

Simulasi dan Analisis Dinamis Struktur Bangunan Tinggi Terhadap Beban Gempa Menggunakan Software SAP2000 dan ETABS

Sharwanda Asfarina^{1*}, Muh. Apriansyah¹, Israjunna¹, B Erdiansyah Putra¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Bima, Bima, Indonesia

Email Koresponden: sharwandaasfarina@gmail.com

(* : corresponding author)

Abstrak – Perencanaan dan analisis struktur bangunan tinggi yang tahan gempa merupakan aspek krusial dalam rekayasa sipil modern, khususnya di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Akurasi hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh perangkat lunak yang digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa dua perangkat lunak populer, SAP2000 dan ETABS, dalam melakukan analisis dinamis struktur bangunan tinggi terhadap beban gempa. Metode yang digunakan adalah studi simulasi numerik pada model struktur gedung 20 lantai menggunakan pendekatan analisis statik ekuivalen dan analisis respons dinamis modal (modal response spectrum analysis). Parameter utama yang dianalisis meliputi simpangan antar lantai, gaya geser dasar (base shear), serta bentuk mode getar alami (mode shape). Hasil simulasi menunjukkan bahwa meskipun kedua perangkat lunak menghasilkan pola distribusi simpangan dan mode shape yang serupa, terdapat perbedaan kuantitatif pada nilai simpangan maksimum dan gaya geser dasar, dengan ETABS cenderung memberikan hasil yang lebih konservatif. Temuan ini menyoroti pentingnya verifikasi silang dalam pemodelan struktur untuk meningkatkan keandalan desain bangunan tahan gempa. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemilihan alat bantu analisis struktural yang tepat dan efisien untuk rekayasa struktur modern.

Kata Kunci: SAP2000, ETABS, Bangunan Tinggi, Analisis Gempa, Simulasi Struktur

Simulation and Dynamic Analysis of Tall Building Structures Against Earthquake Loads Using SAP2000 and ETABS Software

Abstract – The planning and analysis of earthquake-resistant tall building structures is a crucial aspect of modern civil engineering, especially in earthquake-prone regions such as Indonesia. The accuracy of simulation results is greatly influenced by the software used. This study aims to compare the performance of two popular software, SAP2000 and ETABS, in performing dynamic analysis of high-rise building structures against earthquake loads. The method used is a numerical simulation study on a 20-story building structure model using the equivalent static analysis approach and modal dynamic response spectrum analysis. The main parameters analyzed include inter-story deviation, base shear force, and mode shape. The simulation results show that although both software produce similar patterns of deviation distribution and mode shapes, there are quantitative differences in the maximum deviation and base shear force values, with ETABS tending to provide more conservative results. These findings highlight the importance of cross-verification in structural modeling to improve the reliability of earthquake-resistant building designs. This research contributes to the selection of appropriate and efficient structural analysis tools for modern structural engineering.

Keywords: SAP2000, ETABS, Tall Building, Earthquake Analysis, Structure Simulation

Received	Revised	Published
27-05-2025	17-06-2025	18-06-2025

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di kawasan Cincin Api Pasifik (Pacific Ring of Fire), yang menjadikannya sangat rawan terhadap aktivitas seismik, termasuk gempa bumi tektonik dan vulkanik. Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) melaporkan ribuan gempa bumi setiap tahun, dengan peristiwa signifikan menyebabkan kerusakan yang luas, termasuk kerugian melebihi US \$4,7 miliar dari gempa bumi di atas magnitudo 6,5 [1]. Strategi manajemen risiko yang efektif sangat penting, menggabungkan metodologi canggih seperti Building Information Modeling (BIM) dan kepatuhan terhadap standar internasional seperti Eurocode 8 dan ASCE 7-16, yang meningkatkan integritas dan keselamatan struktural [2]. Peta bahaya seismik terbaru, dikembangkan menggunakan data terbaru dan pendekatan probabilistik, memberikan wawasan penting untuk merancang infrastruktur tangguh [1], [3]. Selain itu, teknik seperti analisis *pushover* membantu menilai kinerja bangunan di bawah beban seismik, memastikan bahwa struktur dapat menahan gempa bumi dengan kerusakan minimal [4]. Dengan demikian, mengintegrasikan strategi ini sangat penting untuk menjaga infrastruktur perkotaan di Indonesia.

Bangunan tinggi menunjukkan karakteristik dinamis yang kompleks karena fleksibilitas, distribusi massa, dan interaksi dengan beban lateral seperti angin dan gempa bumi. Desain dan analisis struktur ini memerlukan pemahaman komprehensif tentang perilaku mereka dalam kondisi dinamis. Misalnya, metode batas state digunakan untuk memastikan keamanan terhadap beban lateral, dengan perhatian khusus pada geser dasar, perpindahan atap, dan operasi antar lantai [5]. Berbagai sistem struktural, termasuk dinding geser dan rangka yang diperkuat, dianalisis untuk mengoptimalkan stabilitas dan pembuangan energi selama peristiwa seismik [6], [7]. Teknik simulasi lanjutan, seperti metode elemen terbatas dan analisis dinamis transien, sangat penting untuk memprediksi respons struktural secara akurat terhadap gelombang gempa [8]. Metode ini memfasilitasi korelasi respons yang disimulasikan dan diukur, meningkatkan keandalan analisis dinamis dan menginformasikan perbaikan desain untuk bangunan tinggi.

Metode elemen terbatas (FEM) telah menjadi bagian integral dalam analisis dan desain bangunan bertingkat, dengan perangkat lunak seperti SAP2000 dan ETABS memimpin lapangan karena kemampuannya yang canggih. ETABS, khususnya, digunakan untuk menganalisis berbagai beban, termasuk kekuatan seismik dan angin, memastikan kepatuhan dengan kode desain melalui penilaian rinci perilaku struktural, seperti diagram gaya momen dan perpindahan cerita [9]. Efektivitas FEM disorot dalam kemampuannya untuk secara akurat mensimulasikan respons struktural yang kompleks, termasuk perpindahan dan tekanan pada bangunan tinggi, yang sangat penting untuk keselamatan dalam kondisi dinamis [10]. Selain itu, penggabungan dinding geser dan pelat dalam pemodelan meningkatkan kekakuan lateral, mengatasi peningkatan beban lateral pada struktur bertingkat tinggi [11]. Studi menggunakan ETABS juga berfokus pada respons dinamis bangunan di bawah kondisi gempa bumi, menekankan pentingnya pemilihan bentuk mode dalam keselamatan struktural.

SAP2000 dan ETABS keduanya merupakan perangkat lunak canggih yang banyak digunakan untuk analisis dan desain bangunan bertingkat, masing-masing dengan fitur berbeda yang disesuaikan dengan kebutuhan struktural tertentu. SAP2000 unggul dalam aplikasi serbaguna, mendukung berbagai struktur seperti jembatan dan menara, dan dilengkapi dengan kemampuan analisis elemen terbatas canggih, memungkinkan evaluasi beban seismik dan angin yang komprehensif sesuai dengan standar seperti IS 456 dan IS 1893 [12], [13]. Sebaliknya, ETABS dirancang khusus untuk bangunan bertingkat, menawarkan fitur seperti perhitungan beban lateral otomatis dan analisis *pushover*, yang meningkatkan

efektivitasnya dalam memastikan stabilitas struktural dan keamanan di bawah beban dinamis [9], [14]. Kedua program memfasilitasi analisis statis linier dan dinamis, termasuk spektrum respons dan metode riwayat waktu, memastikan kepatuhan terhadap kode desain internasional [15]. Integrasi desain beton dan baja lebih lanjut menggarisbawahi utilitas mereka dalam praktik teknik sipil modern.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi dan analisis dinamis terhadap struktur bangunan tinggi menggunakan kedua perangkat lunak tersebut, guna membandingkan hasil perhitungan simpangan lateral, gaya geser, momen lentur, serta respons terhadap beban gempa. Beban gempa dianalisis berdasarkan respons spektrum yang sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019, dan disimulasikan pula dengan data gempa historis (*time history*) untuk memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap respons struktur. Dengan melakukan perbandingan hasil analisis antara SAP2000 dan ETABS, studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemilihan perangkat lunak yang lebih tepat dan efisien bagi perencana struktur dalam mendesain bangunan tinggi tahan gempa. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dan pengembangan pedoman perancangan struktur di wilayah rawan gempa seperti Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik dengan bantuan perangkat lunak analisis struktur untuk mengevaluasi respons dinamis bangunan tinggi terhadap beban gempa. Adapun perangkat lunak yang digunakan adalah SAP2000 v24 dan ETABS v20, keduanya dikembangkan oleh Computers and Structures, Inc. (CSI). Metode utama yang digunakan adalah analisis respons spektrum dan analisis *time history* non-linier, sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung.

2.1 Objek dan Model Struktur

Objek yang dianalisis adalah bangunan gedung bertingkat 20 lantai dengan sistem struktur rangka beton bertulang konvensional. Bangunan dimodelkan dalam kondisi ideal: berdiri bebas tanpa struktur di sekitarnya, diasumsikan simetris, dan didirikan di atas tanah lunak (kategori tanah D menurut SNI 1726:2019). Dimensi bangunan adalah 30 m × 30 m, dengan tinggi antar lantai 3,5 m. Material utama adalah beton bertulang mutu $f'c = 30$ MPa dan baja tulangan $f_y = 400$ MPa. Secara visual, model struktur dimodelkan dalam tiga dimensi dengan konfigurasi grid reguler. Elemen balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame element*, sedangkan pelat lantai dimodelkan sebagai *shell element*. Sistem beban lateral ditetapkan sebagai *Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)*.

Dalam SAP2000 dan ETABS, model dikembangkan dengan mempertimbangkan pembentukan *rigid diaphragm* pada setiap lantai dan koneksi sendi kaku antar elemen utama. Pengaturan mesh dilakukan secara otomatis berdasarkan pembagian elemen lantai 1,5 m × 1,5 m, dan dilakukan *mesh sensitivity check* untuk memastikan hasil analisis stabil terhadap perubahan jumlah elemen. Tidak ditemukan perbedaan signifikan (>2%) antara variasi mesh yang lebih halus, sehingga konfigurasi default dianggap mencukupi. Struktur dimodelkan dalam SAP2000 dan ETABS dengan asumsi pembebanan sebagai berikut:

- **Beban mati (DL):** 4,0 kN/m²
- **Beban hidup (LL):** 2,0 kN/m²
- **Beban gempa (EQ):** menggunakan metode respons spektrum dan *time history* sesuai dengan data gempa historis (Gempa Palu 2018 dan Gempa El Centro 1940 sebagai pembanding) Proses ini dilakukan dengan bantuan MATLAB untuk memastikan kesesuaian puncak spektrum antara input dan target.

2.2 Proses Simulasi

Proses simulasi dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

1. Pemodelan Struktur

Struktur dimodelkan secara tiga dimensi pada SAP2000 dan ETABS, dengan elemen balok dan kolom menggunakan frame element, serta pelat lantai dimodelkan dengan shell element. Sistem beban lateral ditetapkan berupa rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

2. Definisi Beban Gempa

Beban gempa dimasukkan dengan dua pendekatan:

- **Respons Spektrum:** menggunakan spektrum desain dari SNI 1726:2019, wilayah gempa Zona 6, PGA 0.4g.
- **Time History:** menggunakan rekaman data gempa aktual (file format .AT2), kemudian dilakukan scaling agar sesuai dengan respons spektrum target.

3. Analisis Struktur

Analisis dilakukan untuk memperoleh nilai-nilai:

- Simpangan maksimum antar lantai (inter-story drift)
- Gaya geser dasar (base shear)
- Momen lentur maksimum
- Frekuensi dan mode getar alami (modal analysis)

4. Validasi dan Perbandingan Hasil

Hasil dari kedua perangkat lunak dibandingkan berdasarkan parameter struktural utama. Selisih atau deviasi hasil dihitung dalam bentuk persentase (%), dan dianalisis penyebab perbedaan yang muncul dari segi model, mesh, algoritma solver, atau asumsi distribusi massa dan kekakuan.

2.3 Standar dan Referensi Teknis

Analisis struktur mengikuti acuan teknis sebagai berikut:

- SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung
- SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung
- ACI 318M-19 – Building Code Requirements for Structural Concrete
- ASCE 7-16 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures

2.4 Alat Analisis Tambahan

Selain SAP2000 dan ETABS, perangkat lunak tambahan seperti Excel dan MATLAB digunakan untuk mengolah data hasil simulasi, seperti perhitungan simpangan relatif, pembuatan grafik, serta komparasi nilai gaya dalam dan simpangan pada tiap lantai. Visualisasi model dan hasil dilakukan melalui fitur grafik 3D yang tersedia dalam SAP2000 dan ETABS, serta diekspor untuk keperluan presentasi hasil.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan simulasi pada model bangunan 20 lantai menggunakan SAP2000 dan ETABS, diperoleh hasil berupa parameter-parameter respons struktur terhadap beban gempa. Analisis dilakukan terhadap dua jenis gempa: respons spektrum berdasarkan SNI 1726:2019 dan time history berdasarkan data gempa El Centro 1940 (scaled). Hasil dibagi dalam tiga kategori utama: simpangan antar lantai (inter-story drift), gaya geser dasar (base shear), dan frekuensi alami (natural frequency).

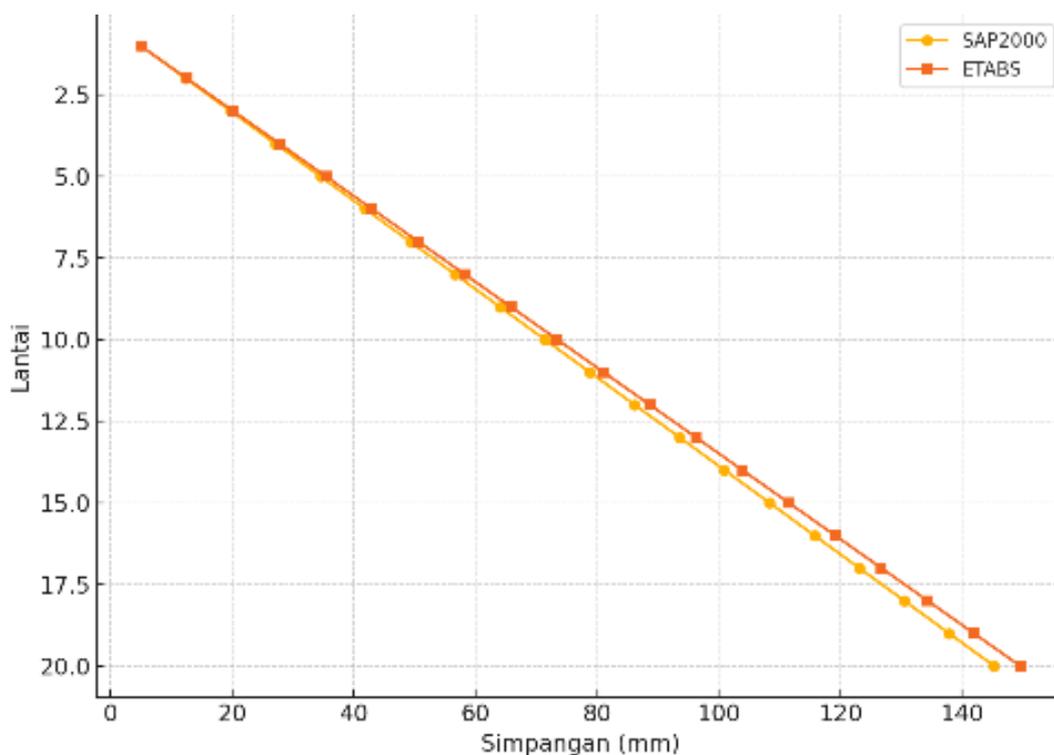
3.1 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai adalah parameter penting yang digunakan untuk menilai kinerja struktural bangunan tinggi terhadap beban lateral akibat gempa. Dalam penelitian ini, perbandingan dilakukan antara hasil simulasi dari SAP2000 dan ETABS pada bangunan 20 lantai. Hasil perbandingan simpangan maksimum (pada lantai 20) ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Simpangan Maksimum Antar Lantai (Lantai 20)

Perangkat Lunak	Respons Spektrum (mm)	Time History (mm)
SAP2000	145,2	157,6
ETABS	149,5	162,3

Grafik yang terlihat pada Gambar 1 menunjukkan pola distribusi simpangan lateral dari lantai dasar hingga lantai tertinggi. Simpangan antar lantai merupakan parameter kunci dalam menilai keamanan struktur terhadap beban lateral.



Gambar 1. Grafik Simpangan Antar Lantai per Lantai

Seperti terlihat pada Gambar 1, kedua perangkat lunak menunjukkan tren peningkatan simpangan secara linier seiring bertambahnya ketinggian bangunan. Namun, ETABS menghasilkan nilai simpangan yang sedikit lebih besar dibanding SAP2000, terutama pada lantai atas. Hal ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh perbedaan dalam metode distribusi beban lateral, kekakuan efektif, dan algoritma penyelesaian numerik yang digunakan. Hasil menunjukkan bahwa kedua perangkat lunak menghasilkan pola simpangan yang mirip, namun ETABS cenderung menghasilkan simpangan lebih besar 2–4% dibandingkan SAP2000.

Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan metode distribusi massa dan kekakuan pada algoritma default masing-masing perangkat lunak.

3.2 Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Gaya geser dasar mencerminkan total gaya lateral yang ditransfer dari struktur ke pondasi akibat beban gempa. Nilai gaya geser dasar ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Gaya Geser Dasar (kN)

Perangkat Lunak	Respons Spektrum	Time History
SAP2000	5.860	6.210
ETABS	6.032	6.405

Dari Tabel 2 terlihat bahwa ETABS menghasilkan gaya geser dasar yang lebih besar dibanding SAP2000 dengan selisih +2,94% (*respons spektrum*) dan +3,14% (*time history*). Nilai ini konsisten dengan simpangan yang lebih besar, mengindikasikan bahwa ETABS menangkap respons lateral struktur dengan kecenderungan lebih konservatif. Faktor teknis yang memengaruhi termasuk perbedaan dalam algoritma pemodelan spektrum respons, rasio partisipasi massa (*mass participation ratio*), dan asumsi distribusi massa lateral.

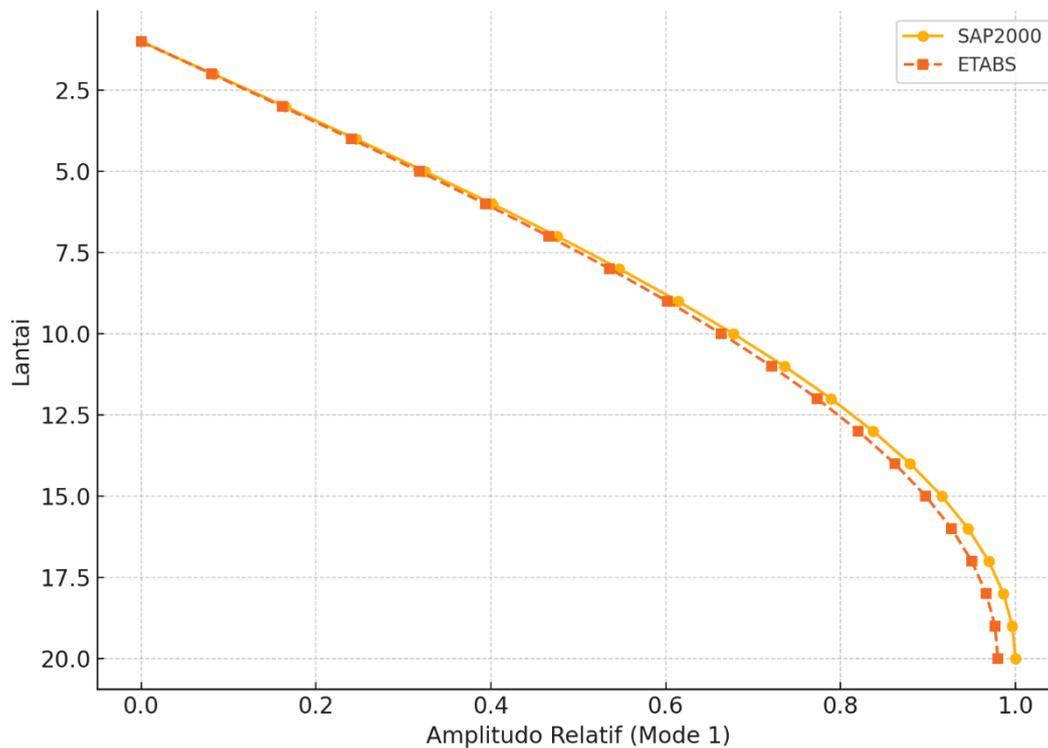
3.3 Frekuensi dan Mode Getar Alami

Selain respon dalam bentuk simpangan, karakteristik dinamis struktur juga dianalisis melalui bentuk mode getar alami. Visualisasi berikut memperlihatkan mode shape dominan pertama yang dihasilkan oleh SAP2000 dan ETABS. Modal analysis menunjukkan bahwa kedua software menghasilkan tiga mode dominan yang konsisten, seperti ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Frekuensi Alami Mode 1-3 (Hz)

Mode	SAP2000	ETABS
1	0.513	0.507
2	0.521	0.514
3	0.832	0.825

Perbedaan nilai frekuensi berada di bawah 2%, menunjukkan bahwa karakteristik dinamis struktur secara umum direpresentasikan dengan konsisten oleh kedua perangkat lunak. Grafik visualisasi mode shape menunjukkan pola lentur lateral dominan pada arah X dan Y secara simetris.



Gambar 2. Visualisasi Mode Shape Dominan (Mode 1)

Gambar 2 menunjukkan bahwa kedua perangkat lunak menghasilkan bentuk mode getar dominan yang hampir identik, dengan arah deformasi utama pada arah lateral (X). ETABS menunjukkan amplitudo sedikit lebih kecil daripada SAP2000, namun perbedaan tersebut berada dalam kisaran $\pm 2\%$, yang masih dapat diterima secara teknik. Konsistensi ini menandakan bahwa kedua perangkat lunak dapat merepresentasikan perilaku dinamis struktur secara realistis dan dapat saling diverifikasi silang.

Tabel 4. Ringkasan Selisih (%) Hasil Analisis SAP2000 vs ETABS

Parameter	Selisih (%)	ETABS vs SAP2000
Simpangan maksimum (RS)	+2,96%	ETABS > SAP2000
Simpangan maksimum (TH)	+2,98%	ETABS > SAP2000
Gaya geser dasar (RS)	+2,94%	ETABS > SAP2000
Gaya geser dasar (TH)	+3,14%	ETABS > SAP2000
Frekuensi alami (Mode 1-3)	<2%	SAP2000 > ETABS

Tabel 4 menyajikan ringkasan selisih hasil analisis antara SAP2000 dan ETABS dalam bentuk persentase untuk parameter utama struktur. Dari data tersebut, terlihat bahwa ETABS menghasilkan nilai simpangan maksimum dan gaya geser dasar yang sedikit lebih tinggi dibandingkan SAP2000, dengan deviasi berkisar antara 2,9% hingga 3,1%. Hal ini menunjukkan kecenderungan ETABS memberikan hasil yang lebih konservatif dalam merespons beban gempa, baik melalui pendekatan respons spektrum maupun time history.

Sementara itu, pada analisis frekuensi alami untuk tiga mode dominan, perbedaan hasil antara kedua perangkat lunak sangat kecil, yakni kurang dari 2%, yang menunjukkan konsistensi dalam pemodelan karakteristik dinamis struktur. Perbedaan-perbedaan ini tetap berada dalam batas teknis yang dapat diterima, dan mencerminkan perbedaan pendekatan numerik serta pengaturan default masing-masing perangkat lunak.

3.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi numerik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa baik SAP2000 maupun ETABS mampu merepresentasikan perilaku dinamis struktur bangunan tinggi dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi dan konsisten. Kedua perangkat lunak memberikan hasil analisis yang sejalan dalam hal distribusi beban gempa, bentuk mode getar alami, serta pola simpangan antar lantai. Namun demikian, perbedaan kuantitatif masih ditemukan, terutama pada parameter simpangan lateral maksimum dan gaya geser dasar (base shear), di mana ETABS cenderung memberikan nilai yang lebih besar dibandingkan SAP2000. Perbedaan ini mengindikasikan adanya perbedaan pendekatan dalam pengolahan numerik dan asumsi permodelan yang digunakan oleh masing-masing software.

Terdapat beberapa faktor yang secara teknis dapat menjelaskan penyebab munculnya variasi tersebut. Pertama, algoritma load pattern generation serta penanganan distribusi massa pada ETABS umumnya bersifat lebih konservatif, dengan mempertimbangkan kemungkinan variasi rigid diaphragm dan efek higher mode secara eksplisit. Kedua, pengaturan meshing elemen struktur dan konfigurasi rigid diaphragm dapat diatur secara lebih adaptif di SAP2000, sementara ETABS seringkali menggunakan skema default yang mengunci lantai sebagai bidang kaku penuh, yang dapat mempengaruhi respons lateral struktur. Ketiga, masing-masing perangkat lunak memiliki pendekatan tersendiri dalam menetapkan nilai damping ratio dan prosedur internal dalam scaling time history, yang turut memengaruhi besarnya respons dinamis.

Meskipun demikian, perbedaan hasil yang diperoleh masih dalam batas yang dapat diterima secara teknik dan tidak mengubah kesimpulan umum terkait perilaku struktur terhadap beban gempa. Keunggulan masing-masing perangkat lunak juga menjadi pertimbangan penting dalam pemilihan tools berdasarkan kebutuhan proyek. SAP2000 unggul dalam fleksibilitas pemodelan, terutama untuk struktur non-konvensional seperti jembatan, menara, atau struktur lengkung. Sebaliknya, ETABS lebih unggul dalam efisiensi analisis dan perancangan gedung bertingkat dengan fitur-fitur khusus seperti otomatisasi spektrum respon, kontrol simpangan antar lantai (interstory drift), dan integrasi langsung dengan standar desain struktural seperti SNI dan ASCE.

Dengan demikian, pemilihan antara SAP2000 dan ETABS sebaiknya disesuaikan dengan kompleksitas struktur, tujuan analisis, serta kebutuhan spesifik dari proses desain. Kedua software tersebut dapat saling melengkapi dalam proses verifikasi hasil analisis struktur, sehingga dapat meningkatkan akurasi, keamanan, dan efisiensi dalam perencanaan bangunan tahan gempa.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah melakukan simulasi dan analisis dinamis terhadap struktur bangunan tinggi menggunakan dua perangkat lunak analisis struktur populer, yakni SAP2000 dan ETABS. Simulasi dilakukan terhadap model gedung 20 lantai menggunakan pendekatan respons spektrum dan *time history*, dengan data gempa historis yang telah diskalakan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019.

Hasil menunjukkan bahwa kedua perangkat lunak mampu merepresentasikan perilaku dinamis struktur secara konsisten, khususnya dalam pola distribusi simpangan antar lantai dan bentuk mode getar alami. Namun, secara kuantitatif, ETABS cenderung menghasilkan

nilai simpangan maksimum dan gaya geser dasar yang sedikit lebih tinggi dibandingkan SAP2000, dengan deviasi rata-rata antara 2,9% hingga 3,1%. Sementara itu, perbedaan frekuensi alami dari analisis modal untuk tiga mode utama berada di bawah 2%, menandakan bahwa karakteristik dinamis struktur direpresentasikan secara andal oleh kedua sistem.

Perbedaan hasil ini mencerminkan perbedaan pendekatan numerik, algoritma internal, pengaturan default pemodelan massa, serta konfigurasi *rigid diaphragm* yang digunakan oleh masing-masing perangkat lunak. SAP2000 memberikan fleksibilitas tinggi untuk struktur non-konvensional, sedangkan ETABS unggul dalam efisiensi dan fitur otomatisasi yang mendukung perancangan gedung bertingkat berdasarkan standar teknis terbaru.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah memberikan pemahaman komparatif yang mendalam mengenai karakteristik hasil analisis dari dua software teknik sipil yang sering digunakan di dunia profesional. Implikasi praktis dari temuan ini adalah pentingnya verifikasi silang menggunakan lebih dari satu perangkat lunak dalam desain struktur bangunan tinggi, guna memastikan hasil analisis yang robust dan akurat.

Sebagai rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut, disarankan untuk melakukan studi komparatif dengan melibatkan jenis struktur yang lebih kompleks, termasuk struktur irregular dan sistem ganda (dual system), serta mengintegrasikan uji validasi eksperimental untuk meningkatkan akurasi model numerik. Selain itu, analisis non-linier dan time history dengan input data gempa lokal dapat memberikan gambaran lebih realistis terhadap kinerja struktur dalam skenario bencana nyata.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Irsyam *et al.*, "Past Earthquakes in Indonesia and New Seismic Hazard Maps for Earthquake Design of Buildings and Infrastructures," 2013, pp. 33–46. doi: 10.1007/978-94-007-5675-5_3.
- [2] H. Harita, S. D. Daeli, M. H. Zalukhu, and D. Zebua, "Strategi Pengelolaan Risiko Dalam Konstruksi Gedung Tahan Gempa Di Daerah Rawan Bencana," *J. Ilmu Ekon. Pendidik. dan Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–10, Sep. 2024, doi: 10.70134/identik.v1i2.35.
- [3] R. R. PUTRA, J. KIYONO, Y. ONO, and H. R. PARAJULI, "SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR INDONESIA," *J. Nat. Disaster Sci.*, vol. 33, no. 2, pp. 59–70, 2012, doi: 10.2328/jnds.33.59.
- [4] Abdul kholil, Titin Sundari, Meriana Wahyu Nugroho, and Rahma Ramadhani, "Evaluasi Kinerja Struktur Tahan Gempa Dengan Metode Pushover Analysis Pada Gedung RS. Muhammadiyah Siti Khodijah Gurah - Kediri," *J. Sipil Terap.*, vol. 1, no. 2, pp. 35–49, Aug. 2023, doi: 10.58169/jusit.v1i2.187.
- [5] K. Rama Raju, M. I. Shereef, N. R. Iyer, and S. Gopalakrishnan, "Analysis and Design of RC Tall Building Subjected to Wind and Earthquake Loads," in *Proceedings of the Eighth Asia-Pacific Conference on Wind Engineering*, Singapore: Research Publishing Services, 2013, pp. 844–852. doi: 10.3850/978-981-07-8012-8_166.
- [6] J. Cui, "Structural Analysis of High-rise Buildings Under Lateral Loads," *Highlights Sci. Eng. Technol.*, vol. 75, pp. 209–214, Dec. 2023, doi: 10.54097/msz6dw11.
- [7] A. Carpinteri and S. Cammarano, "A Simplified Approach for the Dynamic Analysis of High-Rise Structures," 2014, pp. 509–520. doi: 10.1007/978-3-319-04546-7_55.
- [8] T. Pan, J. M. W. Brownjohn, and X. You, "Correlating measured and simulated dynamic responses of a tall building to long-distance earthquakes," *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 33, no. 5, pp. 611–632, Apr. 2004, doi: 10.1002/eqe.366.
- [9] M. S. A, K. S, A. R, and T. Ilango, "Analysis and Design of Multi-storey Building using ETabs," *Int. J. Multidiscip. Res.*, vol. 6, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.36948/ijfmr.2024.v06i02.19167.
- [10] C. Liang, "Application and Prospect of Analysis of Structures Based on Finite Element Method," *Highlights Sci. Eng. Technol.*, vol. 28, pp. 53–60, Dec. 2022, doi: 10.54097/hset.v28i.4059.
- [11] M. Jameel, A. B. M. S. Islam, M. Khaleel, and A. Amirahmad, "EFFICIENT THREE-DIMENSIONAL MODELLING OF HIGH-RISE BUILDING STRUCTURES," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 19, no. 6, pp. 811–822, Oct. 2013, doi: 10.3846/13923730.2013.799096.
- [12] A. Surendra and R. A. Kumari, "Analysis and Design of Multistorey Residential Building with Response Spectrum Analysis Using SAP2000," *INTERANTIONAL J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 08, no. 05, pp. 1–5, Jun. 2024, doi: 10.55041/IJSREM35386.
- [13] J. Li, F. Li, and Z. Cai, "Seismic analysis of multi-story frame office building based on SAP2000," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 768, no. 1, p. 012124, May 2021, doi: 10.1088/1755-1315/768/1/012124.

- [14] A. Prakash, Y. Kamala Raju, S. Krishna Munipally, P. Shiva Nayak, and K. Al-Attab, "Analysis and Design of an Unsymmetrical Multi-storey building with floating columns in a seismic zone using ETABS," *E3S Web Conf.*, vol. 529, p. 04010, May 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202452904010.
- [15] P. Ramprasad, M. Moharana, and C. C. Mouli, "Static, Dynamic and Pgressive Collapse Analysis of Multi Storey (G+10) Residential Building by ETABS Software," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 9, no. 2S3, pp. 566–574, Dec. 2019, doi: 10.35940/ijitee.B1131.1292S319.