



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 20505-20516

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisa Struktur Bangunan Menggunakan ETABS Studi Kasus Gedung Pengolahan/Pencucian Sarang Walet Lokasi Hambalang Bogor

Wulan Muchidayat^{1*}, Asri Winita²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Dan Informatika, Universitas Dian Nusantara

* 521201045@mahasiswa.undira.ac.id, asri.winita@dosen.undira.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja struktur Gedung Pengolahan/Pencucian Sarang Walet di Hambalang, Bogor, yang direncanakan menggunakan sistem rangka beton bertulang dengan bantuan perangkat lunak ETABS versi 22.6. Perencanaan mengacu pada SNI 1727:2020 untuk pembebanan minimum, SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, dan SNI 2847:2019 untuk persyaratan beton struktural. Model tiga dimensi disusun dengan mendefinisikan karakteristik material, dimensi balok, kolom, pelat, dan elemen atap, kemudian diberikan beban mati, beban hidup, beban hujan, beban mati tambahan, serta beban gempa arah X dan Y melalui kombinasi Load and Resistance Factor Design. Hasil analisis menunjukkan bahwa lendutan vertikal akibat kombinasi beban layan sebesar 75,865 mm masih berada di bawah batas izin 125 mm, sehingga memenuhi persyaratan. Pada arah horizontal, lendutan kondisi beban layan sebesar 41,00 mm melampaui batas izin 16 mm. Respons gempa arah X menghasilkan lendutan 18,00 mm dan dinyatakan aman karena lebih kecil dari batas 40 mm, sedangkan gempa arah Y menghasilkan lendutan 79,00 mm dengan drift ratio 0,9875%, sehingga belum memenuhi kriteria. Perencanaan tulangan balok, kolom, dan pelat dilakukan berdasarkan gaya dalam maksimum hasil ETABS. Secara umum, elemen struktur memenuhi persyaratan kekuatan, tetapi peningkatan kekakuan lateral pada arah Y diperlukan agar kinerja layan dan seismik bangunan terpenuhi secara menyeluruh.

Kata kunci: Struktur Beton Bertulang, Perencanaan Gudang, Sarang Walet, ETABS, SNI

1. Latar Belakang

Indonesia termasuk wilayah rawan terhadap gempa, karena berada di atas pertemuan tiga lempeng, yaitu Eurasia, Pasifik, dan Indo-Australia yang setiap saat dapat saling bertubrukan sehingga menghasilkan gempa tektonik [1]. Perencanaan struktur gedung saat ini dituntut untuk dapat memenuhi standar keamanan, khususnya terhadap beban gempa, mengingat Indonesia terletak di wilayah ring of fire yang rawan bencana gempa bumi. Penerapan Standar Nasional Indonesia (SNI) seperti SNI 1726:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 1727:2020 mengenai Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, serta SNI 2847:2019 tentang Ketentuan Seismik untuk Struktur Bangunan Gedung, menjadi suatu keharusan untuk menjamin struktur memiliki kekuatan dan daktilitas yang memadai [2].

Kemajuan teknologi kini mulai berkembang pesat seiring dengan berkembangnya zaman, kemajuan teknologi pada bidang struktural kini memainkan peran yang amat penting dalam mendesain bangunan. Salah satu kemajuan teknologi yang banyak digunakan adalah perangkat lunak. Aplikasi ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) menawarkan solusi dengan kemampuannya melakukan simulasi perilaku struktur secara tiga dimensi yang realistis. Software ini memungkinkan engineer untuk mengevaluasi respons struktur terhadap kombinasi beban gravitasi dan lateral secara terintegrasi, sehingga menghasilkan desain yang lebih presisi dan efisien [3]. Visualisasi yang detail pada ETABS juga mempermudah identifikasi titik-titik kritis pada struktur.

Penggunaan ETABS dalam mendesain proyek bangunan gedung memberikan solusi terbaik yang memudahkan dalam perancangan dan simulasi bangunan. ETABS mampu mendukung efisiensi penggunaan material dengan mengoptimalkan dimensi dan jumlah elemen struktur berdasarkan perhitungan yang tepat. ETABS juga sangat membantu untuk menghemat waktu karena mampu menganalisa struktur dengan cepat dan akurat. Software ini memungkinkan simulasi respon struktur terhadap gempa berdasarkan data lokal seperti peta gempa SNI terbaru. Dengan demikian, perencanaan bangunan dapat lebih adaptif terhadap karakteristik wilayah seismik tertentu dan menghasilkan struktur yang lebih aman bagi penghuninya. ETABS hadir sebagai solusi yang tidak hanya

meningkatkan efisiensi proses analisis dan desain tetapi juga mendukung terciptanya bangunan yang aman, kokoh, dan sesuai dengan standar konstruksi yang berkembang pada saat ini.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian berjudul “Analisa Struktur Bangunan Menggunakan ETABS 22.6 Studi Kasus Gedung Pengolahan/Pencucian Sarang Walet Lokasi Hambalang Bogor” ini dilaksanakan. Fokus studi adalah merancang struktur sistem rangka beton bertulang yang memenuhi seluruh aspek kekuatan, layanan (serviceability), dan stabilitas. Melalui pendekatan berbantuan ETABS, penelitian ini bertujuan menghasilkan sebuah desain struktur yang tidak hanya aman dan nyaman, tetapi juga optimal dari segi material sehingga menjamin keberlanjutan fungsi bangunan dalam jangka panjang.

Perencanaan dan perancangan merupakan tahapan yang penting dilakukan sebelum memulai suatu pembangunan [4]. Perancangan harus dilakukan dan dipikirkan secara matang, cermat, dan teliti karena berkaitan dengan kekokohan bangunan. Dalam perancangan bangunan rumah ataupun gedung memiliki kriteria standar kelayakan yang dijadikan sebagai acuan dalam proses desain bangunan agar aman dan nyaman digunakan.

Perencanaan gedung sebagai tahap awal yang sangat penting dalam proses pembangunan mencakup penyusunan rancangan struktur, pemilihan material, serta penentuan sistem konstruksi yang sesuai dengan fungsi, lokasi, dan kondisi tanah. Tujuan utama dari perencanaan ini adalah untuk memastikan bahwa gedung yang dirancang tidak hanya kuat dan stabil, tetapi juga efisien secara teknis, ekonomis, serta memenuhi aspek kenyamanan dan keselamatan pengguna [5].

Struktur beton bertulang merupakan sistem konstruksi yang memanfaatkan kombinasi antara beton dan baja tulangan. Beton dikenal memiliki kekuatan tinggi terhadap tekanan, namun lemah terhadap tarik. Sebaliknya, baja tulangan memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan mampu bekerja baik saat mengalami deformasi. Kombinasi kedua material ini menghasilkan elemen struktur yang mampu bekerja efektif dalam menahan beban tekan dan tarik secara bersamaan. Sistem beton bertulang banyak digunakan pada bangunan gedung, jembatan, dan berbagai infrastruktur lain karena menawarkan daya tahan tinggi, fleksibilitas desain, serta kemampuan untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan dan beban.

Dalam dunia rekayasa struktur, penggunaan standar dan peraturan teknis menjadi landasan utama dalam menjamin keamanan, kekuatan, dan keandalan bangunan. Standar ini tidak hanya menjadi panduan teknis bagi perancang, tetapi juga merupakan instrumen untuk menyamakan persepsi dan pendekatan antara para profesional di bidang konstruksi. Perencanaan dan perancangan struktur bangunan harus mengacu pada standar nasional yang berlaku agar hasil perencanaan memenuhi syarat kekuatan, keselamatan, dan keandalan struktur.

ETABS adalah perangkat lunak komputer berbasis grafis yang digunakan secara luas dalam bidang teknik sipil, khususnya untuk perencanaan dan analisis struktur bangunan gedung bertingkat. Nama ETABS sendiri merupakan singkatan dari Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems yang menunjukkan bahwa software ini dirancang untuk menangani analisis struktur tiga dimensi dengan kompleksitas tinggi namun tetap efisien. ETABS dikembangkan oleh Computers and Structures, Inc. (CSI) dan dikenal luas karena kemampuannya dalam menangani pemodelan struktur berulang berdasarkan level bangunan dan analisis gaya lateral seperti angin dan gempa secara terintegrasi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS versi 22.6 untuk memodelkan dan mengevaluasi struktur Gedung Pengolahan/Pencucian Sarang Walet yang berlokasi di Hambalang, Bogor. Analisis difokuskan pada struktur atas dengan sistem rangka beton bertulang yang dirancang mengacu pada Standar Nasional Indonesia yang berlaku.

Lokasi penelitian berada di Hambalang, Bogor, dengan koordinat -6.544333673152425° , $106.887680687544104^\circ$. Wilayah ini termasuk dalam zona gempa Indonesia sehingga analisis ketahanan gempa menjadi bagian penting dalam perencanaan struktur bangunan.

Standar acuan yang digunakan dalam analisis ini meliputi SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain [6], SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung [7], serta SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung [8]. Perhitungan pembebanan menggunakan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) untuk memperoleh kombinasi beban kritis.

Pemodelan struktur dilakukan dalam bentuk tiga dimensi dengan mendefinisikan properti material beton dan baja tulangan, menentukan penampang elemen balok, kolom, dan pelat, serta menyusun sistem grid dan tingkat lantai

sesuai gambar perencanaan. Setelah model struktur selesai dibuat, dilakukan input pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, beban hujan, dan beban gempa sesuai ketentuan SNI.

Beban mati dihitung berdasarkan berat sendiri struktur dan komponen non-struktural sesuai SNI 1727:2020 [6]. Beban hidup ditentukan berdasarkan fungsi ruang bangunan sesuai klasifikasi pembebanan dalam standar yang sama [6]. Beban gempa dihitung menggunakan metode analisis respons spektrum mengacu pada SNI 1726:2019 [7].

Gaya geser penahan inersia dihitung dengan persamaan:

$$V = (a \times g) \times W$$

di mana:

V = gaya geser penahan inersia

a = percepatan gempa

g = percepatan gravitasi

W = berat seismik bangunan

Kombinasi pembebanan menggunakan metode LRFD sesuai SNI 1727:2020 [6] sebagai berikut:

$$1.4D$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ atau } R)$$

$$1.2D + 1.6(Lr \text{ atau } R) + L$$

$$1.2D + 1.0W + L + 0.5R$$

$$0.9D + 1.0W$$

$$1.2D + Ev + Eh + L$$

$$0.9D - Ev + Eh$$

Setelah seluruh beban dan kombinasi pembebanan dimasukkan ke dalam model ETABS, dilakukan analisis untuk memperoleh gaya dalam berupa momen lentur (M_u), gaya geser (V_u), gaya aksial (P_u), serta simpangan antar lantai (story drift). Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan tulangan serta mengevaluasi kapasitas elemen struktur.

Perencanaan balok terhadap lentur menggunakan rumus momen nominal:

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

dengan:

$$a = (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_c' \times b)$$

Perencanaan geser balok menggunakan:

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan:

$$V_s = (A_v \times f_y \times d) / s$$

Perencanaan kolom terhadap beban aksial menggunakan pendekatan luas penampang:

$$A_g = P_u / (0.4 \times f_c')$$

Ketebalan pelat ditentukan berdasarkan panjang bentang bebas:

$$h_{min} = L_n / n$$

Evaluasi struktur dilakukan dengan memeriksa kapasitas elemen terhadap gaya dalam maksimum serta memastikan simpangan antar lantai tidak melebihi batas yang ditetapkan dalam SNI 1726:2019 [7]. Dengan demikian, struktur yang direncanakan memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas sesuai standar yang berlaku.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Karakteristik Struktur dan Material

Bangunan yang dianalisis merupakan gedung dengan ketinggian total 8 meter yang dirancang untuk fungsi pergudangan dan berlokasi di Hambalang, Bogor. Struktur bangunan memiliki bentuk persegi dan dirancang untuk memenuhi ketentuan ketahanan gempa sesuai SNI 1726:2019. Berdasarkan klasifikasi risiko bangunan, gedung ini termasuk dalam Kategori Risiko II karena berfungsi sebagai gudang dan tidak termasuk kategori bangunan dengan tingkat kepentingan khusus.

Sistem struktur yang digunakan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 dengan menerapkan sistem rangka yang mampu menahan beban gravitasi dan beban lateral akibat gempa. Struktur utama terdiri dari elemen kolom, balok, dan pelat yang dirancang untuk bekerja secara terpadu dalam menyalurkan beban menuju pondasi.

Mutu beton yang digunakan pada pelat lantai, kolom, dan balok adalah beton dengan kuat tekan $f_c' = 30$ MPa (K-300). Baja tulangan yang digunakan memiliki kuat leleh $f_y = 420$ MPa untuk tulangan ulir dan $f_y = 280$ MPa untuk tulangan polos. Baja profil yang digunakan sebagai elemen struktur memiliki mutu BJ 37 dengan modulus elastisitas sebesar 200.000 MPa dan rasio Poisson 0,3.

Berikut ringkasan spesifikasi material struktur yang digunakan dalam perencanaan:

Tabel 1. Spesifikasi Material Struktur

Material	Parameter	Nilai
Beton	f_c'	30 MPa
Baja Tulangan Ulir	f_y	420 MPa
Baja Tulangan Polos	f_y	280 MPa
Baja Profil	Mutu	BJ 37
Modulus Elastisitas Baja	E	200.000 MPa

Dengan spesifikasi material tersebut, struktur dirancang untuk memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, serta kinerja seismik sesuai ketentuan standar yang berlaku.

3.2. Pembebanan dan Parameter Gempa

Perencanaan pembebanan struktur mengacu pada SNI 1727:2020 untuk beban gravitasi dan SNI 1726:2019 untuk beban gempa. Beban gravitasi yang diperhitungkan dalam analisis meliputi beban mati (Dead Load/DL), beban hidup (Live Load/LL), beban hidup atap (Live Roof/Lr), beban hujan (Rain/R), serta beban mati tambahan (Super Imposed Dead Load/SIDL).

Beban mati diperoleh dari berat sendiri struktur yang dihitung secara otomatis oleh program ETABS berdasarkan dimensi dan jenis material elemen struktur. Beban hidup yang digunakan sebesar 2,4 kN/m², sedangkan beban hidup atap sebesar 0,96 kN/m². Beban hujan diperhitungkan sebesar 0,54 kN/m².

Beban mati tambahan (SIDL) diperhitungkan untuk elemen non-struktural seperti penutup lantai, plafon, instalasi mekanikal dan elektrik, serta plumbing. Untuk lantai 1 dan 2, total SIDL sebesar 1,64 kN/m², sedangkan untuk atap sebesar 0,54 kN/m².

Ringkasan pembebanan gravitasi yang digunakan dalam analisis disajikan sebagai berikut:

Tabel 2. Beban Gravitasi dan SIDL

Beban Gravitasi		
Komponen Beban	Berat	Satuan
Dead Load (DL)	Didapatkan dari ETABS	kN/m ³
Live Load (LL)	2,4	kN/m ³
Live Roof (Lr)	0,96	kN/m ³
Rain (R)	0,54	kN/m ³
SIDL (Super Imposed Dead Load) Lantai 1-2		
Komponen Beban	Berat	Satuan
Penutup Lantai	1,13	kN/m ³
Plafon dan penggantung	0,12	kN/m ³

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.6660>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Mekanikal Elektrikal	0,19	kN/m ³
Plumbing	0,20	kN/m ³
Jumlah	1,64	kN/m ³
SIDL (Super Impossed Dead Load) Atap		
Komponen Beban	Berat	Satuan
Plafon dan Penggantung	0,12	kN/m ³
Mekanikal Elektrikal	0,19	kN/m ³
Plumbing	0,20	kN/m ³
Waterproofing	0,03	kN/m ³
Jumlah	0,54	kN/m ³
SIDL (Super Impossed Dead Load) Balok		
Komponen Beban	Berat	Satuan
Ps 1/2 Bata Ringan dan Plesteran	5	kN/m ³

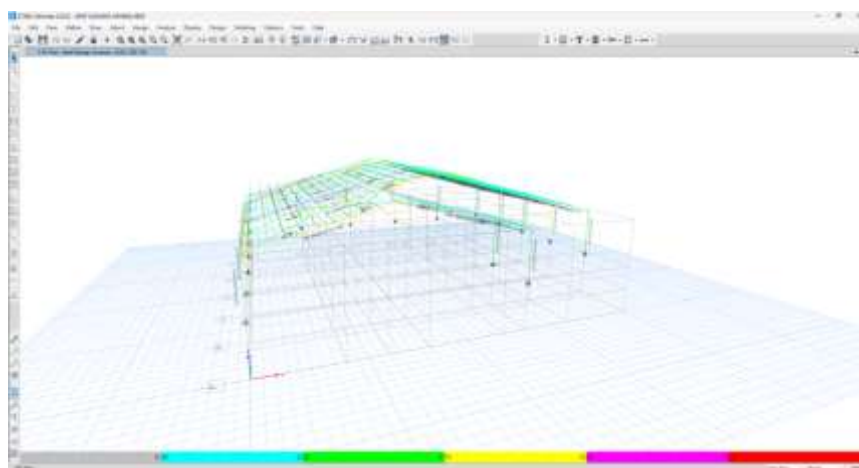
Dalam perencanaan gempa, bangunan termasuk dalam Kategori Risiko II berdasarkan SNI 1726:2019. Analisis gempa dilakukan untuk memastikan struktur mampu menahan gaya lateral akibat gempa tanpa mengalami keruntuhan, serta tetap berada dalam batas simpangan yang diizinkan.

Parameter gempa yang digunakan mempertimbangkan lokasi bangunan di Hambalang, Bogor, yang termasuk wilayah dengan aktivitas seismik. Oleh karena itu, analisis respons struktur terhadap gempa dilakukan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai ketentuan LRFD.

Pemodelan Struktur Menggunakan ETABS 22.6

Pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS versi 22.6. Struktur dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi dengan mendefinisikan elemen kolom, balok, dan pelat sesuai dengan dimensi rencana. Elemen rangka dimasukkan sebagai frame element dengan properti material dan penampang yang telah ditentukan sebelumnya.

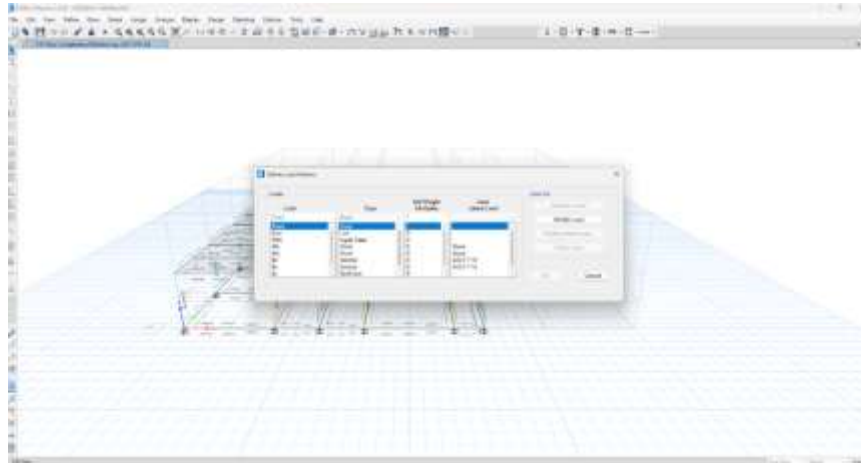
Profil struktur yang digunakan dalam pemodelan meliputi kolom dengan dimensi 300 × 300 mm dan balok dengan dimensi 300 × 300 mm untuk balok utama serta 200 × 200 mm untuk balok sekunder. Elemen atap menggunakan profil kanal (CNP) dengan dimensi 200 × 75 mm. Pemodelan ini bertujuan untuk memperoleh respons struktur secara menyeluruh terhadap kombinasi beban gravitasi dan lateral.



Gambar 1. Model Struktur 3D Gedung pada ETABS]

Setelah pemodelan geometri selesai, dilakukan input load pattern yang mencakup Dead Load (DL), Live Load (LL), Super Dead Load (SDL), Rain (R), serta beban gempa statik arah X dan Y. Selanjutnya dilakukan input load case dengan tipe analisis linear static untuk masing-masing jenis beban.

Kombinasi pembebanan dimasukkan sesuai ketentuan LRFD untuk memperoleh respons struktur yang paling kritis. Hasil kombinasi ini digunakan untuk menghasilkan envelop nilai maksimum dan minimum gaya dalam yang menjadi dasar desain elemen struktur.



Gambar 2. Input Load Combination pada ETABS

Hasil dari proses load combination berupa gaya dalam, momen, dan reaksi tumpuan yang kemudian digunakan dalam evaluasi kinerja struktur dan perencanaan penulangan elemen struktur.

3.4. Evaluasi Kinerja Struktur Berdasarkan Analisis Lendutan dan Drift

Evaluasi kinerja struktur dilakukan untuk menilai apakah simpangan yang terjadi akibat kombinasi beban masih berada dalam batas yang diizinkan oleh standar. Pemeriksaan meliputi lendutan vertikal akibat beban layan (DL + LL) serta lendutan horizontal akibat beban layan dan gempa arah X dan Y. Pemeriksaan ini penting untuk memastikan struktur tidak hanya kuat secara kapasitas, tetapi juga memenuhi persyaratan kekakuan dan kinerja layan.

3.4.1 Evaluasi Lendutan Vertikal Akibat Service Load

Batas lendutan vertikal ditentukan sebesar:

$$\Delta_{\text{izin}} = L / 240$$

Dengan panjang bentang:

$$L = 30 \text{ m} = 30.000 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$\Delta_{\text{izin}} = 30.000 / 240$$

$$\Delta_{\text{izin}} = 125 \text{ mm}$$

Hasil analisis ETABS menunjukkan lendutan aktual:

$$\Delta_{\text{aktual}} = 75,865 \text{ mm}$$

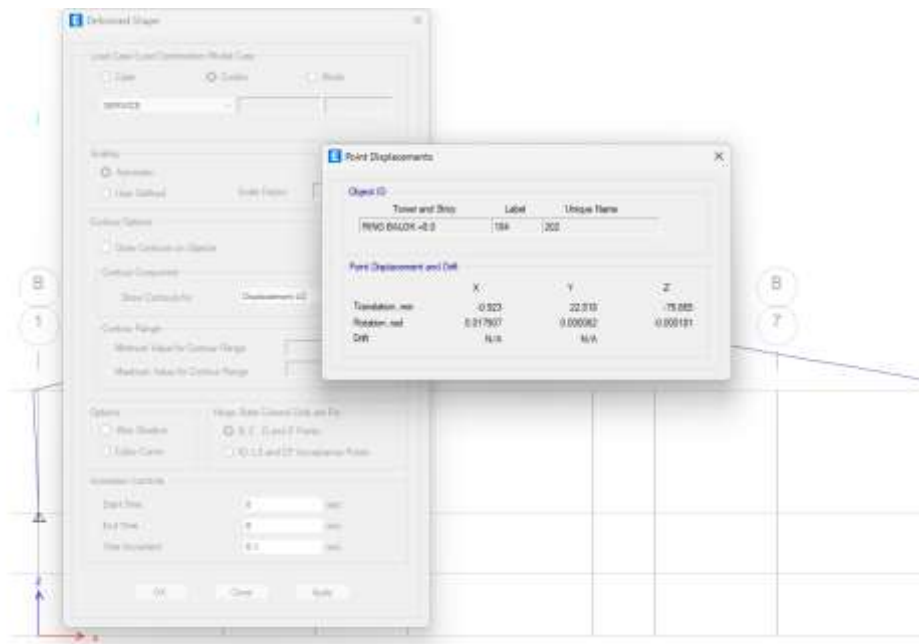
Karena $75,865 \text{ mm} < 125 \text{ mm}$, maka lendutan vertikal memenuhi persyaratan dan dinyatakan **aman**.

Rasio utilisasi dihitung sebagai:

$$\text{Rasio} = 75,865 / 125 = 0,6069 \text{ atau } 60,69\%$$

Artinya lendutan aktual hanya sebesar 60,69% dari batas maksimum yang diizinkan.

Untuk memperlihatkan pola deformasi global akibat beban layan, ditampilkan bentuk terdeformasi struktur sebagai berikut:



Gambar 3. Deformed Shape Struktur pada Kombinasi Service Load (DL + LL)

Gambar tersebut menunjukkan deformasi dominan terjadi pada tengah bentang balok dengan arah ke bawah, sesuai dengan karakteristik pembebanan gravitasi.

3.4.2 Evaluasi Lendutan Horizontal Akibat Service Load

Batas lendutan horizontal ditentukan sebesar:

$$\Delta_{\text{izin}} = L / 500$$

Dengan tinggi kolom:

$$L = 8 \text{ m} = 8.000 \text{ mm}$$

Sehingga:

$$\Delta_{\text{izin}} = 8.000 / 500$$

$$\Delta_{\text{izin}} = 16 \text{ mm}$$

Hasil analisis menunjukkan lendutan aktual horizontal sebesar:

$$\Delta_{\text{aktual}} = 41,00 \text{ mm}$$

Karena $41,00 \text{ mm} > 16 \text{ mm}$, maka lendutan horizontal pada kondisi service load dinyatakan **tidak aman**.

Drift ratio dihitung sebagai:

$$\text{Drift ratio} = 41 / 8.000 = 0,005125 \text{ atau } 0,5125\%$$

Batas drift izin sebesar:

$$1 / 500 = 0,002 \text{ atau } 0,2\%$$

Nilai drift aktual melebihi batas yang diperbolehkan, yang menunjukkan struktur relatif fleksibel pada arah lateral dalam kondisi beban layan.

3.4.3 Evaluasi Lendutan Horizontal Akibat Gempa Arah X

Untuk beban gempa, batas lendutan ditentukan sebesar:

$$\Delta_{\text{izin}} = L / 200$$

Sehingga:

$$\Delta_{\text{izin}} = 8.000 / 200 = 40 \text{ mm}$$

Hasil analisis menunjukkan:

$$\Delta_{\text{aktual}} = 18,00 \text{ mm}$$

Karena $18,00 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$, maka struktur dinyatakan **aman** terhadap gempa arah X.

Drift ratio:

$$18 / 8.000 = 0,00225 \text{ atau } 0,225\%$$

Nilai ini masih berada di bawah batas 0,5% sesuai kriteria $L/200$.

3.4.4 Evaluasi Lendutan Horizontal Akibat Gempa Arah Y

Untuk gempa arah Y, batas lendutan tetap sebesar 40 mm.

Hasil analisis menunjukkan:

$$\Delta_{\text{aktual}} = 79,00 \text{ mm}$$

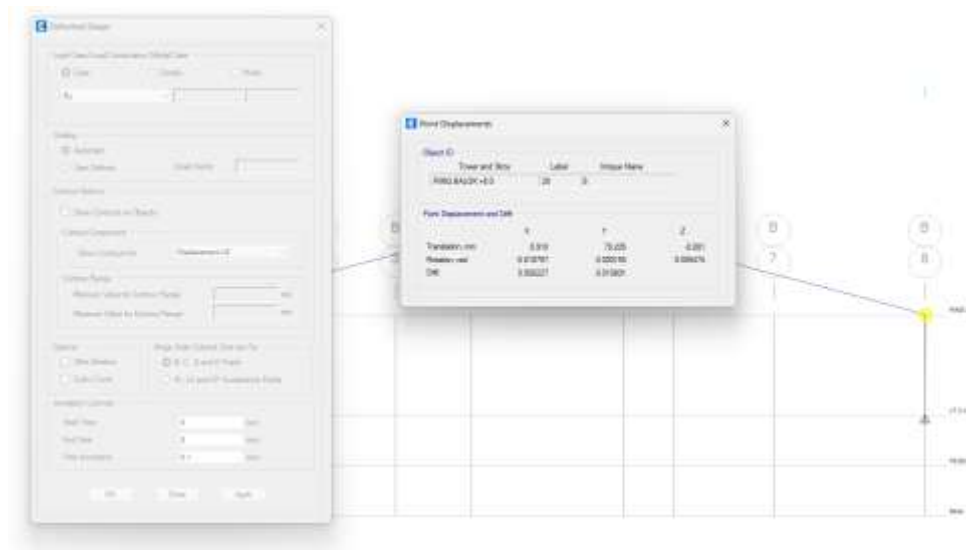
Karena $79,00 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$, maka struktur dinyatakan **tidak aman** terhadap gempa arah Y.

Drift ratio dihitung sebagai:

$$79 / 8.000 = 0,009875 \text{ atau } 0,9875\%$$

Nilai ini hampir mencapai 1% dan melebihi batas 0,5% yang diizinkan.

Bentuk deformasi akibat gempa arah Y ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 4. Deformed Shape Struktur Akibat Beban Gempa Arah Y

Gambar tersebut memperlihatkan simpangan lateral yang signifikan pada arah Y, yang konsisten dengan hasil perhitungan drift ratio yang melebihi batas izin.

Tabel 3. Ringkasan Evaluasi Lendutan dan Drift Struktur

Jenis Lendutan	Δ Aktual (mm)	Δ Izin (mm)	Drift (%)	Status
Vertikal (DL+LL)	75,865	125	—	Aman
Horizontal Service	41,00	16	0,5125	Tidak Aman
Horizontal EQ-X	18,00	40	0,225	Aman
Horizontal EQ-Y	79,00	40	0,9875	Tidak Aman

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa struktur memenuhi persyaratan lendutan vertikal dan gempa arah X, namun tidak memenuhi persyaratan lendutan horizontal pada kondisi service load dan gempa arah Y, sehingga diperlukan peningkatan kekakuan lateral struktur pada arah tersebut.

3.5. Perencanaan Penulangan Elemen Struktur

Perencanaan penulangan dilakukan berdasarkan hasil analisis gaya dalam dari program ETABS dengan mengacu pada ketentuan SNI 2847:2019. Elemen yang direncanakan meliputi balok, kolom, dan pelat. Gaya-gaya dalam berupa momen lentur, gaya aksial, dan gaya geser digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan tulangan agar memenuhi persyaratan kekuatan dan daktilitas.

3.5.1 Perencanaan Penulangan Balok

Balok yang dianalisis adalah Balok B1 dengan dimensi penampang 25×50 cm. Parameter utama yang digunakan dalam perencanaan adalah:

1. $f_c' = 30$ MPa
2. $f_y = 420$ MPa
3. Lebar balok (b) = 250 mm
4. Tinggi balok (h) = 500 mm

Perencanaan lentur dilakukan berdasarkan kapasitas momen nominal:

$$M_n = A_s \times f_y \times (d - a/2)$$

dengan:

$$a = (A_s \times f_y) / (0,85 \times f_c' \times b)$$

Tinggi efektif penampang dihitung dari:

$$d = h - c_c - d_s - d_b/2$$

Perencanaan geser mengacu pada:

$$V_n = V_c + V_s$$

dengan:

$$V_s = (A_v \times f_y \times d) / s$$

Tulangan lentur atas dan bawah ditentukan berdasarkan momen maksimum pada daerah tumpuan dan lapangan. Perencanaan dilakukan dengan memperhatikan ketentuan rasio tulangan minimum dan maksimum sesuai SNI 2847:2019.

3.5.2 Perencanaan Penulangan Kolom

Kolom yang dianalisis adalah Kolom K1 dengan dimensi 50×50 cm. Gaya dalam diperoleh dari hasil analisis ETABS dan kemudian digunakan untuk evaluasi kapasitas penampang.

Ringkasan gaya dalam utama kolom disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. Ringkasan Gaya Dalam Kolom K1

Kondisi	P (kN)	M2 (kN·m)	M3 (kN·m)
P max	-68,527	301,077	131,659
P min	-3.185,901	-179,774	-312,495
M2 max	-462,151	491,797	75,493
M3 max	-431,171	157,038	369,252

Perencanaan kolom dilakukan dengan mempertimbangkan interaksi aksial–lentur (P–M interaction). Tulangan memanjang direncanakan agar mampu menahan kombinasi gaya tekan dan momen yang terjadi. Selain itu, tulangan transversal (sengkang) direncanakan untuk meningkatkan kapasitas geser dan menjaga daktilitas kolom, khususnya pada daerah sendi plastis sesuai ketentuan Sistem Rangka Pemikul Momen.

3.5.3 Perencanaan Pelat (Slab)

Pelat direncanakan dengan tebal 120 mm dan berfungsi sebagai elemen horizontal yang menyalurkan beban menuju balok. Parameter utama yang digunakan adalah:

1. $f_c' = 30 \text{ MPa}$
2. $f_y = 420 \text{ MPa}$
3. Tebal pelat (t) = 120 mm
4. Selimut beton (cc) = 20 mm

Tebal efektif pelat dihitung sebagai:

$$d = h - cc - ds - db/2$$

Modulus elastisitas beton dihitung menggunakan:

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'}$$

Pelat direncanakan untuk memenuhi persyaratan kekuatan lentur serta kekakuan minimum agar tidak mengalami lendutan berlebih. Sistem pelat disesuaikan dengan kondisi penopang dan konfigurasi balok sehingga dapat bekerja sebagai pelat satu arah atau dua arah sesuai kebutuhan struktur. Dengan perencanaan penulangan tersebut, elemen balok, kolom, dan pelat dirancang untuk memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, dan kinerja seismik sesuai SNI 2847:2019 serta mendukung sistem struktur tahan gempa yang diterapkan pada bangunan.

3.6 Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja struktur terhadap beban vertikal masih berada dalam batas yang diizinkan. Lendutan vertikal sebesar 75,865 mm pada bentang 30 m berada di bawah batas $L/240$ yaitu 125 mm, sehingga dari sisi kekakuan lentur elemen balok utama struktur dinyatakan memenuhi persyaratan layan. Nilai rasio 60,69% menunjukkan masih terdapat cadangan kekakuan yang cukup terhadap beban gravitasi.

Namun, respons lateral struktur menunjukkan perilaku yang berbeda. Pada kondisi service load, lendutan horizontal sebesar 41,00 mm melebihi batas $L/500$ sebesar 16 mm. Drift ratio sebesar 0,5125% juga melampaui batas 0,2% yang dipersyaratkan. Hal ini mengindikasikan bahwa kekakuan lateral struktur belum memadai dalam menahan kombinasi beban layan. Kondisi ini dapat disebabkan oleh dimensi kolom atau sistem penahan gaya lateral yang belum cukup kaku, terutama pada arah tertentu.

Evaluasi terhadap beban gempa menunjukkan bahwa pada arah X, struktur masih memenuhi persyaratan dengan lendutan 18,00 mm di bawah batas 40 mm. Drift ratio sebesar 0,225% masih berada dalam batas $L/200$ atau 0,5%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem struktur memiliki kapasitas lateral yang cukup baik pada arah tersebut.

Sebaliknya, pada arah Y, lendutan akibat gempa sebesar 79,00 mm jauh melebihi batas 40 mm dengan drift ratio sebesar 0,9875%. Nilai ini hampir mencapai 1% dan menunjukkan bahwa struktur relatif fleksibel pada arah Y. Ketidakseimbangan respons antara arah X dan Y menunjukkan kemungkinan perbedaan konfigurasi kekakuan atau distribusi elemen penahan gaya lateral pada kedua arah tersebut.

Dari sisi perencanaan elemen struktur, balok dan kolom telah dirancang berdasarkan gaya dalam maksimum yang diperoleh dari analisis ETABS. Balok B1 dengan dimensi $25 \times 50 \text{ cm}$ serta Kolom K1 dengan dimensi $50 \times 50 \text{ cm}$ direncanakan untuk memenuhi persyaratan kuat lentur, kuat geser, dan interaksi aksial–lentur sesuai SNI 2847:2019. Gaya aksial minimum dan maksimum pada kolom menunjukkan bahwa kolom bekerja dominan dalam kondisi tekan dengan variasi momen pada dua arah utama, sehingga desain tulangan memanjang dan transversal harus mampu menjamin perilaku daktil.

Struktur telah memenuhi persyaratan kekuatan untuk beban gravitasi dan gempa arah X, namun belum memenuhi kriteria lendutan lateral pada kondisi service load dan gempa arah Y. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun kapasitas kekuatan elemen mungkin mencukupi, peningkatan kekakuan lateral pada arah Y perlu dipertimbangkan untuk memenuhi kriteria kinerja layan dan seismik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur Gedung Pengolahan/Pencucian Sarang Walet menggunakan ETABS versi 22.6, diperoleh bahwa struktur memenuhi persyaratan kekuatan dan lendutan vertikal akibat beban gravitasi. Lendutan vertikal sebesar 75,865 mm masih berada di bawah batas izin $L/240$ sebesar 125 mm, sehingga dari sisi kinerja lentur balok utama struktur dinyatakan aman. Respons struktur terhadap beban gempa arah X juga memenuhi ketentuan dengan lendutan sebesar 18,00 mm yang masih berada di bawah batas $L/200$ sebesar 40 mm. Namun demikian, struktur belum memenuhi persyaratan lendutan horizontal pada kondisi service load dan gempa arah Y. Lendutan horizontal sebesar 41,00 mm pada service load melebihi batas $L/500$ sebesar 16 mm, sedangkan lendutan akibat gempa arah Y sebesar 79,00 mm juga melampaui batas izin 40 mm. Nilai drift ratio yang mendekati 1% pada arah Y menunjukkan bahwa kekakuan lateral struktur pada arah tersebut masih kurang memadai. Perencanaan penulangan balok, kolom, dan pelat telah dilakukan berdasarkan hasil gaya dalam maksimum dan mengacu pada SNI 2847:2019. Secara umum, elemen struktur telah memenuhi persyaratan kekuatan, namun diperlukan peningkatan kekakuan lateral, khususnya pada arah Y, untuk memenuhi kriteria kinerja layan dan seismik secara menyeluruh.

Referensi

- [1] P. Simanjuntak, "Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa di Indonesia," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan - CENTECH*, vol. 1, no. 1, pp. 44–53, 2020, doi: 10.33541/cen.v1i1.1425.
- [2] M. Hilmi, Erizal, and J. Febrita, "Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat dengan Metode Analisis Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019: Analysis of Structure Performance in Multistory Buildings with Response Spectrum Analysis Method Based on SNI 1726:2019," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 6, no. 3, pp. 143–158, 2021, doi: 10.29244/jsil.6.3.143-158.
- [3] S. A. Noviani, M. Amin, and S. Hardjomuljadi, "Metode Building Information Modeling 5D untuk Meminimalkan Klaim Konstruksi yang Ditimbulkan oleh Penyedia Jasa," 2021.
- [4] A. Ashary, M. Nasir, and A. Muis, "Analisis Struktur Bangunan Gedung Menggunakan Software ETABS V.20 (Studi Kasus Gedung Kantor Cabang BRI Jalan Karaeng Burane Kota Parepare)," n.d.
- [5] D. M. Octavia, B. Yunas, M. Alius, and W. P. Zayu, "Perancangan Struktur Gedung Kantor Universitas Adzkie Kota Padang dengan Sistem Ganda Sesuai SNI Gempa 1726:2019," *Axial: Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.30742/axial.v13i2.4757.
- [6] SNI 1727:2020, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [7] SNI 1726:2019, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [8] SNI 2847:2019, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.
- [9] R. Folić and M. Čokić, "Fragility and Vulnerability Analysis of an RC Building with the Application of Nonlinear Analysis," *Buildings*, vol. 11, no. 9, art. no. 390, 2021, doi: 10.3390/buildings11090390.
- [10] O. Arroyo, A. Liel, and S. Gutiérrez, "Practitioner-Friendly Design Method to Improve the Seismic Performance of RC Frame Buildings," *Earthquake Spectra*, vol. 37, no. 3, pp. 2247–2266, 2021, doi: 10.1177/8755293020988019.
- [11] M. Y. Laissy, "Effect of Different Types of Bracing System and Shear Wall on the Seismic Response of RC Buildings Resting on Sloped Terrain," *Civil Engineering Journal*, vol. 8, no. 9, pp. 1958–1976, 2022, doi: 10.28991/CEJ-2022-08-09-014.
- [12] A. Gonzalez and J. Calderon, "An Overview of the Seismic Elastic Response Spectra and Their Application According to Mexican, U.S., and International Building Codes," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 7, art. no. 3472, 2022, doi: 10.3390/app12073472.
- [13] H. Jia, Y. Song, X. Chen, S. Liu, and B. Zhang, "Seismic Performance Evaluation of a High-Rise Building with Structural Irregularities," *Buildings*, vol. 12, no. 9, art. no. 1484, 2022, doi: 10.3390/buildings12091484.
- [14] M. Faiz and R. Kumar, "Comparative Effectiveness of Equivalent Static Analysis and Response Spectrum Analysis in Extreme Seismic Zones," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1110, art. no. 012013, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1110/1/012013.
- [15] M. Abate, A. C. J. Evangelista, and V. W. Y. Tam, "Comparative Response Spectrum Analysis on 15- and 50-Story Reinforced Concrete Buildings Having Shear Walls with and without Openings as per EN1998-1 Seismic Code," *Buildings*, vol. 13, no. 5, art. no. 1303, 2023, doi: 10.3390/buildings13051303.
- [16] D. De Domenico, E. Gandelli, and A. Gioitta, "Seismic Response and Recentering Behavior of Reinforced Concrete Frames: A Parametric Study," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 14, art. no. 8549, 2023, doi: 10.3390/app13148549.
- [17] P. Song, S. Guo, W. Zhao, and Q. Xin, "Seismic Response Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures Considering Slope Effects," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 8, art. no. 5149, 2023, doi: 10.3390/app13085149.
- [18] A. Şimşek, Ö. Yurdakul, B. Duran, O. Tunaboyu, S. Yıldırım, and Ö. Avcı, "Effectiveness of Structural Walls in Improving the Serviceability of a Seismically-Retrofitted RC Building," *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 21, pp. 5545–5571, 2023, doi: 10.1007/s10518-023-01740-9.
- [19] A. Naeem, K. Kusunoki, and J. Lee, "Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Building Structure Retrofitted with Self-Centering Disc-Slit Damper and Conventional Steel Slit Damper," *Buildings*, vol. 14, no. 3, art. no. 795, 2024, doi: 10.3390/buildings14030795.
- [20] S. Liu, Z. Chen, and Y. Liu, "Seismic Isolation Layout Optimized of Mid-Rise Reinforced Concrete Building Frame Structure," *Buildings*, vol. 14, no. 7, art. no. 2172, 2024, doi: 10.3390/buildings14072172.

- [21] M. Maidi and I. Shufrin, "Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings for Seismic Retrofit through External Stiffening: Limit Displacement Method," *Buildings*, vol. 14, no. 9, art. no. 2781, 2024, doi: 10.3390/buildings14092781.
- [22] T. P. Doğan and I. H. Erkan, "Evaluation of the Nonlinear Seismic Responses of High-Rise Reinforced Concrete Buildings with Different Foundations and Structural Plans—Considering Soil-Structure Interactions," *Buildings*, vol. 14, no. 6, art. no. 1686, 2024, doi: 10.3390/buildings14061686.
- [23] A. Tamrazyan and T. Matseevich, "Seismic Resistance of Reinforced Concrete Building Frames Based on Interval Assessment of the Coefficient of Permissible Damage," *Buildings*, vol. 14, no. 12, art. no. 3776, 2024, doi: 10.3390/buildings14123776.