

Estimasi Daya Dukung *Block Foundation* dan Kelompok Tiang: Studi Model Laboratorium pada Tanah Pasir

Soewigno Agus Nugroho^{1,*}, Syawal Satibi¹, Subhan Pytar Wijaya¹, Yusuf Agustamar¹

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru¹

Koresponden*, Email: nugroho.sa@eng.unri.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	18 September 2021	<i>Analysis of bearing capacity for foundation design is important. Therefore, an alternative design is needed to know actual capacity of pile group and block. Models of pile group with variations in number, length, and spacing is used on uniform loose sand for proved it. The loading tests conducted on pile models and record p-y curve. The research objective to study effect of number, length, spacing of pile in piles group compared with pile capacity of block. Based on 25 mm settlement of loading test, the result shows block foundation, 3d and 5d spacing has capacity 1560N, 1200N, 1230N respectively on 400 mm length. Analysis of p-y curve with Chin methods, pile capacity of spacing 5d, 3d of pile group and block, in sequence, were 1380N, 1430N and 1660N. Hence, its can be concluded that the pile group in 3d spaced has a larger capacity than 5D spaced.</i>
Diperbaiki	06 Januari 2023	
Disetujui	13 Januari 2023	
Keywords: <i>block foundation, capacity of pile, group, pile foundation, sand</i>		Abstrak Analisis daya dukung fondasi penting dalam perancangan fondasi. Oleh karena itu diperlukan desain alternatif untuk mengetahui kapasitas dukung grup tiang dan blok. Model kelompok tiang dengan variasi jumlah, Panjang, dan spasi dipakai pada media pasir longgar seragam untuk pembuktian. Uji beban statis dilakukan pada model dan mencatat data kurva p-y. Penelitian bertujuan mempelajari pengaruh jumlah, Panjang, dan spasi tiang dalam kelompok untuk ditentukan daya dukung kelompok tiang dibandingkan daya dukung blok tiang. Pada penurunan 25mm, daya dukung tiang kelompok blok, spasi 3d dan 5d, berturut-turut adalah 1560N, 1230N, dan 1200N. Analisis kurva p-y dengan metode Chin menghasilkan daya dukung kelompok tiang spasi 5d, 3d, dan blok berurutan sebesar 1380N, 1430N, dan 1660N. Dapat disimpulkan bahwa kelompok tiang spasi 3d daya dukung lebih besar daripada tiang spasi 5d.
Kata kunci: blok fondasi, daya dukung tiang, fondasi tiang, grup, pasir		

1. Pendahuluan

Fondasi berfungsi meneruskan beban dari struktur atas secara merata ke lapisan tanah pendukung. Pemilihan jenis dan ukuran fondasi sangat penting di bidang rekayasa geoteknik [1], [2]. Dimensi fondasi harus mempunyai factor keamanan memadai sehingga tidak terjadi kegagalan daya dukung, tidak terjadi *difference settlement*, dan penurunan yang terjadi masih memenuhi standar [3], [4]. Beberapa pendapat tentang definisi, fungsi, daya dukung, dan pemilihan fondasi yang tepat diuraikan oleh beberapa peneliti.[5]

Jenis fondasi yang sesuai untuk tanah pendukung yang memadai/tanah keras yang terletak pada kedalaman lebih dari 10m dibawah permukaan tanah adalah fondasi dalam [6].

Suryolelono [7] dalam bukunya berpendapat, fondasi tiang secara umum digunakan bila dijumpai kondisi tanah dasar fondasi yang baik atau dengan daya dukung tinggi terletak pada kedalaman yang cukup besar ($D/B \geq 10$), sedang tanah di atas tanah baik kurang mampu mendukung

beban yang bekerja atau merupakan tanah lunak. Penggunaan fondasi tiang pancang sebagai fondasi bangunan apabila tanah yang berada dibawah dasar bangunan tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan beban yang bekerja padanya [8].

Pemancangan tiang ke dalam tanah akan meningkatkan kepadatan tanah di sekitar tiang sehingga meningkatkan kuat gesernya. apabila tiang yang dipancang jaraknya relatif dekat, maka luasan tanah yang meningkat kuat geser juga akan bertambah. Tanah dengan kuat geser yang lebih besar akan membentuk cluster-cluster terpisah atau membentuk satu blok. Sehingga daya dukung tiang tunggal, kelompok tiang, dan blok tiang, pada tanah lempung, akan menghasilkan daya dukung tiang yang berbeda. Penelitian ini mencoba menguji model tiang skala Laboratorium, untuk mendapatkan kapasitas dukung fondasi tiang sebagai tiang tunggal, kelompok tiang, maupun blok tiang. Variasi panjang tiang dan jarak antar tiang juga akan diperiksa.

Augustesen dalam disertasinya [9] menjelaskan, kapasitas aksial suatu tiang dapat diketahui dengan cara uji langsung (*static loading test, dynamic loading test, stadnac loading test, PDA*) dan formula-formula empirik (rumus tiang pancang, persamaan-persamaan desain statik dari uji lapangan dan laboratorium).

Penelitian-penelitian lapangan mengenai fondasi dalam (*deep foundation*) telah banyak dilakukan beberapa dekade terakhir ini [10], [11]. Priarianto [12], melakukan analisis pengaruh diameter, panjang, dan formasi tiang terhadap kapasitas dukung fondasi tiang pancang, dan menyimpulkan bahwa kapasitas dukung tiang akan mengalami peningkatan berbanding lurus dengan semakin besar diameter dan panjang tiang.

Penelitian pengaruh jarak antar tiang pada daya dukung tiang pancang kelompok pada tanah lempung dilakukan oleh Manoppo [13]. Hasil yang didapatkan pada penelitian adalah dengan jumlah tiang yang sama, jarak antar tiang berpengaruh terhadap daya dukung tiang pancang kelompok dimana semakin besar jarak antar tiang pancang dari 1,5D sampai dengan 15D terjadi kenaikan daya dukung baik teoritis maupun uji laboratorium.

Della dalam disertasinya [14] menyimpulkan, tiang tahanan gesek pada tanah kohesif, geser blok di sekeliling kelompok tiang ditambah dengan daya dukung ujung, besarnya tidak boleh melebihi jumlah total daya dukung masing-masing tiang.

Nugroho dkk meneliti pengaruh ukuran, kedalaman dan spasi perkuatan terhadap daya dukung fondasi telapak diatas tanah gambut mengambil kesimpulan bahwa material perkuatan yang ada dalam masa tanah memberikan kontribusi yang signifikan dalam merubah karakteristik mekanis dari tanah yang diperkuatnya (daya dukung lebih tinggi) [15]

Penggunaan tiang sebagai fondasi, terutama tiang pancang, bekerja dalam suatu kelompok tiang dalam mendukung suatu beban bangunan. Kapasitas dukung suatu kelompok tiang tidak selalu sama dengan daya dukung *single pile* dikalikan jumlah tiang. Daya dukung grup tiang bisa lebih kecil atau lebih besar tergantung jarak antar tiang, jenis tanah pendukung, dan jumlah tiang. Keruntuhan tiang sebagai *single pile* atau kelompok tiang telah dilakukan oleh Kalantari [16]. tiang yang dipancang pada tanah lempung bias terjadi sebagai keruntuhan tiang tunggal atau keruntuhan blok (*block failure*) tergantung kuat geser tanah, spasi, dan panjang/tipe tiang. Penelitian ini bertujuan melihat pengaruh panjang dan spasi tiang dalam satu kelompok tiang (*pile group*) pada tanah pasir. Model *pile group* dibebani dengan pembebanan system *Constant Rate of Penetration (CRP)* pada beberapa variasi panjang dan jumlah (spasi) tiang

2. Metode Penelitian

Penelitian menggunakan model prototype, fondasi tunggal, kelompok tiang dan blok fondasi yang ditanam pada media pasir. Box pengujian dari bahan *flexiglass* dengan luas alas 300x900 mm² dengan tinggi 900 mm, diisi pasir dengan tinggi 700 mm. Pasir berasal dari Desa Teratak Buluh, Kabupaten Kampar, Riau. Hasil Pengujian pada pasir ditampilkan pada **Tabel 1**

Tabel 1. Hasil Pengujian Pasir Teratak Buluh

No.	Properties	Unit	Hasil
1.	Specific Gravity (Gs)	-	2,64
2.	angka pori maksimum (emax)	-	0,64
3.	angka pori minimum (emin)	-	0,23
4.	Cc	-	2,13
5.	Cu	-	1,36
6.	pass sieve #No. 200	%	0,94

Media tanah pasir diset kondisi longgar (*loose*) dan bergradasi seragam (*uniform*), lolos saringan #4 dan tertahan saringan #10, dengan kerapatan relative (Dr)= 30%. Pengujian properties pasir dan loading test model fondasi dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau.

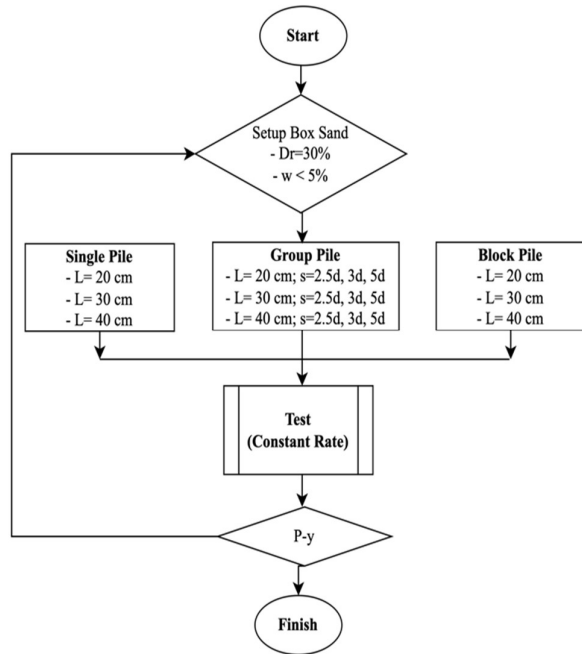
Model fondasi dalam dibedakan dalam 3 bentuk yaitu *single pile, pile group, dan block fondasi*. Panjang tiang tertanam menggunakan 3 (tiga) variasi yaitu 20 cm; 30 cm; dan 40 cm. Jarak antar tiang dan jumlah tiang disusun sedemikian rupa sehingga mempunyai luas sama dengan batas keliling tepi tiang terluar. Variasi spasi dan panjang bentuk model fondasi ditampilkan pada **Tabel 2** dan **Gambar 1**.

Tabel 2. Variasi Spasi dan Panjang Tiang Model Fondasi

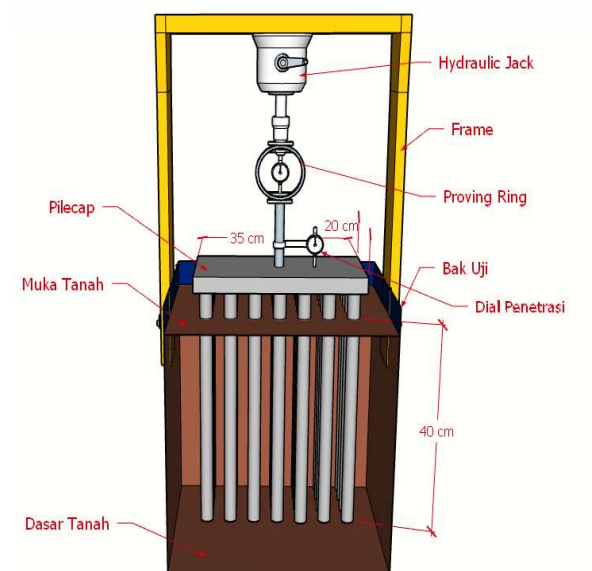
No.	Model tiang	A=BxD		mxn		panjang, cm		
		B	L	m	n	L ₁	L ₂	L ₃
1.	single pile	d=2,5cm		1	1	20	30	40
2.	block (B)	17,5	32,5	-	-	20	30	40
3.	pilegroup-1	17,5	32,5	3	7	20	30	40
4.	pilegroup-2	17,5	32,5	3	4	20	30	40
5.	pilegroup-3	17,5	32,5	3	3	20	30	40

Pengujian beban statis dan sentris pada model kelompok tiang dilakukan pada media pasir kering. *Setup static loading test* pada model terdiri dari box uji, *loading frame, dial gauge, hydraulic jack (Gambar 2)*. *Constant Rate of Penetration Method (CRP)* dipilih untuk *loading test* dengan kecepatan penetrasi 1 mm/min. pembacaan besar beban dan settlement dilakukan tiap penambahan deformasi sebesar 1mm. pengujian beban statis dihentikan saat deformasi yang terjadi sebesar 30mm. Dimensi pilecaps (*poer*) block fondasi

dibuat dengan dimensi yang sama dengan pile group yaitu 200x350x30 mm³. Blok fondasi mempunyai panjang 200mm, 300mm, dan 400mm. luas penampang blok fondasi, BxD=175mmx325mm (**Gambar 3**).



Gambar 1. Diagram Alir Pengujian



Gambar 2. Setup uji pembebanan statis

Model kelompok tiang dibuat dengan beberapa variasi spasi dan panjang, dengan luas tiang kelompok, BxD. Jarak antar tiang dibuat 2,5d; 3d; 5d, dan 6d serta panjang tiang 200mm, 300mm, dan 400mm (Gambar 4). Jarak antar tiang arah lebar (sumbu y) adalah 6d, sementara spasi arah memanjang (arah-x) yaitu dengan jarak 2.5d, 3d, dan 5d. matrik susunan kelompok tiang adalah (3x7), (3x4), dan (3x3). **Tabel 3** merangkum nomenklatur jenis tiang berdasarkan variasi panjang tiang dan jarak antar tiang.

Tabel 3. Variasi model kelompok tiang

No	Variasi model kel. tiang	L (mm)	Jumlah tiang, spasi		
			2.5d	3.0d	5.0d
1.	B ₁	200	-	-	-
2.	B ₂	300	-	-	-
3.	B ₃	400	-	-	-
4.	L ₂₀₀ S _{2.5d}	200	21	-	-
5.	L ₂₀₀ S _{3.0d}	200	-	12	-
6.	L ₂₀₀ S _{5.0d}	200	-	-	9
7.	L ₃₀₀ S _{2.5d}	300	21	-	-
8.	L ₃₀₀ S _{3.0d}	300	-	12	-
9.	L ₃₀₀ S _{5.0d}	300	-	-	9
10.	L ₄₀₀ S _{2.5d}	400	21	-	-
11.	L ₄₀₀ S _{3.0d}	400	-	12	-
12.	L ₄₀₀ S _{5.0d}	400	-	-	9

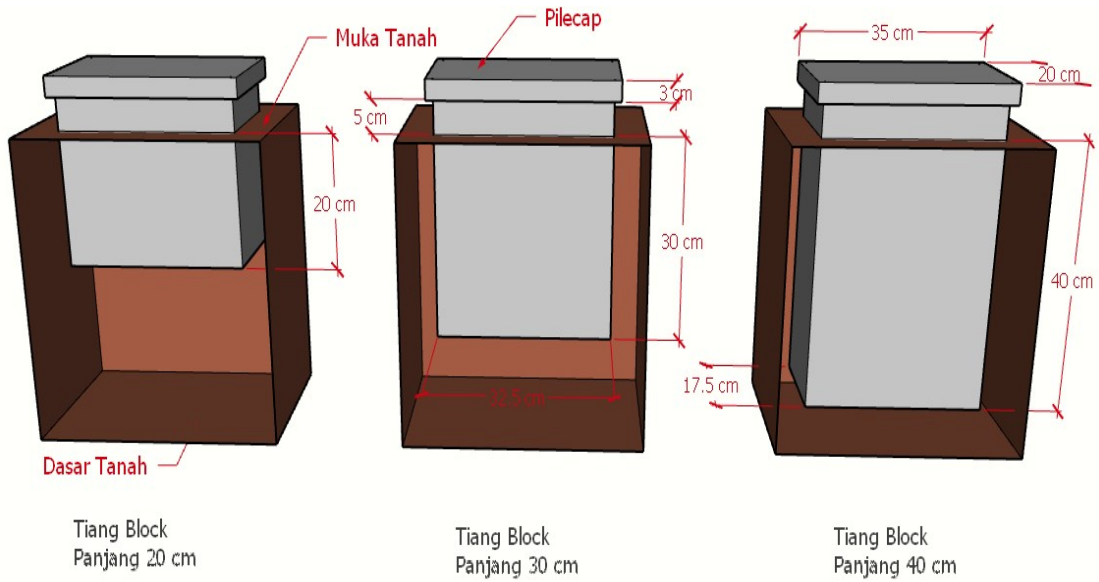
Note: B=blok tiang L₂₀₀=tiang panjang 200mm
S_{2.5d}=spasi 2.5d

Pembebanan model fondasi kelompok dibuat Sentris sehingga beban yang diterima masing-masing tiang dalam kelompok tiang sama. Oleh karena itu, titik pusat pilecap dan titik pusat susunan tiang dibuat berimpit dengan titik pusat pembebanan (*hydraulic jack*). Kurva hubungan beban dengan penurunan, p-y curve, dibuat dengan mencatat beban yang bekerja pada tiap-tiap penambahan deformasi sebesar 1.0 mm

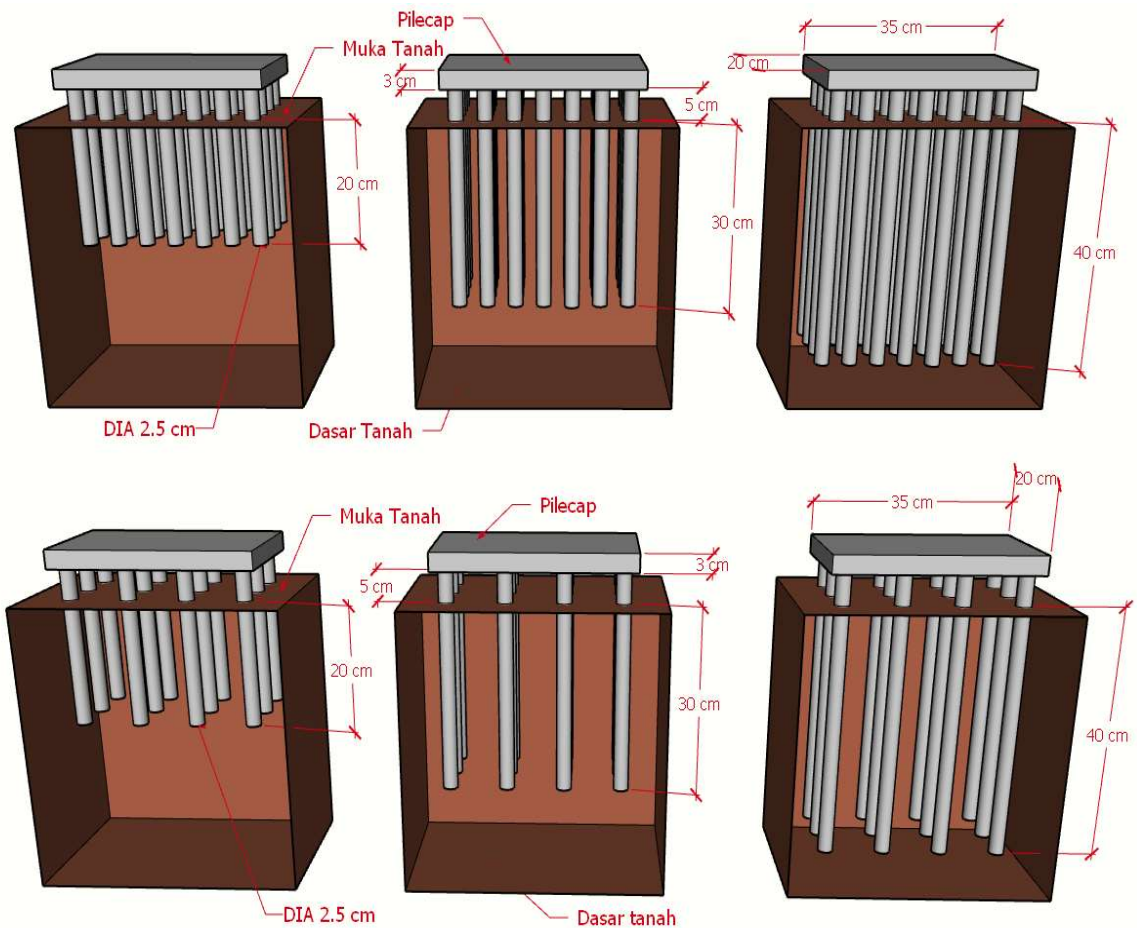
3. Hasil dan Pembahasan

Interpretasi kurva beban vs penurunan (p-y curve) dilakukan dengan melihat besar beban pada penurunan 25 mm dan besar beban ultimit metode dari Terzaghi-Peck dan dan metode Chin. Data uji pembebanan model peneliti sebelumnya digunakan sebagai pembanding.

Agustamar [17] telah melakukan pengujian single pile dan pile group pada jenis pasir yang sama pada tiang tunggal dengan panjang 200mm, 300mm, dan 400mm dan kelompok tiang dengan jarak antar tiang 2,5d dan 5d.



Gambar 3. Model block foundation



Gambar 4. Model Pile Group dengan Variasi Panjang dan Spasi

Hasil interpretasi daya dukung tiang dari hasil uji pembebanan statis pada model, dilakukan dengan 2 (dua) metode yaitu *intersection (old methods)* dan metode Chin. Daya dukung tiang cara *old method* dengan melihat besar beban yang menyebabkan penurunan 25 mm. Hasil interpretasi pengujian beban ditampilkan dalam **Tabel 4**.

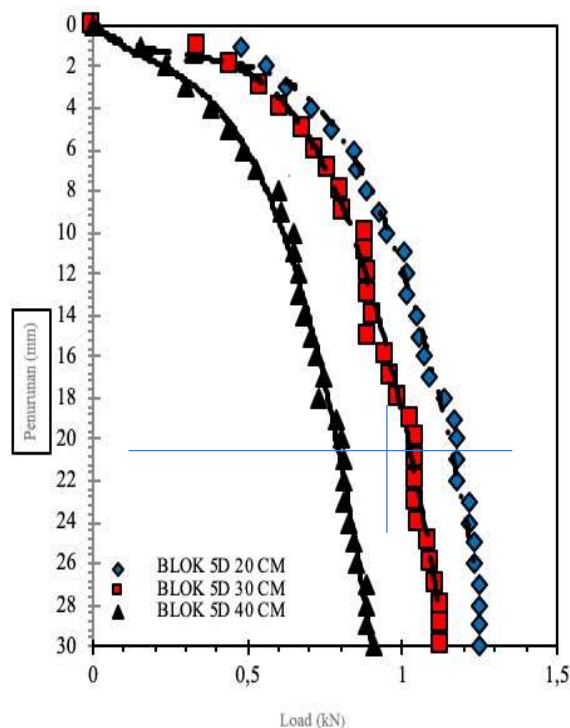
Tabel 4. Hasil uji beban statis kelompok tiang

No.	Variasi kel. tiang	Beban, P (Newton)			Chin
		P single	n*P group	Pgroup 25mm	
1.	B ₁ , L ₂₀₀	41	-	41	48
2.	B ₂ , L ₃₀₀	41	-	45	50
3.	B ₃ , L ₄₀₀	49	-	51	57
4.	L ₂₀₀ S _{2.5d}	-	1689	905	1150
5.	L ₂₀₀ S _{3.0d}	-	1121	850	1218
6.	L ₂₀₀ S _{5.0d}	-	369	840	1054
7.	L ₃₀₀ S _{2.5d}	-	2179	1213	1250
8.	L ₃₀₀ S _{3.0d}	-	1295	1100	1267
9.	L ₃₀₀ S _{5.0d}	-	1405	1040	1236
10.	L ₄₀₀ S _{2.5d}	-	2232	1472	1403
11.	L ₄₀₀ S _{3.0d}	-	2008	1230	1428
12.	L ₄₀₀ S _{5.0d}	-	1459	1200	1377

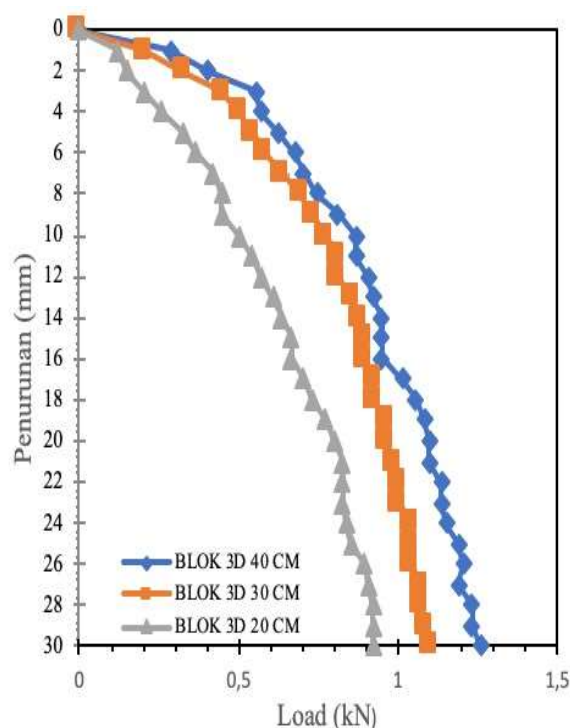
Seperti ditampilkan pada **Tabel 4**, tiang tunggal maupun kelompok tiang, daya dukung tiang tunggal/kelompok tiang meningkat seiring dengan semakin panjang tiang. Besarnya daya dukung grup dicari dengan mengalikan daya dukung tiang tunggal dengan jumlah tiang dalam grup. Pada kelompok tiang dengan spasi 5d (panjang 200mm), jumlah tiang dalam kelompok adalah Sembilan, maka daya dukung grup adalah=41 Newton x 9=369 N. Hasil uji beban untuk tiang grup (pilegroup) metode *intersection* dan metode Chin menghasilkan nilai daya dukung lebih kecil dibandingkan dengan hasil perkalian antara jumlah tiang dengan hasil uji tiang tunggal. Pada tiang panjang 400mm, daya dukung tiang kelompok mempunyai perbedaan nilai kecil, terutama metode Chin, artinya perilaku susunan tiang hampir sebagai blok tiang sehingga nilai daya dukung tiang hampir sama.

Pengujian bock fondasi untuk jarak antar tiang 5d dan 3d, dengan melihat beban ultimit sebagai beban yang mengakibatkan penurunan 25mm, ditampilkan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

Melihat **Gambar 5** dan **Gambar 6**, beban yang menyebabkan penurunan sebesar 25 mm lebih besar dari beban ultimit yang merupakan *intersection* antara 2 (dua) kemiringan kurva. Hasil daya dukung metode direct *intersection* dari kurva p-y dirangkum dalam **Tabel 5**



Gambar 5. p-y curve spacing 5d



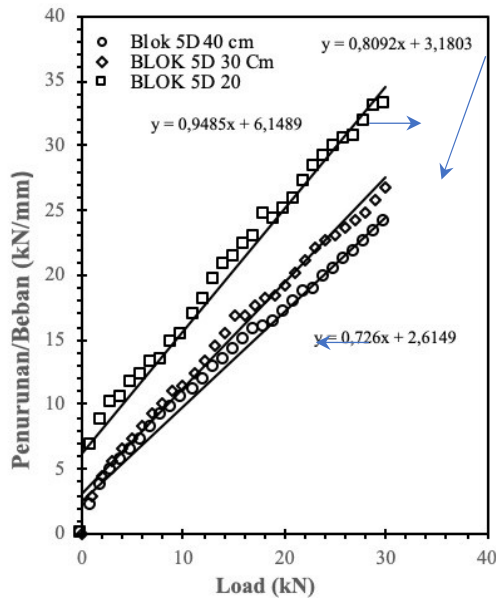
Gambar 6. p-y curve spacing 3d

Tabel 5. daya dukung tiang (Newton) metode intersection (*old methods*) pada block fondasi

No.	Deskripsi	Jarak antar tiang (spasi)	
		3d	5d
1.	L=200mm, spasi 5d	-	572
2.	L=300mm, spasi 5d	-	805
3.	L=400mm, spasi 5d	-	1135
4.	L=200mm, spasi 3d	614	-
5.	L=300mm, spasi 3d	721	-
6.	L=400mm, spasi 3d	885	-

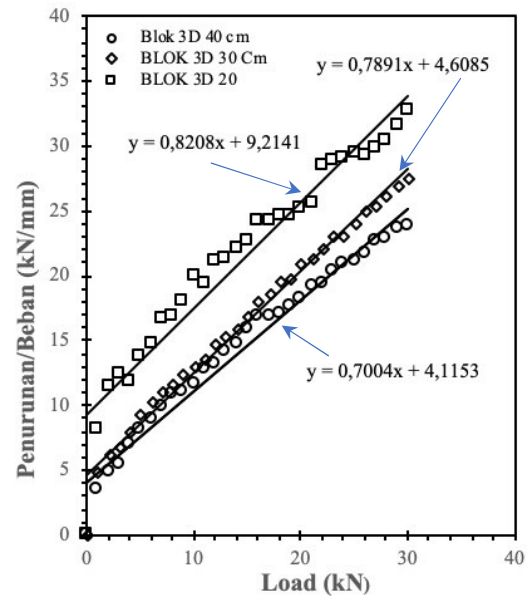
Tabel 5 merupakan pengujian untuk pembuktian yang telah dilakukan oleh Agustamar [17], pada spasi 2,5d, 3d, dan 5d. Pada uji pembebanan fondasi block, luasan block fondasi antara spasi 2,5d dan 5d adalah sama, maka pengujian kembali hanya dilakukan untuk spasi 5d dan 3d. hasil uji beban berbeda disebabkan karena derajat kepadatan yang digunakan kemungkinan sedikit berbeda

Gambar 7 dan **Gambar 8** merupakan interpretasi kurva p-y dengan metode Chin untuk kelompok tiang dengan jarak antar tiang berturut-turut 5d dan 3d



Gambar 7. Chin method spacing 5d

Interpretasi Metode Chin (**Gambar 7**) membuktikan bahwa semakin panjang tiang dalam suatu kelompok, daya dukung grup tiang semakin besar ditandai dengan *gradient* (*slope*) kurva yang semakin landai/kecil.



Gambar 8. Chin Method spacing 3d

Kelompok tiang dengan jarak antar tiang 3d (**Gambar 8**), perbedaan daya dukung kelompok tiang dapat diturunkan dengan melihat hasil invers (kebalikan) dari nilai koefisien gradient. Jika suatu persamaan hasil interpretasi metode Chin seperti persamaan 1, maka daya dukung grup tiang dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$y = ax + b \tag{1}$$

$$Q = 1/a \tag{2}$$

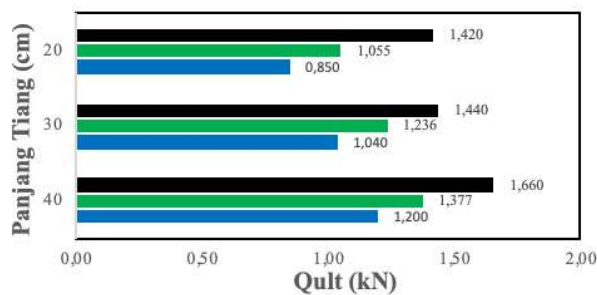
sebagai contoh, untuk panjang tiang 400mm dengan spasi 3d, $y = 0,7004x + 41153$; maka daya dukung grup tiang, $Q = 1/0,7004 = 1,428$ kN

Hasil pengujian model tiang untuk spasi 5d dan 3d, yang dianalisis sebagai tiang tunggal, tiang kelompok, dan block tiang dengan interpretasi metode Chin dan direct method, ditampilkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Daya dukung tiang (kN) menggunakan metode Chin

No.	Diskripsi	Agustamar, Chin	Pile groups		Block, Chin
			Chin	25mm	
1.	S _{5d} L ₂₀₀	1,015	1,054	0,840	1,055
2.	S _{5d} L ₃₀₀	1,083	1,236	1,040	1,240
3.	S _{5d} L ₄₀₀	1,556	1,377	1,200	1,380
4.	S _{3d} L ₂₀₀	1,420	1,218	0,850	1,239
5.	S _{3d} L ₃₀₀	1,440	1,267	1,100	1,266
6.	S _{3d} L ₄₀₀	1,660	1,428	1,230	1,429

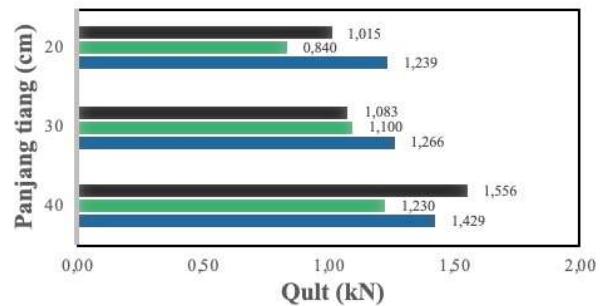
Tabel 6 menyimpulkan penjelasan dari paragraf sebelumnya bahwa penentuan daya dukung kelompok tiang secara langsung (*25mm of settlement, direct methods*), dari Terzaghi & Peck hasilnya jauh lebih kecil daripada daya dukung metode Chin. Selanjutnya, Metode Chin dipakai sebagai dasar untuk menentukan daya dukung tiang kelompok, blok tiang, dan hasil penelitian sebelumnya dari Agustamar. Hasil uji pembebanan juga memperlihatkan bahwa ada perbedaan daya dukung, metode Chin, pada *pile group* dan *block* tiang. Perbedaan hasil daya dukung tiang dapat dilihat pada *bar chart* pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 9. daya dukung blok 5d

Gambar 9 adalah nilai daya dukung kelompok tiang dan blok tiang dalam bentuk diagram batang. Daya dukung kelompok tiang, spasi 5d, sedikit lebih kecil daripada daya dukung blok tiang. Tiang dengan panjang 200mm, daya dukung sebagai kelompok tiang diperoleh 1,054 kN; sebagai blok tiang sebesar 1,055 kN. Tiang dengan panjang 300mm dan 400mm, sebagai *pile group* dan blok tiang mempunyai daya dukung berturut-turut sebesar 1,236 kN dan 1,377 kN serta 1,240kN dan 1,380 kN. Perbedaan nilai daya dukung berkisar 0,21% hingga 0,38%. Keruntuhan geser (*punching shear failure*) terjadi pada tanah yang berada disekeliling tiang-tiang dalam kelompok tiang. Tanah di sekeliling tiang tidak lebih baik, membentuk blok tanah, daripada tanah di tepi grup tiang. Hasil kapasitas dukung kelompok tiang pada spasi 5d, hasil uji beban statis, cenderung lebih tinggi dari hasil penelitian agustamar.

Untuk jarak antar tiang 3d, ditampilkan pada **Gambar 10**. Perbedaan nilai daya dukung tiang sebagai kelompok tiang dan blok tiang, untuk spasi 3d, lebih kecil daripada spasi 5d. Tiang dengan panjang 300mm dan 400mm, hanya berbeda 1 N, yaitu 1,267 kN dengan 1,266 kN. Prosentase perbedaan daya dukung kelompok tiang, spasi 3d, dibandingkan dengan blok tiang berkisar dari 0,08% hingga 1,70%. Tidak ada perbedaan yang berarti (*significant*) antara daya dukung kelompok tiang dan blok tiang.



Gambar 10. daya dukung blok tiang 3d

Bisa disimpulkan bahwa terjadi penguatan pasir di sekeliling tiang sehingga membentuk blok luasan.

Pada kelompok tiang dengan spasi 2,5d dan 5d, apabila mengalami keruntuhan blok, akan mempunyai luasan blok sama. Daya dukung kelompok tiang dengan spasi 2,5d dan 3d mempunyai daya dukung grup yang relatif sama, dan tidak ada beda yang berarti dengan daya dukung blok tiang. Artinya kelompok tiang dengan spasi 2,5d dan 3d mengalami keruntuhan blok. Tiang dengan spasi 5d, melihat perbedaan daya dukungnya juga mempunyai kecenderungan berperilaku sebagai blok tiang.

Panjang tiang dalam kelompok tiang, sangat berpengaruh pada daya dukung kelompok tiang dibandingkan perubahan jarak antar tiang. Semakin panjang tiang dalam satu kelompok, maka daya dukung kelompok tiang semakin meningkat.

Perilaku kelompok tiang dalam tanah lempung dan tanah pasir sangat berbeda. Berdasarkan pembahasan paragraph-paragraf sebelumnya, tiang yang ditanam pada pasir longgar, dengan jarak antar tiang kurang dari 5 (lima) kali diameter tiang mengalami keruntuhan blok tiang.

4. Simpulan

Dari hasil uraian-uraian di atas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Interpretasi kurva p-y metode Chin menghasilkan daya dukung tiang paling besar dibandingkan Terzaghi&Peck dan beban yang diterima pada penurunan 25mm
2. Perubahan jarak antar tiang dari 5d menjadi 3d tidak meningkatkan daya dukung kelompok tiang pada luasan yang sama.
3. Tiang yang diperpanjang dalam susunan tiang lebih berpengaruh dalam meningkatkan daya dukung kelompok tiang, dalam kondisi keruntuhan blok.
4. Pada luas blok yang sama, kelompok tiang dengan spasi 2,5d lebih tinggi daya dukung kelompok daripada kelompok tiang dengan spasi 5d. artinya kelompok tiang dengan spasi 5d cenderung mengalami kegagalan geser

tiang tunggal (*single pile failure*) sementara kelompok tiang dengan spasi 2,5d mengalami keruntuhan blok (*block failure*)

Beberapa saran untuk penelitian lanjutan diantaranya sebagai berikut:

1. Perlu diperhatikan kekakuan tiang untuk memastikan tiang tetap kaku selama pelaksanaan uji beban.
2. Penambahan faktor waktu, agar tanah disekiling tiang kembali pada kondisi awal, sebelum kelompok tiang dibebani [18].
3. Memasukan faktor konsistensi pasir (very loose, loose, medium, dense) dengan membedakan derajat kepadatan pasir
4. Variasi gradasi, kepadatan, dan tebal lapisan tanah juga dimungkinkan untuk diteliti.

Jadi, *Full scale model* adalah cara yang paling baik untuk melihat perilaku fondasi tiang secara real time untuk melihat pengaruh spasi, panjang tiang di lapangan

Daftar Pustaka

1. S. A. Nugroho, F. Fatananta, and Lingga P. Subrata, "Kajian Eksperimental dan Empirik Pengaruh Dimensi Fondasi Dangkal," *the 1st Annual Civil Engineering Seminar*, vol. 2015, no. November, pp. 88–95, 2015.
2. S. A. Nugroho, "Studi Daya Dukung Pondasi Dangkal pada Tanah Gambut dengan Kombinasi Geotekstil dan Grid Bambu," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 18, no. 1, pp. 31–40, 2011.
3. F. H. Chen, *Foundation on Expansive Soils: Developments in Geotechnical Engineering*, 12th ed. New York: Elsevier Ltd, 2012.
4. R. Suryadi, S. A. Nugroho, and Muhardi, "Pengaruh Kemiringan Pondasi Tiang Terhadap Daya Dukung Tiang Tunggal Akibat beban Vertikal," in *1st Annual Civil Engineering Seminar*, 2015, vol. 2015, no. November, pp. 263–271.
5. J. E. Bowles, *Foundation Analysis and Design*, 5th ed. Singapore: McGraw-Hill, 2015.
6. S. Sosrodarsono and K. Nakazawa, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, 1st ed. Jakarta: Pradinya paramita, 1984.
7. B. Suryolelono, K., *Teknik Pondasi Bagian II*. Yogyakarta: Nafiri, 1994.
8. H. S. Sardjono, *Fondasi Tiang Pancang*. Surabaya: Sinar Wijaya, 1988.
9. A. H. Augustesen, "The Effects of Time on Soil Behaviour and Pile Capacity," 2006.
10. J. jin Zhou, J. lin Yu, X. nan Gong, and T. long Yan, "Field tests on behavior of pre-bored grouted planted pile and bored pile embedded in deep soft clay," *Soils and Foundations*, vol. 60, no. 2, pp. 551–561, 2020, doi: 10.1016/j.sandf.2020.03.013.
11. G. S. Budi, M. Kosasi, and D. H. Wijaya, "Bearing capacity of pile foundations embedded in clays and sands layer predicted using PDA test and static load test," *Procedia Eng*, vol. 125, pp. 406–410, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.101.
12. E. Priarianto and S. W. Widodo, "Analisis Pengaruh Diameter, Panjang dan formasi Tiang Terhadap Kapasitas Dukung dan Penurunan Pondasi Tiang Pancang," 2002.
13. F. J. Manoppo, "Pengaruh Jarak Antar Tiang Pada Daya Dukung Tiang Pancang kelompok di Tanah Lempung Lunak Akibat Beban Vertikal," *Pacific Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 542–545, 2009.
14. D. A. L. Haris, "Studi Perencanaan Fondasi Tiang or (Bored Pile) pada Pembangunan Neo Java Condotel Kota Batu," Muhammadiyah Malang, 2018.
15. S. A. Nugroho and M. Yusa, "Perilaku Daya Dukung Ultimit Fondasi Dangkal diatas Tanah Lunak yang diperkuat Geogrid," *Media Teknik Sipil*, vol. 10, no. 1, 2010.
16. B. Kalantari, *Foundations on Expansive Soils: A Review*, vol. 4(18), no. September 2012. 2018.
17. M. Y. Agustamar, S. A. Nugroho, and S. Satibi, "Uji Kapasitas Dukung Fondasi Tiang Kelompok Ujung Terbuka Dengan Variasi Pengaruh Spasi Serta Panjang Tiang," *JOM Bidang Teknik dan Sains*, vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2018.
18. Razaq A. C. Wardana, F. Fatnanta, and S. A. Nugroho, "Peningkatan Kapasitas Dukung Kelompok Tiang Pada Tanah Lunak Berdasarkan Efek Waktu," in *the 16th Annual Scientific Meeting*, 2012, pp. 327–332.