penampang 400mm x 1000mm.

Perhitungan beban gempa statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2019 yaitu meliputi perhitungan massa bangunan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 1.

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 (Σ)	63817,41	626048,82

Hasil Analisa dengan perangkat lunak *ETABS* diolah menjadi 10 bagian, yaitu pemeriksaan deformasi akibat beban gempa arah x (E_x) dan beban gempa arah y (E_y). Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 2, Tabel 3, Gambar 7, dan Gambar 8.

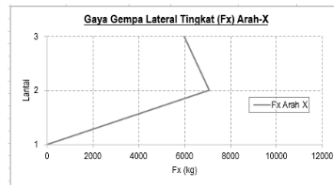
Tabel 2. Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen Arah X

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

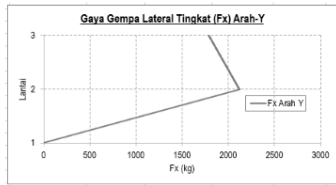
18

Tabel 3. Perhitungan Gaya Lateral Ekuivalen Arah Y

Lantai	Tinggi Struktur (m)	Berat Struktur (kg)	F_y
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-X

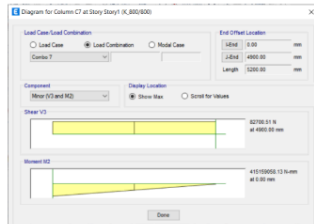


Gambar 8. Kurva Gaya Lateral Tingkat Arah-Y

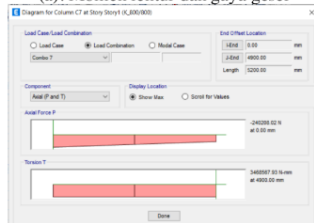
39

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).



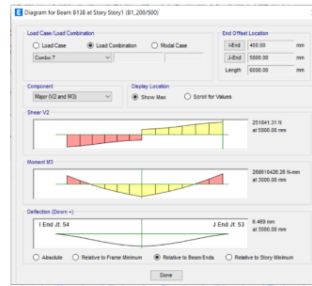
(a). Momen lentur dan gaya geser



(b). Gaya aksial

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

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.



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. Hasil perhitungan penulangan kolom dan balok ditampilkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

Tipe Balok	S1		S2	
	Dimensi	Dimensi	Dimensi	Dimensi
Balok	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300
Luasan Lp	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300
Lu. Balok	9.000	9.000	9.000	9.000
Lu. Kolom	2.800	2.800	2.800	2.800
Lu. Balok	6.200	6.200	6.200	6.200
Dimensi	300 x 300	300 x 300	300 x 300	300 x 300

Gambar 11. Dimensi Kolom

Tipe Balok	S1		S2	
	Dimensi	Dimensi	Dimensi	Dimensi
Balok	400 x 400	400 x 400	400 x 400	400 x 400
Luasan Lp	400 x 400	400 x 400	400 x 400	400 x 400
Lu. Balok	16.000	16.000	16.000	16.000
Lu. Kolom	2.800	2.800	2.800	2.800
Lu. Balok	9.200	9.200	9.200	9.200
Dimensi	400 x 400	400 x 400	400 x 400	400 x 400

Gambar 12. Dimensi Balok



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

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

Perhitungan pemeriksaan kapasitas lentur *glulam*:

$$\begin{aligned}
 b &= 400 \text{ mm} \\
 h &= 800 \text{ mm} \\
 I_x &= \frac{1}{12} \times b \times h^3 \\
 I_x &= \frac{1}{12} \times 400 \times 800^3 \\
 I_x &= 1,71 \times 10^9 \\
 y &= 1/2 \times h \\
 y &= 1/2 \times 800 \\
 y &= 400 \text{ mm} \\
 S &= I_x/y \\
 S &= 8533333,3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_b' &= 35,94 \text{ kN} \\
 M' &= F_b' \times S \\
 M' &= 35,94 \times 8533333,3 \\
 M' &= 306688 \text{ kNmm} \\
 M' &= 3067 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pemeriksaan kapasitas geser *Glulam*:

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

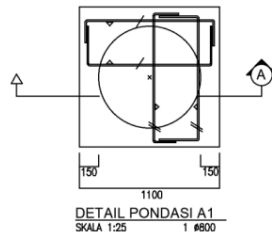
Hasil analisis memperlihatkan bahwa *Glulam* dengan ukuran penampang 400mm x 1000mm memenuhi persyaratan kekuatan lentur dan kekuatan geser sesuai acuan SNI 7973:2013 (BSN, 2013).

3.3 Perencanaan Pondasi

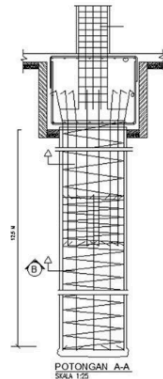
Desain pondasi *bore pile* tahan gempa untuk bangunan tahan gempa harus mempertimbangkan berbagai faktor untuk memastikan stabilitas dan keamanan struktur di daerah rawan gempa (Mo, P.-Q., Marshall, A. M., & Hai-Sui, Y. 2017). Pondasi *bore pile* dipilih karena kemampuannya untuk mentransfer beban bangunan 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.

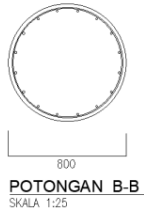
Hasil perhitungan memperlihatkan bahwa diameter *bore pile* yang diperlukan yaitu 800 mm, dan kedalamannya dapat mencapai 25 meter. Selain itu, penulangan (*reinforcement*) dalam *bore pile* harus dirancang untuk menahan gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser yang ditimbulkan oleh gempa. Baja tulangan biasanya 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. Hasil desain selengkapnya ditampilkan pada Gambar 14 (detail pondasi *bore pile*), Gambar 15 (potongan A-A pondasi), dan Gambar 16 (potongan B-B pondasi).



Gambar 14. Detail Pondasi

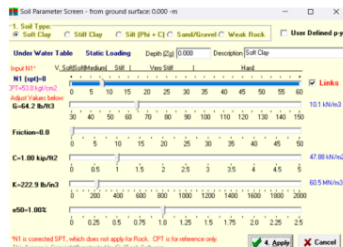


Gambar 15. Potongan A-A Pondasi

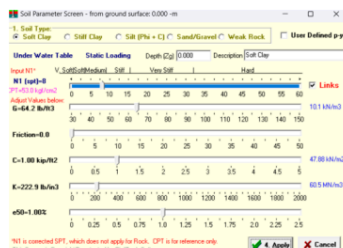


Gambar 16. Potongan B-B Pondasi

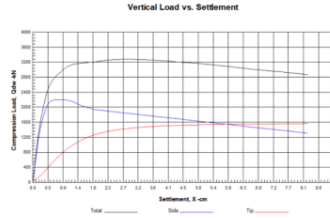
Perhitungan rencana desain pondasi dilakukan dengan software *Alpile* dengan membandingkan kurva momen rencana yang bekerja pada gaya aksial dan lateral. Gambar 17. memperlihatkan data tanah untuk *soft clay* pada uji N_{SPT} 8 dan Gambar 18 memperlihatkan nilai data tanah N_{SPT} 50 *sand/gravel*. Gambar 19. memperlihatkan momen rencana pondasi yang bekerja menahan gaya dalam kolom.



Gambar 17. Nilai data tanah N_{SPT} (8) *soft clay*



Gambar 18. Nilai Data Tanah N_{SPT} (50) *sand/gravel*



Gambar 19. Kurva Momen Nominal Pondasi

13 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.

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penelitian dan penerapan lebih lanjut. Untuk meningkatkan keakuratan analisis struktur, disarankan penggunaan metode analisis yang lebih kompleks, seperti analisis dinamis respons spektrum atau *time history*, guna memahami perilaku struktur secara lebih mendetail terhadap beban gempa. Selain itu, penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi variasi jenis kayu rekayasa lainnya serta optimasi desain sambungan pada elemen *Glulam* untuk meningkatkan efisiensi struktur. Dari segi aplikasi praktis, perlu dilakukan uji eksperimental guna memverifikasi hasil analisis numerik yang telah dilakukan dalam penelitian ini, sehingga penerapan teknologi *Glulam* dalam struktur bentang panjang dapat lebih terjamin keandalannya.

35 UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian 36 mendapatkan pendanaan dari LPPM dan Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha, pada tahun anggaran 2024, melalui Penelitian MBKM Skema Riset. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-

besamya kepada Universitas Kristen
Maranatha.

DAFTAR PUSTAKA

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

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

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

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

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.

Imran, I. dan Hendrik, F. (2010). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. Penerbit ITB.

Tasya, A dan Putranto, A. (2016). *Konsep Green Building Pada Bangunan Kantor* (Studi Kasus: Spazio, Surabaya), Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, 1–8. Vol. 5 No. 4

Pamungkas, A. dan Harianti, E. (2013). *Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Bantuan Program ETABS V 9.0.7*. Penerbit ITS Press.

The Engineered Wood Association. (2020). *ANSI 117: Standard Specification for Structural Glued Laminated Timber of Softwood Species*

Dewobroto, W. (2007). *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000 Edisi Baru*. Penerbit Elex Media Komputindo.

Laresi, Y., Ihsan, M., dan Alisjahbana., S (2020). *Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai*. *Jurnal Infrastruktur*. Vol 4(1), 53-63.

Sulistiyawati, I., Hadi, Y., Surjokusumo, S., Nugroho., N (2008). *The Performance of Lamina's Thickness for Horizontally Glued Laminated Beam*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*. Vol 6. No.2.

Dewobroto, W., (2006). *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. *Jurnal Teknik Sipil*. Vol. 3, No. 1.

Rekayasa Sipil

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

19%

INTERNET SOURCES

6%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	Submitted to Catholic University of Parahyangan Student Paper	4%
2	repository.its.ac.id Internet Source	1%
3	123dok.com Internet Source	1%
4	eprints.umm.ac.id Internet Source	1%
5	jurnal.unismabekasi.ac.id Internet Source	1%
6	www.scribd.com Internet Source	1%
7	Submitted to Program Pascasarjana Universitas Negeri Yogyakarta Student Paper	1%
8	ejournal.sttcirebon.ac.id Internet Source	1%
9	Submitted to Universitas Negeri Jakarta Student Paper	1%
10	docplayer.info Internet Source	1%
11	garuda.kemdikbud.go.id Internet Source	1%
12	jurnal.utu.ac.id Internet Source	<1%

13	ejurnal.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
14	repo.itera.ac.id Internet Source	<1 %
15	Submitted to Universitas Tidar Student Paper	<1 %
16	"Guidelines for Seismic Evaluation and Design of Petrochemical Facilities", American Society of Civil Engineers (ASCE), 2011 Publication	<1 %
17	Submitted to Swinburne University of Technology Student Paper	<1 %
18	Aulia Annisa. "PERBANDINGAN BEBAN GEMPA RENCANA HASIL ANALISIS MENGGUNAKAN METODE STATIK EKIVALEN DAN RESPON SPEKTRUM BERDASARKAN SNI 1726-2012", Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako, 2020 Publication	<1 %
19	Submitted to Universitas Sam Ratulangi Student Paper	<1 %
20	eprints.kwikkiangie.ac.id Internet Source	<1 %
21	sip.jantan.semarangkota.go.id Internet Source	<1 %
22	www.jurnal.ugj.ac.id Internet Source	<1 %
23	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
24	I A M Budiwati, M Sukrawa, I G A D Wirasukma. "Analysis of confined masonry with strengthening around the opening", IOP	<1 %

Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022

Publication

25	www.ejournal.warmadewa.ac.id Internet Source	<1 %
26	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
27	garuda.ristekbrin.go.id Internet Source	<1 %
28	indocement.co.id Internet Source	<1 %
29	journal.universitaspahlawan.ac.id Internet Source	<1 %
30	journals.utm.my Internet Source	<1 %
31	repository.unibos.ac.id Internet Source	<1 %
32	Enik Ernawati, Slamet Widodo. "Comparative Study of Internal Force between Dynamic Method and Equivalent Static Methods in Lecture Buildings in Yogyakarta Based on Earthquake Indonesian National Standard (SNI 1726-2019)", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021 Publication	<1 %
33	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
34	dspace.uii.ac.id Internet Source	<1 %
35	ejournals.umn.ac.id Internet Source	<1 %
36	journal.untar.ac.id Internet Source	<1 %

<1 %

37 **qdoc.tips**
Internet Source

<1 %

38 **repository.maranatha.edu**
Internet Source

<1 %

39 **repository.umsu.ac.id**
Internet Source

<1 %

40 **www.gettyimages.fr**
Internet Source

<1 %

41 **www.librosingenieriacivilonline.es**
Internet Source

<1 %

42 "Proceedings of the 5th International
Conference on Sustainable Civil Engineering
Structures and Construction Materials",
Springer Science and Business Media LLC,
2022
Publication

<1 %

43 **core.ac.uk**
Internet Source

<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography On