

PERBANDINGAN KAPASITAS DUKUNG PONDASI *MINIPILE* DENGAN RUMUS STATIS, HASIL UJI SPT, DAN HASIL UJI PDA

Shita Rosita Lailaningrum¹⁾, Niken Silmi Surjandari²⁾, Yusep Muslih Purwana,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: shitarosita90@gmail.com

Abstract

One of the important thing in planning the foundation is bearing capacity and settlement. If the bearing capacity of soil is not able to carry the burden of foundations, then a settlement that excessive or destruction of the soil shall come to pass, the two things will cause damage construction that is above the foundation. Many factors that affect the calculation of the bearing capacity of the foundations, among them are the methods of calculation and soil investigations used. For that need to be evaluated the result of reckoning bearing capacity of minipile foundation by comparing the bearing capacity of the foundation using formulas static, the results of the SPT test, and the result of the PDA test. This research will determine the bearing capacity of minipile foundation with analysis calculation using bearing capacity analysis, based on the formula of static data and the SPT data with several methods, among other things; Meyerhof and λ methods. Data used for research is from the investigation of soil data with SPT test, and PDA test. Results from these comparisons bearing capacity of minipile foundation with the formula static, the results of the SPT test, and results PDA test experiencing a difference that is to each other. Seen from the value of the ratio bearing capacity shows $Q_{u_{lab}}$ and $Q_{u_{SPT}}$ is less than 1. The result is more nearly with bearing capacity of minipile foundation which it is mounted is based on the SPT test. The sum of N-SPT blows reaches depths of solid soils intensely affecting the value of bearing capacity of the foundation.

Keywords: *Minipile, Bearing Capacity, Pile Driving Analyzer*

Abstrak

Salah satu hal penting dalam perencanaan pondasi adalah kapasitas dukung dan penurunan. Apabila kapasitas dukung tanah tidak mampu memikul beban pondasi, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, kedua hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi. Banyak faktor yang mempengaruhi perhitungan kapasitas dukung pondasi, di antaranya metode perhitungan dan penyelidikan tanah yang digunakan. Untuk itu perlu dilakukan evaluasi hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan membandingkan kapasitas dukung pondasi menggunakan rumus statis, hasil uji SPT, dan hasil uji PDA. Penelitian ini akan menentukan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan analisis perhitungan menggunakan analisis kapasitas dukung berdasarkan rumus statis dan data SPT yang dihitung dengan beberapa metode, antara lain; Metode Meyerhof dan metode λ . Data yang digunakan untuk penelitian adalah data penyelidikan tanah dengan uji SPT, dan uji PDA. Hasil dari perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan rumus statis, hasil uji SPT, dan hasil uji PDA mengalami perbedaan yang satu dengan lainnya. Dilihat dari nilai rasio kapasitas dukung menunjukkan $Q_{u_{lab}}$ dan $Q_{u_{SPT}}$ adalah kurang dari 1. Hasil yang lebih mendekati dengan kapasitas dukung pondasi *minipile* yang sudah terpasang adalah berdasarkan hasil uji SPT. Jumlah pukulan N-SPT mencapai kedalaman tanah keras sangat mempengaruhi nilai kapasitas dukung pondasi.

Kata kunci: *Minipile, kapasitas dukung, PDA*

PENDAHULUAN

Perencanaan pondasi perlu memperhitungkan besarnya beban yang bekerja dan kapasitas dukung tanah setempat. Apabila pondasi yang direncanakan tidak mencapai tanah keras dan tidak mampu memikul beban pondasi, maka akan terjadi penurunan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada bangunan. Untuk merencanakan pondasi yang aman, dibutuhkan data hasil penyelidikan tanah pendukung pondasi. Secara umum pondasi tiang pancang digunakan apabila letak tanah keras terletak pada posisi yang sangat dalam. Tiang pancang dibagi menjadi 2 macam yaitu tiang pancang besar dan tiang pancang mini (*minipile*). Pondasi *minipile* menjadi alternatif yang mulai sering digunakan untuk proyek konstruksi. Hal ini dikarenakan beberapa faktor yaitu sebagai berikut: dari segi dimensi lebih kecil sehingga beban yang dipikul tidak terlalu besar, dan dari segi biaya penggunaan *minipile* lebih ekonomis dibandingkan tiang pancang besar. Ada berbagai macam penyelidikan tanah yang dapat digunakan baik yang dilakukan di laboratorium dan di lapangan. Beberapa di antaranya penyelidikan tanah di lapangan adalah pemboran/sampling untuk uji laboratorium dan *Standard Penetration Test* (SPT), dan uji beban tiang *Pile Driving Analyzer* (PDA). Dalam perencanaan pondasi terkadang hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi dengan berbagai metode berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu jenis tanah yang digunakan, metode perhitungan, jenis pondasi yang direncanakan, dan pengambilan sampel tanah yang berbeda-beda. Oleh karena itu dalam penelitian ini perlu dilakukan evaluasi hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan membandingkan kapasitas dukung pondasi menggunakan rumus statis, hasil uji SPT, dan hasil uji PDA.

LANDASAN TEORI

Banyak metode perhitungan untuk menganalisis daya dukung tiang pancang, namun perlu dipertimbangkan metode mana yang lebih memenuhi. Untuk itu perlu dilakukan analisis daya dukung dari beberapa metode berdasarkan data lapangan dengan menggunakan data sondir dan dibandingkan satu sama lainnya, sehingga didapatkan hasil yang lebih realistis. Metode yang digunakan adalah metode *Meyerhoff*, *Begeman, E.E.De Beer*, dan *Trofimenkove*. Hasil menunjukkan bahwa Metode Meyerhoff lebih realistis, karena nilainya mendekati nilai rata-rata daya dukung tiang tunggal. Jumlah tiang pancang dari masing-masing metode berbeda satu sama lainnya, nilai daya dukung tunggal yang rendah akan menghasilkan jumlah tiang yang lebih besar, hal ini terjadi pada metode *Meyerhoff*, dan *Trofimenkove*. Jumlah tiang pancang sangat mempengaruhi nilai daya dukung tiang kelompok, semakin banyak tiang pancang yang digunakan, maka nilai daya dukung tiang kelompok juga semakin besar dan semakin aman untuk memikul beban konstruksi, akan tetapi kurang ekonomis. (Jhonson Tambunan, 2012)

Korelasi penentuan daya dukung tiang cara empirik (CPT) dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA). Untuk perhitungan berdasarkan metode *Schmertmann, de Ruiter* dan *Beringen* dan *Bustamante* dan *Gianeselli* (LCPC). Untuk memperkirakan tahanan ujung, yaitu kekuatan tiang terkonsentrasi diujung (*end bearing point*) cara *Schmertmann* dan *Bustamante & Beringen* paling mendekati hasil PDA dengan nilai korelasi 0,829. Kekuatan tiang pada tahanan kulit, terkonsentrasi pada kulit (*skin friction pile*) cara *Schmertmann* paling baik dengan nilai korelasi 0,968. Untuk daya dukung *ultimate* ketiga cara dapat dipakai dengan nilai korelasi antara 0,957 – 0,974. (Muhammad Yusa dan Nugroho SA, 2007)

Hasil penelitian Manoppo (2010) menunjukkan perbedaan yang cukup besar antara nilai kapasitas dukung tiang pancang kelompok $Q_{u, \text{kel. lab}}$ dari percobaan di laboratorium dibandingkan dengan kapasitas dukung kelompok $Q_{u, \text{kel. teori}}$ perhitungan teori dari *Meyerhoff* dan *Ranjan*. Untuk itu diperlukan faktor koreksi ataupun penelitian lebih lanjut dengan uji beban di lapangan dengan skala ukuran tiang pancang yang lebih besar dan lebih banyak untuk memperoleh hasil yang lebih baik.

Kataresada Ketaren (2004) melakukan kajian komprehensif tentang kapasitas dukung pondasi tiang berdasarkan uji pembebanan tekanan. Perhitungan dilakukan berdasarkan data-data SPT (*Standar Penetration Test*), data sondir dan data hasil uji pembebanan tiang di lapangan (*Loading Test*).

Salah satu cara untuk mengevaluasi kapasitas dukung pondasi tiang dengan menggunakan metode uji beban statik yaitu pembebanan langsung tiang pondasi dengan besar beban 200% atau 300% daya dukung ijin tiang. Uji beban sebesar 200% lebih ditujukan untuk ‘pembuktian’ saat konstruksi, sedangkan uji beban sebesar 300% ditujukan untuk mencari daya dukung batas tiang, untuk keperluan perencanaan pondasi. (Hardjaputra, H, 2006)

Data penting dari pengujian beban statik adalah diperolehnya grafik hubungan antara penurunan (*settlement*) dengan beban (*load*). Uji beban skala penuh (*Static Load Test*) ini merupakan metode yang paling dapat dipercaya tapi memiliki beberapa kekurangan yaitu membutuhkan biaya yang besar, waktu yang relatif lama, dan bahaya bagi pekerja karena tumpukan blok-blok beton yang digunakan untuk pengujian (Setio dkk, 2000).

Untuk mengatasi kekurangan tersebut kini berkembang uji beban dinamis *High Strain Dynamics Pile Test* (HSDPT) atau sering disebut *Pile Driving Analyzer* (PDA) *Test*. Uji beban dinamis memiliki beberapa keuntungan antara lain (Mhaiskar, SY dkk, 2010 dan Vaidya, Ravikiran dkk, 2006) :

- Dalam satu hari dapat dilakukan test beberapa tiang sehingga menghemat waktu.
- PDA membutuhkan ruang relatif kecil.
- Mengevaluasi kapasitas dukung dan integritas struktural tiang.

Dari banyak studi yang dilakukan, prediksi kapasitas dukung ultimit tiang hasil dari uji PDA memperlihatkan korelasi yang positif dengan kapasitas dukung ultimit tiang hasil *Static Load Test* (Likins dkk, 2004). Dengan korelasi yang positif ini, PDA test dapat digunakan sebagai ‘*supplement*’ selain uji beban skala penuh pada proyek-proyek besar dan pada proyek-proyek menengah dan kecil PDA test dapat digunakan sebagai pengganti *Static Load Test* (Likins dkk, 2008).

Untuk mengetahui daya dukung dari pondasi tiang, biasanya dilakukan pengujian beban tiang statis aksial (*loading test*). Setiap kali pelaksanaan *loading test* dibutuhkan biaya yang relatif mahal. Jika diperoleh perbandingan daya dukung ijin (*Qult*) antara hasil metode sondir dengan metode uji beban (*loading test*), maka didapatkan resistensi koefisien pengalinya (*kp*). Daya dukung pondasi tersebut dapat didekati dengan *Qult* rata-rata dari berbagai macam hasil rumus metode sondir dikalikan dengan nilai *kp*. Berdasarkan hasil analisis kapasitas daya dukung tiang tunggal, jenis tanah dari penelitian ini berupa tanah kohesif diantaranya jenis lanau kelempungan hingga lanau berpasir. Untuk tiang ϕ 40 cm didapatkan nilai faktor resistensi pengalinya (*kp*) rata-rata sebesar 1,48 dan untuk tiang ϕ 100 cm didapatkan nilai *kp* rata-rata sebesar 1,34. Analisis program *plaxis* didapatkan daya dukung ijin yang men-

dekati kapasitas beban sebenarnya. Komparasi nilai beban ijin menggunakan data uji laboratorium dan data sondir, rata-rata memberikan perkiraan kapasitas daya dukung yang lebih kecil dari kenyataan yang dapat dipikul oleh tiang. (Zainul Arifin, 2010)

Hendri Gusti Putra (2008) menganalisis tentang pertimbangan dalam pemilihan daya dukung pondasi tiang pancang dengan beberapa metode (statik, dinamik, dan tes PDA). Dari perhitungan terhadap dua buah sampel tiang pancang dengan menggunakan ketiga metode tersebut, daya dukung terbesar didapatkan dengan menggunakan metode dinamik yaitu metode *Denmark*. Nilai daya dukung terkecil didapatkan dari metoda statik, yaitu metoda *Mayerhoff*.

Silvia Kasturi dan Rudi Iskandar, (2010) melakukan analisis kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal dengan metode analitis dan metode elemen hingga. Perbedaan yang diperoleh dari daya dukung aksial disebabkan karena pada metode elemen hingga parameter tanah yang digunakan dalam data input lebih banyak dibandingkan dengan metode analitis. Pada metode elemen hingga tidak hanya memperhitungkan faktor bentuk pondasi saja namun juga material yang digunakan (modulus elastisitas dan *poisson* rasio tiang). Daya dukung lateral yang diperoleh dari metode analitis dan metode elemen hingga jauh berbeda, hal ini dikarenakan keruntuhan program *plaxis* berinteraksi pada tanah nya bukan berinteraksi pada tiang nya, sehingga untuk hasil daya dukung lateral pada metode elemen hingga dinyatakan tidak valid, karena tidak sesuai dengan yang terjadi pada teori dan lapangan. Maka hasil daya dukung lateral pada metode elemen hingga tidak dapat digunakan sebagai perbandingan pada metode analitis.

Penentuan kapasitas dukung pondasi dipengaruhi oleh banyak faktor, beberapa di antaranya adalah faktor jenis pondasi yang digunakan, pengujian lapangan yang dilakukan dan rumus-rumus perhitungan. Merujuk dari uraian penelitian yang sudah ada rata-rata penggunaan pondasi yang digunakan adalah tiang pancang besar. Maka, pada penelitian ini peneliti akan mengkaji ulang dan mengevaluasi hasil perbandingan kapasitas dukung pondasi tiang pancang mini (*minipile*) dengan menggunakan rumus-rumus statis, hasil uji SPT dan hasil uji beban tiang *Pile Driving Analyzer* (PDA).

Kapasitas Dukung Ultimit Tiang (Q_u)

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Satuan dari kapasitas dukung tiang adalah satuan gaya (kN). Hitungan kapasitas dukung tiang dapat dilakukan dengan cara pendekatan statis dan dinamis. Hitungan kapasitas dukung tiang secara statis dilakukan menurut teori mekanika tanah, yaitu dengan mempelajari sifat-sifat teknis tanah, sedangkan hitungan dengan cara dinamis dilakukan dengan menganalisis kapasitas ultimit dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang. Hasil hitungan kapasitas dukung tiang yang didasarkan pada teori mekanika tanah, kadang-kadang masih perlu dicek dengan mengadakan pengujian tiang untuk meyakinkan hasilnya. (Hardiyatmo, 2010). Dalam penelitian ini penentuan kapasitas dukung pondasi *minipile* berdasarkan rumus statis, hasil uji SPT dan hasil uji beban.

Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Cara Statis (Dalam tanah kohesif)

Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif, adalah jumlah tahanan gesek tiang dan tahanan ujungnya. Tahanan ujung ultimit, secara pendekatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kapasitas dukung ultimit pondasi dangkal, seperti Persamaan [1]:

$$Q_u = Q_b / A_b = c_b N_c + p_b N_q + 0,5 \gamma d N_\gamma \dots\dots\dots [1]$$

Dari Persamaan [1], tahanan ujung ultimit (Q_b) dapat dinyatakan dalam Persamaan [2] :

$$Q_b = A_b (c_b N_c + p_b N_q + 0,5 \gamma d N_\gamma) \dots\dots\dots [2]$$

Bila tiang terletak di dalam tanah lempung, kapasitas dukung tiang umumnya dihitung pada kondisi pembebanan *tak terdrainase (undrained)*, kecuali jika lempung termasuk jenis lempung terkonsolidasi sangat berlebihan (*highly overconsolidated*). Jika lempung dalam kondisi jenuh, maka $\phi_u = 0^\circ$. Karena itu, sudut gesek antara sisi tiang dan tanah (δ) sama dengan nol. Karena $\phi_u = 0$, maka $N_q = 1$ dan $N_\gamma = 0$. Persamaan tahanan ujung ultimit yang didasarkan pada Persamaan [3] akan menjadi :

$$Q_b = A_b f_b \dots\dots\dots [3]$$

$$f_b = c_b N_c + p_b \dots\dots\dots [4]$$

dengan ;

Q_b = tahanan ujung ultimit tiang (kN)

N_c = faktor kapasitas dukung (fungsi dari ϕ)

A_b = luas penampang ujung tiang (m^2) p_b = tekanan *overburden* ujung bawah tiang (kN/m^2)
 c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*) (kN/m^2) f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m^2)

Untuk menentukan tahanan gesek tiang yang dipancang di dalam tanah lempung, digunakan cara dengan menggunakan koefisien tak berdimensi (λ) yang disarankan oleh Vijayvergia dan Focht (1972) dalam Hardiyatmo (2010).

Tahanan gesek ultimit:

$$Q_s = A_s f_s \dots\dots\dots [5]$$

$$f_s = \lambda (p_b' + 2 c_u) \dots\dots\dots [6]$$

dengan,

Q_s = tahanan gesek ultimit tiang (kN) c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*) rata-rata (kN/m^2)
 A_s = luas selimut tiang (m^2) p_b' = tekanan *overburden* efektif (kN/m^2)
 λ = koefisien gesek dinding f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m^2)

Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Hasil Uji SPT

Kapasitas dukung ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT. Menurut Meyerhof (1976) dalam Hardiyatmo (2010) , mengusulkan persamaan untuk menghitung kapasitas dukung ultimit tiang seperti pada Persamaan [7] :

$$Q_u = Q_b + Q_s \dots\dots\dots [7]$$

Menurut Meyerhof (1976) dalam Hardiyatmo (2010) untuk tahanan ujung tiang dengan memperhatikan faktor kedalaman, menyarankan :

1) Untuk tiang dalam pasir dan kerikil
 $f_b = 0,4 N_{60}' \left(\frac{L}{d}\right) \sigma_r \leq 4 N_{60}' \sigma_r \dots\dots\dots [8]$

2) Untuk tiang dalam lanau tidak plastis
 $f_b = 0,4 N_{60}' \left(\frac{L}{d}\right) \sigma_r \leq 3 N_{60}' \sigma_r \dots\dots\dots [9]$

Menurut Meyerhof (1976) dalam Hardiyatmo (2010), menyarankan dalam menghitung tahanan gesek satuan (f_s):

1) Untuk tiang perpindahan besar (tiang pancang) pada tanah tidak kohesif (pasir)
 $f_s = \frac{1}{50} \sigma_r N_{60} \dots\dots\dots [10]$

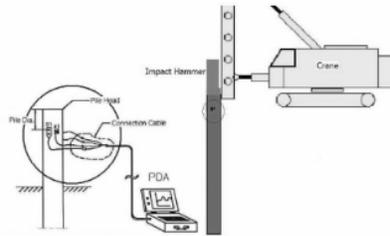
2) Untuk tiang perpindahan kecil pada tanah tidak kohesif (pasir)
 $f_s = \frac{1}{100} \sigma_r N_{60} \dots\dots\dots [11]$

dengan :

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m^2) L = kedalaman penetrasi tiang (m)
 f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m^2) d = diameter tiang (m)
 σ_r = tegangan referensi (100 kN/m^2)
 N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan saja
 N_{60}' = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan *overburden*

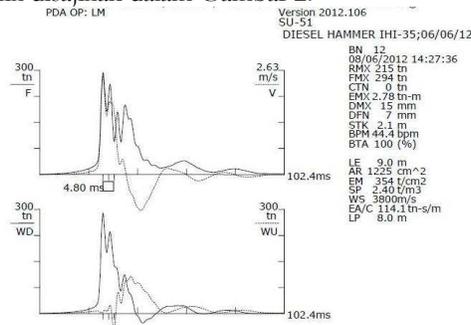
Pile Driving Analyzer (PDA)

Menggunakan hasil pengukuran untuk memperkirakan kapasitas dukung aksial pondasi tiang bukanlah sesuatu yang baru ditemukan. Pendekatan inilah yang menjadi dasar dari berbagai rumus dinamik seperti Hiley, ENR, dan banyak rumus lainnya. Seiring dengan meningkatnya perkembangan teknologi elektronik dan komputer, telah dilakukan berbagai pengukuran yang jauh lebih kompleks dan akurat selama tiang dipancang. Salah satu metode pengujian pondasi tiang untuk mengetahui kapasitas dukung statik menggunakan analisa dinamik adalah menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA). *Pile Driving Analyzer* (PDA) adalah pengujian tiang cara dinamis dilakukan dengan menempatkan 2 pasang sensor secara berlawanan. Satu pasang sensor terdiri dari pengukur regangan (*strain transducer*) dan pengukur percepatan (*accelerometer*) yang dipasang dibawah kepala tiang (minimum jarak dari kepala tiang ke *transducer* 1,5D-2D, dimana D adalah diameter tiang) sehingga ada jarak bebas pada saat tumbukan. Seperti pada Gambar 1 cara pemasangan instrumen *straintransducer* dan *accelerometer*. Akibat tumbukan *hammer* pada kepala tiang, sensor akan menangkap gerakan yang timbul dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam dan dianalisa dengan *Pile Driving Analyzer* (PDA) model PAX. Hasil pengukuran tersebut diperlukan untuk memperkirakan kapasitas dukung aksial tiang dengan menggunakan *Case Methode* .



Gambar 1. Pemasangan instrumen *straintransducer* dan *accelerometer*

Saat membaca regangan dan percepatan, PDA langsung mengintegrasikan besaran percepatan yang diukur menjadi kecepatan berdasarkan hukum Hook, besaran regangan yang diukur kemudian dikonversikan menjadi gaya (F). Selain memberikan informasi mengenai besarnya kapasitas dukung aksial tiang, PDA juga memberikan informasi mengenai: integritas/keutuhan tiang dan besarnya efisiensi transfer energi dari penumbuk (*hammer* atau *drop hammer*). Untuk mengetahui kerusakan atau ada tidaknya kerusakan yang terjadi setelah tiang ditumbuk dengan *hammer* adalah dapat dilihat dari perilaku grafik hubungan antara F dan V hasil *output* PDA. Jika terjadi keadaan dimana grafik F naik dan grafik V turun pada saat bersamaan maka dapat dikatakan bahwa keadaan tiang adalah baik. Namun jika terjadi grafik F turun dan grafik V naik pada saat bersamaan maka tiang telah mengalami kerusakan. Contoh grafik disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Contoh Grafik Hubungan F dan V pada pengujian PDA

METODE

Rencana tahapan penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data-data yang diperlukan, dalam hal ini adalah data sekunder untuk menunjang proses penelitian. Data-data tersebut meliputi data laboratorium, data lapangan dari pengujian SPT (*Standard Penetration Test*), dan hasil uji beban tiang menggunakan PDA *Test (Pile Driving Analyser)*. Setelah data sekunder terkumpul maka dilakukan analisis kapasitas dukung pondasi tiang (Q_u) dengan cara statis dan hasil uji SPT sampai mendapatkan hasil. Analisis kapasitas dukung tiang dengan rumus statis menggunakan metode λ , sedangkan berdasarkan uji SPT menggunakan metode *Meyerhoff*. Hasil dari kedua analisis tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil uji PDA, karena hasil uji PDA merupakan hasil aktual tiang terpasang dan ditarik kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* dengan Rumus Statis

Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung pondasi tiang dengan rumus statis ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan rumus statis.

Kode	Dimensi Tiang (m)	Jenis Tiang	Panjang Tiang (m)	Q_s (kN)	Q_b (kN)	Q_u (kN)
BH 1	0,2x0,2	Minipile	12	309,00	6,61	315,61
BH 2	0,2x0,2	Minipile	12	310,25	6,65	316,90
BH 3	0,2x0,2	Minipile	12	403,20	7,32	410,52
BH 4	0,2x0,2	Minipile	12	400,78	7,32	408,10
BH 5	0,2x0,2	Minipile	12	394,10	7,16	401,26

Rekapitulasi Hasil Analisis Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* Hasil Uji SPT

Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung pondasi tiang dengan rumus statis ditampilkan pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* hasil uji SPT.

Kode	Dimensi Tiang (m)	Jenis Tiang	Panjang Tiang (m)	Q_s (kN)	Q_b (kN)	Q_n (kN)
BH 1	0,2x0,2	Minipile	12	201,28	181,70	382,98
BH 2	0,2x0,2	Minipile	12	169,28	164,05	333,33
BH 3	0,2x0,2	Minipile	12	460,48	566,45	1026,93
BH 4	0,2x0,2	Minipile	12	526,80	617,36	1144,16
BH 5	0,2x0,2	Minipile	12	470,08	604,80	1074,88

Perbandingan Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* Dengan Rumus Statis, Hasil Uji SPT Dan Hasil Uji Beban

Hasil perhitungan analisis kapasitas dukung pondasi tiang (Q_n) dengan rumus statis mengalami perbedaan yang cukup jauh dari Q_n hasil uji beban (PDA *test*). Dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 menunjukkan kecenderungan bahwa dengan semakin kecilnya nilai Q_{lab} / Q_{PDA} diikuti dengan semakin kecilnya nilai rasio daya dukung (BCR). Hal ini dikarenakan dalam persamaan kapasitas dukung yang terdapat pada tahanan ujung maupun tahanan gesek tiang tidak menggunakan parameter tanah yang sesuai dengan kedalaman dan keadaan lapangan sebenarnya. Pada umumnya setiap pengambilan sampel tanah yang akan diuji di laboratorium hanya beberapa sampel saja yang sudah mewakili kedalaman di atasnya maupun di bawahnya. Misalkan untuk kedalaman 5 meter mewakili kedalaman di atasnya dan kedalaman 11 meter mewakili kedalaman 5-11 meter. Sehingga berpengaruh besar pada tahanan gesek ultimit tiang tersebut. Perhitungan analisis kapasitas dukung pondasi tiang (Q_n) dari hasil uji SPT lebih mendekati Q_n hasil uji beban (PDA *test*). Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.9 bahwa dengan semakin besar nilai Q_{SPT} / Q_{PDA} diikuti dengan semakin besarnya nilai rasio daya dukung (BCR). Ini disebabkan oleh pengaruh jumlah pukulan (N -SPT) yang didapat di lapangan. Pada beberapa kedalaman jumlah pukulan N -SPT sudah melebihi 60 pukulan, yang artinya pada kedalaman tersebut sudah mencapai kedalaman tanah keras. Semakin besar jumlah pukulan N -SPT semakin besar pula nilai kapasitas dukung ultimit tiang. Salah satu kelebihan menggunakan hasil uji SPT dalam perencanaan kapasitas dukung pondasi tiang adalah parameter yang didapat merupakan hasil nyata di lapangan. Selain itu kapasitas dukung pondasi tiang dari hasil uji SPT merupakan hasil lapangan yang aktual dan dapat digunakan dalam perencanaan pondasi, karena variasi kedalaman nilai SPT lebih kecil yaitu antara 0,5-2 meter.

Tabel 3. Hubungan Q_{lab} , Q_{SPT} dan Q_{PDA} berdasarkan Nilai Rasio Kapasitas Dukung (BCR)

Nomor Tiang	Q_u (Ton) uji PDA	Bearing Capacity Ratio (BCR)									
		BH 1		BH 2		BH 3		BH 4		BH 5	
		Lab	SPT	Lab	SPT	Lab	SPT	Lab	SPT	Lab	SPT
P3 (B)	1207	0,261	0,317	0,263	0,276	0,340	0,851	0,338	0,948	0,332	0,891
P4 (A)	1248	0,253	0,307	0,254	0,267	0,329	0,823	0,327	0,917	0,322	0,861
P2 (E)	1037	0,304	0,369	0,306	0,321	0,396	0,990	0,394	1,103	0,387	1,037
P2 (I)	1112	0,284	0,344	0,285	0,300	0,369	0,923	0,367	1,029	0,361	0,967
P1 (J)	1150	0,274	0,333	0,276	0,290	0,357	0,893	0,355	0,995	0,349	0,935
P1 (G)	1074	0,294	0,357	0,295	0,310	0,382	0,956	0,380	1,065	0,374	1,001
P2 (H)	1096	0,288	0,349	0,289	0,304	0,375	0,937	0,372	1,044	0,366	0,981
P2 (L)	1163	0,271	0,329	0,272	0,287	0,353	0,883	0,351	0,984	0,345	0,924
P3 (N)	1240	0,255	0,309	0,256	0,269	0,331	0,828	0,329	0,923	0,324	0,867
P4 (M)	1226	0,257	0,312	0,258	0,272	0,335	0,838	0,333	0,933	0,327	0,877

Tabel 4. Rekapitulasi Q_u berdasarkan rumus statis, hasil uji SPT, dan hasil uji beban

Nomor Tiang	Q_u (kN) uji PDA	Q_u (kN)									
		BH 1		BH 2		BH 3		BH 4		BH 5	
		Lab	SPT	Lab	SPT	Lab	SPT	Lab	SPT	Lab	SPT
P3 (B)	1207	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P4 (A)	1248	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P2 (E)	1037	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P2 (I)	1112	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P1 (J)	1150	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P1 (G)	1074	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P2 (H)	1096	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P2 (L)	1163	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P3 (N)	1240	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88
P4 (M)	1226	315,61	382,98	316,90	333,33	410,52	1026,93	408,10	1144,16	401,26	1074,88

Pengaruh Nilai Tahanan Ujung Ultimit Tiang (Q_b) Dan Tahanan Gesek Ultimit Tiang (Q_s) Terhadap Kapasitas Dukung Ultimit (Q_u)

Pengaruh dari kapasitas dukung ultimit suatu tiang adalah tahanan ujung tiang dan tahanan gesek tiang, agar kuat dalam menopang beban di atasnya. Dari hasil analisis kapasitas dukung dengan rumus statis, nilai Q_s lebih berpengaruh terhadap Q_u dibandingkan dengan nilai Q_b . Hal ini disebabkan Q_s dipengaruhi oleh luasan dinding *pile* dan kedalaman tiang, semakin besar luasan dinding *pile* dan kedalaman tiang semakin besar pula nilai Q_s yang didapat. Nilai tahanan ujung tiang ultimit (Q_b) lebih kecil karena hanya memperhitungkan ujung tiang dan luas penampang tiangnya. Analisis kapasitas dukung pondasi dari hasil SPT berbanding terbalik dengan hasil dari analisis menggunakan rumus statis yaitu nilai Q_b lebih berpengaruh terhadap Q_u . Kapasitas dukung pondasi tiang, ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang. Hasil pengujian SPT menunjukkan di beberapa titik pada kedalaman tertentu sudah mencapai kedalaman tanah keras dengan nilai N-SPT mendekati 60 pukulan. Semakin besar jumlah pukulan N-SPT pada ujung tiang maka semakin besar nilai tahanan ujung ultimit tiang (Q_b). Berdasarkan kedua analisis di atas, nilai Q_u yang terbesar dan mendekati nilai Q_u dari uji PDA didapat dari hasil analisis kapasitas dukung pondasi tiang dari hasil uji SPT.

SIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian ini adalah :

Hasil perhitungan kapasitas dukung pondasi *minipile* dengan ukuran 0,2 x 0,2 m berdasarkan rumus statis, hasil uji SPT, dan hasil uji PDA adalah berturut-turut sebagai berikut:

- Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* dengan Rumus Statis
BH 1=315,61 kN; BH 2=316,90 kN; BH 3= 410,52 kN; BH 4= 408,10 kN; BH 5= 401,26 kN
- Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* dari Hasil Uji SPT
BH 1= 382,98 kN; BH 2= 333,33 kN; BH 3= 1026,93 kN; BH 4= 1144,16 kN; BH 5= 1074,88 kN
- Kapasitas Dukung Pondasi *Minipile* dari Hasil uji PDA
P3 (B) NO.3= 1207 kN; P4 (A) NO.2= 1248 kN; P2 (E) NO.8= 1037 kN; P2 (I) NO.1= 1112 kN; P1 (J) NO.2= 1150 kN; P1 (G) NO.10= 1074 kN; P2 (H) NO.9= 1096 kN; P2 (L) NO.2 = 1163 kN; P3 (N) NO.11= 1240 kN; P4 (M) NO.4= 1226 kN.

Perbandingan kapasitas dukung pondasi *minipile* yang didapat dengan rumus statis, hasil uji SPT, dan hasil uji PDA mengalami perbedaan yang satu dengan lainnya. Hal ini ditinjau dari nilai rasio kapasitas dukung/*Bearing Capacity Ratio* (BCR) $Q_{u_{lab}}$, dan $Q_{u_{SPT}}$, adalah kurang dari 1. Nilai ini menunjukkan bahwa $Q_{u_{lab}}$ dan $Q_{u_{SPT}}$ yang didapat mendekati dengan kapasitas dukung pondasi yang sudah terpasang dan telah diuji pembebanan dengan uji PDA.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. Niken Silmi Surjandari, ST., MT dan Yusep Muslih Purwana., ST., MT., Ph.D yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

Arifin, Zainul, 2007, *Komparasi Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Dibitung Dengan Beberapa Metode Analisis*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.

- G. E, Likins and F, Rausche (2004). "Correlation of CAPWAP with Static Load Tests". Proceedings of the Seventh International Conference on the Application of Stresswave Theory to Piles: Petaling Jaya, Selangor, Malaysia
- Hardiyatmo, H.C, 2002, *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C, 2010, *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian I dan II*, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardjasaputra, H., Ibrahim, M., Tampubolon, R. (2006), "Strategi Pencegahan Kegagalan Pondasi dengan Melakukan Rangkaian Uji Coba Beban Serta Uji Integritas Tiang Pondasi", Seminar Jurusan Teknik Sipil UPH, Jakarta.
- Kalinski, Michael, 2006, *Soil Mechanics Lab Manual*, Penerbit Willey, Kentucky.
- Kasturi S., Iskandar R., 2010, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Dengan Metode Analitis Dan Metode Elemen Hingga*, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Ketaren, Kataresada, 2004, *Kajian Komprehensif Daya Dukung Pondasi Tiang Berdasarkan Uji Pembebanan Tekanan di Sungai Percut*, Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Manoppo, F., J., 2010, *Perilaku Tiang Pancang Miring Pada Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Akibat Beban Vertikal Di Tanah Pasir*, Media Teknik Sipil, Vol. X, No. 2, Hal 81 – 84, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Putra, Hendri. G, 2008, *Pertimbangan Dalam Pemilihan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Dengan Beberapa metoda (Statik, Dinamik, Tes PDA)*, Jurnal Rekayasa Sipil, Vol. 4, No. 2, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
- Rahardjo, Paulus.P, 1995, *Penyelidikan Geoteknik dengan uji In-situ*, Penerbit Geotechnical Engineering Center Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Setio, HD, Setio, S, Martha, D, Kamal, B.r dan Nasution, S (2000), "Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Dinamik", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IV, INDO-GEO 2000 HATTI, Jakarta.
- Tambunan, Jhonson, 2012, *Studi Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang*, Jurnal Rancangan Sipil, Vol.1, No.1, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Simalungun.
- Vaidya, Ravikiran, (2006), "Introduction to High Strain Dynamic Pile Testing and Reliability Studies in Southern India", IGC 2006, India.
- Mhaiskar, SY, G Khare, Makarand, Vaidya, Ravikiran (2010), "High Strain Dynamic Pile Testing and Static Load Test – A correlation Study", Indian Geotechnical Conference, IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay, India.
- Yusa. M, Nugroho S.A, 2007, *Korelasi Penentuan Daya Dukung Tiang Cara Empirik (CPT) Dengan Pile Driven Analysis (PDA) Di Kota Pekanbaru*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNRI.