JURNAL TEKNIK INDONESIA - VOL. 07 NO. 02 (Oktober 2026)
P-ISSN 2987-2723
E-ISSN 1987-0933

Analisis Kinerja Struktur Gedung Laboratorium Kesehatan Daerah di Salatiga Terhadap Beban Gempa

Afifatul Askha, Trenggana Indra Pambudi Nuswantara, Agung Hari Wibowo, Tenardhy Aryarama Wijaya
Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman
E-mail Korespondensi: afifatulaskha@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia has a significant seismic hazard because of its tectonic setting. This study evaluates the seismic response of a three-storey Health Laboratory building in Salatiga and assesses the adequacy of its minipile foundation. A three-dimensional structural model was developed in SAP2000 using response spectrum analysis in accordance with SNI 1726:2019, while foundation behavior was evaluated using SPT data, Meyerhof-based bearing-capacity calculations, and AllPile. The seismic parameters adopted for Salatiga were Ss = 0.9521 and S1 = 0.4236, with site class SD and Seismic Design Category C. The Intermediate Moment Resisting Frame system was used with response modification factor R = 5. The cumulative mass participation from 12 modes exceeded 90%, and the interstory drifts remained below the 100 mm allowable limit. The proposed foundation consists of 300 × 300 mm minipiles with a length of 4 m. AllPile produced group capacities of 2688.894 kN, 1918.7 kN, and 1659.1 kN for corner, edge, and interior columns, respectively. Settlement remained below the 25 mm allowable value. Overall, the evaluated structural and foundation systems satisfied the applicable safety criteria.

Keywords: *seismic response; SAP2000; response spectrum; minipile; AllPile*

ABSTRAK

Indonesia memiliki tingkat ancaman gempa yang cukup tinggi sehingga aspek ketahanan seismik perlu diperhatikan pada bangunan dengan fungsi strategis, termasuk laboratorium kesehatan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi respons struktur gedung Laboratorium Kesehatan Daerah tiga lantai di Salatiga terhadap beban gempa sekaligus menilai kelayakan pondasi minipile yang digunakan. Analisis struktur dilakukan dengan pemodelan tiga dimensi pada SAP2000 menggunakan metode respons spektrum sesuai SNI 1726:2019. Analisis pondasi memanfaatkan data SPT, pendekatan Meyerhof untuk kapasitas dukung, dan perangkat lunak AllPile. Parameter gempa yang digunakan adalah Ss = 0,9521 dan S1 = 0,4236 dengan kelas situs SD serta Kategori Desain Seismik C. Struktur menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah dengan faktor reduksi gempa R = 5. Partisipasi massa kumulatif dari 12 mode telah melampaui 90% dan simpangan antar lantai berada di bawah batas 100 mm. Pondasi yang ditinjau berupa minipile 300 × 300 mm dengan panjang 4 m. Kapasitas kelompok tiang hasil AllPile mencapai 2688,894 kN pada kolom sudut, 1918,7 kN pada kolom tepi, dan 1659,1 kN pada kolom tengah. Penurunan seluruh kelompok tiang berada di bawah batas izin 25 mm. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa struktur atas dan pondasi yang direncanakan memenuhi kriteria keamanan yang digunakan.

Kata Kunci: beban gempa; SAP2000; respons spektrum; minipile; AllPile

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia berada pada lingkungan tektonik aktif sehingga kejadian gempa merupakan salah satu kondisi pembebanan yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur. Getaran tanah akibat gempa dapat menghasilkan respons dinamis pada bangunan dan memicu deformasi maupun kerusakan apabila kapasitas serta daktilitas struktur tidak memadai [1], [2]. Oleh sebab itu, bangunan bertingkat harus dievaluasi dengan mempertimbangkan massa, kekakuan, konfigurasi struktur, karakteristik tanah, dan

Jurnal Teknik Indonesia by Fakultas Teknik Undaris
is licensed under Creative Commons Attribution 4.0

sistem penahan gaya lateral.

Laboratorium kesehatan memiliki fungsi penting karena mendukung kegiatan pemeriksaan dan pelayanan kesehatan. Bangunan dengan fungsi tersebut perlu memiliki tingkat keandalan yang memadai agar tidak mengalami keruntuhan ketika terjadi gempa. Objek penelitian merupakan gedung Laboratorium Kesehatan Daerah di Salatiga yang terdiri atas tiga lantai dengan struktur utama beton bertulang. Respons struktur dianalisis menggunakan SAP2000 dan metode respons spektrum, sedangkan pondasi ditinjau menggunakan data Standard Penetration Test (SPT) serta analisis AllPile.

Permasalahan penelitian meliputi penentuan parameter gempa dan respons struktur, pemeriksaan kecukupan gaya geser dasar serta simpangan antar lantai, dan evaluasi pondasi terhadap beban aksial, lateral, dan momen. Tujuan penelitian adalah memperoleh gambaran kuantitatif mengenai perilaku struktur terhadap beban gempa dan memastikan pondasi mampu meneruskan beban secara aman ke tanah pendukung. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi akademik dan bahan evaluasi teknis untuk bangunan beton bertulang bertingkat rendah pada kondisi seismik yang sebanding.

LANDASAN TEORI

Gempa bumi diperlakukan sebagai aksi dinamis karena percepatan tanah menyebabkan gaya inersia pada massa bangunan. Respons struktur ditentukan oleh karakteristik massa dan kekakuan serta sifat getaran alaminya [1]. Dalam desain tahan gempa, sasaran utama bukan selalu mempertahankan struktur tetap elastis pada gempa kuat, melainkan mengendalikan kerusakan dan mencegah keruntuhan total. Konsep daktilitas penting karena struktur yang mampu mengalami deformasi pasca-leleh secara terkendali dapat menyerap energi gempa dengan lebih baik [1], [2].

SNI 1726:2019 digunakan sebagai dasar penentuan parameter seismik, kategori risiko, sistem struktur, serta pemeriksaan respons bangunan [3]. Parameter percepatan batuan dasar yang digunakan adalah Ss untuk periode pendek dan S1 untuk periode 1 detik. Penelitian ini menggunakan Ss = 0,9521 dan S1 = 0,4236 dengan kelas situs SD. Hasil penentuan menempatkan bangunan pada Kategori Desain Seismik C dan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dengan R = 5.

Analisis respons spektrum mempertimbangkan sejumlah mode getar struktur. Respons masing-masing mode kemudian dikombinasikan untuk memperoleh respons total. Metode ini dapat

digunakan untuk mengevaluasi periode getar, partisipasi massa, gaya geser dasar, gaya dalam, dan simpangan antar lantai. Karena terdapat mode dengan periode yang berdekatan, kombinasi Complete Quadratic Combination (CQC) digunakan untuk memperhitungkan korelasi antar-ragam [1], [3].

Pada sisi geoteknik, pondasi harus mampu menyalurkan gaya dari struktur ke tanah tanpa mengalami kegagalan kapasitas maupun penurunan yang melampaui batas. Data N-SPT digunakan sebagai dasar penilaian kondisi lapisan tanah dan estimasi kapasitas dukung. Kapasitas aksial tiang dihitung dari kontribusi daya dukung ujung dan gesekan selimut, sedangkan kelompok tiang dievaluasi dengan memperhatikan efisiensi kelompok [6], [7]. Kontrol geoteknik dan struktural mengacu pada SNI 8460:2017 dan SNI 2847:2019 [4], [5].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan analisis kuantitatif terhadap satu objek, yaitu gedung Laboratorium Kesehatan Daerah di Salatiga. Data struktur dan data tanah diambil dari dokumen perencanaan yang menjadi dasar Tugas Akhir. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, penentuan parameter gempa, pemodelan struktur tiga dimensi, pembebanan, analisis respons spektrum, pemeriksaan respons struktur, pengambilan reaksi tumpuan, analisis kapasitas pondasi, kontrol penurunan dan lateral, serta evaluasi pile cap.

Pemodelan struktur dilakukan pada SAP2000 dengan memasukkan geometri bangunan, dimensi elemen, material, kondisi tumpuan, dan pola beban. Beban yang dipertimbangkan terdiri atas beban mati, beban hidup, dan beban gempa respons spektrum. Kombinasi pembebanan disusun mengacu pada ketentuan yang digunakan dalam Tugas Akhir, termasuk komponen gempa arah X dan Y.

Untuk analisis pondasi, data SPT digunakan sebagai representasi kondisi lapisan tanah. Pondasi yang dipilih berupa minipile 300 × 300 mm dengan panjang 4 m. Perhitungan kapasitas aksial dilakukan dengan pendekatan Meyerhof, kemudian reaksi tumpuan SAP2000 digunakan sebagai input AllPile. Pemeriksaan mencakup kapasitas kelompok tiang, penurunan, respons lateral, dan momen lentur yang menjadi dasar evaluasi pile cap.

ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Analisis dilakukan dalam dua bagian yang saling terhubung, yaitu evaluasi struktur atas dan evaluasi sistem pondasi. Hasil SAP2000 menjadi dasar untuk menentukan kecukupan respons seismik sekaligus menyediakan reaksi tumpuan untuk tahap perencanaan pondasi.

Parameter	Nilai
Mutu beton (fc')	25 MPa
Mutu baja tulangan (fy)	420 MPa
Berat jenis beton	±25 kN/m³
Ss	0,9521
S1	0,4236
Kelas situs	SD
Kategori Desain Seismik	C
Sistem struktur	SRPMM
R	5

Parameter Gempa dan Respons Struktur

Nilai parameter percepatan batuan dasar untuk lokasi Salatiga adalah Ss = 0,9521 dan S1 = 0,4236. Dengan kelas situs SD dan kategori risiko II, faktor keutamaan gempa digunakan sebesar Ie = 1. Hasil evaluasi menempatkan bangunan pada Kategori Desain Seismik C. Sistem penahan gaya lateral dipilih berupa SRPMM dengan R = 5 [3].

Analisis modal menghasilkan dua belas mode. Periode mode pertama sebesar 0,214913 detik dan mode kedua sebesar 0,204612 detik. Sejumlah mode berikutnya mempunyai periode relatif berdekatan sehingga kombinasi CQC digunakan. Partisipasi massa kumulatif dari 12 mode telah melewati 90%, sehingga ragam yang digunakan dianggap cukup mewakili respons dinamis utama struktur.

Sebelum penskalaan, gaya geser dasar dinamis yang diperoleh sebesar 2242,382 kN pada arah X dan 2483,955 kN pada arah Y. Gaya geser dasar statis masing-masing sebesar 4395,869 kN dan 4400 kN. Karena gaya dinamis perlu memenuhi sekurang-kurangnya 85% gaya statik, diterapkan faktor skala 1,666 pada arah X dan 1,504 pada arah Y. Setelah penyesuaian, persyaratan perbandingan gaya geser dasar terpenuhi.

Mode	T (s)	ΔT (%)
1	0,214913	4,793
2	0,204612	15,643
3	0,172604	61,442
7	0,041611	2,747
8	0,040468	0,329
9	0,040335	1,892
10	0,039572	1,170
11	0,039109	2,455
12	0,038149	3,815

Pemeriksaan simpangan antar lantai menunjukkan bahwa simpangan desain pada seluruh tingkat berada di bawah batas izin 100 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa kekakuan sistem struktur yang dimodelkan masih mampu mengendalikan deformasi akibat kombinasi beban gempa yang ditinjau.

Kondisi Tanah dan Perencanaan Pondasi

Data SPT menunjukkan lapisan permukaan memiliki nilai N-SPT relatif rendah, sekitar 4, sedangkan lapisan tanah keras dengan N-SPT lebih dari 50 ditemukan pada kedalaman sekitar 4–6 m. Parameter tanah yang digunakan mencakup berat volume sekitar 17–20 kN/m³, kohesi 0–220 kPa, dan sudut geser dalam 5°–40°. Kondisi ini menjadi dasar pemilihan pondasi dalam agar beban struktur dapat diteruskan

menuju lapisan pendukung yang lebih kuat.

Minipile 300 × 300 mm dengan panjang 4 m dipilih sebagai alternatif pondasi. Beban aksial, lateral, dan momen pada kelompok tiang ditentukan berdasarkan reaksi tumpuan SAP2000. Data tanah dan beban kemudian dimasukkan ke AllPile untuk mengevaluasi kapasitas kelompok, penurunan, dan respons lateral.

Lokasi kolom	Kapasitas kelompok (kN)	Rasio	Penurunan (cm)
Sudut	2688,894	3,281	0,05004
Tepi	1918,700	1,9187	0,10188
Tengah	1659,100	1,6591	0,12546

Hasil AllPile menunjukkan kapasitas kelompok tiang pada kolom sudut sebesar 2688,894 kN, kolom tepi 1918,7 kN, dan kolom tengah 1659,1 kN. Seluruh rasio kapasitas lebih besar dari satu sehingga kapasitas pondasi lebih tinggi dibandingkan tuntutan beban yang ditinjau.

Penurunan yang diperoleh sebesar 0,05004 cm pada kolom sudut, 0,10188 cm pada kolom tepi, dan 0,12546 cm pada kolom tengah. Nilai tersebut jauh lebih kecil daripada batas izin 2,5 cm atau 25 mm, sehingga kriteria penurunan terpenuhi [4].

Evaluasi lateral menghasilkan momen retak sebesar 4,06 ton.m pada kolom sudut, 3,32 ton.m pada kolom tepi, dan 2,22 ton.m pada kolom tengah. Nilai tersebut digunakan dalam evaluasi elemen pile cap dan penulangan. Perencanaan pile cap menggunakan pendekatan Strut and Tie Model, sedangkan kontrol elemen beton bertulang mengacu pada SNI 2847:2019 [5].

Pembahasan

Hasil analisis memperlihatkan keterkaitan langsung antara respons struktur atas dan kebutuhan pondasi. Beban gempa meningkatkan tuntutan gaya lateral dan momen pada struktur serta pondasi. Karena itu, evaluasi pondasi tidak cukup hanya berdasarkan beban gravitasi; reaksi tumpuan dari analisis seismik perlu diteruskan sebagai input untuk pemeriksaan pondasi. Pendekatan tersebut diterapkan melalui integrasi SAP2000 dan AllPile.

Penggunaan respons spektrum dan kombinasi CQC memberikan representasi respons dinamis yang lebih sesuai untuk model dengan beberapa ragam berdekatan. Partisipasi massa yang telah melampaui 90% menunjukkan bahwa ragam yang diperhitungkan telah mencakup sebagian besar respons dinamis utama [1], [3].

Dari sisi pondasi, kapasitas kelompok yang lebih besar daripada tuntutan beban menunjukkan bahwa konfigurasi minipile yang ditinjau memiliki margin kapasitas. Penurunan yang jauh lebih kecil dari batas izin juga menunjukkan

bahwa settlement bukan kondisi pengendali. Walaupun demikian, hasil numerik tetap dipengaruhi kualitas data SPT, parameter tanah, dan asumsi model interaksi tanah-tiang sehingga verifikasi lapangan tetap penting.

Evaluasi Keterkaitan Struktur Atas dan Pondasi

Evaluasi struktur atas menunjukkan bahwa pemilihan SRPMM masih memberikan respons yang terkendali terhadap beban gempa yang ditinjau. Hasil partisipasi massa dan pemeriksaan simpangan memberikan dua indikator penting dalam menilai kecukupan model. Partisipasi massa memastikan bahwa ragam yang digunakan telah menangkap sebagian besar respons dinamis, sedangkan pemeriksaan drift memberikan informasi mengenai tingkat deformasi relatif antar lantai. Kedua pemeriksaan tersebut perlu dipandang secara bersama karena struktur dengan kekuatan yang cukup tetap dapat mengalami masalah layanan apabila deformasinya terlalu besar.

Reaksi tumpuan yang diperoleh dari model struktur selanjutnya digunakan sebagai dasar perencanaan pondasi. Pada lokasi kolom yang memiliki tuntutan gaya lebih besar, jumlah dan susunan tiang harus mampu mendistribusikan beban secara proporsional. Dalam kajian ini, kolom sudut, tepi, dan tengah diperlakukan sebagai tiga kondisi representatif. Perbedaan kapasitas kelompok di antara ketiganya berkaitan dengan perbedaan tuntutan beban dan konfigurasi kelompok tiang. Hasil AllPile memperlihatkan bahwa ketiga kondisi tersebut tetap memiliki rasio kapasitas di atas satu.

Integrasi hasil struktur dan geoteknik juga penting untuk menghindari penilaian pondasi yang terpisah dari perilaku bangunan. Beban lateral akibat gempa dapat menghasilkan momen pada kepala tiang dan pile cap, sehingga pemeriksaan pondasi harus mempertimbangkan tidak hanya kapasitas aksial, tetapi juga respons lateral. Hasil momen retak yang diperoleh kemudian digunakan sebagai salah satu parameter dalam desain pile cap. Pendekatan ini membuat proses perencanaan lebih konsisten karena gaya yang digunakan pada pondasi berasal dari model struktur yang sama.

Pemeriksaan Elemen Pile Cap

Pile cap berfungsi menghubungkan kepala tiang dan kolom sekaligus mendistribusikan beban dari struktur atas ke kelompok tiang. Berdasarkan perhitungan pada Tugas Akhir, tinjauan kolom sudut menggunakan enam tiang dalam satu kelompok. Beban aksial ultimate kolom sebesar 819,436 kN digunakan bersama momen untuk menentukan distribusi gaya pada

setiap tiang. Hasil perhitungan menunjukkan adanya perbedaan gaya tekan dan gaya tarik pada tiang akibat pengaruh momen, sehingga distribusi reaksi tidak dapat dianggap seragam.

Perencanaan pile cap menggunakan beton dengan mutu 30 MPa dan baja tulangan dengan fy = 420 MPa pada tahap desain pile cap. Tebal pile cap yang digunakan sebesar 700 mm. Kontrol lentur menghasilkan rasio tahanan momen aktual Rn = 1,16768 yang lebih kecil daripada faktor pembatas daktilitas Rmax = 7,769531, sehingga kondisi lentur dinyatakan memenuhi. Tulangan pokok yang dipilih adalah D19-125 dengan luas tulangan terpasang 2268 mm², sedangkan tulangan bagi menggunakan D16-200. Untuk kontrol geser, digunakan tulangan D13 dengan jarak 400 mm pada arah X dan Y.

Hasil tersebut memperlihatkan bahwa pemeriksaan geoteknik dan pemeriksaan struktur pondasi memberikan keluaran yang saling mendukung. Kapasitas tanah yang memadai harus diikuti oleh kapasitas elemen beton bertulang yang cukup. Dengan demikian, kesimpulan kelayakan pondasi tidak hanya didasarkan pada nilai kapasitas dukung, tetapi juga pada kemampuan pile cap dan elemen tiang dalam menerima gaya hasil analisis.

PENUTUP

- Parameter gempa yang digunakan adalah Ss = 0,9521 dan S1 = 0,4236 dengan kelas situs SD, kategori risiko II, dan Kategori Desain Seismik C. Sistem struktur yang digunakan adalah SRPMM dengan faktor reduksi gempa R = 5.
- Analisis modal menggunakan 12 mode menghasilkan partisipasi massa kumulatif lebih dari 90%. Karena terdapat ragam dengan periode yang berdekatan, respons spektrum dikombinasikan menggunakan metode CQC.
- Setelah penerapan faktor skala 1,666 pada arah X dan 1,504 pada arah Y, pemeriksaan gaya geser dasar memenuhi VD ≥ 0,85 VS. Simpangan antar lantai seluruh tingkat juga berada di bawah batas izin 100 mm.
- Lapisan tanah keras dengan N-SPT > 50 ditemukan pada kedalaman sekitar 4–6 m, sedangkan lapisan permukaan mempunyai N-SPT sekitar 4. Kondisi ini mendukung pemilihan minipile 300 × 300 mm dengan panjang 4 m.
- Analisis AllPile menghasilkan kapasitas kelompok 2688,894 kN pada kolom sudut, 1918,7 kN pada kolom tepi, dan 1659,1 kN pada kolom tengah. Seluruh rasio kapasitas lebih besar dari satu dan penurunan berada di bawah batas izin 2,5 cm.
- Evaluasi pondasi dan pile cap berdasarkan SNI 8460:2017 serta SNI 2847:2019

menunjukkan bahwa konfigurasi yang ditinjau memenuhi kriteria keamanan dalam ruang lingkup analisis.

- Keterbatasan penelitian meliputi penggunaan data penyelidikan tanah yang tersedia, asumsi tertentu pada pemodelan struktur dan tanah, serta fokus analisis pada sistem minipile. Penelitian lanjutan dapat mempertimbangkan interaksi tanah-struktur yang lebih rinci, analisis nonlinier seperti pushover, serta validasi hasil perangkat lunak melalui perhitungan manual atau pengujian lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. K. Chopra, Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. New Jersey: Pearson Education, 2012.

[2] Widodo, Seismologi Teknik dan Rekayasa Gempa. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012.

[3] Badan Standardisasi Nasional, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019). Jakarta: BSN, 2019.

[4] Badan Standardisasi Nasional, Persyaratan Perancangan Geoteknik (SNI 8460:2017). Jakarta: BSN, 2017.

[5] Badan Standardisasi Nasional, Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019). Jakarta: BSN, 2019.

[6] J. E. Bowles, Foundation Analysis and Design. New York: McGraw-Hill, 1996.

[7] B. M. Das, Principles of Foundation Engineering. Boston: Cengage Learning, 2010.

[8] Computers and Structures Inc., SAP2000 User Manual. California: CSI Berkeley, 2020.

[9] Civiltech Software, AllPile Software Documentation. USA: Civiltech, 2018.