



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Strategi Optimasi Desain Struktur Sistem Ganda pada Gedung Bertingkat Berbasis Analisis Modal Eigen

Arnold Hendry Hutabarat^a, Neri Puspita Sari^b, Yulia Setiani^c

^{a,b,c}Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara No.4, Pekanbaru – 28289, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 30 November 2025

Revisi Akhir: 13 Desember 2025

Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Optimasi desain struktur

Sistem ganda

Analisis modal eigen

Respons dinamik gempa

KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: neripuspitasari@gmail.com

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan merumuskan strategi optimasi desain struktur sistem ganda pada gedung bertingkat melalui pemanfaatan analisis modal eigen sebagai dasar pengambilan keputusan desain. Prinsip utama strategi optimasi ini adalah memastikan mode translasi arah Ux atau Uy pada Mode 1 dan Mode 2 memiliki partisipasi massa lebih dari 60%, sehingga respons dinamik struktur didominasi oleh gerakan translasi dan menghasilkan perilaku yang lebih stabil terhadap beban gempa. Metodologi penelitian meliputi identifikasi dan pemodelan struktur eksisting sebagai studi kasus, pengumpulan data desain, analisis respons struktur, serta evaluasi kinerja berdasarkan SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019. Selanjutnya dilakukan penyusunan model desain alternatif melalui redesain elemen struktural sesuai ketentuan optimasi. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS v21 dengan memanfaatkan fitur Auto Select dan iterasi otomatis untuk memperoleh penampang dan mutu material paling efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa strategi optimasi mampu meningkatkan performa struktur sekaligus memberikan efisiensi konstruksi. Pada desain eksisting ditemukan partisipasi torsi yang cukup besar serta lima balok beton mengalami overstress akibat kombinasi beban seismik. Model alternatif menghasilkan penurunan signifikan partisipasi torsi pada mode translasi, dari 25,5% menjadi 0,47% pada Mode 1 dan dari 26,7% menjadi 0,5% pada Mode 2. Seluruh overstress pada elemen beton berhasil dieliminasi, kontrol simpangan antar tingkat tetap berada di bawah batas izin, dan persyaratan sistem ganda tetap terpenuhi. Selain itu, mutu beton dapat direduksi dari $f'c$ 35 MPa menjadi $f'c$ 30 MPa, serta berat struktur menurun dari 13.984.498,48 kg menjadi 9.921.432,47 kg

1. PENDAHULUAN

Perencanaan struktur gedung bertingkat menuntut pemahaman mendalam terhadap respons dinamik bangunan, khususnya dalam menghadapi beban gempa. Dalam konteks desain struktur gedung bertingkat, analisis modal eigen menjadi salah satu pendekatan yang penting untuk mengevaluasi karakteristik getar alami struktur bangunan, terutama partisipasi massa pada masing-masing mode getar. Perencanaan struktur gedung bertingkat

memerlukan pemahaman yang mendalam terhadap tanggapan dinamik bangunan, terutama dalam menghadapi beban gempa. Dalam desain struktur bertingkat, analisis modal eigen menjadi pendekatan penting untuk mengevaluasi karakteristik getaran alami struktur, termasuk partisipasi massa pada masing-masing mode getar. Partisipasi massa mencerminkan seberapa besar proporsi massa struktur yang bergerak bersama dalam sebuah mode getar — hal yang sangat menentukan cara struktur merespons beban lateral, khususnya pada gedung dengan sistem ganda: gabungan antara rangka pemikul

momen dan dinding geser sebagai elemen utama penahan gaya gempa[1].

Kinerja desain struktur sistem ganda pada gedung bertingkat sangat dipengaruhi oleh efektivitas distribusi beban gempa, karena ketika partisipasi massa pada mode translasi berada pada tingkat rendah maka respons dinamik struktur menjadi kurang optimal sehingga meningkatkan risiko deformasi lateral, instabilitas global, serta kebutuhan elemen penahan lateral yang lebih besar dan berdampak pada naiknya biaya konstruksi, sebagaimana ditunjukkan oleh temuan penelitian bahwa mode dengan partisipasi massa terbesar merupakan penentu dominasi respons struktur terhadap beban lateral [2], Studi kasus gedung tinggi menggunakan analisis nonlinier (time-history) dan pembobotan modal hingga mencapai partisipasi massa modal yang tinggi (mis. ~90%) untuk memastikan hasil respons yang representatif; artikel menunjukkan betapa pentingnya memasukkan cukup mode (dan mempertimbangkan modal mass participation) agar estimasi simpangan dan perilaku dinamik valid dalam desain ulang/penilaian[3]. performa seismik sistem ganda RC frame + shear wall (dual system), hasilnya menunjukkan bagaimana tata letak dan proporsi dinding geser terhadap rangka memengaruhi simpangan antar tingkat, distribusi gaya lateral, dan resiliensi struktur - sehingga mendukung poin bahwa konfigurasi yang tidak mengakomodasi partisipasi massa dengan baik dapat meningkatkan perpindahan dan menurunkan stabilitas [4]. dan didukung oleh hasil penelitian desain gedung di wilayah seismik yang menegaskan bahwa rasio partisipasi massa merupakan variabel kunci yang mempengaruhi gaya geser dasar dan keamanan struktur [5].

Relevansi pentingnya kontribusi massa modal terhadap respons dinamis struktur juga ditegaskan [6] yang mengembangkan metode seleksi gerakan tanah berbasis mode untuk analisis riwayat respons nonlinier pada struktur gedung tinggi berbasis dinding geser, di mana pemilihan guncangan tanah dilakukan secara spesifik untuk memicu interaksi mode-mode dominan dengan nilai *modal mass coefficients* yang tinggi, sehingga membuktikan bahwa pengabaian partisipasi massa modal—khususnya pada mode translasi awal—akan menyebabkan respons lateral yang berlebihan dan kinerja seismik yang kurang optimal. Serta sejalan dengan temuan bahwa akumulasi massa modal yang tidak memadai meningkatkan kerentanan struktur terhadap gaya lateral dan menuntut penambahan elemen struktural dalam proses desain ulang [7], bahkan pada desain kapasitas seismik, rasio partisipasi massa tercatat sebagai indikator langsung dari kualitas respons struktur terhadap gempa[8]. Salah satu tantangan dalam merancang sistem struktur ganda adalah memastikan distribusi beban gempa yang efektif ke elemen struktural. Bila partisipasi massa pada mode translasi rendah, struktur dapat menunjukkan respons

dinamik yang sub-optimal, meningkatkan potensi deformasi lateral, ketidakstabilan, serta memerlukan elemen penahan lateral yang lebih besar — yang pada akhirnya meningkatkan biaya konstruksi[2]. Oleh karena itu, sangat penting merumuskan strategi optimasi yang mampu memperbaiki kinerja dinamik struktur tanpa bergantung secara berlebihan pada penambahan kapasitas elemen struktural. Oleh karena itu, diperlukan strategi optimasi yang mampu meningkatkan kinerja dinamik struktur tanpa harus meningkatkan kapasitas elemen secara berlebihan.

Dalam penelitian ini diterapkan strategi optimasi dengan memanfaatkan hasil analisis modal eigen berbasis ketentuan bahwa mode translasi arah U_x atau U_y pada Mode 1 dan Mode 2 harus memiliki partisipasi massa lebih besar dari 60%. Ketentuan ini dirancang untuk memastikan bahwa respons struktur berada pada mode translasi, sehingga struktur semakin efisien dalam menahan beban gempa dan tidak didominasi oleh torsi (R_z) atau perilaku lokal pada elemen tertentu. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan konfigurasi elemen struktur yang lebih rasional, ringan, dan efisien.

Untuk membuktikan efektivitas strategi tersebut, model eksisting sebagai studi kasus penelitian dipilih gedung Pascasarjana proyek CWJ-01 Universitas Jambi karena memiliki desain struktur sistem ganda. Model eksisting akan dimodelkan secara rinci menggunakan perangkat lunak ETABS v21 dan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja struktur. Tahap berikutnya adalah reposisi konfigurasi dinding geser untuk menghasilkan model alternatif sesuai ketentuan strategi optimasi. Model alternatif terpilih selanjutnya dilakukan efisiensi dengan memanfaatkan[5] fitur *Auto Select* pada ETABS v21, melalui proses iterasi ditentukan dimensi dan mutu material elemen-elemen struktural yang paling optimal secara otomatis dan sistematis.

Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi peningkatan performa kinerja struktur, tetapi juga menilai efisiensi material dan biaya konstruksi yang dapat dicapai. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan berkontribusi dalam memberikan pendekatan praktis yang dapat diterapkan oleh para perencana struktur untuk menghasilkan desain yang lebih efisien, ekonomis, dan tetap memenuhi ketentuan peraturan yang berlaku.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Sistem Struktur di Indonesia

Sistem struktur adalah susunan elemen-elemen struktur yang bekerja bersama untuk menyalurkan beban-beban yang bekerja sampai ke tanah (pondasi). sistem struktur dalam desain gedung dan non-gedung biasanya dibagi menjadi:

1. Sistem Struktur Pemikul Gaya Gravitasi, yaitu desain struktur yang hanya memperhitungkan beban mati dan beban hidup.
2. Sistem Struktur Pemikul Gaya Seismik, yaitu desain struktur yang memperhitungkan beban gravitasi dan beban akibat gaya lateral seperti gempa dan angin (misalnya rangka pemikul momen, dinding geser, *bracing*, atau sistem ganda).

Sistem struktur pemikul gaya seismik di Indonesia sudah diatur ketat dengan ketentuan dan persyaratan teknis, yaitu:

1. SNI 1726:2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung.
 - a. Mengatur pemilihan sistem struktur pemikul gaya seismik.
 - b. Mengatur hubungan sistem struktur pemikul gaya seismik dengan kaitannya untuk menentukan faktor keutamaan gempa (I_e), faktor modifikasi respons seismik (R), faktor kuat lebih (Ω_0), simpangan antar lantai dan kategori risiko bangunan.
2. SNI 2847:2019 tentang Persyaratan beton struktural.
 - a. Mengatur persyaratan perencanaan elemen beton struktural.
 - b. Mengatur detailing elemen struktur beton bertulang.
3. [SNI 1727:2020 tentang pedoman perencanaan struktur bangunan gedung.
 - a. Menentukan input beban yang nantinya harus ditahan oleh sistem struktur.
 - b. Menentukan kombinasi pembebanan (*load combination*), yang dipakai dalam analisis struktur.

2.2 Konsep Optimasi Struktur

Optimasi struktur adalah proses mencapai keseimbangan ideal antara *performa* struktural dan sumber daya dengan tetap memenuhi syarat keamanan, kenyamanan, dan standar teknis untuk mencapai hasil terbaik. Tujuan utama optimasi struktur antara lain:

- a. Meningkatkan keamanan dan daya tahan bangunan di mana struktur harus mampu menahan beban yang diterapkan, termasuk beban gravitasi, beban gempa, dan angin.
- b. Memperoleh desain yang efisien dengan melakukan modifikasi dimensi penampang dan mutu material tetapi tetap aman.
- c. Memenuhi standar dan regulasi teknis, seperti SNI.
- d. Memperbaiki konfigurasi elemen struktur, seperti penataan konfigurasi dinding geser untuk mengurangi pengaruh *torsi*, deformasi berlebih, atau perilaku dinamis yang merugikan.

2.3 Sistem Ganda sebagai Sistem Pemikul Gaya Seismik

Sistem ganda adalah kombinasi sistem struktur yang menggabungkan sistem rangka pemikul Momen dan dinding geser untuk menahan gaya lateral akibat gempa sekaligus memikul beban gravitasi.

Untuk dikategorikan sebagai sistem ganda SNI1726: 2019 mengisyaratkan kedua sistem struktur harus dirancang untuk berinteraksi secara efektif, dengan ketentuan sistem rangka harus mampu menahan minimal 25% beban *lateral*.

2.4 Analisis Modal Eigen

Dalam analisis gempa menggunakan metode Response Spectrum Analysis (RSA), struktur diperlakukan sebagai sistem dinamik multi-derajat kebebasan (MDOF), sehingga karakteristik dinamik seperti frekuensi alami dan bentuk getar alami (mode shape) menjadi penting. Setiap struktur memiliki sejumlah mode getar alami yang menggambarkan pola deformasi saat bergetar. Oleh karena itu, sangat penting memeriksa **Modal Mass Participation Ratio (MPR)** dari mode dasar (biasanya Mode 1 dan Mode 2), untuk memastikan bahwa mayoritas massa struktur ikut bergerak dalam getaran translasi — bukan dalam mode rotasi atau torsi — agar respons lateral akibat gempa dapat diprediksi dengan andal. Jika MPR terlalu rendah atau mode dominan menunjukkan rotasi/torsi, maka analisis bisa meremehkan gaya lateral dan simpangan, meningkatkan risiko deformasi lateral atau instabilitas meskipun tanpa rotasi besar [9][10].

Lebih lanjut, dalam analisis spektrum respons maupun analisis dinamik lainnya, **Modal Mass Participation Ratio (MPR)** berperan sebagai indikator untuk memastikan bahwa massa struktur yang berkontribusi dalam getaran modal mencakup sebagian besar total massa bangunan. Apabila nilai MPR tidak terpenuhi pada mode utama, maka respons struktur yang dihitung dapat menjadi tidak representatif, sehingga gaya seismik dan simpangan lateral yang terjadi dapat diremehkan dan berpotensi menghasilkan evaluasi kinerja struktur yang keliru [6], [11], [12]

Translasi pada struktur didefinisikan sebagai pergerakan linier seluruh titik pada bangunan ke arah tertentu tanpa dominasi rotasi atau perubahan bentuk. Dalam konteks analisis modal, respons translasi pada arah global **Ux dan Uy** diharapkan menjadi komponen dominan pada **Mode 1 dan Mode 2**. Apabila mode fundamental justru didominasi oleh respons torsi (R_z), maka struktur dikategorikan tidak berperilaku translasi secara efektif. Kondisi ini menunjukkan ketidakseimbangan pusat massa dan pusat kekakuan, sehingga dapat menimbulkan konsentrasi tegangan lokal dan potensi kerusakan elemen struktural meskipun tanpa amplitudo getaran yang besar [13][14], [15].

- a. Pusat massa seimbang dan translasi baik (Perilaku struktur baik)

Mode 1: Partisipasi massa Dominan U_x atau U_y
 Mode 2: Partisipasi massa Dominan U_x atau U_y
 Mode 3: Partisipasi massa Dominan R_z .

- b. Pusat massa tidak seimbang, translasi bermasalah
 Jika pada mode 1 atau 2, partisipasi torsi (R_z) cukup besar maka dianggap perilaku struktur buruk dan perlu dilakukan konfigurasi elemen struktur penahan gaya lateral seperti *shearwall* atau desain ulang model struktur.

3. METODOLOGI

3.1 Pengolahan Data Eksisting

3.1.1 Pengolahan data Seismik

- Penentuan kategori resiko gedung berdasarkan fungsi bangunan, menggunakan ketentuan di Tabel 3 SNI 1726:2019.
- Penentuan kelas situs tanah menggunakan N-SPT dari laporan penyelidikan tanah lokasi proyek gedung, ditentukan berdasarkan kelompok kelas situs di Tabel 5 SNI 1726:2019.
- Penentuan data parameter gempa dari Website rsa.ciptakarya.pu.go.id dengan memasukkan koordinat geografis (lintang dan bujur) dan kelas situs bangunan yang ditinjau untuk mencari informasi data spektrum respons (nilai S_s , S_1 , F_a , F_v , S_{DS} , S_{D1} , T_0 , T_s , T^L).
- Penentuan Faktor Keutamaan gempa (I) berdasarkan kategori resiko bangunan yang telah diketahui menggunakan Tabel 4 SNI 1726:2019
- Penentuan Faktor Redundansi (ρ) menggunakan Pasal 12.3.4 SNI 1726:2019, ditentukan berdasarkan penempatan elemen struktur pada desain bangunan dengan minimal $\rho = 1$ dan maksimal $\rho = 1,3$. Untuk $\rho = 1$ dapat digunakan jika desain struktur yang ditinjau terdapat penempatan elemen untuk menahan gaya lateral arah x dan arah y dan dianggap telah memperhitungkan faktor redundansi.

3.1.2 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan pada struktur disusun untuk menentukan beban gravitasi yang bekerja pada sistem struktur. Data diperoleh dari pengolahan data eksisting sebelumnya, disusun dalam spreadsheet ms.excel, berdasarkan jenis pembebanan (*Dead, SIDL, Live, Rain, wind*) dan kelompok pembebanan (*uniform loadcase*). Perhitungan pembebanan merujuk kepada SNI 1727:2020 yang mengatur tentang beban minimum untuk perancangan bangunan gedung.

3.1.3 Penyusunan Kombinasi Pembebanan

Pada tahap ini dilakukan penyusunan kombinasi pembebanan agar analisis desain struktur memperhitungkan kondisi paling kritis dari pengaruh beban terhadap kapasitas struktur, sekaligus memberi

jaminan keamanan struktur dan kenyamanan bagi pengguna. Berdasarkan ketentuan pada Pasal 12.5.3 SNI 1726:2019, kombinasi pembebanan untuk analisis struktur atas, menggunakan kombinasi ultimit untuk ketahanan gempa.

3.2 Pemodelan Struktur Eksisting

Setelah pengolahan data desain eksisting lengkap, langkah berikutnya adalah pemodelan desain struktur eksisting. Dalam tahap ini, desain struktur bangunan gedung Pascasarjana Universitas Jambi akan dimodelkan dalam bentuk 3D untuk merepresentasikan kondisi eksisting struktur bangunan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak ETABS v21 berupa:

- Mengintegrasikan hasil pengolahan data eksisting ke etabs v21, membuat model tiga dimensi (3D) dengan mendefinisikan jenis dan elemen struktural serta material yang digunakan termasuk mutu dan karakteristik material.
- Mengintegrasikan model dengan pembebanan gravitasi, seperti beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban angin, dan beban lainnya.
- Memeriksa pengaturan untuk kesesuaian analisis berdasarkan ketentuan yang telah diketahui, seperti tipe perletakan, *mass source*, diafragma, dan pengaturan lainnya termasuk pemeriksaan model (*check model*) menggunakan fitur yang telah disediakan software etabs v.21.
- Pemodelan yang telah dibuat akan dilanjutkan ke proses analisis dan akan dikembangkan berdasarkan hasil analisis, seperti menambahkan kombinasi pembebanan untuk analisis gempa dinamis, penskalaan gempa, penskalaan gaya geser dan pemenuhan syarat sistem ganda.
- Pemodelan desain eksisting juga akan menjadi dasar untuk melakukan optimasi, dengan membuat replika untuk mencari desain alternatif berdasarkan rekomendasi hasil evaluasi.

3.3 Penentuan Kategori Desain Seismik (KDS)

KDS sangat penting diketahui sebelum memulai analisis karena menjadi penentu untuk berbagai persyaratan desain struktur gedung berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Diantara:

- Menentukan jenis analisis desain gempa, Pasal 7.8.1, Dimana jika KDS D–F wajib pakai *Analisis Dinamik*.
- Menentukan pemilihan sistem struktur pada Pasal 12.2 dan Tabel 12, jika gedung memiliki KDS D maka sistem struktur harus SRPMK atau Sistem Ganda.
- Menentukan persyaratan simpangan antar Lantai, Pasal 7.12 dan Tabel 16 dimana penentuan batas simpangan antar Lantai (*drift*) terkait langsung dengan KDS yang dimiliki gedung.

- d. Menggunakan persyaratan pada pasal 6.5, KDS ditentukan dari nilai S_{Ds} dan S_{D1} , jika nilai $S_1 < 0,75$, maka KDS ditentukan berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9 sesuai nilai S_{Ds} dan S_{D1} yang telah diketahui. Jika hasil pada tabel 8 dan Tabel 9 menghasilkan KDS yang berbeda, maka KDS yang akan dipakai adalah KDS dengan nilai resiko tertinggi.

3.4 Analisa Struktur Eksisting

3.4.1 Analisis Model Struktur Eksisting

Analisis model Struktur Eksisting menggunakan Analisis *modal Eigen*, dengan memeriksa mode getaran dan frekuensi alami struktur terkait hubungan massa dan kekakuan struktur. *Output* yang ingin diperoleh dari analisis ini adalah:

- Pemeriksaan Perilaku Struktur**
Hal yang diharapkan pada pemeriksaan perilaku struktur adalah menghindari Torsi (R_z) dominan pada mode 1 dan 2. Jika pada mode 1 atau 2 maka partisipasi Torsi (R_z) cukup besar maka sistem struktur dianggap memiliki pengaruh torsi.
- Ragam Modal Partisipasi Massa**
Jumlah Ragam Modal Partisipasi Massa (*Modal Participation Mass Ratio*) perlu diketahui untuk memenuhi persyaratan berdasarkan Pasal 7.9.1.1 SNI 1726:2019 yang menyatakan bahwa jumlah ragam (*mode shapes*) yang dimasukkan harus cukup untuk mencapai partisipasi massa modal terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur.
- Massa Struktur Eksisting**
Massa struktur diambil dari hasil pemodelan dan pembebanan, disusun berdasarkan total massa yang bekerja di setiap lantai. Massa struktur dibutuhkan untuk analisis selanjutnya seperti analisa gaya geser dasar, analisa simpangan antar lantai dan analisa lainnya, termasuk untuk membanding tingkat efisiensi model struktur dan model alternatif

3.4.2 Analisis Periode Fundamental Struktur

SNI 1726-2019 Pasal 7.8.2 membatasi bahwa Periode *fundamental* tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien (C_u) yang dihitung dari Tabel 17 dan Tabel 18 pada SNI 1726-2019. Maka menentukan periode fundamental struktur melalui tahapan sebagai berikut:

- Mencari nilai percepatan desain periode 1 detik (S_{D1})
- Mencari koefisien untuk batas periode (C_u) menggunakan interpolasi dari Tabel 17 SNI 1726-2019.
- Mencari nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x , diambil dari Tabel 18 SNI 1726-2019, berdasarkan jenis sistem struktur yang ditinjau
- Mencari periode Fundamental Pendekatan (T_a) dan Periode Maksimum (T_{max}) Berdasarkan SNI 1726:2019

persamaan 36, dan T_{max} ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2

- Mencari periode fundamental Struktur yang digunakan (T_{pakai}) yang diperoleh dari Analisis di etabs dan hasil perhitungan dari persamaan pada SNI 1726:2019. Selanjutnya dilakukan komparasi dimana jika nilai periode melebihi T_{max} maka T_{pakai} yang digunakan adalah T_{max} .

3.4.3 Analisis Statik Ekuivalen

Pada tahap ini, menghitung gaya geser dasar seismik menggunakan analisis statik ekuivalen dimana gaya-gaya *horizontal* dihitung berdasarkan massa bangunan, percepatan gempa rencana, serta distribusi beban sepanjang tinggi bangunan. Tahapan analisis sebagai berikut:

- Mencari koefisien Respons Seismik (C_s) menggunakan data yang telah dihitung dan diketahui sebelumnya dari pengolahan data seismik menggunakan SNI 1726:2019 persamaan 31.
- Mencari batas atas (C_{smax}) menggunakan SNI 1726:2019 persamaan 32.
- Mencari batas bawah (C_{smin}) menggunakan SNI 1726:2019 persamaan 34.
- Mencari batas Bawah (C_{smin}) menggunakan SNI 1726:2019 persamaan 35
- Mencari koefisien respons seismik yang dipakai (C_{spakai}) berdasarkan nilai maksimum dan minimum yang telah diperoleh untuk digunakan pada perhitungan gaya geser dasar seismik.
- Selanjutnya menghitung gaya geser dasar seismik (V) berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.1, dimana dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan $V_x = C_{spakai} \cdot x \cdot W$
- Gaya geser dasar seismik (V) juga dianalisis menggunakan software etabs Untuk memastikan kesesuaian perhitungan persamaan dari SNI 1726-2019. Dimana gaya geser Statik versi Etabs di susun dalam 2 arah yaitu arah X (E_x Statik) dan arah Y (E_y Statik).
- Hasil output software etabs harus memiliki nilai absolut yang sama dengan perhitungan gaya geser dasar seismik dari persamaan SNI 1726-2019, sehingga nilai V yang terdapat di etabs dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

3.4.4 Analisis Spektrum Respons Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2019 Tabel 16, ditentukan jenis analisis yang di iijinkan sesuai dengan jenis struktur dengan KDS yang di miliki struktur. Untuk jenis struktur sistem ganda dengan KDS D mewajibkan jenis analisis menggunakan analisis spektrum respon ragam dan prosedur respons riwayat waktu. Maka jenis analisis yang dipilih adalah Analisis Spektrum Respon Ragam

menggunakan metode *Modal Response Spectrum Analysis* /MRSA), dengan tahapan analisis sebagai berikut:

- a. Penentuan Skala Faktor (Sf)
Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.2, Analisis Spektrum Respons Ragam memperhitungkan skala faktor menggunakan SNI 1726:2019 persamaan 31.
- b. Menghitung Gaya Geser Respons Spektra
Gaya geser Respons Spektra di susun dalam 2 tipe beban seismik (*loadcase*), yaitu arah X (Spec X) dan arah Y (Spec Y), Skala faktor yang telah dihitung di input kedalam *loadcase* pada software etabs. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui Gaya Geser Respons Spektra.
- c. Penskalaan Gaya Geser
Pemenuhan persyaratan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1 jika gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser analisis statik (V_{statik}) maka Penskalaan gaya geser dibutuhkan agar $V_{statik} = V_{dinamis}$.
- d. Penskalaan Simpangan
Penskalaan simpangan dibutuhkan untuk memastikan gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) memenuhi persyaratan SNI 1726:2019 pasal 7.9.1.4.2. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari $C_s W$, maka simpangan harus dikalikan dengan $C_s W / V_t$. Dimana dimana Nilai C_s ditentukan berdasarkan SNI 1726:2019 persamaan 35.

3.5 Evaluasi Struktur Eksisting

3.5.1 Evaluasi Pemodelan Struktur

Evaluasi pemodelan Struktur eksisting bertujuan untuk mempertimbangkan hasil analisis Pemodelan struktur eksisting terkait hubungan massa dan kekakuan struktur yang telah dilakukan melalui analisis modal eigen. Hal-hal yang perlu menjadi pertimbangan diantaranya:

- a. Memeriksa pengaruh torsi pada mode translasi (mode 1 dan mode 2).
- b. Memeriksa jumlah rasio ragam partisipasi massa memenuhi syarat partisipasi 100% sebelum melanjutkan analisis.

3.5.2 Evaluasi Kinerja Seismik Struktur

- a. Evaluasi Simpangan antar tingkat (Δ)
Evaluasi Simpangan antar tingkat (Δ) dimaksudkan untuk memeriksa kinerja struktur terhadap deformasi lateral pada setiap lantai dan pemenuhan ketentuan SNI 1726:2019 Tabel 20 tentang Simpangan antar tingkat izin. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (Δ_a) dari masing-masing lantai menggunakan rumus persamaan (Δ) = $\delta \cdot C_d / I_e$, dimana *displacement* (δ) diambil dari hasil analisis menggunakan etabs. Hasil perhitungan juga akan dibuat dalam bentuk grafik sebagai representasi tingkat kemampuan elemen-elemen struktural menjaga kekuatan struktur dengan batas ijin

yang ditentukan. Jika jarak terlalu jauh maka potensi efisiensi elemen-elemen struktural masih mungkin dilakukan.

- b. Evaluasi Pengaruh P-Delta
Pengaruh P-Delta dimaksudkan untuk memeriksa kapasitas struktur dalam kemampuannya menjaga stabilitas struktur dari pengaruh gaya-gaya tambahan yang tidak dapat diperhitungkan pada analisis. SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dan 12.8.7 mewajibkan pemeriksaan Struktur terhadap pengaruh P- Δ .

3.5.3 Pemenuhan Syarat Sistem Ganda

SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1 mewajibkan rangka pemikul momen pada struktur sistem ganda harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik. Jika syarat 25% belum terpenuhi maka gaya seismik yang ditahan sistem rangka harus diperbesar sehingga diperoleh gaya seismik yang memenuhi.

3.5.4 Identifikasi Elemen kritis pada Struktur

Analisis struktur menghasilkan *output* berupa gaya-gaya dalam yang bekerja pada setiap elemen struktural. Pemeriksaan lanjutan terhadap hasil analisis adalah mengidentifikasi kemungkinan adanya elemen-elemen yang mengalami kegagalan (*failure*) atau melebihi batas tegangan yang diizinkan (*overstress/OS*) untuk menilai tingkat keamanan struktur.

Tahapan yang dilakukan diantaranya:

- a. Penentuan Preferensi Desain
Preferensi desain diinput berdasarkan nilai dan kategori desain yang digunakan untuk analisis, *design code* mengacu ke ACI-318-19 yang merupakan *design code* yang diadopsi oleh SNI 2847:2019 tentang Beton Bertulang Indonesia. Parameter input khusus di tentukan berdasarkan desain yang ditinjau diantaranya KDS, Ω_o dan ρ .
- b. Pemeriksaan Laporan Desain Elemen Struktur
Hasil analisis di Etabs dapat menampilkan *output* berupa *Desain Summary*, Dari hasil tersebut dapat discreening elemen-elemen struktur eksisting seperti balok, kolom, pelat maupun dinding geser yang bermasalah pada kemampuannya menahan gaya yang bekerja dari kombinasi pembebanan. Hasil *screening* menjadi evaluasi untuk menghasilkan bahan rekomendasi.

3.6 Desain Alternatif

Desain alternatif dirancang untuk *mampu meningkatkan performa struktur sekaligus efisiensi biaya konstruksi* dengan strategi utama memanfaatkan analisis modal eigen sebagai dasar pengambilan keputusan desain dimana ditentukan bahwa mode translasi arah U_x atau U_y pada Mode 1 dan Mode 2 harus memiliki partisipasi massa lebih dari 60%, sehingga respons dinamik struktur didominasi

oleh gerakan translasi dan mampu memberikan perilaku struktur yang lebih stabil terhadap beban gempa. Langkah-langkah penentuan desain alternatif diantaranya:

3.6.1 Reposisi Konfigurasi Dinding geser

Langkah ini akan melalui proses simulasi dan analisis struktur yang berulang hingga diperoleh massa struktur yang mampu bertranslasi dengan baik dengan pencapaian partisipasi massa lebih dari 60% di mode translasi U_x dan U_y pada mode 1 dan mode 2.

Dengan mengatur ulang konfigurasi dinding geser diharapkan perilaku struktur akan lebih stabil terhadap beban gempa dan pengaruh torsi pada sistem struktur gedung dapat diminimalisir. Model yang telah memenuhi ketentuan strategi desain akan dipilih sebagai model alternatif.

3.6.2 Efisiensi dimensi elemen struktural dan mutu beton

Pada tahap ini, model alternatif akan dilakukan efisiensi dengan memodifikasi elemen-elemen struktural, dan jika memungkinkan dimensi dapat diperkecil dan atau mutu material bisa diturunkan. Modifikasi dimensi elemen dan mutu material menggunakan fitur *auto select* di *software etabs*, dengan melalui proses iterasi hingga diperoleh hasil efisiensi yang maksimal dan tetap memenuhi persyaratan teknis.

3.6.3 Evaluasi Desain Alternatif

Metode evaluasi desain alternatif sama dengan metode evaluasi desain eksisting. Desain alternatif akan melalui Analisis kinerja dan pemeriksaan hasil, dimana desain alternatif harus memenuhi ketentuan dan persyaratan yang berlaku.

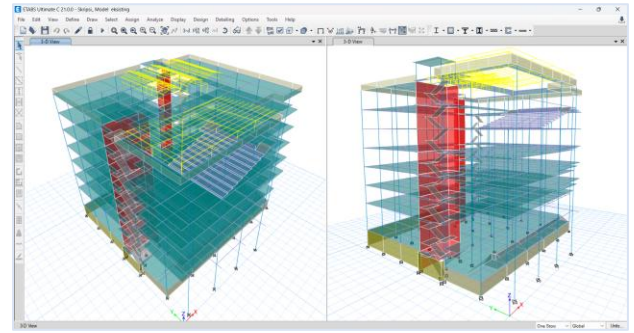
3.7 Komparasi

Hasil evaluasi desain eksisting dan desain alternatif kemudian dikomparasi sehingga dapat diketahui sejauh mana optimasi berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi dan kinerja struktur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Eksisting.

Pemodelan struktur eksisting dalam model 3D dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Model 3D Struktur Gedung

Massa bangunan model eksisting dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Massa Bangunan Model eksisting

Story	Tinggi (h_x) m	Massa (W) kg
Lantai Atap	4,00	1912572,97
Lantai 7	4,00	1395132,9
Lantai 6	4,00	1783867,01
Lantai 5	4,00	1704861,72
Lantai 4	4,00	1771288,21
Lantai 3	4,00	1897123,57
Lantai 2	6,00	1604616,86
Lantai 1	3,55	1915035,24
Base	-	-
Total	33,55	13.984.498,48

Sumber: Hasil Analisis, etabs

4.2 Evaluasi model eksisting

4.2.1 Evaluasi hasil Analisis Modal Eigen

Model struktur eksisting diperiksa terkait hubungan massa dan kekakuan struktur melalui analisis *Modal Eigen* yang bertujuan mengetahui karakteristik struktur dan jumlah ragam partisipasi massa yang digunakan dalam analisis seismik.

Dari hasil analisis modal eigen dievaluasi 3 (tiga) mode getar awal yang mencerminkan perilaku struktur berdasarkan mode translasi yang diperoleh, sebagaimana dapat dilihat pada tabel 4.2:

Tabel 4.2 Evaluasi Model Eksisting

Case	Mode	Period (sec)	U_x	U_y	R_z
Modal	1	1,278	0,018	0,460	0,255
Modal	2	1,110	0,267	0,238	0,190
Modal	3	0,906	0,462	0,054	0,226

Sumber: Hasil analisis, Etabs

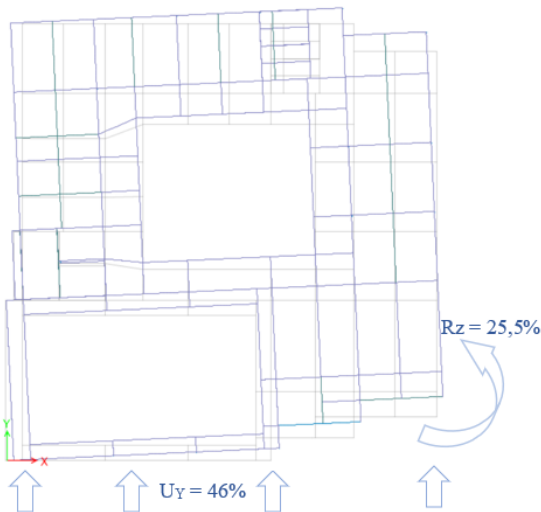
Dimana:

U_X = Translasi arah sumbu X

U_Y = Translasi arah sumbu Y

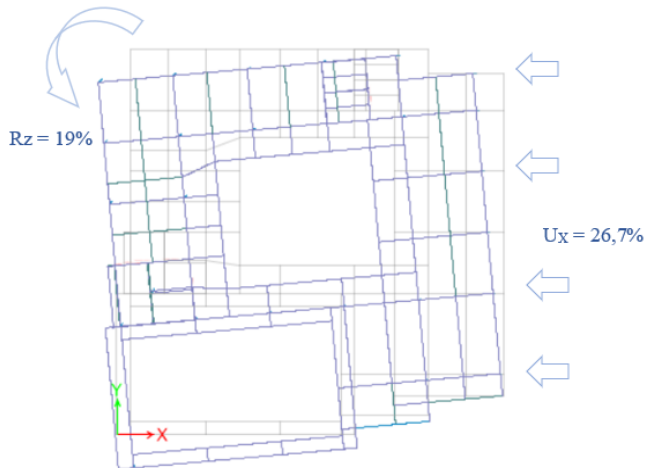
R_Z = Torsi arah sumbu Z

Dari Tabel 4.2 terlihat bahwa translasi pada *mode 1* dengan partisipasi massa didominasi U_Y sebesar 46%, namun diikuti Torsi (R_Z) yang cukup besar yaitu 25,5% dan pada *mode 2* partisipasi massa didominasi U_X sebesar 26,7%, diikuti Torsi (R_Z) sebesar 19%. *Perilaku sistem strukur (Mode shape)* dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3, berikut:



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

Gambar 4.2 Mode shape Struktur Eksisting di *Mode 1*



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

Gambar 4.3 Mode shape Struktur Eksisting di *Mode 2*

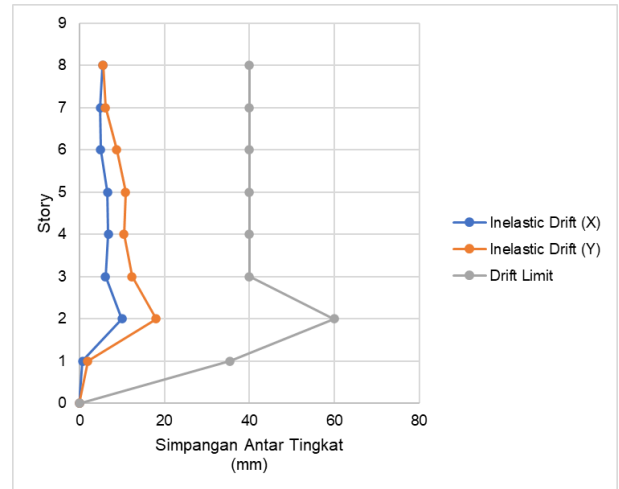
Berdasarkan hasil analisis Modal Eigen pada model eksisting, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur pada model eksisting cenderung berperilaku puntir karena Memiliki pengaruh Torsi yang cukup besar pada mode translasi (*mode 1* dan *mode 2*).
2. Konfigurasi elemen vertikal penahan gaya lateral pada strukur eksisting terkonsentrasi pada sisi tertentu sehingga jika menghadapi gempa maka distribusi gaya

tidak merata dan bisa terjadi *overstress* di elemen dekat pusat kekakuan.

4.2.2 Evaluasi Simpangan antar Tingkat (Δ)

Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

Gambar 4.4 Grafik Simpangan Antar Tingkat Struktur Eksisting

Berdasarkan hasil analisis Simpangan Antar Tingkat (Δ_a) sebagaimana terlihat di grafik pada Gambar 4.4 maka dapat diambil kesimpulan bahwa model struktur eksisting aman terhadap pengaruh gaya lateral, namun dari sisi lain pada grafik dapat dilihat bahwa jarak nilai Δ terhadap nilai Δ_{max} cukup jauh, sehingga optimasi masih berpotensi dilakukan.

4.2.3 Evaluasi Pengaruh P-Delta

SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dan 12.8.7 mewajibkan pemeriksaan Struktur terhadap pengaruh P- Δ . sebagai efek tambahan gaya-gaya dalam akibat adanya kombinasi Gaya aksial (P) di elemen vertikal dan Perpindahan beban lateral (Δ).

Perhitungan Pengaruh P-Delta

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \cdot 5,5} = 0,0909$$

Dimana:

θ_{max} = Koefisien stabilitas

β = Rasio kebutuhan geser, diijinkan diambil sebesar 1,0

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Dari hasil perhitungan, diperoleh $\theta < 0,1$ dan $\theta_{max} \leq 0,25$. maka “Pengaruh P-Delta boleh diabaikan”.

4.2.4 Evaluasi Pemenuhan Syarat Sistem Ganda Desain Struktur model Eksisting

Perhitungan dianalisis melalui *etabs* dengan memeriksa gaya yang diterima pada *base reaction* masing-masing *joint*. Selanjutnya akan dihitung nilai perbandingan (rasio)

dari kombinasi sistem yang bekerja, dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Rasio Gaya Seismik pada Strukur Eksisting

Sistem Struktur	FX (kN)	FY (kN)
Rangka + Dinding Geser	2648,12	3190,403
Dinding Geser (SW)	362,2338	301,2252
Gaya yang ditahan SW	13,68%	9,44%
Gaya yang ditahan Rangka	86,32%	90,56%

Sumber: Hasil analisis, Etabs

SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1 mewajibkan desain untuk sistem ganda harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik. Dari tabel 4.2, diperoleh bahwa gaya seismik yang ditahan sistem rangka strukur adalah 86,32% arah X dan 90,56% arah Y. Hasil ini telah memenuhi syarat sistem ganda yang ditentukan oleh SNI.

4.2.5 Identifikasi Elemen kritis pada Strukur Eksisting

a. Pemeriksaan Desain Elemen Struktur Balok

Hasil screening kapasitas elemen-elemen balok terhadap gaya-gaya dalam yang ditahannya berdasarkan *Concrete Beam Desain Summary*, ditemukan 5 (lima) elemen balok bermasalah pada kemampuannya menahan gaya geser dan torsi dari kombinasi pembebanan (**PERLU PERBAIKAN**)

b. Pemeriksaan Desain Elemen Struktur Kolom

Hasil *screening* kapasitas elemen-elemen Kolom terhadap gaya-gaya dalam yang ditahannya, berdasarkan *Concrete Column Desain Summary*, tidak ditemukan kolom yang bermasalah pada kemampuannya menahan gaya geser dan torsi dari kombinasi pembebanan (**AMAN**)

c. Pemeriksaan Joint Elemen Struktur

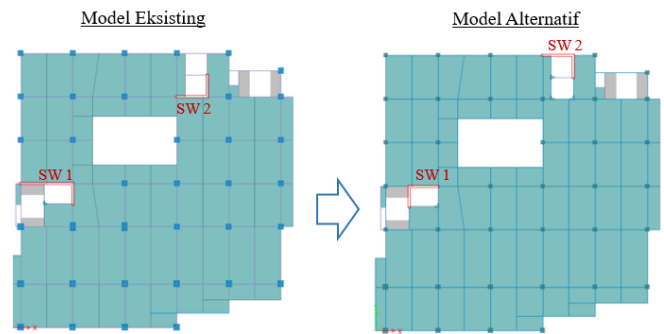
Hasil *screening* pemeriksaan *Joint* pada elemen-elemen strukur, sebagaimana pada *Concrete Joint Desain Summary* tidak ditemukan *joint* yang bermasalah (**AMAN**).

d. Pemeriksaan Elemen Kritis Struktur Dinding Geser

Hasil *screening* kapasitas elemen-elemen dinding geser terhadap gaya -gaya dalam yang ditahannya berdasarkan *Concrete shearwall Desain Summary*, tidak ditemukan elemen dinding geser yang bermasalah pada kemampuannya menahan gaya geser dan torsi dari kombinasi pembebanan (**AMAN**).

4.3 Pemodelan Struktur Alternatif

Model alternatif disusun dengan menata ulang konfigurasi dinding geser tanpa merubah denah dan fungsi ruangan serta telah diperiksa untuk memenuhi kepatuhan terhadap persyaratan yang berlaku. Untuk representasi perubahan model eksisting menjadi model alternatif, dapat dilihat di gambar 4.5 berikut:



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

Gambar 4.5 Perubahan Model Eksisting Menjadi Model Alternatif

Massa bangunan model alternatif dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Massa Bangunan Model Alternatif

Story	Tinggi (m)	Massa (kg)
Lantai Atap	4,00	1.319.779,74
Lantai 7	4,00	983.708,05
Lantai 6	4,00	1.264.390,50
Lantai 5	4,00	1.219.950,63
Lantai 4	4,00	1.278.584,55
Lantai 3	4,00	1.343.251,46
Lantai 2	6,00	1.117.711,05
Lantai 1	3,55	1.394.056,49
Basement	-	-
Total	33,55	9.921.432,47

Sumber: Hasil Analisis, etabs

4.4 Evaluasi Model Alternatif

4.4.1 Evaluasi hasil Analisis Modal Eigen

Perilaku strukur model alternatif yang diperoleh dari analisis Modal Eigen, dapat dilihat pada tabel 4.5:

Tabel 4.5 Evaluasi Modal Eigen struktur Alternatif

Case	Mode	Period (sec)	UX	UY	RZ
Modal	1	2,008	0,6419	4,84E-06	0,0049
Modal	2	1,512	0,0005	0,7196	0,005
Modal	3	1,065	0,0575	0,0044	0,7244

Sumber: Hasil analisis, Etabs

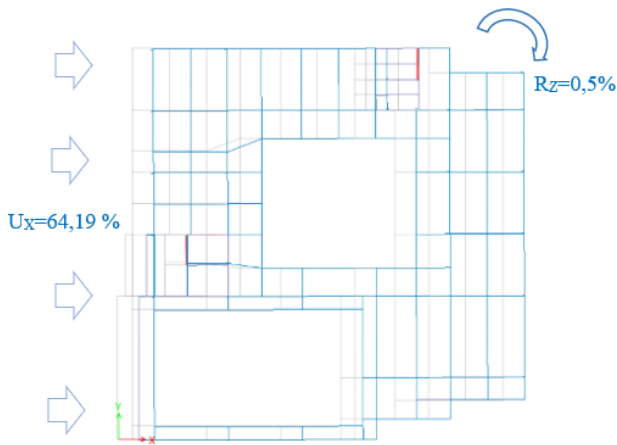
Dimana:

U_x = Translasi arah sumbu X

U_y = Translasi arah sumbu Y

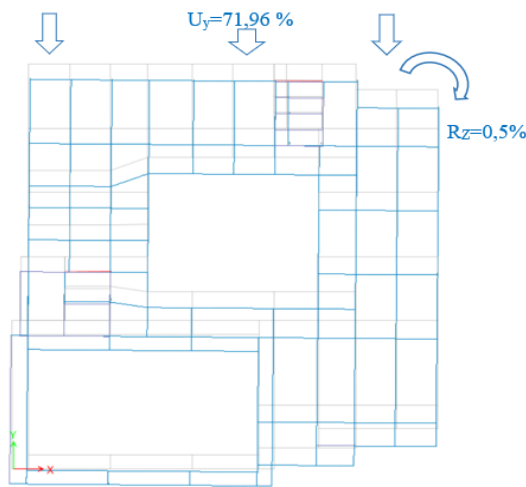
R_z = Torsi arah sumbu Z

Perilaku sistem struktur (*Mode shape*) pada model alternatif dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7, berikut:



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

Gambar 4.6 Mode shape Struktur Alternatif di Mode 1



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

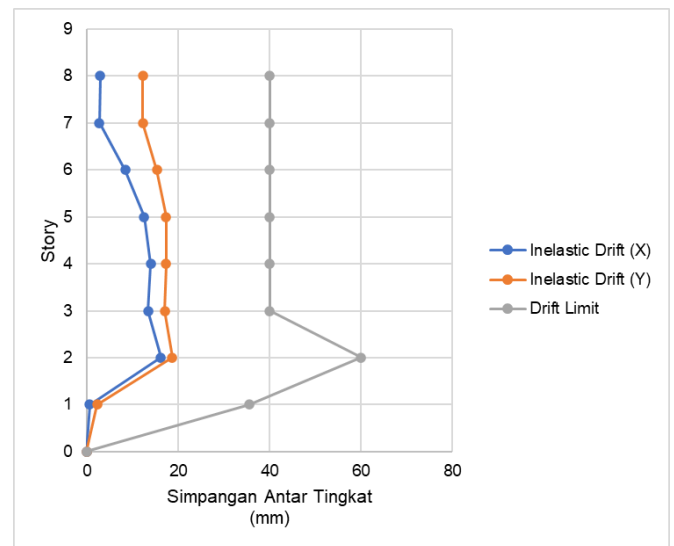
Gambar 4.7 Mode shape Struktur Alternatif di Mode 2

Dari tabel 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa pada mode 1 partisipasi massa didominasi U_x sebesar 64,19%, dengan partisipasi Torsi (R_z) yang relatif sangat kecil yaitu 0,5% dan pada mode 2 partisipasi massa didominasi U_y sebesar 71,96%, dengan Torsi (R_z) juga relatif sangat kecil sebesar 0,5%.

Berdasarkan hasil analisis Modal Eigen pada model Alternatif, maka dapat diambil kesimpulan bahwa desain Struktur alternatif mampu bertranslasi sesuai arah frekuensi getar alamnya di mode masing-masing, ditandai dengan partisipasi torsi yang relatif kecil yang berarti konfigurasi elemen vertikal menahan gaya lateral mampu bekerja menjaga keseimbangan massa struktur.

4.4.2 Evaluasi Simpangan antar Tingkat (Δ)

Grafik Hasil analisis simpangan antar Tingkat (Δ) dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut:



Sumber: Hasil Analisis, Etabs

Gambar 4.8 Grafik Simpangan Antar Tingkat Struktur Alternatif

Berdasarkan hasil analisis Simpangan Antar Tingkat (Δ_a) model alternatif sebagaimana terlihat di grafik pada Gambar 4.8, maka dapat diambil kesimpulan bahwa model struktur alternatif **AMAN** terhadap pengaruh gaya lateral, terlihat dari garis *inelastic drift* X dan Y masih berada di dalam garis batas (*drift limit*).

4.4.3 Evaluasi Pengaruh P-Delta Model Alternatif

Perhitungan Pengaruh P-Delta pada Model alternatif:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \cdot 5,5} = 0,0909$$

Dimana:

θ_{max} = Koefisien stabilitas

β = Rasio kebutuhan geser, diijinkan diambil sebesar 1,0

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Dari hasil perhitungan, diperoleh $\theta < 0,1$ dan $\theta_{max} \leq 0,25$, maka "Pengaruh P-Delta boleh diabaikan". (**AMAN**)

4.4.4 Evaluasi Pemenuhan Syarat Sistem Ganda Desain Struktur model Alternatif

Perhitungan dianalisis melalui *etabs* dengan memeriksa gaya yang diterima pada *base reaction* masing-masing *joint*. Selanjutnya dihitung nilai perbandingan (rasio) dari kombinasi sistem yang bekerja, dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Rasio Gaya Seismik pada Struktur Alternatif

Sistem Struktur	FX (kN)	FY (kN)
Rangka + Dinding Geser	9914,25	8604,3
Dinding Geser (SW)	2425,11	2273,3
Gaya yang ditahan SW	24,46%	26,42%
Gaya yang ditahan Rangka	75,54%	73,58%

Sumber: Hasil analisis, Etabs

SNI 1726:2019 pasal 7.2.5.1 mewajibkan desain untuk sistem ganda, bahwa sistem rangka harus mampu memikul paling sedikit 25% gaya seismik. Dari tabel 4.6, diperoleh bahwa gaya seismik yang ditahan sistem rangka strukur adalah 75,54% arah X dan 73,58% arah Y. Hasil ini telah memenuhi syarat sistem ganda yang ditentukan oleh SNI.

4.4.5 Identifikasi Elemen kritis pada Strukur Alternatif

a. Pemeriksaan Desain Elemen Struktur Balok

Hasil screening kapasitas elemen-elemen balok terhadap gaya-gaya dalam yang ditahannya berdasarkan *Concrete Beam Desain Summary*, tidak ditemukan elemen balok yang bermasalah pada kemampuannya menahan gaya geser dan torsi dari kombinasi pembebanan (**AMAN**)

b. Pemeriksaan Desain Elemen Struktur Kolom

Hasil *screening* kapasitas elemen-elemen Kolom terhadap gaya-gaya dalam yang ditahannya, berdasarkan *Concrete Column Desain Summary*, tidak ditemukan kolom yang bermasalah pada kemampuannya menahan gaya geser dan torsi dari kombinasi pembebanan (**AMAN**)

c. Pemeriksaan Joint Elemen Struktur

Hasil *screening* pemeriksaan *Joint* pada elemen-elemen struktur, sebagaimana pada *Concrete Joint Desain Summary* tidak ditemukan *joint* yang bermasalah (**AMAN**).

d. Pemeriksaan Elemen Kritis Struktur Dinding Geser

Hasil *screening* kapasitas elemen-elemen dinding geser terhadap gaya-gaya dalam yang ditahannya berdasarkan *Concrete shearwall Desain Summary*, tidak ditemukan elemen dinding geser yang bermasalah pada kemampuannya menahan gaya geser dan torsi dari kombinasi pembebanan (**AMAN**).

4.5 Komparasi Hasil

Hasil evaluasi model eksisting dan model alternatif dilakukan komparasi untuk melihat perbandingan kinerja dan nilai ekonomis masing – masing desain struktur.

Berikut disusun komparasi hasil evaluasi desain struktur dari model eksisting dan model alternatif sebagaimana Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Komparasi Hasil

No	Parameter komparasi	Hasil Analisis	
		Model Eksisting	Model Alternatif
1	Torsi pada Sistem	Mode 1 = 25,5%	Mode 1 = 0,5%
	Struktur (Rz)	Mode 2 = 26,7%	Mode 2 = 0,5%
2	Kinerja Strukur		
	a. simpangan	AMAN	AMAN
	antar	AMAN	AMAN
	b. pengaruh P-delta		

Efisiensi desain			
3	a. Massa	1.3984.498,48 Kg	.921.432,47 kg
	Struktur	mutu beton:	mutu beton:
	b. Mutu material	Kolom: Fc'35 Mpa	Kolom: Fc'30 Mpa
	yang digunakan	SW: Fc' 35 Mpa	SW: Fc' 30 Mpa
4	Elemen kritis (failure/OS)	Balok: fc'30 Mpa	Balok: fc' 30 Mpa
4	Elemen kritis (failure/OS)	Terdapat 5 (lima) elemen OS/Failure	tidak ada elemen OS/Failure

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Komparasi hasil analisis desain struktur dari model eksisting dan model alternatif membuktikan bahwa strategi optimasi desain struktur sistem ganda pada gedung bertingkat dengan memanfaatkan hasil analisis Modal Eigen sebagai dasar pengambilan keputusan desain dengan menentukan mode translasi arah Ux atau Uy pada Mode 1 dan Mode 2 harus memiliki partisipasi massa lebih besar dari 60%, mampu meningkatkan performa struktur dengan berkurangnya torsi secara signifikan pada sistem struktur, mempertahankan kinerja struktur, meningkatkan efisiensi biaya konstruksi dan sekaligus mencegah potensi OS/failure pada elemen-elemen struktural.

5.2 Saran

Pengembangan strategi optimasi desain struktur sangat disarankan untuk memberikan pilihan praktis sebagai kebutuhan perencanaan karena ketentuan regulasi dan persyaratan teknis perencanaan gedung bertingkat di Indonesia seperti SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, dan SNI 2847:2019 lebih menitikberatkan kepada aspek kekuatan, kekakuan, stabilitas, serta kinerja struktur terhadap berbagai jenis beban, namun disisi lain desain struktur dituntut memiliki biaya konstruksi yang ekonomis dengan tetap memenuhi ketentuan tersebut..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. K. Di Sini and D. Konten, "Partisipasi Massa dalam Perencanaan Struktur Gedung dan Jembatan by Indra Raj Suweda| May 16, 2025| Ilmu Sipil| 0 comments".
- [2] M. H. Fadli and R. Andayani, "Analisis Karakteristik Dinamik Ragam Fundamental Struktur Tower Kembar Berpodium Terhadap Gempa," in *Seminar Ilmiah Nasional Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur, dan Teknik Sipil 2015*, Gunadarma University, 2015.
- [3] S. Y. Jeong, T. H.-K. Kang, J. K. Yoon, and R. Klemencic, "Seismic performance evaluation of a tall building: Practical modeling of surrounding basement

- structures,” *Journal of Building Engineering*, vol. 31, p. 101420, 2020.
- [4] W. Xu, Y. Zhao, W. Yang, J. Zhang, and D. Chen, “Seismic performance of RC frame-shear wall dual structural systems,” in *Structures*, Elsevier, 2023, p. 105610.
- [5] J. Panjaitan, E. Septiandini, M. Khanza, P. Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, F. Teknik, and U. Negeri Jakarta, “Analisis Kinerja Struktur Apartemen 16 Lantai di Jakarta Terhadap Beban Gempa dengan Metode Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726:2019,” 2025.
- [6] Y. Liu, “Modal-based ground motion selection method for the nonlinear response time history analysis of reinforced concrete shear wall structures,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 17, p. 8230, 2021.
- [7] R. Mawarti, D. L. C. Galuh, M. A. Shulhan, and I. Yasin, “Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Respon Spektrum (Studi Kasus: Zona 2 Apartemen Yogyakarta),” *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 70–82, 2022.
- [8] B. A. Hidayat, Y. Haryanto, Nuroji, Sukamta, W. K. Praja, and H. T. Hu, “Capacity-based seismic design of a middle-rise residential building in an area of moderately-high seismicity,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/982/1/012033.
- [9] H. K. Di Sini and D. Konten, “Partisipasi Massa dalam Perencanaan Struktur Gedung dan Jembatan by Indra Raj Suweda| May 16, 2025| Ilmu Sipil| 0 comments”.
- [10] “Mode Participation Factor and Effective Mass.”
- [11] J. Bessini, C. Lázaro, and S. Monleón, “A form-finding method based on the geometrically exact rod model for bending-active structures,” *Eng Struct*, vol. 152, pp. 549–558, 2017.
- [12] L. Diana, A. Manno, P. Lestuzzi, S. Podestà, and C. Luchini, “Impact of displacement demand reliability for seismic vulnerability assessment at an urban scale,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol. 112, pp. 35–52, 2018.
- [13] M. N. Muna and M. Teguh, “Perbandingan Respon Dinamis Pada Struktur Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Tiga Varian Konfigurasi Dinding Geser,” *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 2, p. 387, 2024.
- [14] H. M. Banadaki, A. Eslami, and H. Ronagh, “Near-surface-mounted retrofitting of damaged/undamaged adobe walls using steel bars: Analytical evaluation of experimental results,” in *Structures*, Elsevier, 2020, pp. 2111–2121.
- [15] F. González *et al.*, “Seismic response of bridge piers on pile groups for different soil damping models and lumped parameter representations of the foundation,” *Earthq Eng Struct Dyn*, vol. 48, no. 3, pp. 306–327, 2019.
- [16] M. Rastegaran, S. B. B. Aval, and E. Sangalaki, “Multi-objective reliability-based seismic performance design optimization of SMRFs considering various sources of uncertainty,” *Eng Struct*, vol. 261, p. 114219, 2022.