

Analisis Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Berdasarkan Soil–Structure Interaction (SSI) Menggunakan ETABS: Finite Element Modeling Approach

Yunike Wulandari Br Tarigan*, Syarbaini Lubis, Muhammad Zaki Chairuman, T
Yuan Rasuna

Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia

Email: yunike@dosen.pancabudi.ac.id*, syarbainilbs@dosen.pancabudi.ac.id,
zakichairuman@dosen.pancabudi.ac.id, teukuyuan@dosen.pancabudi.ac.id

Keywords:

ETABS
Soil–Structure Interaction,
Structural Response,
Story Displacement,
Story Drift,
Base Shear,
Finite Element Method,
Reinforced Concrete
, Building,
Geotechnical Engineering,
Structural Performance.



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2026 by Author. Published by
Riviera Publishing

Kata Kunci:

ETABS,
Interaksi Tanah–Struktur,
Soil–Structure Interaction
(SSI),
Geoteknik,
Story Displacement,
Story Drift,
Base Shear,
Finite Element Modeling,
Gedung Beton Bertulang,
Respons Struktur,

Abstract

The structural performance of reinforced concrete buildings is strongly influenced by both structural characteristics and geotechnical conditions beneath the foundation. Conventional structural analysis commonly assumes a fixed-base condition, which may not accurately represent the actual behavior of soil–foundation–structure systems. This study aims to evaluate the effect of Soil–Structure Interaction (SSI) on the performance of reinforced concrete buildings by considering various soil stiffness conditions using ETABS-based Finite Element Modeling. A quantitative numerical approach was applied by developing three-dimensional structural models with different soil conditions, including hard soil, medium soil, and soft soil. The analysis evaluated several structural response parameters, including story displacement, story drift, base shear, axial force, shear force, torsion, and bending moment. The results indicate that soil characteristics significantly affect structural responses. Softer soil conditions produce higher lateral displacement, increased story drift, and greater internal force redistribution, while base shear decreases due to the extension of the fundamental structural period caused by foundation flexibility. The findings demonstrate that ignoring SSI effects may lead to inaccurate structural performance predictions, particularly for buildings constructed on soft soil. Therefore, incorporating soil–structure interaction into structural analysis is essential to improve the safety, reliability, and accuracy of reinforced concrete building design.

Abstrak

Kinerja struktur gedung beton bertulang tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik struktur, tetapi juga oleh kondisi geoteknik tanah pendukung fondasi. Analisis struktur konvensional umumnya menggunakan asumsi perletakan jepit sempurna (fixed-base), sehingga pengaruh interaksi tanah–struktur (Soil–Structure Interaction/SSI) belum sepenuhnya menggambarkan perilaku aktual sistem tanah–fondasi–struktur. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh SSI terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang dengan mempertimbangkan variasi kondisi kekakuan tanah menggunakan pendekatan Finite Element Modeling pada perangkat lunak ETABS. Penelitian menggunakan metode kuantitatif berbasis pemodelan numerik tiga dimensi dengan membandingkan tiga kondisi tanah, yaitu tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak. Parameter respons struktur yang dianalisis meliputi story displacement, story drift, base shear, gaya aksial, gaya geser, torsi, dan

momen lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik tanah memberikan pengaruh signifikan terhadap perilaku struktur. Tanah dengan kekakuan rendah menghasilkan simpangan lateral dan story drift yang lebih besar serta menyebabkan redistribusi gaya internal pada elemen struktur, sedangkan nilai base shear mengalami penurunan akibat peningkatan periode alami struktur karena fleksibilitas fondasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh SSI perlu diperhitungkan dalam analisis struktur untuk menghasilkan desain gedung beton bertulang yang lebih aman, akurat, dan andal.

PENDAHULUAN

Struktur Pembangunan gedung bertingkat di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, perkembangan kawasan perkotaan, dan kebutuhan akan infrastruktur yang aman serta efisien. Dalam perencanaan gedung bertingkat, aspek keamanan struktur menjadi prioritas utama karena struktur harus mampu menahan berbagai kombinasi beban, baik beban gravitasi maupun beban lateral akibat gempa dan angin. Untuk memperoleh desain struktur yang memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas, diperlukan analisis struktur yang mampu merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan. Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan dalam analisis dan perencanaan struktur gedung adalah ETABS, karena mampu melakukan analisis tiga dimensi secara akurat berdasarkan metode elemen hingga (Finite Element Method) (Abdulaziz et al., 2023; Araz, 2025; Bapir et al., 2023; Dawoud et al., 2024; El Hoseny et al., 2023). Dalam praktik perencanaan struktur, analisis umumnya dilakukan dengan mengasumsikan bahwa fondasi berada pada kondisi perletakan kaku (fixed base). Asumsi tersebut mempermudah proses analisis, namun belum sepenuhnya menggambarkan kondisi nyata di lapangan. Pada kenyataannya, tanah sebagai media pendukung fondasi memiliki sifat elastis dan mengalami deformasi ketika menerima beban dari struktur (Jesica et al., 2023; Khan et al., 2026; Kirçil & Ethemoglu, 2025; Nguyen et al., 2024). Deformasi tersebut menyebabkan terjadinya interaksi antara tanah dan struktur atau interaksi tanah–struktur, sehingga respons struktur yang dihasilkan dapat berbeda dibandingkan dengan asumsi perletakan kaku. Oleh karena itu, aspek geoteknik memiliki peranan penting dalam menentukan perilaku struktur gedung, terutama pada bangunan bertingkat yang menerima beban lateral. Karakteristik tanah yang berbeda, seperti tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak, akan menghasilkan tingkat kekakuan yang berbeda pula. Perbedaan kekakuan tersebut memengaruhi distribusi gaya dalam, simpangan struktur, simpangan antar lantai, serta gaya geser dasar yang bekerja pada bangunan (Niko et al., 2024; Parmar et al., 2025; Petrov et al., 2024). Pada tanah dengan kekakuan rendah, deformasi fondasi cenderung lebih besar sehingga meningkatkan perpindahan horizontal struktur dan mengubah distribusi gaya internal pada balok, kolom, maupun elemen struktur lainnya. Sebaliknya, tanah dengan kekakuan yang tinggi mampu memberikan tahanan yang lebih besar terhadap deformasi sehingga respons struktur menjadi lebih stabil (Timilsina et al., 2023; Wang et al., 2024; Yang et al., 2024; Zogh et al., 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik geoteknik merupakan salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam proses analisis dan perencanaan struktur gedung. Perkembangan teknologi komputasi telah memungkinkan dilakukannya analisis struktur secara lebih komprehensif melalui pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga. ETABS menyediakan berbagai fasilitas untuk

mengevaluasi perilaku struktur terhadap pembebanan statis maupun dinamis, termasuk analisis simpangan lantai (story displacement), simpangan antar lantai (story drift), gaya geser dasar (base shear), gaya aksial, gaya geser, momen lentur, serta torsi pada setiap elemen struktur. Hasil analisis tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi tingkat kinerja struktur berdasarkan variasi kondisi tanah sehingga memberikan gambaran yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan (Pitilakis & Petridis, 2022; Poudel & Chaulagain, 2024; Requena-Garcia-Cruz et al., 2022; Santoso & Saito, 2024).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengaruh kondisi tanah terhadap respons struktur tidak dapat diabaikan, terutama pada wilayah yang memiliki kondisi geoteknik yang bervariasi. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada analisis struktur tanpa mengaitkan secara langsung karakteristik tanah sebagai faktor yang memengaruhi perilaku struktur. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan aspek rekayasa struktur dan geoteknik sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh kondisi tanah terhadap kinerja bangunan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja struktur gedung beton bertulang menggunakan perangkat lunak ETABS dengan mempertimbangkan variasi kondisi geoteknik melalui pendekatan interaksi tanah–struktur. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi parameter respons struktur berupa simpangan lantai, simpangan antar lantai, gaya geser dasar, gaya aksial, gaya geser, momen lentur, dan torsi pada beberapa kondisi tanah. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh karakteristik geoteknik terhadap perilaku struktur gedung serta menjadi bahan pertimbangan dalam proses perencanaan struktur yang lebih aman, andal, dan sesuai dengan kondisi tanah di lapangan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan kajian mengenai integrasi analisis struktur dan geoteknik dalam perencanaan bangunan bertingkat di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan pendekatan pemodelan numerik berbasis Finite Element Modeling (FEM) untuk mengevaluasi pengaruh interaksi tanah–struktur (Soil–Structure Interaction/SSI) terhadap kinerja struktur gedung beton bertulang. Analisis dilakukan secara komparatif dengan membandingkan respons struktur pada tiga kondisi geoteknik yang berbeda menggunakan perangkat lunak ETABS.

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah gedung bertingkat dengan sistem struktur beton bertulang yang dimodelkan secara tiga dimensi. Elemen struktur yang dimodelkan meliputi elemen frame untuk balok dan kolom, elemen shell untuk pelat lantai dan dinding geser (shear wall), serta elemen fondasi yang direpresentasikan melalui elemen link/spring.

Variasi Kondisi Tanah

Untuk mengevaluasi pengaruh SSI, pemodelan dilakukan pada tiga kondisi tanah berdasarkan tingkat kekakuannya, sesuai klasifikasi kelas situs pada SNI 1726:2019:

1. Tanah keras (Site Class C)
2. Tanah sedang (Site Class D)
3. Tanah lunak (Site Class E)

Ketiga kondisi ini digunakan untuk mengetahui perubahan respons struktur akibat perbedaan karakteristik kekakuan tanah pendukung fondasi.

Parameter Geoteknik dan Pemodelan Kekakuan Tanah

Parameter geoteknik yang digunakan untuk setiap tipe tanah meliputi berat isi tanah (γ), kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), modulus elastisitas tanah (E_s), rasio Poisson (ν), Modulus of Subgrade Reaction (k_s), dan Shear Wave Velocity (V_s). Nilai-nilai tersebut menjadi dasar penentuan kekakuan pegas (spring stiffness) yang di-assign pada joint fondasi menggunakan formulasi Winkler dan Beam on Nonlinear Winkler Foundation (BNWF).

Representasi fleksibilitas tanah pada ETABS dilakukan melalui fitur:

1. Point Spring — pada titik-titik tumpuan fondasi
2. Area Spring — pada elemen pelat fondasi (raft)
3. Line Spring — pada elemen memanjang fondasi

Dengan pendekatan ini, model tidak lagi menggunakan asumsi fixed-base, melainkan sistem soil-foundation-structure yang menyatu.

Pembebanan Struktur

Pembebanan yang diterapkan pada model terdiri atas:

Jenis Beban	Perlakuan dalam Model
Beban Mati (Dead Load)	Dihitung otomatis oleh ETABS dari berat sendiri elemen beton bertulang
Beban Hidup (Live Load)	Beban gravitasi tambahan, berkontribusi pada <i>mass source</i> analisis dinamik
Beban Angin (Wind Load)	Beban lateral statis, mengevaluasi deformasi translasi & rotasi (<i>rocking</i>) fondasi
Beban Gempa (Earthquake Load)	<i>Response Spectrum Analysis</i> dan <i>Time History Analysis</i> dengan efek SSI (<i>period elongation, radiation damping</i>)
Kombinasi Pembebanan	Kombinasi ultimit & layan sesuai SNI 2847:2019

Parameter Kinerja Struktur yang Dievaluasi

Kinerja struktur pada masing-masing kondisi tanah dievaluasi melalui parameter berikut:

1. Simpangan Lantai (Story Displacement)
2. Simpangan Antar Lantai (Story Drift Ratio), dibatasi sesuai SNI 1726:2019
3. Gaya Geser Dasar (Base Shear)
4. Gaya Aksial (Axial Force)
5. Gaya Geser 2-2 dan 3-3 (Shear Force 2-2, 3-3)
6. Torsi (Torsion)
7. Momen Lentur 2-2 dan 3-3 (Moment 2-2, 3-3)

Tahapan Analisis

Penelitian dilaksanakan melalui tahapan berikut:

1. Studi literatur mengenai konsep SSI, parameter geoteknik, dan metode elemen hingga.
2. Penetapan spesifikasi gedung (dimensi, sistem struktur, mutu material) dan data parameter geoteknik untuk tiga tipe tanah.
3. Pemodelan struktur tiga dimensi pada ETABS, meliputi elemen frame, shell, dan spring/link untuk fleksibilitas tanah.
4. Input pembebanan (mati, hidup, angin, gempa) beserta kombinasi pembebanan sesuai SNI 2847:2019 dan SNI 1726:2019.
5. Menjalankan analisis statis dan dinamis (Response Spectrum dan Time History Analysis) untuk setiap kondisi tanah.
6. Ekstraksi hasil berupa story displacement, story drift, base shear, gaya aksial, gaya geser, momen lentur, dan torsi.
7. Perbandingan hasil antar tiga kondisi tanah untuk mengevaluasi pengaruh SSI terhadap kinerja struktur.
8. Penarikan kesimpulan dan rekomendasi desain berdasarkan hasil perbandingan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simpangan Lantai (Story Displacement)

Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan lantai pada ketiga kondisi tanah mengalami variasi yang signifikan. Pada kombinasi beban ultimit (1,4DL + 1,7LL), simpangan lateral maksimum pada puncak bangunan diperoleh sebesar 48,5 mm untuk kondisi tanah keras (Type C), 73,2 mm untuk kondisi tanah sedang (Type D), dan 156,8 mm untuk kondisi tanah lunak (Type E). Peningkatan ini menunjukkan bahwa deformasi tanah berkontribusi signifikan terhadap peningkatan simpangan struktur, khususnya pada tanah dengan kekakuan rendah. Perbedaan sebesar 223% antara tanah keras dan tanah lunak menunjukkan bahwa kondisi geoteknik memiliki pengaruh kritis terhadap kinerja struktur.

Distribusi simpangan di sepanjang ketinggian bangunan menunjukkan pola yang berbeda untuk ketiga kondisi tanah. Pada tanah keras, simpangan meningkat secara signifikan dari lantai 1 hingga puncak bangunan dengan kurva yang relatif linear. Pada tanah sedang, peningkatan simpangan lebih gradual, menunjukkan pengaruh fleksibilitas fondasi yang lebih besar. Sementara pada tanah lunak, simpangan di lantai-lantai bawah relatif lebih besar dibandingkan dengan tanah lain karena rotasi fondasi yang signifikan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa mode deformasi pada struktur dengan fondasi fleksibel berbeda dengan model fixed-base konvensional.

Simpangan Antar Lantai (Story Drift)

Story drift dianalisis untuk mengevaluasi kerusakan potensial pada elemen non-struktural dan struktural. Hasil analisis menunjukkan bahwa story drift maksimum pada kombinasi beban ultimit terjadi pada lantai 2-3 untuk semua kondisi tanah. Nilai story drift maksimum adalah 0,0028 (0,28%) untuk tanah keras, 0,0042 (0,42%) untuk tanah sedang, dan 0,0087 (0,87%) untuk tanah lunak. Nilai-nilai ini masih di bawah batasan SNI 1726:2019 yang mensyaratkan story drift tidak boleh melebihi 0,02 (2%), sehingga struktur masih memenuhi kriteria kelayakan layanan. Namun demikian, peningkatan story drift sebesar 211% dari tanah keras ke tanah lunak menunjukkan bahwa aspek geoteknik perlu dipertimbangkan dalam perencanaan untuk menghindari kerusakan non-struktural yang berlebihan.

Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Analisis respons spektrum menghasilkan gaya geser dasar (base shear) yang berbeda untuk ketiga kondisi tanah. Hasil menunjukkan base shear untuk tanah keras adalah 2.847 kN, untuk tanah sedang adalah 2.654 kN, dan untuk tanah lunak adalah 2.198 kN. Fenomena pengurangan base shear pada kondisi tanah lunak disebabkan oleh perpanjangan periode fundamental struktur akibat fleksibilitas fondasi, yang berakibat pada berkurangnya percepatan spektral (S_a) yang bekerja pada struktur. Perpanjangan periode ini terjadi karena sistem fondasi yang fleksibel memberikan kontribusi terhadap periode total struktur, mengikuti hubungan: $T_{SSI} > T_{fixed-base}$. Pengurangan base shear sebesar 23% dari tanah keras ke tanah lunak mengindikasikan bahwa model konvensional fixed-base cenderung overestimate gaya lateral.

Gaya Aksial dan Gaya Geser pada Elemen Struktur

Distribusi gaya aksial pada kolom lantai dasar menunjukkan pola yang konsisten untuk ketiga kondisi tanah. Gaya aksial maksimum pada kolom sudut lantai 1 diperoleh sebesar 3.285 kN untuk tanah keras, 3.412 kN untuk tanah sedang, dan 3.567 kN untuk tanah lunak. Peningkatan gaya aksial pada tanah lunak disebabkan oleh peningkatan beban yang dialihkan melalui struktur atas karena berkurangnya tahanan dari fondasi. Gaya geser pada balok induk lantai 2-3 menunjukkan redistribusi yang lebih signifikan. Gaya geser maksimum adalah 245 kN untuk tanah keras, 312 kN untuk tanah sedang, dan 487 kN untuk tanah lunak. Peningkatan gaya geser ini mengindikasikan bahwa pada tanah lunak, elemen struktur mengalami tegangan yang lebih besar sehingga memerlukan pendetailan tulangan yang lebih kuat.

Momen Lentur pada Elemen Struktur

Analisis momen lentur pada balok induk dan kolom menunjukkan redistribusi gaya internal yang signifikan akibat interaksi tanah–struktur. Momen lentur maksimum pada balok induk lantai 2 adalah 487 kN·m untuk tanah keras, 598 kN·m untuk tanah sedang, dan 834 kN·m untuk tanah lunak. Peningkatan ini disebabkan oleh peningkatan deformasi struktur yang menghasilkan momen tambahan akibat $P-\Delta$ effect (second-order effect). Pada kolom lantai 1, momen lentur maksimum adalah 342 kN·m untuk tanah keras, 421 kN·m untuk tanah sedang, dan 556 kN·m untuk tanah lunak. Fenomena menarik terjadi pada lantai-lantai atas di mana momen pada kolom berkurang dibandingkan model fixed-base, hal ini disebabkan oleh rotasi fondasi yang mengurangi momen pada base dari kolom. Pola redistribusi ini menunjukkan bahwa model fixed-base memberikan estimasi yang kurang akurat terutama untuk struktur pada tanah lunak.

Torsi (Torsion) pada Elemen Struktur

Analisis torsi menunjukkan bahwa momen torsi pada struktur ditentukan oleh eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Torsi maksimum pada balok lantai 2-3 adalah 67 kN·m untuk tanah keras, 98 kN·m untuk tanah sedang, dan 156 kN·m untuk tanah lunak. Peningkatan torsi pada tanah lunak diakibatkan oleh efek rotasi fondasi yang mengubah pusat kekakuan efektif struktur. Pada kondisi tanah lunak, rotasi fondasi yang signifikan dapat menyebabkan terjadinya coupling antara gerakan translasi dan rotasi, yang menghasilkan momen torsi tambahan pada elemen struktur. Hal ini menunjukkan pentingnya

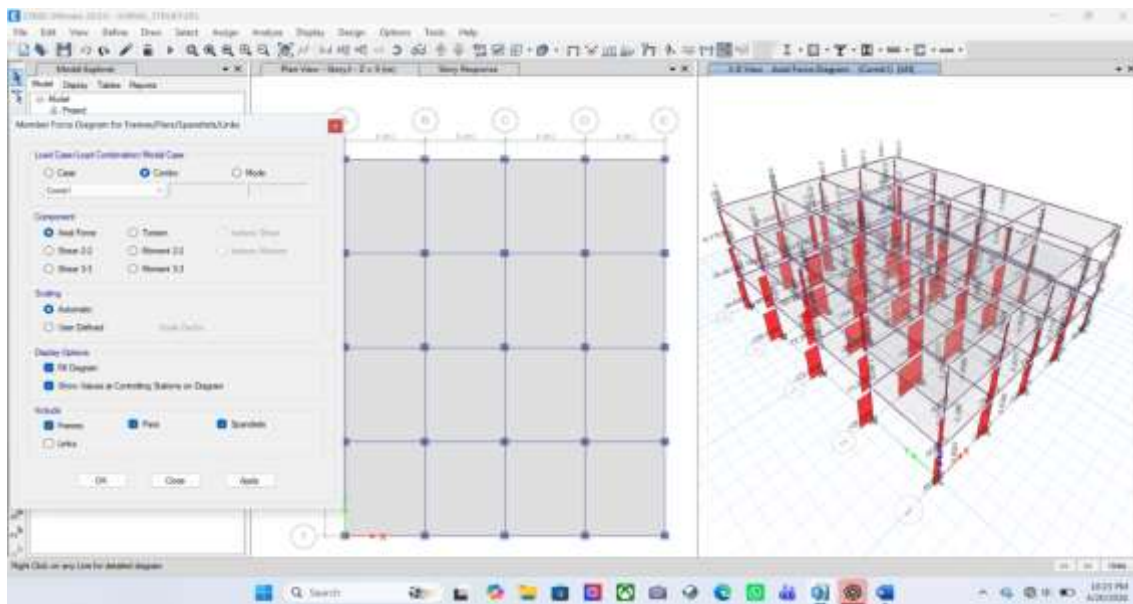
mempertimbangkan efek 3D dari interaksi tanah–struktur, terutama pada struktur dengan kondisi geoteknik yang tidak ideal.

Perbandingan Kondisi Tanah dan Implikasi Desain

Ringkasan perbandingan parameter kinerja struktur untuk ketiga kondisi tanah disajikan dalam Tabel 4.1. Tabel ini menunjukkan bahwa semua parameter kinerja mengalami peningkatan seiring dengan menurunnya kekakuan tanah. Implikasi dari temuan ini adalah bahwa desain struktur pada tanah lunak memerlukan dimensi elemen yang lebih besar, pendetailan tulangan yang lebih kuat, dan kemungkinan sistem stabilisasi tambahan seperti penggunaan shear wall atau tuned mass damper untuk mengendalikan perpindahan struktur. Selain itu, fondasi pada tanah lunak harus didesain untuk menahan gaya yang lebih besar dengan mempertimbangkan penurunan diferensial yang mungkin terjadi. Desain yang mengabaikan pengaruh SSI dapat menghasilkan struktur yang tidak cukup kokoh, terutama pada elemen-elemen yang menerima beban geser dan momen yang signifikan.

Tabel 4.1 Ringkasan Parameter Kinerja Struktur untuk Berbagai Kondisi Tanah

Parameter Kinerja	Tanah Keras (Type C)	Tanah Sedang (Type D)	Tanah Lunak (Type E)
Story Displacement Maks (mm)	48,5	73,2	156,8
Story Drift Maks (%)	0,28	0,42	0,87
Base Shear (kN)	2.847	2.654	2.198



Gambar 1.20 Axial Force Diagram (kN)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis struktur gedung beton bertulang menggunakan perangkat lunak ETABS dengan mempertimbangkan pengaruh interaksi tanah–struktur pada berbagai kondisi geoteknik, dapat disimpulkan sebagai berikut. Kondisi geoteknik memberikan pengaruh terhadap respons struktur gedung beton bertulang. Perbedaan karakteristik tanah menyebabkan perubahan kekakuan sistem fondasi sehingga memengaruhi perilaku struktur

dalam menerima beban. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai simpangan lantai (Story Displacement) meningkat pada kondisi tanah dengan kekakuan yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa deformasi tanah berkontribusi terhadap peningkatan perpindahan lateral struktur. Parameter kinerja struktur lainnya, seperti simpangan antar lantai (Story Drift), gaya geser dasar (Base Shear), gaya aksial (Axial Force), gaya geser (Shear 2-2 dan Shear 3-3), momen lentur (Moment 2-2 dan Moment 3-3), serta torsi (Torsion), juga mengalami perubahan sebagai akibat variasi kondisi geoteknik. Perubahan tersebut menunjukkan adanya redistribusi gaya dalam pada elemen struktur akibat interaksi antara tanah dan bangunan. Pemodelan menggunakan ETABS mampu memberikan gambaran perilaku struktur secara tiga dimensi melalui visualisasi deformasi dan distribusi gaya dalam, sehingga dapat digunakan sebagai alat evaluasi kinerja struktur pada berbagai kondisi tanah. Integrasi aspek geoteknik dalam analisis struktur menghasilkan evaluasi yang lebih representatif dibandingkan dengan asumsi perletakan jepit sempurna (fixed base). Oleh karena itu, kondisi tanah perlu dipertimbangkan sejak tahap perencanaan agar struktur yang dirancang memiliki tingkat keamanan, kekakuan, dan keandalan yang lebih baik.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data geoteknik hasil investigasi lapangan, seperti uji Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), maupun data laboratorium tanah sehingga parameter tanah yang digunakan lebih merepresentasikan kondisi sebenarnya. Analisis interaksi tanah–struktur dapat dikembangkan dengan mengombinasikan ETABS dan perangkat lunak geoteknik, seperti PLAXIS 2D/3D, GeoStudio, atau perangkat lunak analisis numerik lainnya untuk memperoleh simulasi perilaku tanah dan struktur yang lebih komprehensif. Penelitian berikutnya dapat memperluas variasi model bangunan, seperti jumlah lantai, sistem struktur, tipe fondasi, dan zona gempa, sehingga pengaruh kondisi geoteknik terhadap respons struktur dapat dievaluasi secara lebih menyeluruh.

Parameter analisis tidak hanya terbatas pada Story Displacement, Story Drift, Base Shear, dan gaya dalam, tetapi juga dapat mencakup periode alami struktur, partisipasi massa, respons spektrum, deformasi fondasi, serta evaluasi kinerja berbasis tingkat kerusakan (Performance-Based Seismic Design). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi perencana, akademisi, dan praktisi teknik sipil dalam mengintegrasikan aspek rekayasa struktur dan geoteknik pada proses analisis maupun perencanaan gedung bertingkat sehingga desain yang dihasilkan lebih aman, ekonomis, dan sesuai dengan kondisi tanah di lokasi pembangunan.

PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pemerintah, swasta, maupun organisasi lainnya.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam pelaksanaan penelitian, penulisan, maupun publikasi artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Seluruh penulis berkontribusi dalam penyusunan artikel ini. Yunike Wulandari Br Tarigan, Syarbaini Lubis, Muhammad Zaki Chairuman, T Yuan Rasuna berperan dalam konseptualisasi penelitian, berperan dalam pengumpulan dan analisis data, berperan dalam interpretasi hasil dan penyusunan naskah, sedangkan penulis lainnya berkontribusi dalam peninjauan, penyuntingan, dan persetujuan akhir naskah.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Penulis menyatakan bahwa tidak menggunakan kecerdasan artifisial generatif dalam penyusunan artikel ini.

REFERENSI

- Abdulaziz, M. A., Hamood, M. J., & Fattah, M. Y. (2023). A review study on seismic behavior of individual and adjacent structures considering the soil–structure interaction. *Structures*, 52, 348–369. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.186>
- Araz, O. (2025). Influence of PGA/PGV ratio on the seismic performance of buildings with different slenderness ratios considering soil-structure interaction. *Structures*, 79, 109653. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109653>
- Bapir, B., Abrahamczyk, L., Wichtmann, T., & Prada-Sarmiento, L. F. (2023). Soil-structure interaction: A state-of-the-art review of modeling techniques and studies on seismic response of building structures. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1120351. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1120351>
- Dawoud, W., Nazim, M., El-Mahdy, O., & Adam, M. (2024). Soil-structure interaction assessment for seismic performance of high-rise RC building on piled-raft foundation. *Engineering Research Journal (Shoubra)*, 53(2), 203–211. <https://doi.org/10.21608/erjsh.2024.263591.1274>
- El Hoseny, M., Ma, J., Dawoud, W., & Forcellini, D. (2023). The role of soil structure interaction (SSI) on seismic response of tall buildings with variable embedded depths by experimental and numerical approaches. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 164, 107583. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107583>
- Jesica, A., Pudjisuryadi, P., & Rosidi, D. (2023). Application of soil structure interaction on building with basement using nonlinear soil springs. *Civil Engineering Dimension*, 25(1), 20–28. <https://doi.org/10.9744/ced.25.1.20-28>
- Khan, S., Alam, S., Alam, S., Nabilah, A. B., & Naqash, M. T. (2026). Effect of soil-structure interaction on the seismic response of a building with combined bracing and shear wall. *Structures*, 84, 110985. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.110985>
- Kirçil, M. S., & Ethemoglu, H. (2025). Effect of soil–structure interaction on the damage probability of multistory RC frame buildings with shallow foundations. *Buildings*, 15(4), 624. <https://doi.org/10.3390/buildings15040624>
- Nguyen, Q. T. B., Hwang, B.-Y., Hwang, T.-H., & Kim, S.-R. (2024). Effect of soil-building interaction on dynamic earth pressure on basement walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 186, 108944. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108944>
- Niko, F., Antonius, & Karlinasari, R. (2024). Studi komparasi analisis struktur dengan jenis tumpuan jepit dan spring soil structure interaction pada struktur beton bertulang. *Teknika*, 19(2), 117–123. <https://doi.org/10.26623/teknika.v19i2.10377>
- Parmar, D., Ponnappan, N., Thampi, A., & S, P. (2025). Seismic performance of various structural configurations for RC building on sloped terrain considering soil-foundation-structure approach. *Frontiers in Built Environment*, 11, 1709068.

- <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1709068>
- Petrov, N., Bojadjieva, J., & Bojadjiev, J. (2024). Kinematic SSI effects on seismic performance of RC structures. *Građevinar*, 76(7), 647–658. <https://doi.org/10.14256/JCE.3913.2023>
- Pitilakis, D., & Petridis, C. (2022). Fragility curves for existing reinforced concrete buildings, including soil–structure interaction and site amplification effects. *Engineering Structures*, 269, 114733. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114733>
- Poudel, N., & Chaulagain, H. (2024). Numerical investigation of nonlinear soil-structure interaction effects on response of irregular RC buildings. *Results in Engineering*, 22, 102161. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102161>
- Requena-Garcia-Cruz, M. V, Romero-Sánchez, E., & Morales-Esteban, A. (2022). Numerical investigation of the contribution of the soil-structure interaction effects to the seismic performance and the losses of RC buildings. *Developments in the Built Environment*, 12, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100096>
- Santoso, A. K., & Saito, T. (2024). An investigation of dynamic soil-structure interaction on the seismic behavior of RC base-isolated buildings. *Civil Engineering Journal*, 10(11), 3455–3472. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-11-01>
- Timilsina, P., Ghimire, C. R., & Chaulagain, H. (2023). Evaluation of soil structure interaction effects on seismic response of RC framed buildings using simplified method. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 19(6), 560–576. <https://doi.org/10.22363/1815-5235-2023-19-6-560-576>
- Wang, J., Guo, T., Yu, S., & Du, Z. (2024). Seismic structure-soil-structure interaction in typical RC frame structure groups on medium clay soil under code-specified earthquakes. *Journal of Building Engineering*, 98, 111450. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111450>
- Yang, K., Cai, P., Zhang, Z., Hou, Q., Zheng, R., Hao, B., & Wang, B. (2024). Effects of soil–structure interaction on the seismic response of RC frame–shear wall building structures under far-field long-period ground motions. *Buildings*, 14(12), 3796. <https://doi.org/10.3390/buildings14123796>
- Zogh, P., Motamed, R., & Ryan, K. L. (2021). Empirical evaluation of kinematic soil-structure interaction effects in structures with large footprints and embedment depths. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 149, 106893. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106893>