

PERBANDINGAN ANALISIS KAPASITAS DUKUNG TIANG TUNGGAL PONDASI MINIPILE MENGGUNAKAN RUMUS DINAMIK, HASIL UJI SPT DENGAN HASIL UJI PDA

Hendrik Prama A¹⁾, Yusep Muslih P²⁾, Noegroho Djarwanti, ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: hendrik.prama@gmail.com

Abstract

In planning the foundation needs to take count of magnitude of the local soil bearing capacity and work load. If the planned foundation can't afford to bear the burden of the foundation, there will be failure and can cause the big damage to the building. Some examples of soil investigations is sondir, drilling, Standard Penetration Test (SPT) and also Pile Driving Analyzer (PDA). When design the foundation, sometimes calculations of bearing capacity shows different results between one method and others. This can be influenced by several factors: soil type, method of calculation and soil sampling. It is necessary for comprehensive study to evaluate the results of each methods. In this study will compare the foundation bearing capacity minipile using dynamic formulas and SPT test results then be verified by the results of PDA test.

The data used in this study is secondary data, such as SPT data, minipile data and PDA test result on Project of PT. Andalan Busana Banyudono, Boyolali. This study use traditional multiple dynamic formula, among others: Formula Hiley (1930), Formula Janbu (1953) enhanced by Mansur-Hunter (1970), Formula Sandres (1851), Formula Olsen-Flaate (1967) and Pacific Coast Uniform Building Code (PCUBC). SPT data recalculated using (2) two methods: Method Meyerhof and Methods Poulos Davis (1980).

Results of Bearing Capacity Ratio (BCR) minipile shows difference results between one and other. Judging from the value of the Bearing capacity ratio (BCR) indicates $Q_{u-dynamic}$ Hilley Formula (1930) and Sandres Formula (1851) is less than 1. BCR of Janbu (1953) enhanced by Mansur-Hunter (1970) Formula and Olsen-Flaate Formula (1967) shows more than 1. In other hand PCUBC Formula shows different results, the formula shows BCR less than 1 at a depth of 10 meters and more than 1 at a depth of 6 meters. Q_{u-SPT} Meyerhof Method and Poulos Davis Method showed BCR less than 1. From these values, it known that most closely one is SPT Meyerhof Method. That means Meyerhof methodis the most reliable method in this study.

Keywords : Minipile, Bearing Capacity, Pile Driving Analyzer

Abstrak

Pada perencanaan pondasi perlu memperhitungkan besarnya kapasitas dukung tanah setempat dan beban yang bekerja. Apabila pondasi yang direncanakan tidak mampu memikul beban pondasi, maka akan terjadi keruntuhan (*failure*) dan penurunan yang dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada bangunan. Beberapa contoh penyelidikan tanah di lapangan adalah sondir, pengeboran dan *Standard Penetration Test* (SPT) serta uji beban tiang *Pile Driving Analyzer* (PDA). Dalam perencanaan pondasi terkadang hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi antara metode satu dan lainnya menunjukkan hasil yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis tanah, metode perhitungan dan pengambilan sampel tanah yang berbeda. Oleh karena itu perlu dilakukan studi yang komperhensif guna mengevaluasi hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi tiang. Pada studi ini akan membandingkan kapasitas dukung pondasi *minipile* menggunakan rumus dinamik dan hasil uji SPT terhadap hasil uji PDA.

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data sekunder, berupa data SPT, data *minipile* dan data uji PDA pada proyek Pembangunan Pabrik PT. Andalan Busana di Banyudono Kabupaten Boyolali. Studi ini menggunakan beberapa rumus dinamik, antara lain: Rumus Hiley (1930), Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan oleh Mansur-Hunter (1970), Rumus Sandres (1851), Rumus Olsen-Flaate (1967) dan *Pacific Coast Uniform Building Code* (PCUBC). Data SPT dihitung ulang dengan menggunakan 2 (dua) metode, yaitu: Metode Meyerhof dan Metode Poulos Davis (1980).

Hasil dari perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* mengalami perbedaan antara satu dengan lainnya. Dilihat dari nilai rasio kapasitas dukung (BCR) menunjukkan $Q_{u-dinamik}$ Rumus Hilley (1930) dan Rumus Sandres (1851) adalah kurang dari 1. Sedangkan BCR Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan Mansur-Hunter (1970) dan Rumus Olsen-Flaate (1967) menunjukkan hasil lebih dari 1. Hal berbeda ditunjukkan oleh Rumus PCUBC, rumus tersebut menunjukkan nilai BCR kurang dari 1 pada kedalaman 10 meter dan lebih dari 1 pada kedalaman 6 meter. Q_{u-SPT} Metode Meyerhof dan Poulos Davismenunjukkan BCR kurang dari 1. Dari nilai-nilai tersebut, diketahui bahwa SPT Metode Meyerhof paling mendekati 1. Yang artinya Metode Meyerhof merupakan metode yang paling bisa diandalkan di dalam studi ini.

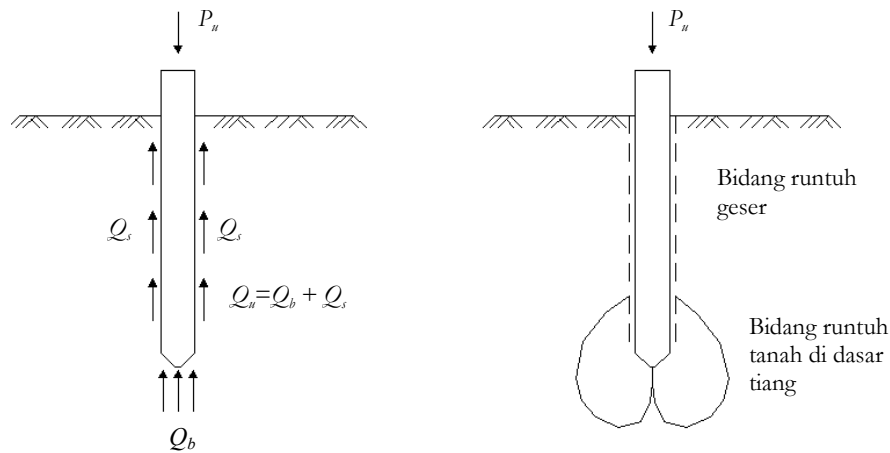
Kata Kunci: *Minipile, Kapasitas Dukung, Rumus Dinamik, Pile Driving Analyzer*

PENDAHULUAN

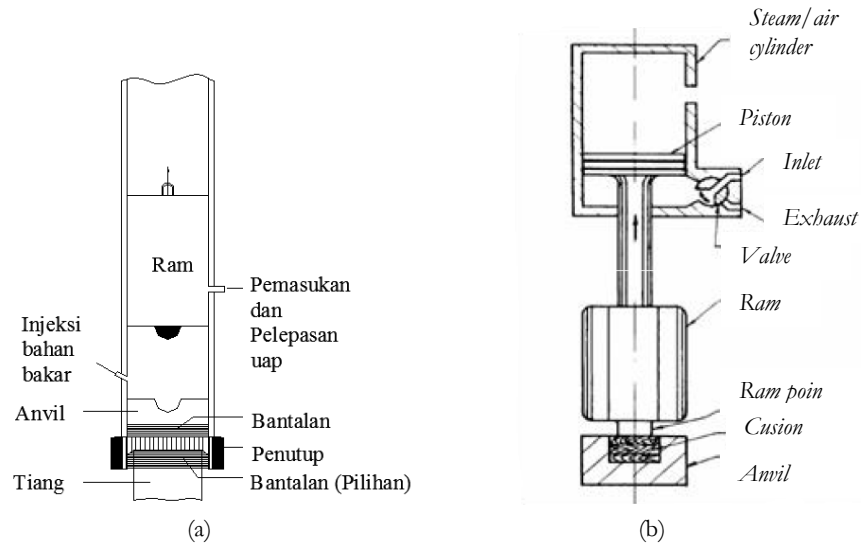
Pada perencanaan pondasi perlu memperhitungkan besarnya kapasitas dukung tanah setempat dan beban yang bekerja. Apabila pondasi yang direncanakan tidak mampu memikul beban pondasi, maka akan terjadi keruntuhan (*failure*) dan penurunan yang dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada bangunan. Untuk merencanakan pondasi yang aman, dibutuhkan data hasil penyelidikan tanah pendukung pondasi dan pemilihan jenis pondasi yang tepat. Terdapat dua jenis pondasi yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam, dua jenis pondasi tersebut sama-sama berfungsi untuk menerima beban dan meneruskannya kedalam tanah. Yang termasuk dalam pondasi dangkal antara lain, pondasi telapak (*spread footing*), pondasi memanjang (*continuous footing*), pondasi rakit (*raft foundation/mat foundation*) dan pondasi sumuran (*pier foundation*). Sedangkan yang termasuk pondasi dalam yaitu pondasi tiang dan pondasi bor.

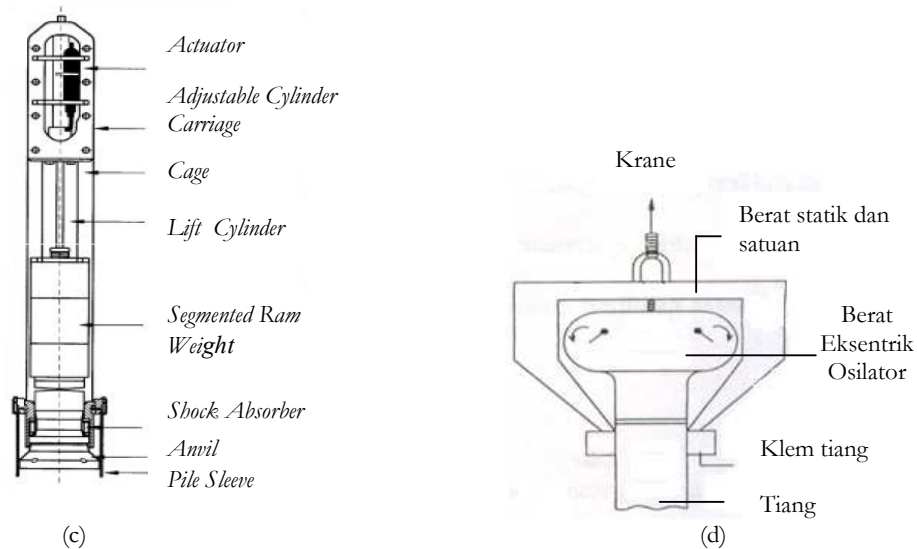
LANDASAN TEORI

Hitungan kapasitas dukung tiang menggunakan rumus dinamik dilakukan dengan menganalisis kapasitas ultimit tiang dengan membandingkan dengan hasil uji laboratorium maupun hasil uji lapangan. Hasil pengujian kapasitas tiang di lapangan kadang perlu dicek ulang untuk meyakinkan hasilnya. Disamping itu, dengan banyaknya literatur rumus dinamik yang tersedia, sering dijumpai bahwa setiap rumus memberikan hasil berbeda, dan tidak semua rumus dinamik cocok untuk dipakai pada setiap jenis tanah. Beberapa formula mungkin memberikan hasil yang melebihi perkiraan kapasitas dukung, bahkan mungkin ada rumus yang memberikan hasil yang jauh lebih kecil dari perkiraan. Hal tersebut dianggap penting untuk dilakukan studi, guna memberikan gambaran yang nyata, ekonomis serta efisien pada saat dilakukan disain. Berikut ini akan diilustrasikan pembebanan tiang pancang serta ilustrasi dari alat-alat pukul tiang pancang.



Gambar 1. Skema pembebanan tiang pancang





Gambar 2. Skema pemukul tiang

- (a) Pemukul diesel (*diesel hammer*),
 (b) Pemukul aksi double (*double-acting hammer*),
 (c) Pemukul aksi tunggal (*single-acting hammer*), dan
 (d) Pemukul getar (*vibratory hammer*)

Sumber: Hardiyatmo, 2010

TAHAPAN PENELITIAN

Tahapan studi harus dilaksanakan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari studi tersebut. Adapun tujuan penelitian tersebut yaitu memperoleh hasil perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* menggunakan rumus dinamis, hasil uji SPT dengan hasil uji PDA. Berdasarkan metode-metode yang akan digunakan dalam perhitungan, kemudian membuat suatu kesimpulan. Dalam mencapai tujuan tersebut maka dilakukan tahapan-tahapan yang dilaksanakan adalah sebagai berikut :

a. Tahap pertama

Melakukan identifikasi dan studi pustaka yang berkaitan dengan studi ini, analisis antara data lapangan dengan teori yang sesuai dengan studi tentang penggunaan teori tersebut dan persamaan yang sesuai, serta pendekatan yang akan digunakan. Tahapan ini perlu dilakukan mengingat permasalahan tanah sangat kompleks. Pada studi ini menggunakan jenis tanah pasir berlempung. Hal ini dapat dibuktikan dari *boring log* hasil pengujian lapangan.

b. Tahap kedua

Pada tahap ini dilakukan perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan rumus dinamik dan hasil uji SPT serta uji PDA, sesuai dengan teori dan formula yang telah dibahas pada tinjauan pustaka. Adapun rumus dinamik yang digunakan antara lain Rumus Hiley (1930), Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan MansurHunter (1970), Rumus Sandres (1851), Rumus Olsen Flaate (1967), dan Pasific Coast Uniform Building Code (PCUBC). Untuk perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* hasil uji SPT menggunakan Metode Meyerhoff (1976) dan Poulos Davis (1980).

c. Tahap ketiga

Membandingkan kapasitas dukung pondasi *minipile* hasil uji PDA dengan kapasitas dukung pondasi *minipile* berdasarkan rumus-rumus dinamik dan hasil uji SPT. Skema perbandingan tersebut yaitu :

1. Membandingkan hasil hitungan rumus-rumus dinamik terhadap hasil test PDA pada keseluruhan kedalaman (6 meter dan 10 meter).
2. Membandingkan hasil hitungan SPT (Metode Meyerhof dan Metode Poulos Davis) terhadap hasil test CAPWAP PDA pada keseluruhan kedalaman (6 meter dan 10 meter).
3. Membandingkan hasil hitungan rumus-rumus dinamik dan hasil hitungan SPT terhadap hasil test PDA pada masing-masing kedalaman 6 dan 10 meter.

d. Tahap keempat

Melakukan analisa dan pembahasan dari hasil keseluruhan yang sudah dijelaskan pada tahap-tahap sebelumnya.

e. Tahap kelima

Mengambil kesimpulan dari studi ini yang telah dijelaskan dari tahap awal sampai akhir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kapasitas dukung pondasi tiang dilakukan dengan cara perhitungan manual yaitu dengan menggunakan rumus-rumus dinamis. Perhitungan rumus dinamis yang digunakan dalam analisis antara lain Rumus Hiley (1930), Rumus Janbu (1953) Mansur-Hunter (1970), Rumus Sanders (1851), Rumus Olsen-Flaate (1967) dan Pasific Coast Uniform Building Code (PCUBC).

Tabel 1. Hasil perhitungan kapasitas dukung *minipile* dengan rumus dinamik

Sampel	Dimensi Tiang (cm)	Panjang Tiang (m)	Hilley (ton)	Janbu (ton)	Sanders (ton)	Olsen (ton)	PCUBC (ton)
A	25 x 25	6	85,99	167,8	65,93	198,77	138,65
B	25 x 25	6	86,99	172,18	66,42	204,80	141,03
C	25 x 25	10	81,90	142,24	66,18	176,94	101,92
D	25 x 25	10	80,08	135,37	66,42	168,43	102,64
E	25 x 25	10	82,30	139,63	67,16	174,98	104,71

Perhitungan hasil uji SPT

Tabel 2. Kapasitas dukung ultimit menggunakan SPT Meyerhof

Kedalaman (m)	N	C_1	N_{60}	$\frac{C_N}{\sqrt{p_o'}}$	$\frac{N_{60}'}{C_N \cdot N_{60}}$	Q_s (kN)	Q_b (kN)
0,00 - 1,50	3	0,98	2,95	2,867	6	8,85	746,43
1,50 - 3,00	4	0,98	3,94	1,649	6	11,81	
3,00 - 4,50	50	1,12	55,78	1,277	65	167,34	
4,50 - 6,00	15	1,25	18,70	1,080	19	56,11	
6,00 - 7,50	5	1,25	6,23	0,952	6	18,70	
7,50 - 9,00	15	1,25	18,70	0,861	15	56,11	540,90
9,00 - 10,50	26	1,31	34,13	0,792	26	102,38	

Tabel 3. Kapasitas dukung ultimit menggunakan SPT Poulos dan Davis

Kedalaman (m)	N_{60}'	p_o'	$K_q/g \delta$	σ	N_q	σ'	Q_s (kN)	Q_b (kN)
1,50	6	24,510	1,17	29,0		31,750	21,508	30,638
3,00	6	49,020	1,18	29,3		31,975	43,383	
4,50	65	61,275	2,60	43,0		42,250	95,589	
6,00	19	61,275	1,30	31,7	20	33,775	47,795	
7,50	6	61,275	1,17	29,0		31,750	43,015	
9,00	15	61,275	1,20	30,2		32,650	44,118	76,594
10,5	26	61,275	1,35	33,0	50	34,750	49,633	

Rekapitulasi

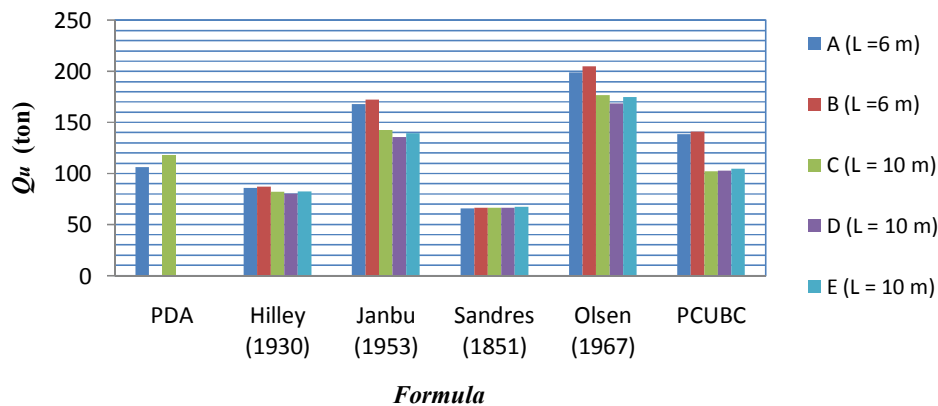
Rekapitulasi dan Perbandingan Hasil Analisis Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* dengan Rumus Dinamis dengan Hasil Uji PDA

Rekapitulasi hasil analisis perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang dengan rumus dinamis dan PDA *Test* pada Tabel 4 dan Gambar 1.

Tabel 4. Perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan rumus dinamis dan PDA *Test*

Sampel	Q_u (Ton)					
	PDA	Hilley	Janbu	Sanders	Olsen	PCUBC
A	106	85,99	167,8	65,93	198,77	138,65
B	-	86,99	172,18	66,42	204,80	141,03
C	118	81,90	142,24	66,18	176,94	101,92
D	-	80,08	135,37	66,42	168,43	102,64

E	-	82,30	139,63	67,16	174,98	104,71
---	---	-------	--------	-------	--------	--------



Gambar 3. Perbandingan hasil analisis rumus dinamis dan hasil uji PDA

Rekapitulasi dan Perbandingan Hasil Analisis Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* Hasil Uji SPT (*Standard Penetration Test*) dengan Hasil Uji PDA CAPWAP

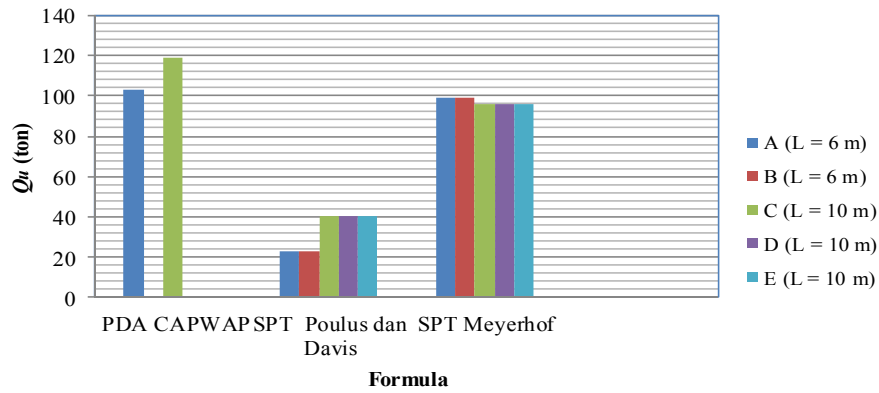
Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung pondasi tiang hasil uji SPT ditampilkan pada Tabel 5 dan perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang hasil uji SPT dan Uji beban (PDA *Test*) pada Tabel 9 dan Gambar 2.

Tabel.5. Hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi minipile hasil uji SPT.

Kode	Rumus	Jenis Tiang	Kedalaman (m)	Q_s (ton)	Q_b (ton)	Q_u (ton)
BH 1	Mayerhof	Minipile	6	24,413	75,000	99,056
	Mayerhof	Minipile	10	42,131	42,131	96,222
BH 1	Poulos dan Davis	Minipile	6	20,827	3,064	23,891
	Poulos dan Davis	Minipile	10	34,504	7,659	42,163

Tabel.6. Perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* hasil uji SPT dan hasil uji beban (PDA *Test* CAPWAP)

Sampel	CAPWAP			SPT Poulos dan Davis			SPT Meyerhof		
	Q_s (ton)	Q_b (ton)	Q_u (ton)	Q_s (ton)	Q_b (ton)	Q_u (ton)	Q_s (ton)	Q_b (ton)	Q_u (ton)
A	21,6	81,8	103,3	20,827	3,064	23,891	24,413	75,000	99,056
B	-	-	-	20,827	3,064	23,891	24,413	75,000	99,056
C	78,1	41,1	119,2	34,504	7,659	42,163	42,131	42,131	96,222
D	-	-	-	34,504	7,659	42,163	42,131	42,131	96,222
E	-	-	-	34,504	7,659	42,163	42,131	42,131	96,222



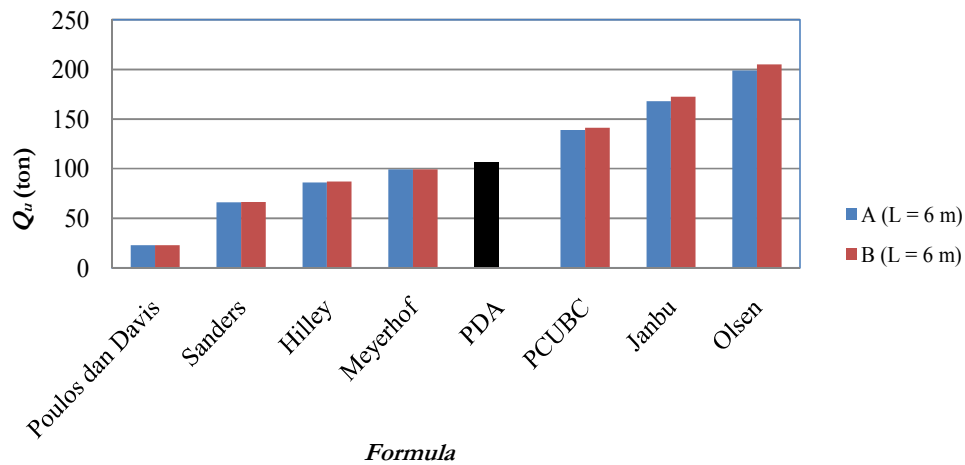
Gambar 4. Perbandingan hasil analisis SPT dan hasil uji PDA CAPWAP

Rekapitulasi dan Perbandingan Hasil Analisis Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* Rumus Dinamis, Hasil Uji SPT dengan Hasil Uji PDA Masing-masing Kedalaman

a) Kedalaman 6 meter

Tabel 7. Perbandingan hasil analisis kapasitas dukung kedalaman 6 meter

Sampel	PDA	Hilley	Janbu	Sanders	Olsen	PCUBC	Meyerhof	Poulos dan Davis
A	106	85,99	167,8	65,93	198,77	138,65	99,056	23,891
B	-	86,99	172,18	66,42	204,80	141,03	-	-



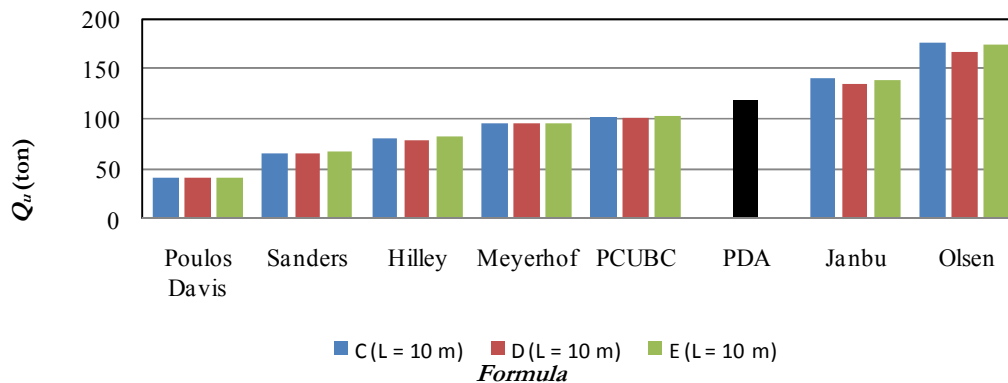
Gambar 5 Perbandingan hasil kapasitas dukung kedalaman 6 m

b) Kedalaman 10 meter

Tabel 8. Perbandingan hasil analisis kapasitas dukung kedalaman 10 meter

Sampel	PDA	Hilley	Janbu	Sanders	Olsen	PCUBC	Meyerhof	Poulos dan Davis
C	118	81,90	142,24	66,18	176,94	101,92	96,222	42,163

D	-	80,08	135,37	66,42	168,43	102,64	-	-
E	-	82,30	139,63	67,16	174,98	104,71	-	-



Gambar 6. Perbandingan hasil kapasitas dukung kedalaman 10 meter

SIMPULAN

Kesimpulan

Dari hasil penelitian serta analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, bahwa pada kedalaman 6 meter perhitungan analisis kapasitas dukung pondasi tiang (Q_u) dari hasil uji SPT Meyerhof lebih mendekati Q_u hasil uji beban (PDA *test*) yang diikuti oleh Q_u Rumus Hilley (1930) kemudian Rumus PCUBC, Rumus Sanders (1851), Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan Mansur dan Hunter (1970), Rumus Olsen dan Flaate (1967) dan yang terakhir Poulos Davis (1980).

Pada kedalaman 10 meter perhitungan analisis kapasitas dukung pondasi tiang (Q_u) hasil dari Rumus PCUBC lebih mendekati Q_u hasil uji beban (PDA *test*) yang diikuti oleh Q_u SPT Metode Meyerhof kemudian Q_u Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan Mansur dan Hunter (1970), Rumus Hilley (1930), Rumus Sanders (1851), Rumus Olsen-Flaate (1967) dan terakhir SPT Metode Poulos Davis (1980).

Pada perhitungan analisis kapasitas dukung pondasi tiang (Q_u) keseluruhan (kedalaman 6 m dan 10 m), uji SPT Metode Meyerhof menunjukkan hasil Q_u yang lebih mendekati Q_u hasil uji beban (PDA *test*) yang diikuti oleh Q_u Rumus PCUBC kemudian Rumus Hilley (1930), Rumus Sanders (1851), Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan Mansur dan Hunter (1970), Rumus Olsen-Flaate (1967) dan terakhir SPT Metode Paulos Davis (1980).

Hasil dari perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* mengalami perbedaan antara satu dengan lainnya. Dilihat dari nilai rasio kapasitas dukung (BCR) menunjukkan $Q_{u-dinamik}$ Rumus Hilley (1930) dan Rumus Sandres (1851) adalah kurang dari 1. Sedangkan BCR Rumus Janbu (1953) yang disempurnakan Mansur-Hunter (1970) dan Rumus Olsen-Flaate (1967) menunjukkan hasil lebih dari 1. Hal berbeda ditunjukkan oleh Rumus PCUBC, rumus tersebut menunjukkan nilai BCR kurang dari 1 pada kedalaman 10 meter dan lebih dari 1 pada kedalaman 6 meter. Q_{u-SPT} Metode Meyerhof dan Poulos Davis menunjukkan BCR kurang dari 1. Dari nilai-nilai tersebut, diketahui bahwa SPT Metode Meyerhof paling mendekati 1. Yang artinya Metode Meyerhof merupakan metode yang paling bisa diandalkan di dalam studi ini.

Saran

Sebagai saran atau masukan terhadap hasil penelitian agar penelitian ini dapat dikembangkan ke arah yang lebih baik, maka disarankan:

1. Menambahkan data pengamatan untuk menunjang data penelitian selanjutnya. Khususnya untuk data laboratorium yang dianalisis kembali berdasarkan sampel tanah di lapangan setiap kedalamannya. Sehingga menambah jumlah sampel/data pondasi *minipile* agar dapat meningkatkan validitas.
2. Menambahkan perbandingan studi dari jenis tanah granuler
3. Untuk melengkapi penelitian selanjutnya dan mendapatkan hasil yang maksimum ditinjau kembali beberapa faktor di antaranya pengujian lapangan yang dilakukan adalah *Cone Penetration Test* (CPT).
4. Menambahkan analisis kapasitas dukung dari uji laboratorium.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Yusep Muslih, ST, MT, Ph.D dan Ir. Noegroho Djarwanti, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

Hardiyatmo, C. H. 2007. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Edisi Keempat. Bulaksumur, Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Mansur C.I. & Hunter A.H. 1970. Pile tests- Arkansas River project. ASCE J. Soil Mechanics & Foundations Division. 96 (SM5):1545-1582

Meyrehof, G. G., Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 1976; 102: 196-228.

Janbu, N., Uneanalyseenergetique du batage des poeux a laide de parameters sans dimension. *Norwegian Geotech, Inst.*, Oslo, Norway, 1953; 3: 63-64.

Hiley, A., The efficiency of the hammer blow, and its effects with reference to piling. *Engrg.*, London, 1922, p. 673.

Olson, R. E. and K. S. Flaate (1967), "Pile-Driving Formulas for Friction Piles in Sand," *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol.93, No.SM6, November:279-296.