

ANALISIS *DISPLACEMENT* PADA TIANG TUNGGAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE *PUSHOVER ANALYSIS*

Pieter Kristianto Syafrin¹, Chaidir Anwar Makarim², dan Amelia Yuwono³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
pieter.325150029@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
chaidir259@gmail.com

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
amelia7745@yahoo.com

Masuk: 15-01-2020, revisi: 01-05-2020, diterima untuk diterbitkan: 12-05-2020

ABSTRACT

All construction that is engineered and built rests on the ground must be supported by foundation. Foundation is the lowest part of structure that is done first and has important function in the construction of a building to continue the burden on the structure which will then be forwarded to the soil below. The term upper structure is generally used to describe part of an engineering system that carries a burden on the foundation or bottom structure. On the basis of the definition of this foundation, it can be explained that foundation is the most important part of the engineering system. (Bowles, 1991). Single pile foundations can be used on various types of soil and one of them is soft soil. To analyze elastic and non-elastic single piles in the condition of free heads and fixed heads in various dimensions, they were designed according to SNI 1726: 2012 and evaluated using the spectrum capacity method regulated in ATC-40. Based on the results of the study, a pile drift ratio and performance point values will be obtained which describe the behavior of the pile due to gradual lateral force. Results obtained describe the behavior of all the single pile models analyzed.

Keywords: foundation; single pile; soft soil; elastic; capacity spectrum method

ABSTRAK

Semua konstruksi yang direkayasa dan dibangun bertumpu di tanah harus ditopang oleh fondasi. Fondasi adalah bagian terendah dari struktur yang dikerjakan terlebih dahulu dan memiliki fungsi penting dalam pembangunan sebuah bangunan untuk meneruskan beban struktur di atasnya yang kemudian akan diteruskan ke tanah dan bebatuan yang berada di bawah. Istilah struktur atas umumnya digunakan untuk menggambarkan bagian dari sistem rekayasa yang membawa beban pada pondasi atau struktur bawah. Atas dasar definisi yayasan ini, dapat dijelaskan bahwa yayasan adalah bagian terpenting dari sistem teknik. (Bowles, 1991). Fondasi tiang tunggal dapat digunakan pada berbagai jenis tanah dan salah satunya adalah tanah lunak. Untuk dapat menganalisis tiang tunggal elastis dan tidak elastis dalam kondisi kepala bebas dan kepala tetap dalam berbagai dimensi, mereka dirancang berdasarkan SNI 1726: 2012 dan dievaluasi menggunakan metode kapasitas spektrum yang diatur dalam ATC-40. Berdasarkan hasil penelitian, akan diperoleh suatu nilai pile drift ratio dan performance point yang menggambarkan perilaku tiang akibat diberikan gaya lateral secara bertahap.. Hasil yang diperoleh menggambarkan perilaku semua pemodelan tiang tunggal yang dianalisis.

Kata kunci: fondasi; tiang pancang tunggal; tanah lunak; elastis; metode spektrum kapasitas

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Dalam konstruksi, fondasi merupakan bangunan struktur yang berada di bawah tanah yang meneruskan beban yang ditopang oleh fondasi tersebut dan beratnya sendiri kepada dan ke dalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1991). Beban itu sendiri merupakan beban yang diakibatkan oleh berbagai gaya, yaitu gaya akibat beban konstruksi atas dan beban-beban lainnya.

Dari berbagai jenis-jenis fondasi, salah satu jenis fondasi yang ada adalah fondasi tiang pancang. Pemakaian tiang pancang sendiri dipergunakan untuk suatu fondasi untuk suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan

tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*), yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup memikul berat bangunan dan bebannya letaknya sangat dalam (Sardjono HS, 1996).

Beban yang dipikul sebuah tiang tidak hanya berasal dari beban aksial saja, tetapi terdapat pula beban lateral. Untuk bangunan yang sederhana gaya lateral sangat kecil sehingga dapat diabaikan, tetapi pada bangunan khusus seperti jembatan atau bangunan pencakar langit tidak dapat diabaikan. Beban lateral dapat diakibatkan karena adanya gempa, angin, dan gelombang air laut, oleh karena itu analisis dan desain terhadap beban lateral harus di perhitungkan agar tiang pancang itu sendiri dapat berfungsi dengan baik.

Di berlakukannya SNI 1726:2012 yang menggantikan SNI 1726:2002 sehingga ada daerah tertentu yang mengalami kenaikan percepatan gempa sehingga gaya gempa yang di terima fondasi meningkat

Untuk dapat menganalisa terjadinya beban lateral, maka dapat di gunakan program berbasis geoteknik. Hasil dari program ini adalah hasil perhitungan gaya yang terjadi pada tiang tunggal tersebut.

Metode analisis *pushover* (ATC-40, 1996) merupakan salah satu komponen *performance based design* yang menjadi sarana untuk mengetahui kapasitas suatu struktur. Dasar dari metode ini sangat sederhana, yaitu memberikan pola beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara *incremental* sampai struktur tersebut mencapai target. Analisis *pushover* juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar peningkatan gaya geser yang terjadi pada tiang akibat gaya gempa, untuk mengetahui pola kegagalan pada fondasi akibat peningkatan gaya gempa yang terjadi, dan untuk mengetahui level kinerja struktur pada tiang pancang tunggal yang direncanakan dengan SNI 1726:2012 melalui analisis *pushover* menurut peraturan ATC-40.

Fondasi tiang pancang

Tiang pancang adalah bagian konstruksi yang digunakan untuk mentransmisikan beban-beban permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah. (Bowles 1991).

Fondasi jenis ini umumnya digunakan untuk menstransfer beban dari stuktur atas ke lapisan tanah dalam yang dimana dapat dicapai oleh daya dukung yang lebih baik, serta dapat digunakan untuk menahan gaya angkat akibat gaya apung air tanah, gaya lateral ataupun gaya gempa. Pada tanah yang lunak penggunaan fondasi tiang umumnya untuk menghindari penurunan yang berlebihan sedangkan penggunaan tiang miring lebih ditujukan untuk menahan gaya lateral.

Tiang pancang memiliki keuntungan dari segi waktu karena dapat dilaksanakan dengan cepat, kualitas bahan lebih terkontrol dan dapat dipancang pada daerah dengan elevasi muka air tanah yang tinggi, sebaliknya tiang pancang memiliki kekurangan karena menimbulkan getaran yang dapat mengganggu lingkungan dan tidak dapat menembus lensa pasir padat kecuali didahului oleh pemboran (*pre-drilling*). Untuk mengatasi gangguan getaran, saat ini pemancangan telah dapat dilakukan dengan cara penggetaran (dengan menggunakan *vibration hammer*) atau dengan penekanan secara hidrolis. (Rahardjo, 2005)

Daya dukung fondasi

Daya dukung tiang merupakan kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Menghitung daya dukung tiang dapat dilakukan dengan pendekatan statis dan dinamis, dimana pendekatan statis dilakukan menurut teori mekanika tanah dengan cara mempelajari sifat-sifat teknis dari tanah. Sedangkan pendekatan dinamik dilakukan dengan menganalisis kapasitas ultimit berdasarkan data hasil perhitungan kapasitas tiang yang didasarkan pada teori mekanika tanah. Satuan kapasitas dukung tiang pancang adalah satuan gaya (kN). (Hardiyatmo, 2008)

Beban lateral

Beban lateral yang diizinkan dapat diperoleh berdasarkan 2 kriteria, yaitu dengan membagi beban ultimit dengan suatu faktor keamanan dan berdasarkan defleksi maksimum yang diizinkan. Teori Reese Matlock (1967) menentukan kapasitas lateral ultimit berdasarkan defleksi lateral izin, metode ini menggunakan pendekatan reaksi subgrade. Pada metode ini, tiang dibedakan berdasarkan tiang kaku (tiang pendek) dan tiang elastik (tiang panjang) serta kondisi kepala tiang terjepit dan bebas. Tiang yang diperhitungkan akan menerima gaya horizontal hendaknya direncanakan sehingga baik tegangan-tegangan maupun perpindahan-perpindahan ujung atas tiang (kepala tiang) tidak akan melebihi ketentuan-ketentuan yang diijinkan.

Kinerja struktur

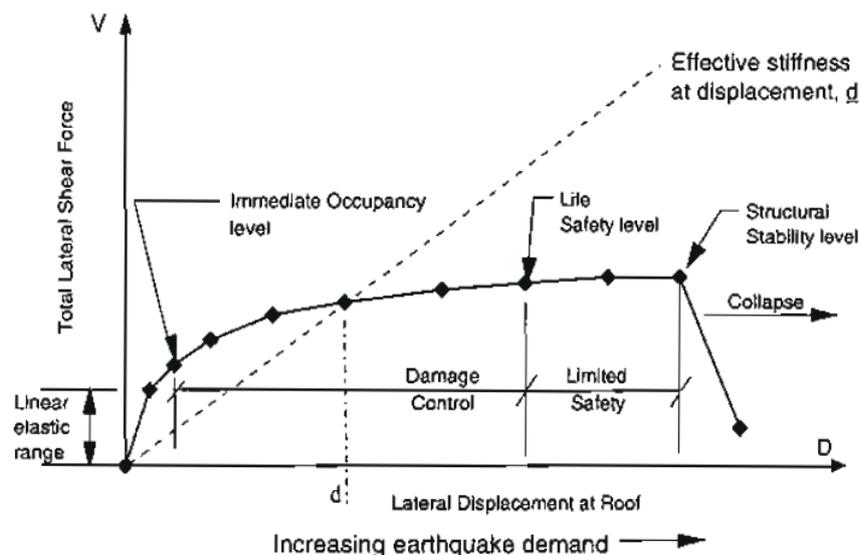
Berdasarkan desain rekayasa gempa berbasis kinerja (Tavio & Usman Wijaya, 2018), Kinerja struktur adalah tingkat performa suatu struktur dengan melihat tingkat kerusakannya saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu. Oleh karena itu, kinerja struktur erat kaitannya dengan biaya perbaikan 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.

Kinerja struktur metode *Pushover Analysis*

Respons bangunan terhadap gerakan tanah saat terjadi gempa akan menyebabkan terjadinya perpindahan lateral dan deformasi terhadap setiap elemen struktur. Berdasarkan *ATC-40* (1996), Pada respons awal, deformasi elemen akan bersifat elastis (linier) sehingga tidak terjadi kerusakan. Pada respons struktur yang lebih tinggi, deformasi elemen akan melebihi kapasitas linier elastis dan bangunan akan mulai mengalami kerusakan. Untuk memberikan kinerja struktur yang baik, bangunan harus memiliki sistem penahan gaya lateral yang lengkap yang akan menyebabkan deformasi lateral akibat gempa dapat dibatasi dan kinerja yang ditargetkan agar terjadi dapat tercapai. Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral untuk melakukan hal tersebut meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan konfigurasi: kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakteristik gerakan tanah.

Tingkatan kinerja dalam *ATC-40* digambarkan dalam kurva kapasitas seperti pada Gambar 1, yaitu kurva yang menggambarkan hubungan antara perpindahan lateral dan total gaya geser dasar akibat gempa, “*V*” pada struktur.



Gambar 1. Tipikal kurva kapasitas pada berbagai tingkat kinerja struktur (Sumber: *ATC-40*, 1996 : 6-6)

Batasan deformasi *ATC-40*

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam *ATC-40*, 1996 Bab 11.3.3. Deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan simpangan pada tingkat kinerja struktur

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 – 0,015	Tidak ada Batasan	Tidak ada Batasan

(Sumber: *ATC-40*, 1996 : 11-4)

Batasan deformasi *pushover analysis of underground structures*

Deformasi lateral pada saat performance point harus dicek terhadap deformasi *limit* yang ditetapkan dalam tabel *pushover analysis of underground structures*. Deformasi *limit* pada berbagai tingkat kinerja dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. *Storey drift limits at different performance levels and damage state*

<i>Performance level</i>	<i>Damage state</i>	<i>Storey drift</i>
<i>Fully operational, immediate occupancy</i>	<i>No damage</i>	<0,2%
<i>Operational, damage control, moderate</i>	<i>Repairable</i>	<0,5%
<i>Life safe-damage state</i>	<i>Irreparable</i>	<1,5%
<i>Near collapse, limited safety, hazard reduced</i>	<i>Severe</i>	<2,5%
<i>Collapse</i>		>2,5%

(Sumber : *pushover analysis of underground structures*, 2014 : 426)

2. METODE PENELITIAN

Metode pengumpulan data

Pada penelitian ini, data tanah yang akan digunakan berupa hasil modifikasi yang mengacu pada SNI 1726 : 2012, yang mengklasifikasi menjadi tanah lunak, tanah medium, dan tanah keras. Dari klasifikasi tanah tersebut akan di analisis bersamaan dengan tipe tiang pancang kotak berdimensi 500 x 500 mm, 400 x 400 mm, 350 x 350 mm, 300 x 300 mm, 250 x 250 mm serta tiang pancang spun berdiameter 1000 mm, 800 mm, 500 mm, 400 mm, 300 mm. Semua data ini berlokasi pada daerah Tangerang Selatan, Banten.

Metode pengolahan data

Pada proses pengolahan data, data-data yang telah dikumpulkan di teliti dan di analisis menggunakan program berbasis geoteknik dengan memasukkan parameter-parameter yang diperlukan seperti tanah dan tiang yang kemudian diteruskan dengan melakukan analisis perhitungan kapasitas tiang fondasi berdasarkan titik 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-persamaan 1 – 4

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

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

dengan S_a = spektra percepatan, V = gaya geser dasar, w = berat tiang, α_1 = modal koefisien massa pada *mode* pertama., S_d = spektra perpindahan, Δ_{roof} = perpindahan atap, PF = faktor partisipasi modal pada *mode* pertama

Demand spektrum diperoleh dengan mengubah respons spektrum yang biasanya dinyatakan dalam spektra percepatan "Sa" dan periode "T" menjadi format *ADRS* (S_a , S_d) dengan menggunakan persamaan 3 sehingga diperoleh kurva *demand spectrum*.

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

dengan S_a = spektra percepatan, S_d = spektra perpindahan, g = percepatan gravitasi, T = periode getar fundamental

Selanjutnya, grafik spektrum kapasitas dan spektrum *demand* digambarkan dalam satu grafik *ADRS*. Dalam grafik tersebut akan mendapatkan nilai α_y , D_y , α_{pi} , D_{pi} , selanjutnya dihitung nilai β_0 dan β_{eq} untuk mencari nilai *SRA* dan *SRV* yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai redaman yang tereduksi ($S_a \times SRA/SRV$), kemudian hasil nilai redaman tereduksi tersebut digambarkan dalam satu grafik *ADRS* bersamaan dengan grafik spektrum kapasitas dan spectrum *demand* sebelum tereduksi. Titik perpotongan antara kurva kapasitas dengan kurva redaman yang tereduksi disebut sebagai titik kineja atau *performance point*.

$$\beta_0 = \frac{63.7(\alpha_y D_{pi} - D_y \alpha_{pi})}{\alpha_{pi} D_{pi}} \quad (4)$$

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0,05 \quad (5)$$

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

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

dengan β_0 = redaman histerestis yang mewakili redaman *viscous* ekuivalen, α_y = percepatan pada titik leleh struktur, α_{pi} = percepatan pada titik akhir struktur, d_y = perpindahan pada titik leleh struktur, D_{pi} = perpindahan pada titik akhir struktur. (5) β_{eq} = redaman *viscous* ekuivalen struktur (6) *SRA* = reduksi *non-linier* dinamik riwayat waktu (*ATC-40*) (7) *SRV* = reduksi *non-linier* dinamik riwayat waktu (*ATC-40*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tiang pancang tunggal

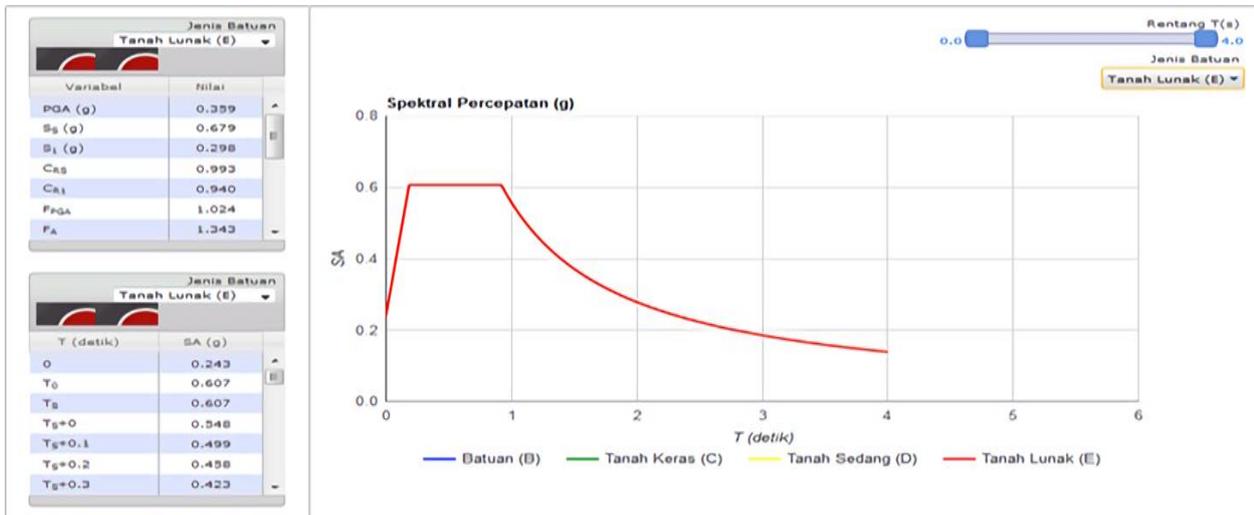
Setelah dilakukan analisis *pushover* sesuai dengan SNI 1726:2012 yang mengacu pada metode *ATC-40*, pada tiang pancang tunggal kotak elastik pada kondisi *freehead* dan *fixedhead* di berbagai dimensi serta pada tiang pancang tunggal spun elastik pada kondisi *freehead* dan *fixedhead* di berbagai dimensi, hasil yang didapat berupa kurva kapasitas, yang kemudian diubah menjadi spektrum kapasitas. Dari analisis tersebut didapat titik kinerja/*performance point* dan *pile drift ratio* yang akan digunakan untuk menentukan tingkat kinerja tiang pancang tunggal tersebut.

Diambil hasil analisa tiang kotak elastik *freehead* dimensi 500 x 500 mm sebagai contoh pengolahan data

Tabel 3. Hasil pengolahan data tiang pancang kotak *freehead* dimensi 500 x 500 mm

Pile 500 x 500 mm			
V (kn)	W (kN)	V/W (g)	Displacement (m)
10	721,875	0,001412	3,24E-04
100	721,875	0,014121	3,24E-03
500	721,875	0,070606	1,62E-02
1000	721,875	0,141211	3,24E-02
1500	721,875	0,211817	4,86E-02
2000	721,875	0,282422	6,54E-02
2500	721,875	0,353028	8,29E-02
3000	721,875	0,423633	1,02E-01
3500	721,875	0,494239	1,21E-01
4000	721,875	0,564845	1,43E-01
4500	721,875	0,63545	1,67E-01
5000	721,875	0,706056	1,94E-01

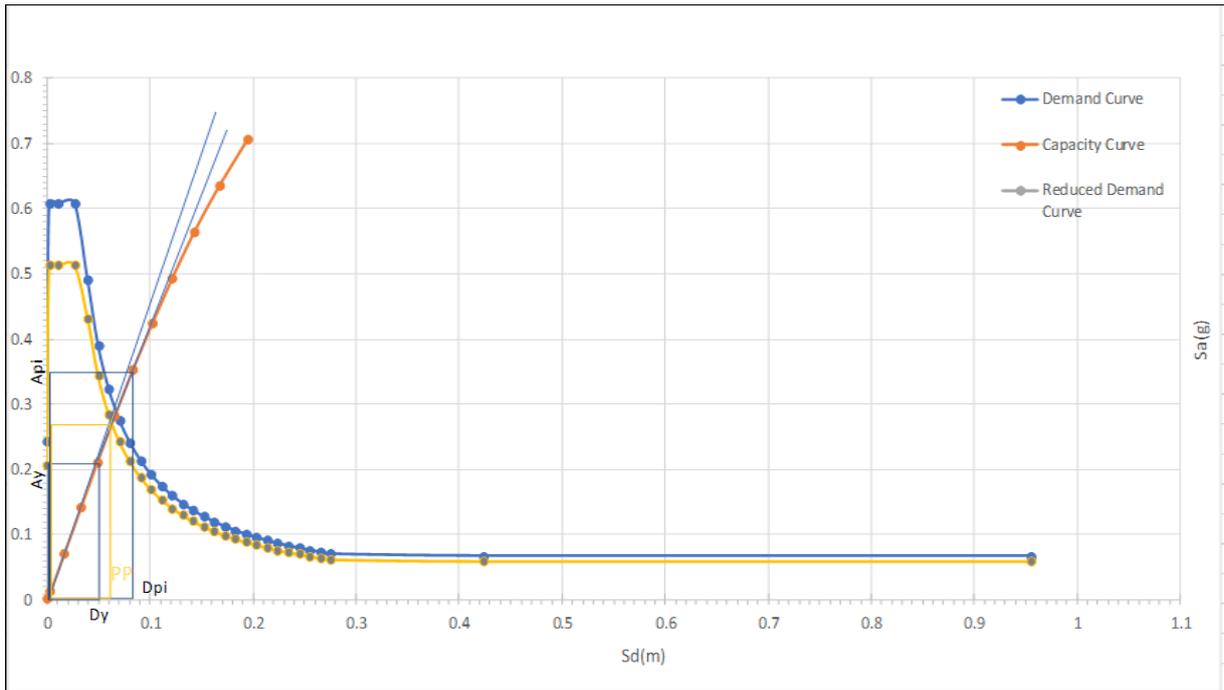
Data di atas kemudian dibandingkan dengan nilai S_a dan S_d yang kemudian dipergunakan untuk membuat kurva spektrum percepatan. Dari hasil perbandingan antar kurva di dapatkan bentuk kurva spektrum kapasitas. S_a dan S_d diperoleh dari *website* desain spektra Jabodetabek (Puskim).



Gambar 2. Kurva spektrum *demand capacity* wilayah jabodetabek (Sumber: puskim.pu.go.id)

Dari kurva spektrum kapasitas dapat ditemukan suatu nilai *performance point* yang kemudian setelah dibagi dengan besar panjang satu tiang akan didapatkan nilai *drift ratio*. *Drift ratio* merupakan nilai acuan yang digunakan untuk menentukan kelayakan dan keamanan pakai bangunan setelah terjadinya gempa.

Berikut merupakan gambaran hasil kurva spektrum kapasitas.



Gambar 3. Kurva spektrum kapasitas tiang pancang kotak dimensi 500 x 500 mm (*freehead*)

Berikut adalah kalkulasi-kalkulasi yang dilakukan untuk mendapat nilai *Performance Point* berdasarkan kurva spektrum kapasitas di atas.

$$\beta_0 = \frac{63.7 (a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} \times d_{pi}} = 2,56941$$

$$\begin{aligned} \beta_{eq} &= \beta_0 + 5 \\ &= 2,56941 + 5 \\ &= 7,56941 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SRA &= \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{eq})}{2.12} \\ &= 0,864906395 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SRV &= \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eq})}{1.65} \\ &= 0,897038002 \end{aligned}$$

Dari gambar 3 didapat nilai *performance point* 0,06 m.

Untuk *pile drift ratio*, h tiang = 7,5 m

$$\begin{aligned} \text{Pile drift ratio} &= \frac{\text{performance point}}{h \text{ tiang}} \cdot 100\% \\ &= 0,8 \% \end{aligned}$$

Menurut ATC-40 = 0,0087 (0,01 → *Immediate Occupancy*)

Menurut *pushover analysis of underground structures* = 0,008

(<1,5% → *irreparable, life safe-damage state*)

Lakukan perhitungan untuk semua pemodelan tiang pancang kemudian bandingkan dengan kriteria yang tertera dalam *ATC-140*.

Berikut merupakan hasil analisa terhadap tiang kotak elastik.

Tabel 4. Hasil analisis tiang kotak elastik

Tipe	Dimensi (mm)	Depth (m)	Performance Point	Pile Drift Ratio (%)	Kategori	Kesimpulan
<i>Freed Head</i>	250	7,5	0,06	0,8	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	250	7,5	0,06	0,8	<1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	300	7,5	0,06	0,8	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	300	7,5	0,06	0,8	<1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	350	7,5	0,06	0,8	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	350	7,5	0,06	0,8	<1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	400	7,5	0,06	0,8	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	400	7,5	0,06	0,8	>1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	500	7,5	0,06	0,8	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	500	7,5	0,06	0,8	<1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	250	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	250	7,5	0,09	1,2	>1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	300	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	300	7,5	0,09	1,2	<1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	350	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	350	7,5	0,09	1,2	>1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	400	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	400	7,5	0,09	1,2	<1,5%	<i>Life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	500	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	500	7,5	0,09	1,2	>1,5%	<i>Life safe-damage state</i>

Berikut merupakan hasil analisa tiang spun elastik.

Tabel 5. Hasil analisis tiang spun elastik

Tipe	Diameter (mm)	Tebal (mm)	Depth (m)	Performance Point	Pile Drift Ratio (%)	Kategori	Kesimpulan
<i>Free Head</i>	300	60	7,5	0,07	0,94	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	300	60	7,5	0,07	0,94	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	400	75	7,5	0,07	0,94	0,01	<i>Immediate Occupancy</i>
<i>Free Head</i>	400	75	7,5	0,07	0,94	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	500	90	7,5	0,07	0,94	0,01	<i>damage control</i>
<i>Free Head</i>	500	90	7,5	0,07	0,94	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	800	120	7,5	0,08	1,07	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Free Head</i>	800	120	7,5	0,08	1,07	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Free Head</i>	1000	140	7,5	0,085	1,14	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Free Head</i>	1000	140	7,5	0,085	1,14	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	300	60	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	300	60	7,5	0,09	1,2	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	400	75	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	400	75	7,5	0,09	1,2	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	500	90	7,5	0,09	1,2	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	500	90	7,5	0,09	1,2	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	800	120	7,5	0,075	1,07	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	800	120	7,5	0,075	1,07	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>
<i>Fixed Head</i>	1000	140	7,5	0,1	1,34	0,01 – 0,02	<i>damage control</i>
<i>Fixed Head</i>	1000	140	7,5	0,1	1,34	<1,5%	<i>life safe-damage state</i>

Berdasarkan kedua tabel diatas dapat dijabarkan bahwa untuk tiap – tiap jenis tiang pancang baik yang berbentuk kotak ataupun spun dapat diketahui bahwa kondisi pemodelan *Fixed Head* memiliki potensi kegagalan atau keruntuhan yang lebih kecil disbanding kondisi pemodelan *Free Head*. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pemodelan *Fixed Head* lebih sesuai untuk mengatasi gaya lateral yang diberikan dalam kondisi berskala 10 Kn, hingga 10.000 Kn. Selain itu diameter atau lebar tiang juga mempengaruhi kemampuan tiang dalam mengatasi gaya lateral yang dimana lebih terlihat dalam kondisi pemodelan *Free Head*. Semakin besar diameter tiang, semakin kuat juga kemampuan tiang menahan gaya lateral, akan tetapi semakin besar diameter tiang maka semakin besar pula kemungkinan kegagalan pada tanah tempat tiang terpasang yang mengakibatkan adanya batasan besar diameter tiang yang dapat digunakan untuk dapat memenuhi syarat untuk dapat menahan gaya lateral tetapi tidak mengakibatkan kegagalan pada tanah.

Berikut merupakan tabel hasil cek validasi menggunakan *L-Pile*

Tabel 6. Contoh hasil analisis tiang tunggal kotak *freehead* (dimensi 500 x 500 mm) dengan menggunakan program berbasis geoteknik lain (*L-Pile*)

<i>Pile-head Point Number</i>	<i>Pile-head Fixity Condition</i>	<i>Pile-head Deflection (m)</i>	<i>Max Shear (kN)</i>	<i>Moment in (kNm)</i>	<i>Max Pile (abs)</i>	<i>Shear in (kN)</i>	<i>Depth Pile (abs)</i>
1	<i>Pin-head</i>	2,54E-06	0,4464	0,1878	0,4464	4,0833	0
2	<i>Pin-head</i>	0,08289	100,6205	178,3571	100,6205	4,0833	0
3	<i>Pin-head</i>	0,1658	120,7305	214,9165	120,7305	4,0833	0
4	<i>Pin-head</i>	0,2487	134,0624	239,0251	134,0624	4,0833	0
5	<i>Pin-head</i>	0,3316	144,3237	257,5383	144,3237	4,0833	0
6	<i>Pin-head</i>	0,4144	152,5855	272,7646	152,5855	4,0833	0
7	<i>Pin-head</i>	0,4973	158,4377	285,5039	158,4377	4,0833	0
8	<i>Pin-head</i>	0,5802	162,6164	296,0706	162,6164	4,0833	0
9	<i>Pin-head</i>	0,6631	165,7325	304,8271	165,7325	4,0833	0
10	<i>Pin-head</i>	0,746	168,1456	312,1084	168,1456	4,0833	0

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin kecil dimensi tiang pancang kotak elastik maka semakin besar nilai *displacement* yang terjadi. Hal ini menggambarkan bahwa semakin kecil dimensi tiang pancang kotak elastik maka semakin kecil kemampuan tiang dalam menahan gaya geser yang diterima oleh struktur. Jika ditinjau terhadap gaya geser terbesar yang diberikan pada saat pemodelan percobaan perhitungan *displacement* terhadap tiang, sebagai contoh pada besar gaya geser 10.000 kN diperoleh nilai tiang pancang kotak elastik *fixedhead* dimensi 50 x 50 cm *displacement* senilai 8,20E-01 m, pada tiang pancang kotak elastik *fixedhead* dimensi 40 x 40 cm *displacement* senilai 7,55E-01 m, pada tiang pancang kotak *elastic fixedhead* dimensi 35 x 35 cm *displacement* senilai 8,19E-01 m, pada tiang pancang kotak elastik *fixedhead* dimensi 30 x 30 cm *displacement* senilai 8,90E-01 m, pada tiang pancang kotak *elastic fixedhead* dimensi 25 x 25 cm *displacement* senilai 9,84E-01 m.
2. Pada tiang pancang spun elastik dapat diketahui bahwa batasan diameter tiang pancang spun yang dapat ditahan oleh data tanah yang dipergunakan baik pada kasus *freehead* maupun *fixedhead* yaitu pada diameter 50 m, dimana pada diameter yang lebih besar dari 50 cm tanah sudah tidak memungkinkan untuk menahan gaya yang diberikan. Sebagai contoh, pada tiang pancang spun *fixedhead* diameter 80 m *pile drift ratio* senilai 1,07% dan pada tiang pancang spun *fixedhead* diameter 100 m *pile drift ratio* senilai 1,34% berbeda dengan 3 hasil diameter pemodelan sebelumnya, dimana hasil *pile drift ratio* tidak sejajar melainkan terjadinya penurunan kemudian kenaikan lagi setelahnya.
3. Pada tiang pancang baik dalam dimensi kotak maupun tiang pancang diameter spun, diperoleh perbandingan dimana nilai *pile drift ratio* yang dihasilkan pada pemodelan *fixedhead* lebih besar dari nilai *pile drift ratio freehead*. Hal ini menunjukkan bahwa pergeseran yang terjadi adalah lebih besar dimiliki oleh pemodelan tiang pancang secara *fixedhead* dibanding *freehead*.

Saran

1. Perlu dilakukan lebih banyak analisis pada tipe tiang serta ukuran tiang yang berbeda-beda untuk membandingkan hasil *pile drift ratio* dengan lebih akurat pada desain gempa berbasis gaya lateral dan berbasis perpindahan.
2. Perlu dilakukan analisis pada tiang elastik untuk membandingkan hasil *pile drift ratio* dengan lebih akurat pada desain gempa berbasis gaya lateral dan berbasis perpindahan.
3. Perlu dilakukan analisis tipe tiang dan ukuran tiang pada desain gempa berbasis gaya lateral dan berbasis perpindahan di program lainnya agar dapat mengetahui program mana sajian yang memberikan hasil yang paling mendekati.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*. Applied Technology Council, 1996.
- Badan Standarisasi Nasional. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung (SNI 1726:2012)*, Badan Standarisasi Nasional, 2012.
- Bowles, Joseph E. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1*, Edisi Keempat, Erlangga, 1991.
- Bowles, Joseph E. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 2*, Edisi Keempat, Erlangga, 1991.
- Hardiyatmo, Hary Chirstady. *Teknik Pondasi 2*. Edisi Pertama, Gramedia Pustaka Utama, 2008.
- HS, Sardjono. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 1: Untuk Universitas dan Umum*. Edisi Pertama, Sinar Wijaya, 1984.
- Liu, Jingbo, et al. "Pushover Analysis of Underground Structures: Method and Application". *Science China Technological Sciences*, Vol. 57, No. 2, 2014, pp. 423 – 437.
- Matlock, H., dan Reese, L.C. *Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles*. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 1967.
- Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman. *Desain Spektra Indonesia*. 2019: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011.
- Rahardjo, P.P. *Manual Pondasi Tiang*. Edisi Ketiga, Universitas Katolik Parahyangan, 2005.
- Reese, L.C. dan Van Impe, W.F. *Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading*, Taylor & Francis, 2001.
- Tavio dan Usman Wijaya. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Edisi Kedua, Andi, 2018.

