

STUDI PERILAKU KELOMPOK TIANG UNTUK FONDASI TIANG BOR PADA KONDISI ELASTIK DAN TIDAK ELASTIK

Andrew¹, Giovanni Pranata², dan Amelia Yuwono³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: andrewsubahri@yahoo.com

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

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: amelia774@yahoo.com

ABSTRAK

Fondasi merupakan suatu hal yang sangat berpengaruh terhadap suatu bangunan. Fondasi berfungsi untuk memikul beban aksial dan beban lateral. Kelompok tiang digunakan untuk meminimalisir kegagalan dari sebuah tiang. Karena adanya peningkatan percepatan gempa di daerah tertentu pada SNI 1726:2012, perlu dilakukan analisis terhadap kelompok tiang di daerah yang terkena peningkatan percepatan gempa. Dengan melakukan analisis *pushover* pada suatu kelompok tiang, tingkat kinerja suatu kelompok tiang dapat diketahui berdasarkan metode spektrum kapasitas yang diatur dalam ATC-40 dan *Pushover Analysis of Underground Structures*.

Kata kunci: fondasi, kelompok tiang, tingkat kinerja, metode spektrum kapasitas, analisis *pushover*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam bidang konstruksi, fondasi merupakan suatu hal yang sangat berpengaruh terhadap kekuatan suatu bangunan. Fondasi merupakan bagian yang paling bawah dari suatu bangunan dan langsung berhubungan dengan tanah. Fondasi berfungsi untuk memikul beban aksial dan beban lateral.

Salah satu jenis fondasi yang ada adalah fondasi tiang. Berdasarkan metode instalasinya, fondasi tiang dapat diklasifikasikan menjadi tiang pancang dan tiang bor. Meskipun pada tiang yang berdiameter besar atau untuk beban yang ringan sering digunakan fondasi tiang tunggal untuk memikul kolom atau beban struktur, namun pada umumnya beban kolom struktur atas dapat pula dipikul oleh suatu kelompok tiang. Penggunaan kelompok tiang biasa digunakan bila tiang tunggal tidak mempunyai kapasitas yang cukup untuk menahan beban kolom. Kelompok tiang juga berguna untuk meminimalisir kegagalan dari sebuah tiang dengan adanya tiang-tiang yang lain.

Diberlakukannya SNI 1726:2012 yang menggantikan SNI 1726:2002 sehingga ada daerah tertentu yang mengalami kenaikan percepatan gempa sehingga gaya gempa yang diterima fondasi meningkat. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis terhadap suatu kelompok tiang dengan berbagai percepatan gempa pada kondisi elastik maupun tidak elastik, salah satunya adalah dengan analisis statik non linier atau analisis *pushover*.

Dari hasil analisis *pushover* terhadap suatu kelompok tiang tersebut dihasilkan kurva yang menghubungkan antara *base shear* dan *roof displacement* atau disebut kurva kapasitas. Dari kurva kapasitas tersebut dapat dilihat perilaku suatu kelompok tiang dari kondisi elastis sampai plastis hingga mengalami kegagalan. Dengan adanya kurva kapasitas yang diperoleh, kita dapat melihat tingkat kinerja suatu kelompok tiang berdasarkan metode spektrum kapasitas berdasarkan peraturan ATC-40 dan *Pushover Analysis of Underground Structures*.

Batasan masalah

Adapun batasan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Data tanah diambil dari suatu proyek di daerah Pancoran, Jakarta Selatan.
2. Pemodelan kelompok tiang terhadap beban lateral dilakukan dengan bantuan program.
3. *Pile* yang digunakan adalah tiang bor bulat dengan dimensi 50cm -90cm.
4. Konfigurasi kelompok tiang yang digunakan adalah 4 tiang, 5 tiang, dan 6 tiang.
5. Analisis hanya dilakukan terhadap tiang.
6. Gaya yang diterima tiang adalah gaya lateral.
7. Jenis tanah dimodifikasi mengikuti SNI 1726:2012.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Berapa besar gaya lateral maksimum yang dapat diterima kelompok tiang pada kondisi elastik dan tidak elastik?
2. Berapa besar *displacement* yang terjadi pada kelompok tiang yang diberikan gaya lateral maksimum pada kondisi elastik dan tidak elastik?
3. Bagaimana tingkat kinerja struktur pada tiang yang direncanakan dengan SNI 1726 : 2012 melalui analisis *pushover* menurut peraturan ATC-40 dan *Pushover Analysis of Underground Structures*?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui besarnya gaya lateral maksimum yang dapat diterima kelompok tiang pada kondisi elastik dan tidak elastik.
2. Mengetahui besarnya *displacement* yang terjadi pada kelompok tiang yang diberikan gaya lateral maksimum pada kondisi elastik dan tidak elastik.
3. Mengetahui tingkat kinerja struktur pada tiang yang direncanakan dengan SNI 1726 : 2012 melalui analisis *pushover* menurut peraturan ATC-40 dan *Pushover Analysis of Underground Structures*.

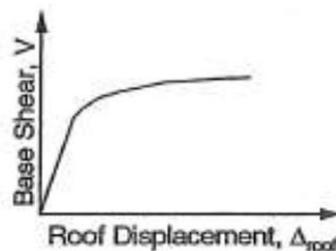
2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Statik Non-Linier (*Pushover Analysis*)

Analisis *pushover* adalah suatu cara analisis statik *non-linier* dimana pengaruh Gempa Rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban static yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastis yang besar sampai mencapai kondisi plastis.

Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Selain itu, analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Meskipun metode ini sangat sederhana, informasi yang dihasilkan sangat berguna karena mampu menggambarkan respons in-elastis bangunan ketika mengalami gempa. Analisis ini memang bukan cara yang terbaik untuk mendapatkan jawaban terhadap masalah-masalah analisis dan desain, tetapi cara ini relatif sederhana untuk mendapatkan respon *non-linier* suatu struktur.



Gambar 1 Kurva *Pushover*

Kinerja Struktur

Kinerja struktur adalah tingkat/level performa suatu struktur dengan melihat tingkat kerusakannya saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Oleh karena itu, kinerja struktur erat kaitannya dengan biaya perbaikan terhadap bangunan tersebut. Semakin baik tingkat kinerja suatu struktur, maka semakin sedikit biaya perbaikan yang perlu dikeluarkan saat gempa rencana terjadi.

Dalam desain struktur berbasis kinerja, kinerja struktur didesain sesuai dengan fungsi bangunan tersebut dengan mempertimbangkan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa, tanpa mengesampingkan keselamatan pengguna bangunan itu sendiri.

Tingkat Kinerja Struktur Metode ATC-40

Dalam metode ATC-40, tingkat kinerja struktur ditentukan dengan menggunakan metode spektrum kapasitas (*capacity-spectrum*), yaitu dengan memplotkan *demand* respons spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spektral percepatan dan spektral perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*.

Kurva kapasitas (*capacity-curve*) diperoleh dari analisis *pushover*, yaitu analisis statik nonlinier dengan memberikan beban lateral statik tertentu pada struktur yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga struktur mencapai suatu batas tertentu atau mengalami kegagalan struktur. Respons struktur terhadap beban lateral tersebut dicatat dan dibuat kurva hubungan antara gaya geser dasar, “*V*” dan perpindahan pada atap, “*Δ_{atap}*”. Kurva tersebut-lah yang disebut sebagai kurva kapasitas.

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi masing-masing elemen struktur. Untuk mengubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS atau menjadi spektrum kapasitas diperlukan pemahaman tentang hubungan faktor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan. Untuk mengubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS digunakan persamaan

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF_1 \phi_{roof,1}} \quad (2)$$

dengan *V* = gaya geser dasar (kN), *W* = berat tiang (kN), α_1 = modal koefisien massa pada *mode* pertama, Δ_{roof} = perpindahan atap (m), PF = faktor partisipasi modal pada *mode* pertama

Demand spektrum diperoleh dengan mengubah respons spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektra percepatan “*S_a*” dan periode “*T*” menjadi format ADRS (*S_a*, *S_d*) dengan menggunakan persamaan

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a \cdot (g) \quad (3)$$

dengan *S_a* = spektra percepatan (m), *S_d* = spektra perpindahan (g), *g* = percepatan gravitasi (9.81 m/s²), *T* = periode getar fundamental (detik)

Selanjutnya, grafik spektrum kapasitas dan spektrum *demand* digambarkan dalam satu grafik ADRS. Dalam grafik tersebut akan terjadi perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Titik perpotongan tersebut disebut sebagai titik kinerja atau *performance point*. Redaman yang terjadi saat struktur terkena gerakan gempa pada keadaan inelastik dapat dilihat pada redaman *viscous* yang melekat pada struktur dan redaman histeretik.

Redaman histeretik (*hysteretic damping*) berhubungan dengan area di dalam *loop* kurva gaya dan perpindahan akibat gaya gempa. Redaman histeretik ini dapat mewakili redaman *viscous* ekuivalen. Dalam ATC-40 redaman *viscous* ekuivalen dirumuskan dengan persamaan

$$\beta_0 = \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \quad (4)$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 \quad (5)$$

$$SR_A = \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \quad (6)$$

$$SR_V = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \quad (7)$$

dengan β_0 = redaman histerestis yang mewakili redaman *viscous* ekuivalen, β_{eq} = redaman *viscous* ekuivalen struktur, 0.05 = redaman yang melekat pada struktur (redaman awal)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam pengumpulan data-data yang akan dipakai adalah dengan pengumpulan data dari proyek. Pada studi ini, data tanah akan dianalisis mengikuti SNI 1726:2012 yang berlokasi di daerah Pancoran, Jakarta Selatan. Data tanah yang dikumpulkan berupa *boring log* dan hasil tes laboratorium. Data tanah tersebut merupakan laporan penyelidikan tanah pada daerah tersebut.

Metode Analisis Data

Sebelum dilakukannya analisis data, dilakukan pembelajaran atau studi tentang teori-teori dasar yang berhubungan dengan topik pembahasan dalam penelitian yang akan dilakukan. Teori dasar yang digunakan sebagai acuan pembelajaran dapat dicari berdasarkan berbagai macam sumber, seperti jurnal, karya ilmiah, buku referensi yang akan berguna untuk mendapatkan rumus-rumus atau persamaan. Dalam melakukan analisis *pushover* mengacu pada ATC-40.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Kelompok Tiang 4 Tiang, 5 Tiang, dan 6 Tiang

Setelah dilakukan analisis *pushover*, maka kita bisa mendapatkan beban maksimum untuk tiap kelompok tiang dan mendapatkan kurva kapasitas, kemudian diubah menjadi kurva spektrum kapasitas. Dari kurva tersebut kita bisa mendapat *performance point* dan *pile drift ratio* yang akan digunakan untuk menentukan tingkat kinerja kelompok tiang.

Tabel 1. Hasil Analisis 4 Tiang

Diameter Tiang (mm)	Tipe Tiang	Beban (kN)	Fixed End Length (m)	Performance Point	Pile Drift Ratio	Kategori	Kesimpulan
500	Elastik	1800	11.1	0.1175	0.0106	0.01 - 0.02	Damage Control
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
	Non Elastik Tulangan 1%	450	3.9	0.0956	0.0245	0.33 Vi/Pi	Structural Stability
						<2.5%	Severe, Near collapse, limited safety, hazard reduced
600	Elastik	2310	17.1	0.16	0.0093	0.01	Immediate Occupancy
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
	Non Elastik Tulangan 1%	550	4.5	0.0669	0.0149	0.01 - 0.02	Damage Control
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
700	Elastik	4400	18	0.16	0.0089	0.01	Immediate Occupancy
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
	Non Elastik Tulangan 1%	860	5.4	0.0933	0.0173	0.01 - 0.02	Damage Control
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state

Tabel 1. Hasil Analisis 4 Tiang (Lanjutan)

800	Elastik	5300	21.3	0.19	0.0089	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	1140	6.3	0.189	0.03	0.33 Vi/Pi	<i>Structural Stability</i>
						>2.5%	<i>Collapse</i>
900	Elastik	9900	24.6	0.19	0.0077	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	1500	7.3	0.1759	0.0244	0.33 Vi/Pi	<i>Structural Stability</i>
						<2.5%	<i>Near collapse, limited safety, hazard reduced</i>

Tabel 2. Hasil Analisis 5 Tiang

Diameter Tiang (mm)	Tipe Tiang	Beban (kN)	Fixed End Length (m)	Performance Point	Pile Drift Ratio	Kategori	Kesimpulan
500	Elastik	2390	10.8	0.1076	0.01	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	550	3.9	0.0799	0.0205	0.33 Vi/Pi	<i>Structural Stability</i>
						<2.5%	<i>Severe, Near collapse, limited safety, hazard reduced</i>
600	Elastik	2760	16.2	0.16	0.0098	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	570	4.2	0.0438	0.0104	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
700	Elastik	6460	18.3	0.16	0.0087	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	590	4.5	0.0283	0.0063	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>

Tabel 2. Hasil Analisis 5 Tiang (Lanjutan)

800	Elastik	8000	21.9	0.1983	0.009	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	680	5.4	0.0275	0.0051	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
900	Elastik	10000	23.7	0.17	0.0072	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	1160	6	0.0478	0.0079	0.01	<i>Immediate Occupancy</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>

Tabel 3. Hasil Analisis 6 Tiang

Diameter Tiang (mm)	Tipe Tiang	Beban (kN)	<i>Fixed End Length (m)</i>	<i>Performance Point</i>	<i>Pile Drift Ratio</i>	Kategori	Kesimpulan
500	Elastik	2660	10.8	0.1184	0.011	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	620	3.9	0.0657	0.0168	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<2.5%	<i>Severe, Near collapse, limited safety, hazard reduced</i>
600	Elastik	2990	12.9	0.1313	0.0102	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	820	4.5	0.0679	0.0151	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<2.5%	<i>Severe, Near collapse, limited safety, hazard reduced</i>
700	Elastik	4990	17.7	0.18	0.0101	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>
	Non Elastik Tulangan 1%	1170	5.1	0.0732	0.0144	0.01 - 0.02	<i>Damage Control</i>
						<1.5%	<i>Irreparable, Life safe-damage state</i>

Tabel 3. Hasil Analisis 6 Tiang (Lanjutan)

800	Elastik	5950	18	0.1983	0.011	0.01 - 0.02	Damage Control
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
800	Non Elastik Tulangan 1%	1670	10.5	0.1405	0.0134	0.01 - 0.02	Damage Control
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
900	Elastik	10600	23.7	0.19	0.008	0.01	Immediate Occupancy
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state
900	Non Elastik Tulangan 1%	2220	13.2	0.1731	0.0131	0.01 - 0.02	Damage Control
						<1.5%	Irreparable, Life safe-damage state

Dari Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 didapat bahwa untuk kondisi elastik maupun non elastik, semakin besar diameter tiang, maka beban lateral maksimum yang dapat diterima tiang semakin besar. Dan semakin besar diameter tiang maka tingkat kinerja tiang semakin baik. Dan didapat bahwa kelompok tiang pada kondisi elastik lebih baik daripada kondisi non elastik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil studi, semakin besar diameter tiang dan jumlah tiang dalam suatu kelompok tiang, maka semakin besar beban lateral maksimum yang dapat diterima tiap tiang pada suatu kelompok tiang untuk kondisi elastik dan tidak elastik.
2. Kelompok tiang pada kondisi elastik mampu menahan beban maksimum yang jauh lebih besar dari pada kelompok tiang pada kondisi tidak elastik
3. Berdasarkan nilai *performance point* yang didapat untuk 4 kelompok tiang, 5 kelompok tiang, dan 6 kelompok tiang untuk kondisi elastik dan tidak elastik, semakin besar diameter tiang dalam suatu kelompok tiang, maka nilai *Pile drift ratio* yang didapat cenderung semakin kecil yang berarti tingkat kinerja suatu tiang semakin baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. California: Applied Technology Council.
- Badan Standardisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Rahardjo, P.P. (2005). *Manual Pondasi Tiang Edisi 3*. Bandung: Publikasi GEC, Universitas Katolik Parahyangan.

