

NONLINEAR TIME HISTORY PADA FONDASI TIANG PANCANG DENGAN PROGRAM MIDAS GTS NX

Ardi Suryadi¹, HENDY WIJAYA², dan Amelia Yuwono³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ardi.325190040@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
hendyw@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ameliauwono@yahoo.com

Masuk: 14-01-2023, revisi: 31-03-2023, diterima untuk diterbitkan: 17-04-2023

ABSTRACT

Indonesia is a potential earthquake area. If an earthquake occurs, a wave energy appears that is emitted in all directions caused by damage or fracture of the aid. The results from the vibrations can be seen in the earthquake recording. Therefore, steps are needed to reduce and prevent casualties and damage to others, by analyzing the effects of earthquakes on the stability of the foundation buildings. One of the analyzes method that can be used is nonlinear time history analysis. Nonlinear time history analysis is method to determine the movement of the structure by giving an earthquake record to the model. The necessary data for program requires such as superstructure models, soils factor. This time history analysis was carried out with midas GTS NX which can produce displacement and internal force values due to loads from earthquake record which to be compared with one of the pile capacity brochures. Based on the 11 earthquakes' record analysis result, the loading from the x and y directions has a large displacement value and some part normal tensile force along with moment from the earthquake load exceeds the brochure capacity of the pile

Keywords: earthquake; earthquake record; time history analysis nonlinear; time history analysis; midas GTS NX

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah potensial gempa. Jika terjadi gempa, akan terlihat sebuah gelombang energi yang di pancarkan kesegala arah, hal itu diakibatkan oleh kerusakan dan patahan bantuan. Hasil getaran tersebut dapat kita liat pada rekaman suatu gempa. Oleh karena itu, dibutuhkan langkah-langkah untuk mengurangi dan mencegah terjadinya korban jiwa dan kerusakan pada lainnya, dengan cara menganalisis akibat dari gempa terhadap suatu kestabilan dari fondasi pada bangunan. Ada cara analisis yang dapat dipakai yaitu, dengan analisis riwayat waktu secara nonlinear. Analisis riwayat waktu tidak linier adalah salah satu metode untuk mengetahui pergerakan dari struktur dengan memberikan suatu rekaman gempa terhadap permodelan tersebut. Data yang diperlukan seperti parameter tanah, permodelan struktur atas dimasukan kedalam program. Analisis riwayat waktu ini dilakukan dengan midas GTS NX dengan mendapatkan suatu nilai perpindahan dan gaya dalam akibat dari beban salah satu rekaman gempa yang akan dibandingkan dengan salah satu brosur kapasitas tiang. Dari 11 rekaman gempa yang sudah dianalisis, pembebanan dari arah x dan y memiliki nilai perpindahan yang besar dan sebagian dari gaya dalam normal tarik serta momen akibat beban gempa melebihi brosur kapasitas tiang tersebut.

Kata kunci: gempa bumi; rekaman gempa; analisis riwayat waktu; analisis riwayat waktu tidak linier; midas GTS NX

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah potensial gempa, karena lokasi Indonesia ada diantara pertemuan lempeng tektonik dunia. Pertemuan lempeng-lempeng ini sehingga terjadi pengumpulan energi yang menyebabkan terjadinya suatu gempa (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2022).

Gempa bumi merupakan peristiwa yang dapat terjadi dari hasil batuan dikerak bumi yang melepaskan sejumlah energi. Biasanya gempa terjadi secara tidak diketahui dan sehabis terjadinya peristiwa tersebut akan memperlihatkan patahan. Terjadinya gempa bumi akan terlihat sebuah pancaran gelombang energi ke segala arah yang diakibatkan oleh kerusakan atau patahan bantuan. Hasil getaran akibat gempa bumi dapat kita lihat dalam rekaman gempa. Kondisi-kondisi geologi setiap tempat akan mengeluarkan hasil yang berbeda atau tidak sama (Sumantri, 2020).

Metode analisis riwayat waktu merupakan salah satu metode analisis yang dapat dilakukan dengan memakai pembebanan gempa untuk mengetahui respon dari sebuah struktur konstruksi (Tallapalem et al., 2019). Metode ini dapat dipakai untuk menganalisis suatu struktur yang tidak beraturan terhadap gempa rencana, dalam melakukan analisis memakai hasil rekaman yang diambil dari akselerogram sebagai input dari data percepatan gempa di suatu lokasi terjadinya gempa (Kevin & Barus, 2014).

Analisis *nonlinear* yaitu suatu metode memakai serangkaian rekaman gempa yang tidak boleh kurang dari 11 pasang dan harus dipilih untuk setiap target spektra. Rekaman gempa harus dipilih berdasarkan kejadian dalam rezim tektonik umum yang sama dan memiliki nilai konsisten dari magnitudo dan jarak patahan karena hal ini dapat mengendalikan target respons spektra (PT Saeti Concretindo Wahana, 2019).

Dari berbagai analisis dinamik *nonlinear* yang sudah ada, analisis dinamik riwayat waktu (*time history*) merupakan suatu analisis dinamik lengkap. Dikarenakan meniru serta merekam suatu tingkah laku sesungguhnya dari bangunan terhadap suatu rekaman percepatan tanah yang dapat berubah berdasarkan waktu (Wulandari & Ashadi, 2021). Dari hal tersebut, dapat diambil identifikasi masalah penelitian skripsi ini, yaitu bagaimana menganalisis riwayat waktu bangunan gedung yang bersifat *nonlinear* dengan menggunakan program dengan midas GTS NX.

Interaksi tanah struktur atau *soil structure interaction* merupakan respons suatu struktur yang dipengaruhi oleh interaksi struktur, fondasi, dan tanah yang mengelilingi fondasi (NIST GCR 12-917-21). Menurut FEMA 2009, SSI dikategorikan sebagai interaksi intersia, interaksi kinematic, dan fleksibilitas tanah terhadap fondasi (*soil foundation flexibility*).

Fondasi merupakan bagian dari konstruksi bangunan, bertujuan untuk meletakkan bangunan dan meneruskan beban dari bangunan atas ke dasar tanah yang dapat mendukungnya. Untuk memenuhi tujuan itu fondasi harus dihitung sehingga terjamin kestabilan bangunan akibat beban sendiri dan gaya luar, seperti tekanan angin, gempa bumi. Tidak boleh terjadi suatu penurunan fondasi setempat ataupun penurunan yang merata melebihi dari batas tertentu (Gunawan, 1991).

Fondasi tiang lebih sering dipakai karena memiliki kelebihan-kelebihan, seperti fondasi tiang memerlukan biaya awal dengan harga relatif rendah dan pembuatannya yang mudah dibuat. Untuk kelemahannya sendiri antara lain seperti daya tahannya dapat berkurang apabila terlalu kering maupun basah dan rentan terhadap kerusakan (Magar et al., 2020). Pada penelitian ini, memakai fondasi tiang, yakni tiang pancang kotak dengan ukuran 50 cm x 50 cm.

midas GTS NX merupakan suatu program elemen hingga berbasis geoteknik dengan menganalisis sebagian besar permasalahan geoteknik yang terjadi di lapangan seperti analisis statik, respons spektra, riwayat waktu, stabilitas dinamis lereng, dan interaksi tanah struktur dalam 2D dan 3D. midas GTS NX biasanya dipakai untuk menganalisis suatu pengaruh tekanan lateral maupun penurunan yang tidak seragam pada stabilitas suatu fondasi (Saini & Goyal, 2019).

Dari latar belakang seperti diatas, diambil tujuan dilakukannya penelitian skripsi ini adalah mengetahui besaran gaya reaksi yang terjadi pada tiang serta besaran displacement yang dihasilkan dari beban *nonlinear time history* yang dihasilkan melalui program dari midas GTS NX. Untuk batasan masalah penelitian ini, yaitu: data tanah dengan konsistensi lunak di Kawasan Tangerang, spesifikasi tiang memakai brosur JHS dengan dimensi penampang tiang 50 cm x 50 cm, serta permodelan bangunan struktur atas, gedung 12 lantai dengan fungsi perkantoran.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini memakai data tanah yang didapat dari suatu penurunan parameter tanah dengan konsistensi lunak dan proyek penelitian ini berlokasi di Kawasan Tangerang. Rekaman percepatan gempa diambil dari *library* midas GTS NX dan untuk permodelan struktur diambil dari penelitian Charles (2022) yang sesuai dengan dengan SNI 1726:2019.

Pada tahap pengolahan data, dilakukan pengisian data pada program seperti parameter tanah, beban yang dipakai, serta spesifikasi tanah yang telah ditentukan. Sebelum mengisi data tersebut, diperlukan pemahaman yang baik tentang rumus-rumus dan dasar teori tentang cara memasukan data ke program tentang analisis riwayat waktu. Selanjutnya program melakukan *perform analysis* dan dapat diambil pembahasan dan analisis berdasarkan hasil dari program.

Dari tahapan metode penelitian diatas, dapat dibuat diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis riwayat waktu menggunakan 11 rekaman pasang gempa berasal dari *library* midas GTS NX serta respon spektra di Kawasan Tangerang. Pemodelan bangunan adalah gedung 12 lantai melanjutkan penelitian skripsi Charles dan Jessica Gabriella dengan fungsi perkantoran, permodelan *spring point support* dengan data tanah berkosistensi lunak. Data tanah ini dikolerasi sehingga mendapatkan hasil parameter tanah yang akan diolah melalui program midas GTS NX. Selanjutnya hasil analisis gaya reaksi dan *displacement* dari *library* midas GTS NX.

Data tanah yang dipakai berkosistensi lunak berada pada Kawasan daerah Tangerang, terdapat 5 pasang titik borlog dan tes laboratorium dengan kedalaman yang berbeda-beda, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. *Summary* parameter tanah

| <i>Summary</i> Parameter Tanah | | | | | | |
|--|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Kedalaman (m) | 0 s/d 12 | 12 s/d 20 | 20 s/d 26 | 26 s/d 36 | 36 s/d 48 | 48 s/d 61 |
| Jenis Tanah | <i>Clay</i> | <i>Clay</i> | <i>Sandy Silt</i> | <i>Silty Clay</i> | <i>Clayey Silt</i> | <i>Clayey Silt</i> |
| Material Model | Mohr-Coloumb | Mohr-Coloumb | Mohr-Coloumb | Mohr-Coloumb | Mohr-Coloumb | Mohr-Coloumb |
| E (kN/m ³) | 11.820 | 39.320 | 38.110 | 35.720 | 30.190 | 24.660 |
| γ_{Unsat} (kN/m ³) | 15,175 | 14,131 | 15,968 | 16,908 | 16,859 | 16,727 |
| γ_{Sat} (kN/m ³) | 15,371 | 15,813 | 15,913 | 17,034 | 17,265 | 16,881 |
| ϕ (°) | 16,98 | 26,89 | 24,62 | 27,349 | 28,91 | 26,62 |

Tabel 2 (lanjutan). *Summary* parameter tanah

| Summary Parameter Tanah | | | | | | |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| e_0 | 2,216 | 1,815 | 1,899 | 1,337 | 1,265 | 1,465 |
| ν | 0,495 | 0,495 | 0,495 | 0,495 | 0,495 | 0,495 |
| C (kN/m ²) | 27,365 | 89,691 | 80,909 | 58,272 | 52,761 | 59,4 |

Spesifikasi tiang yang dipakai diambil dari brosur JHS dapat dilihat pada Gambar 2.

| Size | Weight (kg/m') | Area (cm ²) | Length (m) | No. of Strand | Type of Strand (inc) | Axial Load | | Tension Ult. (kN) | Moment | |
|------|----------------|-------------------------|------------|---------------|----------------------|----------------|---------------|-------------------|-------------|-----------------|
| | | | | | | Allowable (kN) | Ultimate (kN) | | Crack (kNm) | Ult (P=0) (kNm) |
| 25 | 156,25 | 625 | 6 - 12 | 4 | 3/8 | 787 | 1.233 | 331 | 22,42 | 36 |
| | | | 6 - 14 | 5 | 3/8 | 769 | 1.214 | 414 | 25,09 | 42 |
| | | | 6 - 15 | 6 | 3/8 | 752 | 1.194 | 497 | 27,76 | 47 |
| | | | 6 - 16 | 4 | 1/2 | 732 | 1.171 | 595 | 30,91 | 52 |
| 30 | 225,00 | 900 | 6 - 13 | 4 | 3/8 | 1.163 | 1.810 | 331 | 33,11 | 46 |
| | | | 6 - 14 | 5 | 3/8 | 1.146 | 1.791 | 414 | 36,31 | 56 |
| | | | 6 - 15 | 6 | 3/8 | 1.129 | 1.771 | 497 | 39,52 | 64 |
| | | | 6 - 16 | 4 | 1/2 | 1.108 | 1.748 | 595 | 43,29 | 72 |
| 35 | 306,25 | 1.225 | 6 - 14 | 5 | 3/8 | 1.591 | 2.473 | 414 | 50,92 | 69 |
| | | | 6 - 15 | 6 | 3/8 | 1.574 | 2.453 | 497 | 54,65 | 80 |
| | | | 6 - 16 | 4 | 1/2 | 1.553 | 2.430 | 595 | 59,06 | 92 |
| | | | 6 - 17 | 5 | 1/2 | 1.522 | 2.395 | 744 | 65,77 | 108 |
| 40 | 400,00 | 1.600 | 6 - 14 | 4 | 1/2 | 2.067 | 3.217 | 595 | 78,77 | 111 |
| | | | 6 - 16 | 5 | 1/2 | 2.036 | 3.182 | 744 | 86,44 | 133 |
| | | | 6 - 18 | 6 | 1/2 | 2.036 | 3.182 | 744 | 86,44 | 133 |
| | | | 6 - 19 | 7 | 1/2 | 1.974 | 3.111 | 1.041 | 101,77 | 169 |
| 45 | 506,25 | 2.025 | 6 - 16 | 5 | 1/2 | 2.618 | 4.074 | 744 | 111,61 | 156 |
| | | | 6 - 17 | 6 | 1/2 | 2.587 | 4.039 | 892 | 120,24 | 181 |
| | | | 6 - 18 | 7 | 1/2 | 2.556 | 4.003 | 1.041 | 128,86 | 204 |
| | | | 6 - 20 | 8 | 1/2 | 2.525 | 3.968 | 1.190 | 137,49 | 225 |
| 50 | 625,00 | 2.500 | 6 - 16 | 6 | 1/2 | 3.237 | 5.036 | 892 | 151,45 | 209 |
| | | | 6 - 18 | 7 | 1/2 | 3.206 | 5.000 | 1.041 | 161,03 | 237 |
| | | | 6 - 19 | 8 | 1/2 | 3.175 | 4.965 | 1.190 | 170,62 | 264 |
| | | | 6 - 20 | 9 | 1/2 | 3.144 | 4.930 | 1.338 | 180,20 | 288 |

Gambar 3. JHS PC square pile (PT Saeti Concretindo Wahana, 2019)

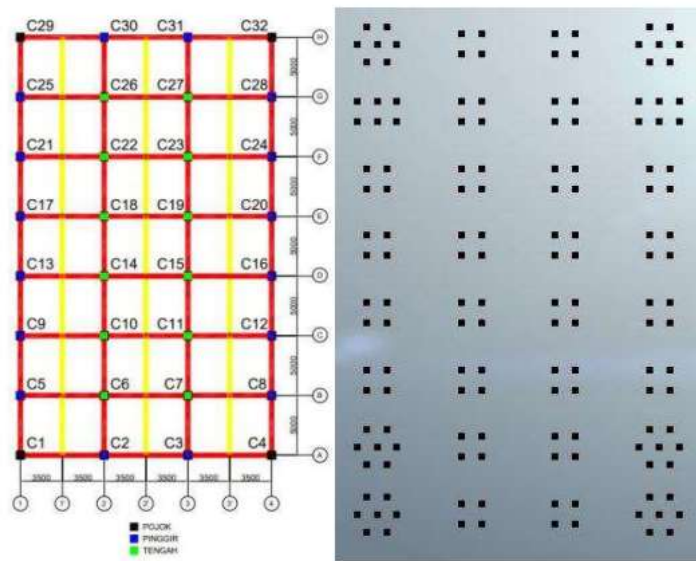
Penomoran pada kolom dalam permodelan struktur yang dipakai dan kelompok-kelompok tiang pada kolom dapat dilihat pada Gambar 3.

Rekaman gempa midas GTS NX

Beban yang dipakai pada penelitian ini adalah gempa dengan arah x dan arah y. Rekaman beban gempa dipakai 11 Pasang yang ditentukan oleh beban gempa, yang terdiri dari gempa Miyagi, Elcentro, Hyuganada, Hyougoken, James, Nihonkai, San Fernando, Hollywood Storage, Tokachi, Mexico, dan Tohoku.

Hasil analisis tiang akibat rekaman gempa arah x

Program midas GTS NX menghasilkan nilai *displacement* dan nilai gaya reaksi ke setiap tiang dari arah x. diambil nilai *displacement* dan nilai gaya reaksi terhadap tiang pojok, tiang pinggir, dan tiang tengah. untuk kolom tiang yang dipakai pada pembebanan gaya gempa arah x dapat dilihat pada Tabel 2. dan Tabel 3.



Gambar 3. Tampak atas denah dan penomoran kolom gedung (Charles et al., 2022)

Tabel 2. Penomoran tiang pada kolom gaya reaksi pembebanan arah x

| Lokasi Tiang | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Moment-y (kNm) | Moment-z (kNm) |
|--------------|------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| Pojok | (C32 - 5) | (C4 - 7) | (C32 - 2) | (C4 - 7) | (C4 - 6) |
| Pinggir | (C2 - 2) | (C28 - 6) | (C2 - 3) | (C16 - 2) | (C28 - 6) |
| Tengah | (C14 - 3) | (C19 - 3) | (C23 - 3) | (C23 - 3) | (C19 - 3) |

Tabel 3. Penomoran tiang pada kolom displacement pembebanan arah x

| Lokasi Tiang | Displacement X (m) | Displacement Y (m) | Displacement Z (m) |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Pojok | (C29 - 1, C32 - 2) | (C4 - 5, C32 - 5) | (C29 - 3) |
| Pinggir | (C30 - 1, C31 - 2) | (C28 - 6) | (C2 - 2) |
| Tengah | (C26 - 1, C27 - 2) | (C19 - 4) | (C14 - 3) |

Hasil *absolute* maksimum gaya reaksi yang dihasilkan program midas GTS NX ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil *absolute* maksimum gaya reaksi arah x

| No | Gempa Arah X | Axial Max (kN) | Axial Min (kN) | Shear Y (kN) | Shear Z (kN) | Momen Y (kN) | Momen Z (kN) |
|----|--------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Miyagi | 3.630,00 | -4.076,00 | -62,29 | -319,10 | -2.143 | -324,9 |
| 2 | Elcentro | 3.265,00 | -2.682,00 | -38,59 | 199,40 | -1.180 | 213,6 |
| 3 | Hyuganada | 4.357,00 | 0,86 | 57,88 | 327,00 | 1.790 | 316,9 |
| 4 | Hyougoken | 2.555,00 | -3.068,00 | -47,81 | 163,00 | -998 | -223,7 |
| 5 | James | 1.918,00 | -1.988,00 | -22,18 | 89,02 | -650,8 | -95,03 |
| 6 | Nihonkai | 5.332,00 | -3.751,00 | -131,30 | 406,30 | -2.609 | -692,2 |

Tabel 4 (lanjutan). Hasil *absolute* maksimum gaya reaksi arah x

| No | Gempa Arah X | Axial Max (kN) | Axial Min (kN) | Shear Y (kN) | Shear Z (kN) | Momen Y (kN) | Momen Z (kN) |
|----|-------------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 7 | San Fernando | 1.260,00 | -1.565,00 | -13,09 | -55,28 | 379,1 | 82,7 |
| 8 | Hollywood Storage | 287,00 | -242,00 | 1,58 | 11,24 | 71,28 | 8,132 |
| 9 | Tokachi | 2.545 | -2.978,00 | -39,92 | 175,10 | -1059 | 177,5 |
| 10 | Mexico | 2.727,00 | -3.095,00 | -20,64 | 153,70 | -992,4 | 123,5 |
| 11 | Tohoku | 2.266,00 | 0,48 | 12,80 | 120,80 | 680,90 | 79,46 |

Hasil *absolute* maksimum gaya reaksi yang dihasilkan program midas GTS NX ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil *absolute* maksimum *displacement* arah x

| No | Gempa Arah X | <i>Displacement X</i> (m) | <i>Displacement Y</i> (m) | <i>Displacement Z</i> (m) |
|----|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 | Miyagi | 8,37 | 0,11 | 0,77 |
| 2 | Elcentro | -2,61 | 0,09 | 0,21 |
| 3 | Hyuganada | 6,56 | 0,11 | 0,83 |
| 4 | Hyougoken | 2,02 | 0,10 | 0,56 |
| 5 | James | -0,84 | -0,04 | 0,14 |
| 6 | Nihonkai | -5,71 | 0,26 | 4,35 |
| 7 | San Fernando | 0,62 | 0,04 | 0,03 |
| 8 | Hollywood Storage | -0,11 | 0,00 | -0,11 |
| 9 | Tokachi | 1,51 | 0,05 | 0,20 |
| 10 | Mexico | -0,76 | 0,09 | 0,13 |
| 11 | Tohoku | 0,86 | 0,03 | 0,08 |

Hasil analisis tiang akibat rekaman gempa arah y

Program midas GTS NX menghasilkan nilai *displacement* dan nilai gaya reaksi ke setiap tiang dari arah y. diambil nilai *displacement* dan nilai gaya reaksi terhadap tiang pojok, tiang pinggir, dan tiang tengah. untuk kolom tiang yang dipakai pada pembebanan gaya gempa arah y dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Penomoran tiang pada kolom gaya reaksi arah y

| Lokasi Tiang | <i>Axial</i> (kN) | <i>Shear-y</i> (kN) | <i>Shear-z</i> (kN) | <i>Moment-y</i> (kNm) | <i>Moment-z</i> (kNm) |
|--------------|-------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Pojok | (C4 - 7) | (C29 - 3) | (C32 - 6) | (C4 - 7) | (C29 - 6) |
| Pinggir | (C8 - 7) | (C8 - 1) | (C28 - 4) | (C28 - 3) | (C8 - 2) |
| Tengah | (C15 - 2) | (C15 - 1) | (C7 - 4) | (C26 - 1) | (C15 - 1) |

Tabel 7. Penomoran tiang pada kolom *displacement* arah y

| Lokasi Tiang | <i>Displacement X</i> (m) | <i>Displacement Y</i> (m) | <i>Displacement Z</i> (m) |
|--------------|------------------------------|---|------------------------------|
| Pojok | (C4 - 7) | (C1 - 3, C29 - 3) | (C4 - 6) |
| Pinggir | (C28 - 1) | (C5 - 3, C25 - 1) | (C8 - 1) |
| Tengah | (C26 - 1, C27 - 2) | (C6 - 3, C10 - 3, C18-3, C22 - 3, C26 - 3) | (C15 - 1) |

Hasil *absolute* maksimum gaya reaksi dan *displacement* yang dihasilkan program midas GTS NX ditunjukkan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Hasil *absolute* maksimum gaya reaksi arah y

| No | Gempa Arah Y | Axial Max (kN) | Axial Min (kN) | Shear Y (kN) | Shear Z (kN) | Momen Y (kN) | Momen Z (kN) |
|----|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Miyagi | 2.808,00 | -17,42 | -262,80 | 35,31 | 217,4 | -1.801 |
| 2 | Elcentro | 3.057,00 | -10,34 | 65,38 | 167,80 | -1180 | 280,4 |
| 3 | Hyuganada | 4.738,00 | -12,25 | -310,30 | 46,21 | 371,3 | -2139 |
| 4 | Hyougoken | 2.518,00 | -771,80 | -134,30 | 61,93 | -998 | 306,8 |
| 5 | James | 1.975,00 | 1,70 | 100,10 | 17,81 | 101,9 | 533,1 |
| 6 | Nihonkai | 4.390,00 | -14,34 | -313,50 | 53,44 | 448,7 | -2.085 |
| 7 | San Fernando | 528,20 | -1.436,00 | 61,84 | -15,87 | -89,09 | 384,3 |
| 8 | Hollywood Storage | 261,90 | -1,41 | 11,09 | 1,60 | 6,584 | 71,19 |
| 9 | Tokachi | 2.385,00 | -3.320,00 | 158,30 | 28,95 | 146,6 | 1.048 |
| 10 | Mexico | 2.470,00 | -3.069,00 | 166,90 | 22,38 | 74,66 | 1.005 |
| 11 | Tohoku | 1.928,00 | 0,50 | 146,40 | 8,87 | 70,67 | 805,60 |

Tabel 9. Hasil *absolute* maksimum *displacement* arah y

| No | Gempa Arah X | <i>Displacement X</i> (m) | <i>Displacement Y</i> (m) | <i>Displacement Z</i> (m) |
|----|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | Miyagi | 8,37 | 0,11 | 0,77 |
| 2 | Elcentro | 0,09 | 8,41 | 0,76 |
| 3 | Hyuganada | -2,58 | 0,08 | 0,21 |
| 4 | Hyougoken | -0,12 | 6,58 | 0,85 |
| 5 | James | 2,02 | 0,10 | 0,56 |
| 6 | Nihonkai | 0,04 | 0,11 | 0,14 |

Tabel 9 (lanjutan). Hasil *absolute* maksimum *displacement* arah y

| No | Gempa Arah X | <i>Displacement X</i> (m) | <i>Displacement Y</i> (m) | <i>Displacement Z</i> (m) |
|----|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 7 | San Fernando | 0,13 | -2,70 | 1,91 |
| 8 | Hollywood Storage | -0,04 | 0,63 | 0,04 |
| 9 | Tokachi | 0,00 | -0,12 | 0,13 |
| 10 | Mexico | 0,07 | 1,49 | 0,22 |
| 11 | Tohoku | -0,09 | -0,75 | 0,13 |

Hasil analisis tiang jika dibandingkan dengan brosur tiang

Hasil analisis tiang dibandingkan dengan salah satu brosur tiang pada Gambar 2. dapat terlihat pada Tabel 10. dan Tabel 11.

Tabel 10. Kekuatan tiang terhadap gaya reaksi gempa arah x

| No | Gempa Arah X | Kekuatan Axial Tekan Terhadap Brosur | Kekuatan Axial Tarik Terhadap Brosur | Kekuatan Shear Terhadap Brosur | Kekuatan Momen Terhadap Brosur |
|----|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Miyagi | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 2 | Elcentro | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 3 | Hyuganada | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 4 | Hyougoken | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 5 | James | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 6 | Nihonkai | Tidak Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 7 | San Fernando | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 8 | Hollywood Storage | Kuat | Kuat | Kuat | Kuat |
| 9 | Tokachi | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 10 | Mexico | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 11 | Tohoku | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |

Tabel 11. Kekuatan tiang terhadap gaya reaksi gempa arah y

| No | Gempa Arah Y | Kekuatan Axial Tekan Terhadap Brosur | Kekuatan Axial Tarik Terhadap Brosur | Kekuatan Shear Terhadap Brosur | Kekuatan Momen Terhadap Brosur |
|----|--------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Miyagi | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 2 | Elcentro | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 3 | Hyuganada | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |

Tabel 11 (lanjutan). Kekuatan tiang terhadap gaya reaksi gempa arah y

| No | Gempa Arah Y | Kekuatan Axial Tekan Terhadap Brosur | Kekuatan Axial Tarik Terhadap Brosur | Kekuatan Shear Terhadap Brosur | Kekuatan Momen Terhadap Brosur |
|----|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 4 | Hyougoken | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 5 | James | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 6 | Nihonkai | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 7 | San Fernando | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 8 | Hollywood Storage | Kuat | Kuat | Kuat | Kuat |
| 9 | Tokachi | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 10 | Mexico | Kuat | Tidak Kuat | Kuat | Tidak Kuat |
| 11 | Tohoku | Kuat | Kuat | Kuat | Tidak Kuat |

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. 11 pasang rekaman gempa yang dipakai pada penelitian ini adalah gempa Miyagi, Elcentro, Hyuganada, Hyougoken, James, Nihonkai, San Fernando, Hollywood Storage, Tokachi, Mexico, dan Tohoku. Hasil gaya reaksi dari rekaman gempa tersebut akan dibandingkan dengan kapasitas tiang pada Gambar 3.
2. Berdasarkan hasil dari rekaman gempa dengan bantuan program midas GTS NX, didapatkan hasil untuk pembebanan arah X, Hanya rekaman gempa Nihonkai yang tidak kuat terhadap kekuatan Axial tekan, sedangkan rekaman gempa yang lain kuat terhadap kekuatan axial tekan.
3. Berdasarkan hasil dari rekaman gempa dengan bantuan program midas GTS NX, didapatkan hasil untuk pembebanan arah Y, semua rekaman gempa kuat terhadap kekuatan Axial tekan.
4. Berdasarkan hasil dari rekaman gempa dengan bantuan program midas GTS NX, didapatkan hasil untuk pembebanan arah X dan arah Y, semua rekaman gempa kuat terhadap kekuatan Shear.
5. Berdasarkan hasil dari rekaman gempa dengan bantuan program midas GTS NX, didapatkan hasil untuk pembebanan arah X dan arah Y, rekaman gempa Hollywood Storage kuat terhadap kekuatan Momen, sedangkan rekaman gempa yang lain tidak kuat.
6. Berdasarkan hasil dari rekaman gempa dengan bantuan program midas GTS NX, didapatkan hasil untuk pembebanan arah X dan arah Y, semua fondasi masih kuat terhadap salah satu gaya reaksi tetapi memiliki defleksi yang berlebih.
7. Berdasarkan hasil dari respon spektrum dengan bantuan program midas GTS NX, didapatkan hasil untuk pembebanan arah X dan arah Y, nilai Displacement dan Gaya Reaksi relatif lebih kecil dibandingkan dengan hasil nilai dari rekaman gempa 11 pasang di atas, serta fondasi masih kuat terhadap gaya reaksi tetapi memiliki defleksi yang berlebih.

Saran

1. Pada penelitian ini menggunakan data tanah dengan konsistensi tanah lunak, diperlukan adanya penelitian dengan konsistensi lainnya agar dapat menjadi pembanding sehingga mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Penelitian ini hanya menggunakan 1 dimensi penampang tiang serta bentuk penampang tiang. Perlu mempertimbangkan ukuran dimensi penampang tiang dan bentuk penampang tiang lainnya, sehingga dapat menjadi pembanding serta mendapatkan hasil yang lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2022). Indonesia Tsunami Early Warning System. *UpToDate*. Diakses 2022, dari <https://inatews.bmkg.go.id/>

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung* (SNI 1726:2019).
- Charles, Wijaya, H., & Yuwono, A. (2022). Studi Perilaku Tiang Akibat Interaksi Struktur Dan Tanah Pada Bangunan Gedung. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(1), 185-194. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i1.16830>
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar Teknik Fondasi*. Kanisius.
- Kevin, & Barus, S. (2014). *Kajian Perbandingan Respon Dinamik Linier Dengan Analisis Riwayat Waktu (Time History Analysis) Menggunakan Modal Analisis (Mode Superposition Method) Dan Integrasi Langsung (Direct Time Integration Method)* [Disertasi Doktor, Universitas Sumatera Utara]. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/79743>
- Magar, J. S., Kudtarkar, A., Pachpohe, J., & Nagargoje, P. (2020). Study Analysis of Types of Foundation And Desgin Construction. *International Resarch Journal of Engineering And Technology (IRJET)*, 7(8), 3301-3307. 10.5281/zenodo.3995061
- Stewart, J. Crouse, C. B., Hutchinson, T. C., Lizundia, B., Naeim, F., & Ostadan, F. (2012). *Soil-Structure Interaction for Building Structures* (NIST GCR 12-917-21). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg. https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=915495
- PT Saei Concretindo Wahana. (2019, Agustus). Precast Concrete for Foundation. *JHS System*. <http://www.jhs-system.com/product/1/precast-concrete-for-foundation/>
- Saini, S., & Goyal, E. T. (2019). Analysis of Piled Raft Foundation Using midas GTS NX. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 6(5), 5491-5499. <https://www.irjet.net/archives/V6/i5/IRJET-V6I5718.pdf>
- Sumantri, A. (2020). *Analisa Riwayat Waktu pada Struktur Bangunan dengan Menyertakan Efek Interaksi Tanah dan Pondasi Tiang* [Disertasi Doktor, Universitas Sumatera Utara]. <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/21947>
- Tallapalem, U. R., Nurulla, S., & Vallu, S. R. (2019). Time History Analysis on Precast Building Connections. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(4), 5973-5980. <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i4/D9124118419.pdf>
- Wulandari, P. E., Ashadi, H. W. (2021). *Perilaku struktur komposit bangunan rumah sakit terhadap respon dinamik analisa riwayat waktu (time history) non linier* [Skripsi, Universitas Indonesia]. <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20248502&lokasi=lokal>