

PERBANDINGAN NILAI DAYA DUKUNG ULTIMIT TIANG TUNGGAL BERDASARKAN HASIL PENGUJIAN BEBAN DINAMIK DAN STATIK (COMPARISON OF ULTIMATE BEARING CAPACITY ON SINGLE PILE BASED ON DYNAMIC AND STATIC LOADING TEST)

Hardiansyah Putra¹, Cahya Hidayat²)

¹ Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution No. 264, Bandung, 40294,

² Universitas Langlangbuana,

Jl. Karapitan 116, Bandung, 40261,

e-mail : ¹hardiansyah.putra@pusjatan.pu.go.id; ²cahyagrounds@gmail.com

Diterima: 2 Oktober 2014; direvisi: 19 November 2014; disetujui: 3 Desember 2014

ABSTRAK

Penentuan daya dukung rencana untuk fondasi tiang pancang atau tiang bor bisa dilakukan dengan dua cara, yang pertama berdasarkan data hasil pengujian laboratorium dan kedua berdasarkan hasil data uji lapangan. Untuk memverifikasi daya dukung rencana tersebut umumnya digunakan metode pengujian beban statik (static loading test) dan metode pengujian beban dinamik (dynamic loading test). Pada prinsipnya pengujian dinamik hanya merupakan pendugaan, sehingga pada beberapa pekerjaan konstruksi yang cukup besar pengujian statik harus dilakukan sebagai data pembandingan untuk melihat kesesuaian hasil daya dukung yang dihasilkan oleh uji dinamik. Kenyataan di lapangan pengujian dinamik lebih sering digunakan karena pengujian dinamik memiliki beberapa keuntungan, seperti biaya pengujian yang lebih murah, waktu pengerjaan lebih cepat, dan ruang yang diperlukan untuk pengujian yang lebih kecil. Mengingat banyaknya pelaksanaan pengujian dinamik dibandingkan dengan pengujian statik yang dilakukan di Indonesia, maka pada tulisan ini dilakukan kajian kesesuaian nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan oleh pengujian dinamik dibandingkan dengan hasil pengujian statik. Evaluasi pada 22 titik data pengujian menggunakan analisa korelasi menunjukkan bahwa nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamik rata-rata memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan hasil pengujian statik, dan dari interpretasi nilai daya dukung ultimit dari data pengujian statik menggunakan metode Davisson, Chin dan Mazurkiewicz didapat nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamis mempunyai kesesuaian tertinggi dengan nilai daya dukung ultimit hasil interpretasi menggunakan metode Davisson, dimana nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.92 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.8554, kesesuaian terendah apabila dibandingkan dengan metode Chin dimana nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0.86 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.7742. Berdasarkan hasil evaluasi nilai daya dukung hasil uji dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai daya dukung hasil uji statik, hal ini bisa dilihat dari nilai rata-rata koefisien korelasi (r) yang didapat sebesar 0,90, sedangkan tingkat kesesuaian yang dihasilkan sebesar 87% atau 13 % lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengujian statik.

Kata kunci: Fondasi tiang, daya dukung ultimit, signal matching, metode davisson, metode chin, metode mazurkiewicz, pengujian beban statik, pengujian beban dinamik.

ABSTRACT

Determination of bearing capacity design for driven pile or bore pile can be done in two ways, first based on the results of laboratory testing data, second, based on the results of field testing data. To verify bearing capacity design, static loading test and dynamic loading test are generally used. In principle, dynamic loading test is only a prediction, therefore, in big project static loading test should be done as a comparative data to find out a suitability of bearing capacity value that is resulted by dynamic loading test. In reality especially in Indonesia, dynamic loading testing is more frequently used, this is due to the several advantages such as lower costs, faster testing time, and smaller space needed for testing, for that reason, this study discusses the suitability values of ultimate bearing capacity that is resulted by dynamic loading test compared to static loading test. Evaluation from 22 project locations using correlation analysis showed that the value of ultimate bearing capacity that resulted

from dynamic loading test on average is lower than the result from static loading test, and interpretation value of ultimate bearing capacity based on static loading test data using Davisson, Chin and Mazurkiewicz methods obtained value of ultimate bearing capacity resulted from dynamic loading test have highest suitability when compared using Davisson method where the value of correlation coefficient (r) amounted is 0.92 with a coefficient of determination (R^2) is 0.8554, The lowest suitability when compared with Chin method where the value of correlation coefficient (r) amounted is 0.86 with a coefficient of determination (R^2) is 0.7742. Based on evaluation showed, dynamic loading test result have a very high degree of suitability if compared from static loading test result, it can be seen from value of correlation coefficient (r) at 0.9, whereas suitability value rate at 87% or 13 % lower when compared with results of static loading test.

Keyword: Pile foundation, ultimate bearing capacity, signal matching, davisson method, chin method, mazurkiewicz method, static loading test, dynamic loading test.

PENDAHULUAN

Fondasi adalah struktur bawah bangunan, yang berfungsi untuk mentransferkan atau memindahkan beban-beban di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah. Berdasarkan jenisnya, fondasi tiang di Indonesia dibagi menjadi dua jenis, yaitu tiang pancang dan tiang bor dan umumnya digunakan sebagai fondasi jembatan, gedung bertingkat, pabrik atau gedung-gedung industri, menara, dermaga, dan lain-lain.

Pertimbangan penggunaan kedua jenis fondasi tiang tersebut sebagai fondasi, dikarenakan tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan serta beban diatasnya dan juga jika letak tanah keras yang memiliki daya dukung yang cukup untuk memikul berat dari beban bangunan di atasnya terletak pada posisi yang sangat dalam.

Pada umumnya penentuan daya dukung fondasi menggunakan 2 cara, yaitu berdasarkan hasil data uji laboratorium seperti metode *alpha*, *betha*, *lamda*, dan berdasarkan hasil data uji lapangan seperti data *Cone Penetration Test* (CPT) dan nilai *Standard Penetration Test* (SPT). Hasil penentuan daya dukung berdasarkan kedua cara tersebut diverifikasi menggunakan metode pengujian beban statik (*static loading test*) dan metode pengujian beban dinamik (*dynamic loading test*) atau disebut juga *High Strain Dynamics Pile Testing* (HSDPT).

Berdasarkan hasil pengumpulan data pengujian fondasi yang berjumlah 733 laporan pengujian, didapat 645 laporan uji dinamik (88%), 88 laporan uji statik (12%), (Putra.H.

2013). Hal ini menunjukkan lebih dominannya penggunaan uji dinamik dibandingkan dengan uji statik. Hal ini dikarenakan pengujian dinamik memiliki beberapa keuntungan jika dibandingkan dengan uji statik. Biaya uji dinamik yang lebih murah jika dibandingkan dengan uji statik (Rp. 2.500.000 vs Rp. 150.000.000) dan waktu pengerjaan uji dinamik yang lebih singkat dibandingkan dengan uji statik (30 menit per tiang vs 3-7 hari per tiang) diduga menjadi faktor utama yang mengakibatkan lebih diminatnya uji dinamik dibandingkan uji statik. Selain itu, dari segi kemudahan pelaksanaan, uji dinamik dapat digunakan pada area kerja yang terbatas atau sempit dibandingkan dengan uji statik yang memerlukan area kerja yang luas atau besar (Yekong, Cheng dan Nuri 2006).

Pada prinsipnya pengujian dinamik hanya merupakan pendugaan, sehingga pada beberapa pekerjaan konstruksi yang cukup besar pengujian statik harus dilakukan sebagai data pembanding untuk melihat kesesuaian hasil daya dukung yang dihasilkan oleh uji dinamik, serta untuk mendapatkan informasi daya dukung aktual berdasarkan beban rencana.

Yekong, Cheng and Nuri (2006), menyatakan nilai akurasi hasil pengujian dinamik dari analisa menggunakan *signal matching* "CAPWAP" (*Case Pile Wave Analysis Program*) mempunyai kesesuaian sebesar $\pm 90\%$ terhadap pengujian statik, sedangkan hasil Gue dan Chen (1998) dan Liew, Ng dan Lee (2004) mengatakan nilai yang dihasilkan dari pengujian dinamik lebih besar 60% apabila dibandingkan dengan hasil pengujian statik.

Untuk mengevaluasi kesesuaian publikasi tersebut terhadap kondisi Indonesia,

maka pada tulisan ini disampaikan evaluasi awal berupa komparasi daya dukung ultimit yang dihasilkan dari uji dinamik dan statik menggunakan data pengujian tiang yang dimiliki oleh basis data Balai Geoteknik Jalan, Puslitbang Jalan dan Jembatan. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran secara umum kesesuaian uji dinamik dan statik pada prakteknya di Indonesia.

KAJIAN PUSTAKA

Daya dukung fondasi tiang

Kapasitas daya dukung tiang dapat dibedakan oleh daya dukung ujung tiang dan daya dukung gesek, yang diperoleh dari persamaan 1 sebagai berikut:

$$Q_{ult} = Q_s + Q_b \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- Q_{ult} = daya dukung ultimit tiang
- Q_s = daya dukung akibat gesekan sepanjang badan tiang
- Q_b = daya dukung ujung tiang

Daya dukung ujung dan gesek dapat diperoleh menggunakan parameter sebagai berikut:

1. Parameter-parameter tanah dari uji labotarium.
2. Data uji lapangan, misalnya dari data nilai *Standard Penetration Test* (N-SPT) dan nilai sondir *Cone Penetration Test* (CPT).

Fondasi tiang

Fondasi tiang adalah salah satu jenis fondasi dalam yang terdiri dari fondasi tiang pancang dan fondasi tiang bor.

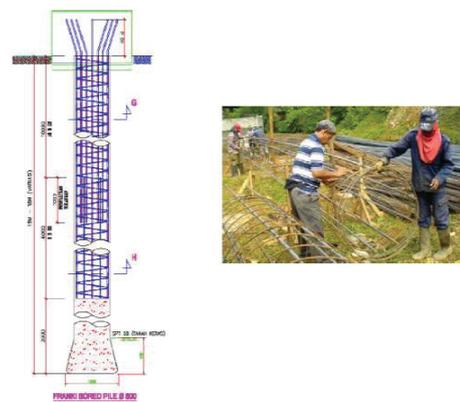
Fondasi tiang pancang secara definitif, adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari berbagai bahan bangunan (kayu, beton atau baja) yang digunakan untuk mentransfer beban rencana pada perlapisan tanah hingga mencapai daya dukung izinnya. Pelaksanaan tiang pancang adalah dengan melakukan penetrasi pada tiang pancang menggunakan alat pemancang dan umumnya tiang pancang diproduksi oleh pabrik dengan bentuk segitiga, segiempat atau lingkaran.

Apabila dilihat dari bahan yang dipakai maka tiang pancang dapat dibedakan menjadi tiang pancang beton (Gambar 1), tiang pancang kayu dan tiang pancang baja.



Gambar 1. Ilustrasi tiang pancang beton yang sudah di pancang

Fondasi tiang bor (*bored pile*) adalah fondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan pemboran tanah pada awal pengerjaannya, selanjutnya lubang bor tersebut di isi tulangan (Gambar 2) dan di cor beton. Tiang ini biasanya dipakai pada tanah yang stabil dan kaku, sehingga memungkinkan untuk membentuk lubang yang stabil dengan alat bor.



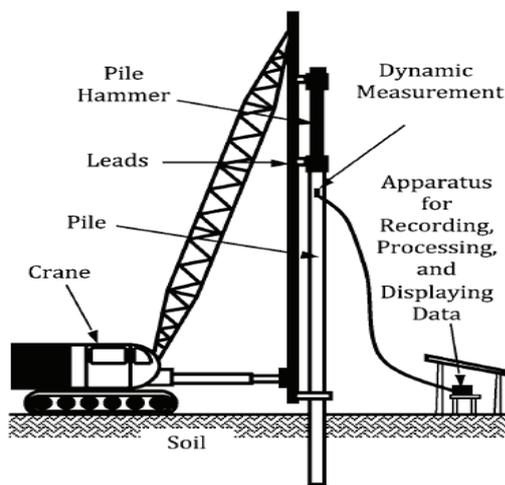
Gambar 2. Contoh penulangan pada rencana Tiang bor (PSD III, UNDIP)

Pengujian dinamik

Pengujian dinamik (*dynamic loading test*) adalah jenis pengujian berdasarkan teori rambatan gelombang. Prinsip dari pengujian ini adalah tiang dipukul menggunakan palu pancang (*hammer*), kemudian, gelombang dan perpindahan tiang yang dihasilkan akan dimonitor menggunakan akselerometer dan

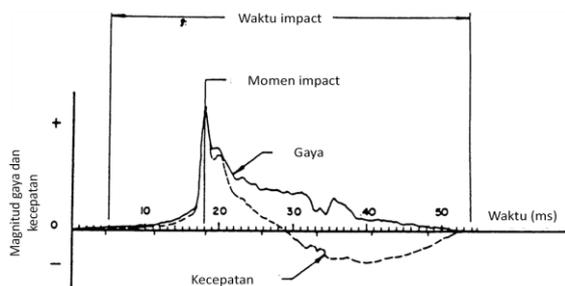
strain gauge sehingga mendapatkan data berupa gaya, percepatan, kecepatan atau penurunan pada tiang akibat gaya tumbukan. Gelombang yang dihasilkan kemudian diproses untuk mengestimasi kapasitas daya dukung tiang.

Pelaksanaan pengujian dinamik membutuh peralatan berupa alat penumbuk (*hammer*), *tranduser* gaya atau regangan (*strain gauge*), *tranduser* percepatan (sensor akselerometer), dan peralatan perekam. Skema pelaksanaan pengujian dinamik ini dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Skema pelaksanaan pengujian dinamik (ASTM 2008)

Gaya tumbukan yang dihasilkan dari pemukulan menggunakan alat penumbuk (*hammer*) pada kepala tiang akan menghasilkan gelombang, dan direkam oleh *tranduser* gaya dan akselerometer kemudian di proses untuk menghitung kapasitas daya dukung. Contoh luaran grafik yang dihasilkan pada pengujian dinamik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 1. Contoh grafik gaya dan kecepatan hasil pengujian dinamik (ASTM D4945-08)

Data hasil pengujian dari *tranduser* gaya dan akselerometer akan digunakan untuk menghitung kapasitas daya dukung yang dihasilkan pada pengujian dinamik dengan menggunakan teori gelombang. Tahanan tiang statik dihitung dengan menggunakan persamaan 2:

$$R_{static} = (1 - J_c) \frac{[F(t_1) + Z_v(t_1)]}{2} + (1 + J_c) \frac{[F(t_2) + Z_v(t_2)]}{2} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

F = gaya yang diukur oleh *tranduser*

V = kecepatan yang diukur oleh akselerometer

t_1 = waktu saat terjadi benturan awal

t_2 = waktu saat terjadi refleksi dari benturan awal dari kaki tiang

$$(t_1 + 2 L/c)$$

Z = impedansi tiang = EA/c

E = modulus elastisitas tiang

A = luas area tiang

c = kecepatan gelombang dari material tiang

L = panjang tiang diukur dari bawah lokasi *tranduser*

J_c = faktor redaman berdasarkan tipe tanah pada ujung tiang

Data hasil pengujian dinamik lapangan hasilnya akan dianalisis dengan metode *signal matching* menggunakan program yang umumnya dipakai seperti CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) dan TONWAVE. Program *Signal Matching* ini akan memberikan hasil akhir berupa nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamik.

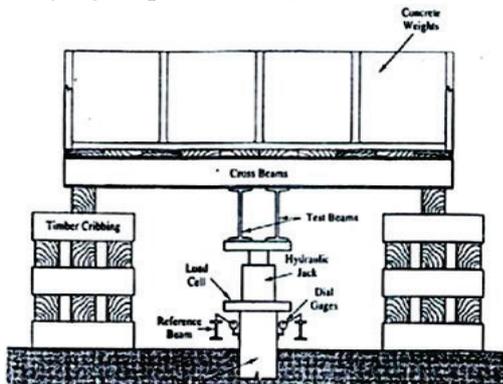
Pengujian statik

Pengujian statik adalah uji tiang langsung pada tiang yang telah dipancang hingga kedalaman rencana. Uji pembebanan dilakukan dengan rentang beban antara 0 sampai dengan 3 kali beban rencana. Pengujian ini dapat diandalkan untuk mendapatkan daya dukung fondasi tiang aktual di lapangan. Meski demikian, uji statik ini tidak dapat menunjukkan respon tiang pada selimut dan ujungnya serta besarnya daya dukung ultimitnya. Terdapat beberapa metode analitis

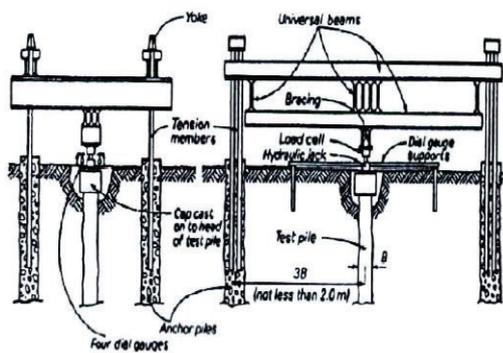
yang dapat digunakan untuk mendapatkan daya dukung ultimit berdasarkan hasil uji statik. Meski demikian setiap metode menghasilkan hasil daya dukung ultimit yang berbeda, sehingga perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui metode yang paling sesuai.

Uji pembebanan statik selain dapat menggambarkan daya dukung aktual tiang, juga dapat menggambarkan mekanisme tiang yang terjadi, misalnya dengan melihat kurva beban dan penurunan, besarnya deformasi plastis tiang, kemungkinan terjadinya kegagalan bahan tiang, dan sebagainya dapat diketahui. Pengujian tiang dengan beban hingga 2 kali beban kerja sering dilakukan pada tahap verifikasi daya dukung, tetapi untuk alasan lain misalnya untuk kontrol beban ultimit pada saat terjadi gempa, seringkali diperlukan pengujian sebesar 2,5 kali hingga 3,0 kali dari beban rencana.

Pembebanan statik dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan sistem *kentledge* (Gambar 5) dan kerangka baja atau jangkar pada tanah (Gambar 6).

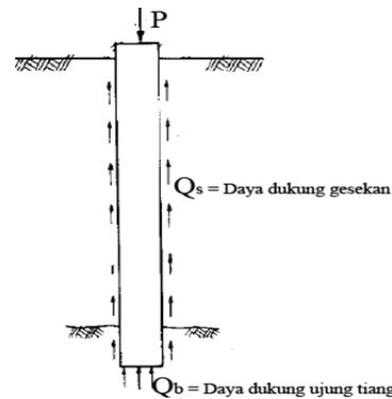


Gambar 5. Uji beban statik sistem *kentledge*



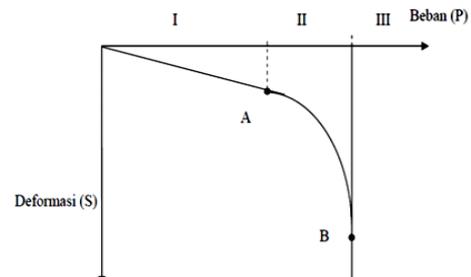
Gambar 6. Uji beban statik sistem jangkar tanah

Pada prinsipnya, prosedur pembebanan tiang ini dilakukan dengan cara memberikan beban vertikal yang diletakkan diatas kepala tiang, kemudian besarnya deformasi vertikal yang terjadi diukur dengan menggunakan arloji ukur yang dipasang pada tiang. Deformasi yang terjadi terdiri dari dua yaitu deformasi elastis dan plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang diakibatkan oleh pemendekan elastis dari tiang dan tanah, sedangkan deformasi plastis adalah deformasi diakibatkan runtuhnya tanah pendukung pada ujung atau sekitar tiang.



Gambar 7. Pembebanan arah aksial

Percobaan pembebanan tiang ini akan memberikan hasil yang cukup teliti jika deformasi yang terjadi diukur dengan baik. Sebenarnya yang ingin diketahui saat melakukan pengujian ini adalah sampai beban berapa, lapisan pendukung akan mengalami keruntuhan total dimana keruntuhan total akan terjadi pada suatu beban tertentu, dan akan mengalami perilaku penurunan terus menerus. Jika hubungan antara deformasi dan beban digambarkan dalam bentuk grafik maka terlihat bahwa grafik tersebut akan terdiri tiga bagian (Gambar 8).



Gambar 8. Grafik hubungan beban (P) dan Deformasi (S)

Berdasarkan Gambar 8 dapat dijelaskan:

1. Pada daerah I, ketika sampai suatu beban tertentu bentuk grafik deformasi beban merupakan garis lurus. Pada bagian ini secara matematis dapat ditulis:

$$dp/ds = C \text{ (tetap)} \dots\dots\dots(3)$$

dp = pertambahan beban (ton)

ds = pertambahan penurunan (mm)

Ini berarti, bahwa sampai beban tertentu besarnya penurunan sebanding dengan besarnya beban yang bekerja. Disini dapat diinterpretasikan, bahwa beban-beban yang bekerja sebagian besar dipakai untuk menimbulkan deformasi elastis, baik pada tiang itu sendiri maupun pada tanah pendukungnya. Deformasi elastis pada tiang ini merupakan pemendekan elastis, sedang pada lapisan pendukung merupakan proses konsolidasi pada *point bearing pile*, bentuk garis yang lurus ini lebih jelas dibandingkan pada *friction pile*.

2. Pada daerah II, dimana bagian yang berbentuk lengkung parabolis (garis AB) terjadi jika penurunan yang terjadi tidak sebanding dengan besarnya beban yang bekerja. Disini penurunan merupakan fungsi dari waktu artinya jika suatu beban dibiarkan bekerja lebih lama, akan mengakibatkan deformasi yang lebih besar. Secara matematis dapat ditulis:

$$dp/ds = f(t) \dots\dots\dots(4)$$

Dengan kata lain, pada bagian ini beban yang bekerja telah mengakibatkan terjadinya keruntuhan pada tanah pendukung dan jika tanah pendukung bersifat rapuh (misalnya batu tufa, batu pasir, batu tuffan), maka bagian lengkung parabolis ini lebih pendek dibandingkan pada batuan jenis lainnya, sedangkan pada *friction* jika dimasukkan dalam lapisan lempung lembek, bagian parabolis ini sering tidak jelas.

3. Pada daerah III, dimana bagian grafik yang curam terhadap garis vertikal yang cara matematis dapat ditulis:

$$dp/ds = \sim \dots\dots\dots(5)$$

Pada bagian ini terlihat, bahwa pada suatu beban tertentu yang besarnya tetap, akan terjadi deformasi terus menerus atau makin

lama makin besar. Beban yang mengakibatkan terjadinya deformasi yang makin lama makin besar disebut beban maximum.

Jenis-jenis pembebanan tiang pada pengujian statik:

- a. Pembebanan bertahap

Disini beban diberikan secara bertahap, dengan variasi sebesar 20, 40, 60, 80, dan 100% dari beban maksimum yang direncanakan. Pada setiap tahap, beban dibiarkan bekerja sedemikian lamanya sehingga deformasi yang terjadi akibat beban itu mencapai maksimum. Setelah beban maksimum tercapai, maka secara berangsur-angsur beban dikurangi menjadi 80, 60, 40, 20, dan 0% dengan catatan setiap tahap pengurangan beban ini dilakukan sampai tercapai pantulan (*rebound*) maksimum. Cara ini akan memberikan hasil yang cukup teliti untuk tiang-tiang yang bersifat *point bearing piles*, sedang untuk *friction* hasilnya tidak begitu memuaskan.

- b. Pembebanan berulang (*cyclic loading*)

Cara ini hampir sama dengan pembebanan bertahap, yaitu pembebanan dilakukan secara bertahap sebesar 20, 40, 60, 80, dan 100% dari beban maksimum yang direncanakan, tetapi pada setiap akhir saat sebelum pembebanan berikutnya dilanjutkan beban dihilangkan dahulu sehingga kita dapat mengukur besarnya penurunan tetap. Cara ini akan memberikan hasil yang cukup teliti untuk tiang-tiang *point bearing* maupun *friction*.

Metode penentuan daya dukung ultimit dari pengujian statik

Dari hasil uji pembebanan, dapat dilakukan interpretasi untuk menentukan besarnya beban daya dukung ultimit. Ada banyak metode interpretasi di antaranya:

1. Metode Davisson M.T.
2. Metode Mazurkiewicz
3. Metode Chin

Metode Davisson M.T.

Prosedur penentuan beban ultimit dari fondasi tiang dengan menggunakan metode ini

adalah dengan menggambarkan kurva beban terhadap penurunan (Gambar 9).

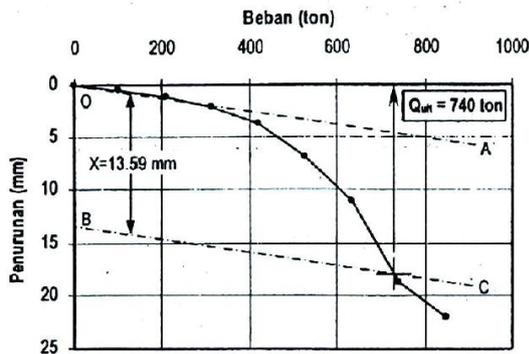
1. Penurunan elastik dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\frac{s_e}{Q} = \frac{L}{A_p E_p} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- s_e = penurunan elastik
- Q = beban uji yang diberikan
- L = panjang Tiang
- A_p = luas Penampang Tiang
- E_p = modulus elastisitas tiang
- $X = 0.15 + D/120$ (dalam inchi) dengan D adalah diameter atau sisi tiang dalam satuan inchi.

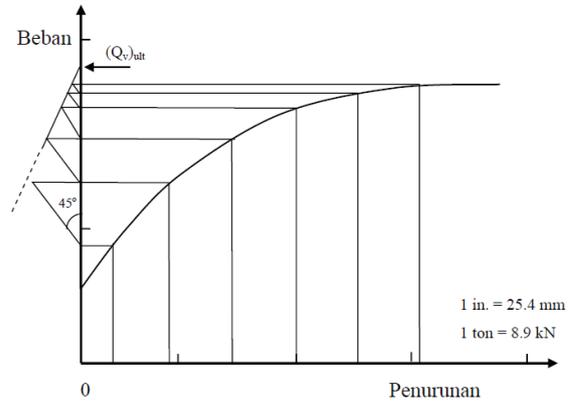
2. Tarik garis OA seperti gambar berdasarkan persamaan penurunan elastik (s_e).
3. Tarik garis BC yang sejajar dengan garis OA dengan jarak X.
4. Perpotongan antara kurva beban – penurunan dengan garis lurus merupakan daya dukung ultimit.



Gambar 9. Interpretasi daya dukung ultimit dengan metode Davisson

Metode Mazurkiewicz

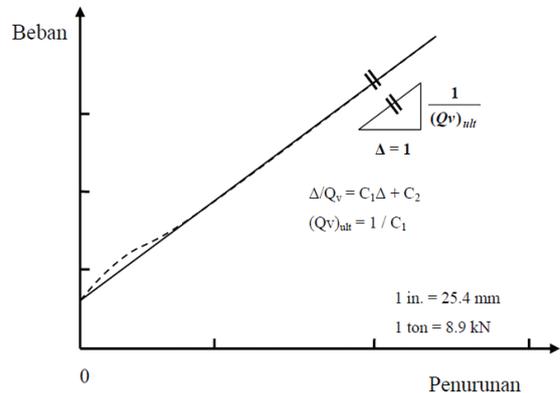
Metode ini diasumsikan bahwa dengan kapasitas tahanan terbesar (*ultimate*) akan didapatkan dari beban yang berpotongan, di antaranya beban yang searah sumbu tiang untuk dihubungkan beban dengan titik-titik dari posisi garis terhadap sudut 45° pada beban sumbu yang berbatasan dengan beban (Prakash, S. and Sharma, H. 1990). Hal ini dapat diperlihatkan seperti Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hubungan beban dengan penurunan metode Mazurkiewicz

Metode Chin F.K (1971)

Dasar dari teori ini seperti ditunjukkan pada Gambar 11:



Gambar 11. Grafik hubungan beban dengan penurunan metode Chin

- a. Kurva *load-settlement* digambar dalam kaitannya dengan S/Q , dimana:
 $S/Q = C1.S + C2 \dots \dots \dots (7)$

- b. Kegagalan beban (Q_f) atau beban terakhir (Q_{ult}) digambarkan sebagai:
 $Q_{ult} = 1/C1 \dots \dots \dots (8)$

Keterangan:

- S : *settlement*
- Q : penambahan beban
- $C1$: kemiringan garis lurus

Metode Chin biasanya memberikan perilaku yang tidak realistis untuk kegagalan beban, jika tidak digunakan suatu kenaikan waktu yang konstan pada uji tiang, jika sepanjang kemajuan tes beban statik,

keruntuhan pada tiang akan bertambah maka garis Chin akan menunjukkan suatu titik temu, oleh karena itu dalam merencanakan tiap pembacaan metode Chin perlu dipertimbangkan. Dimana Chin memperhatikan batasan beban yang diregresikan linier yang mendekati nilai 1 (satu) dalam mengambil suatu hasil tes beban statik, dengan dasar nilai-nilai yang ditentukan dari dua cara yang telah disebutkan. Secara umum dua titik akan menentukan satu garis dan titik ketiga pada garis yang sama mengkonfirmasi suatu garis (Fellenius, Bengt H. 2001).

Analisa korelasi pada data statistik

Analisa korelasi merupakan bagian dari regresi linear yang bisa dilakukan berdasarkan pengujian statistik. Walpole (1995), menyatakan analisis korelasi adalah metode statistik yang digunakan untuk mengukur besarnya hubungan linier antara dua variabel atau lebih. Besarnya kekuatan korelasi antara dua variabel ini apakah tinggi, lemah ataupun rendah. Kekuatan hubungan antara dua variabel tersebut bisanya dilambangkan dengan nilai "r" (koefisien korelasi). Dalam melakukan interpretasi terhadap kuatnya hubungan berdasarkan koefisien korelasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pedoman untuk memberikan interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono 2008)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat/Tinggi
0,80 - 1,00	Sangat Kuat/ Sangat Tinggi

Analisa korelasi juga dapat dilihat berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang merupakan suatu ukuran yang penting dalam regresi. Nilai R^2 mengukur seberapa dekat garis regresi yang terestimasi dengan data sesungguhnya sehingga dapat menginformasikan baik dan tidaknya model regresi yang terestimasi (Kurniawan, D. 2008). Nilai ini juga mencerminkan seberapa besar variasi dari variabel terikat Y dapat diterangkan oleh variabel bebas X. Bila nilai koefisien determinasi sama dengan 0 ($R^2 = 0$), artinya

variasi dari Y tidak dapat diterangkan oleh X sama sekali. Sementara bila $R^2 = 1$, artinya variasi dari Y secara keseluruhan dapat diterangkan oleh X. Dengan kata lain bila $R^2 = 1$, maka semua titik pengamatan berada tepat pada garis regresi. Dengan demikian baik atau buruknya suatu persamaan regresi ditentukan oleh R^2 nya yang mempunyai nilai antara nol sampai satu dan nilai R^2 dikatakan baik jika berada diatas 0,5. Nilai koefisien determinasi merupakan hasil kuadrat dari koefisien korelasi

$$R^2 = r \times r \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

- R^2 = koefisien determinasi
- r = koefisien korelasi

HIPOTESIS

Nilai daya dukung ultimit dari hasil pengujian dinamis pada tiang tunggal mempunyai nilai kesesuaian yang tinggi terhadap nilai daya dukung ultimit hasil pengujian statik.

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini:

1. Dilakukan pengumpulan data pengujian statik dan dinamik yang dilaksanakan pada lokasi proyek yang sama.
2. Data-data pengujian statik dan dinamik pada lokasi proyek yang sama kemudian di filter lagi berdasarkan kedua pengujian tersebut dilakukan pada tiang yang sama atau pengujian statik dan dinamik dilakukan pada titik fondasi yang berdekatan.
3. Data daya dukung ultimit berdasarkan pengujian dinamik yang sudah di analisis dengan metode signal matching menggunakan program CAPWAP disusun berdasarkan lokasi proyek konstruksi.
4. Data-data pengujian statik pada saat dimulai dilakukan pembebanan bertahap dan juga pembebanan berulang dilakukan analisa untuk mendapatkan kurva penurunan vs beban.

5. Dari hasil kurva penurunan vs pembebanan dilakukan analisa untuk mendapatkan nilai daya dukung ultimit pada pengujian statik menggunakan metode Davisson, Mazurkiewicz dan Chin. Khusus metode Chin nilai daya dukung ultimit dibagi angka 1,2 sebagai faktor koreksi.
6. Nilai daya dukung ultimit yang didapat berdasarkan pengujian dinamik, dan pengujian statik kemudian di analisis dengan menggunakan metode analisa korelasi untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil daya dukung ultimit pengujian dinamik dengan pengujian statik. Analisa korelasi hasil perhitungan regresi yang dilakukan menggunakan bantuan piranti lunak excel.

HASIL DAN ANALISIS

Jumlah lokasi yang dilakukan analisa sebanyak 22 lokasi proyek konstruksi (Tabel 3) dimana pada lokasi ini dilakukan pengujian dinamik dan pengujian statik, pada tiang yang sama atau pada titik tiang fondasi yang berdekatan.

Tabel 2 dan Gambar 12 memperlihatkan hasil analisa regresi linear yang dilakukan. nilai "r" (koefisien korelasi) dari regresi daya dukung ultimit pengujian dinamik jika dibandingkan dengan daya dukung ultimit pada pengujian statik, dari tiga metode didapat nilai terendah koefisien korelasi sebesar 0,86 jika menggunakan metode Chin, sedangkan nilai tertinggi jika menggunakan metode Davisson, dimana nilai koefisien korelasi nya sebesar 0,92. untuk nilai koefisien determinasi (r^2) nilai terendah koefisien determinasi sebesar 0,7442 jika menggunakan metode Chin sedangkan nilai

tertinggi jika menggunakan metode Davisson dimana nilai koefisien korelasi nya sebesar 0,8554.

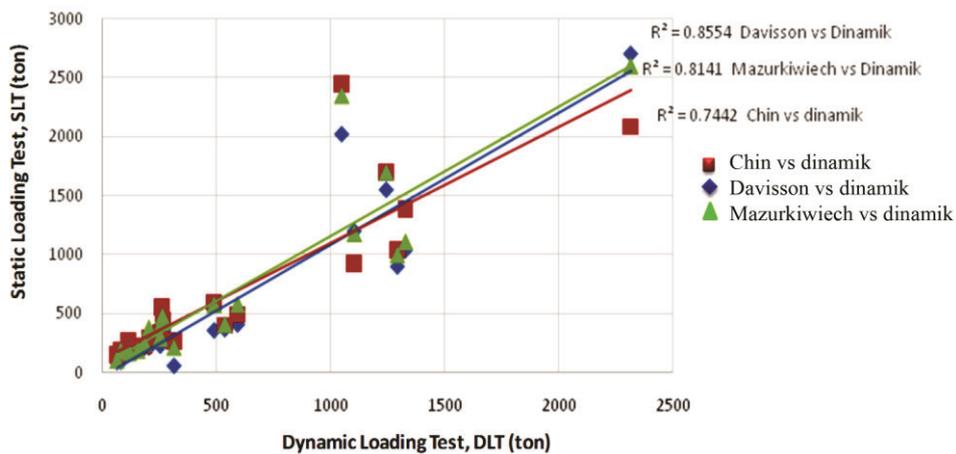
Tabel 2. Hasil analisa regresi daya dukung ultimit pengujian statik dan dinamik

Analisa regresi	Koefisien korelasi (r)	Koefisien determinasi (R^2)
Daya dukung ultimit berdasarkan metode Davisson vs hasil pengujian dinamik	0,92	0,8554
Daya dukung ultimit berdasarkan metode Chin vs hasil pengujian dinamik	0,86	0,7442
Daya dukung ultimit berdasarkan metode Mazurkiewicz vs hasil pengujian dinamik	0,90	0,8141
Rata-rata (dari 3 metode) daya dukung ultimit berdasarkan pengujian statik vs hasil pengujian dinamik	0,90	0,8186

Tabel 3 memperlihatkan nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamik yang merupakan hasil analisis *signal matching* menggunakan *software* CAPWAP, tabel ini juga memperlihatkan nilai daya dukung ultimit dari pengujian beban statik berdasarkan tiga metode, Davisson, Chin dan Mazurkiewicz. Secara kecenderungan nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamik memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai daya dukung ultimit hasil pengujian statik.

Tabel 3. Perbandingan kapasitas daya dukung ultimit hasil pengujian dinamik dan statik

No	Lokasi Proyek	Id tiang	Pengujian Dinamik Daya Dukung Ultimit (ton)	Pengujian Statik Daya Dukung Ultimit (ton)			
				Davisson	Chin	Mazurkiewiczh	Rata-rata
1	Jakarta Selatan	TP 258	593.9	410	490	580	493
2	Jakarta Selatan	TP 48	491	360	595	580	512
3	Pengangsaan Dua	BP 19	1104.6	1200	925	1180	1102
4	Teluk Gong	Tiang 67	270.3	360	438	440	413
5	Cikini	TP 288	315.6	60	260	215	178
6	Citeureup	TP 3	538	370	396	410	392
7	Citereup	TP 4	1329	1040	1388	1110	1179
8	Badung, Bali	P213	205.6	215	287	380	294
9	Jembatan Kutai Barat	BP 32	1245	1550	1700	1700	1650
10	Pekanbaru Riau	P 66	186.1	215	225	250	230
11	Kuningan Jakarta	BP 14	2315.3	2700	2083	2600	2461
12	Rs. Jakarta Pusat	391	255.6	230	308	290	276
13	Rs. Jakarta Pusat	540	255.4	255	333	305	298
14	Jl.Wahid Hasyim Jakarta	P.63 AS B2 No 11	262.5	290	555	430	425
15	Jl.Wahid Hasyim Jakarta	As 6A No 1	265	345	462	480	429
16	St Jakarta	TP 175	1293.6	900	1041	1000	980
17	Jl.Rasuna Said Jakarta	BP 42	1050	2020	2450	2350	2273
18	Cijantung Jakarta	TP 823	157	195	213	190	199
19	Cijantung Jakarta	TP 393	120	165	185	170	173
20	Cijantung Jakarta	TP 746	115	175	260	185	207
21	Cibitung	TP-102	65.7	91	146	105	114
22	Menteng Jakarta Pusat	BP- 140	82.3	95	185	190	157
Jumlah =			12516.5	13241	14925	15140	14435
Nilai kesesuaian pengujian dinamik dengan pengujian statik =				95%	84%	83%	87%



Gambar 12. Perbandingan nilai daya dukung ultimit hasil pengujian beban dinamis dan statik

PEMBAHASAN

Dari Tabel 2 perbandingan hasil nilai daya dukung ultimit berdasarkan pengujian dinamik jika di bandingkan dengan hasil pengujian statik menggunakan metode Davisson didapat nilai koefisien korelasi sebesar (r) 0,92 dan berdasarkan Tabel 1 hasil ini menunjukkan pengujian dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi, sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari Tabel 2 dan Gambar 12 didapat nilai sebesar 0,8554 ini menggambarkan hasil regresi yang didapatkan sudah baik.

Dari Tabel 2 perbandingan hasil nilai daya dukung ultimit berdasarkan pengujian jika di bandingkan dengan hasil pengujian statik menggunakan metode Chin didapat nilai koefisien korelasi sebesar (r) 0,86 dan berdasarkan Tabel 1 hasil ini menunjukkan pengujian dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi, sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari Tabel dan Gambar 12 didapat nilai sebesar 0,7442 ini menggambarkan hasil regresi yang didapatkan sudah baik.

Dari Tabel 2 perbandingan hasil nilai daya dukung ultimit berdasarkan pengujian jika di bandingkan dengan hasil pengujian statik menggunakan metode Mazurkiewicz didapat nilai koefisien korelasi sebesar (r) 0,90 dan berdasarkan Tabel 1 hasil ini menunjukkan pengujian dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi, sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari Tabel dan Gambar 12 didapat nilai sebesar 0,8141 ini menggambarkan hasil regresi yang didapatkan sudah baik.

Dari Tabel 2 perbandingan hasil nilai daya dukung ultimit berdasarkan pengujian dinamik dengan hasil nilai daya dukung ultimit berdasarkan pengujian statik secara rata-rata mempunyai nilai koefisien korelasi sebesar 0,90 dan berdasarkan Tabel 1 hasil ini menunjukkan pengujian dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi terhadap hasil pengujian statik, sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari Tabel 2 dan didapat nilai sebesar 0,8186 ini menggambarkan hasil regresi yang didapatkan sudah bagus.

Tabel 3 menunjukkan hasil nilai daya dukung ultimit dari pengujian dinamik mempunyai nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pengujian statik, berturut-turut nilai daya dukung ultimit jika dibandingkan dengan hasil pengujian statik berdasarkan metode Davisson, Chin, dan Mazurkiewicz adalah 95%, 84%, dan 83% sedangkan secara rata-rata kesesuaian nilai daya dukung ultimit dari pengujian dinamik terhadap pengujian statik sebesar 87% atau 13% lebih rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil analisis menunjukkan nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari hasil pengujian dinamik rata-rata memiliki nilai yang lebih rendah dari nilai yang dihasilkan dari pengujian statik.
2. Berdasarkan hasil analisis korelasi menunjukkan nilai daya dukung ultimit yang dihasilkan dari pengujian dinamis mempunyai kesesuaian tertinggi dengan nilai daya dukung ultimit hasil interpretasi dari pengujian statik menggunakan metode Davisson, dimana nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,92 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,8554. Kesesuaian terendah apabila dibandingkan dengan metode Chin dimana nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,86 dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7742.
3. Evaluasi nilai daya dukung terhadap hasil uji dinamik mempunyai tingkat kesesuaian yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan nilai daya dukung hasil uji statik, hal ini bisa dilihat dari nilai rata-rata koefisien korelasi (r) yang didapat sebesar 0,90, sedangkan tingkat kesesuaian yang dihasilkan sebesar 87% atau 13% lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengujian statik.

Saran

1. Analisa dilakukan berdasarkan 22 lokasi titik pengujian fondasi, maka akan lebih baik apabila jumlah data yang dilakukan analisa komparasi diperbanyak sehingga verifikasi data menjadi lebih baik.

2. Interpretasi daya dukung ultimit dari pengujian beban statik hanya dilakukan berdasarkan 3 metode yaitu Davisson, Chin dan Mazurkiewicz, masih banyak metode penentuan daya dukung ultimit yang lainnya sehingga interpretasi berdasarkan metode lain dapat dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Aksan Kawanda, dan PT. Geotech Efathama atas dukungan data yang telah diberikan kepada kami.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 2008. *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*, ASTM D4945-00. 2008. West Conshohoken: ASTM International.
- Arifin, Z. 2007. *Komparasi Daya Dukung Aksial Tiang Tunggal Dihitung Dengan Beberapa Metode Analisis*. Semarang: Universitas Diponegoro.

- Fellenius, Bengt H. 2001. *What capacity value to choose from the results a static loading test*. Fulcrum: Deep Foundation Institute.
- Gue, S.S and Chen, C.S.1998 . "A comparison of dynamic and static load test on reinforced concrete driven piles" *Thirteen Southeast Asian Geotechnical Conference*. Taiwan: SEAGS.
- Kurniawan, D. 2008. Regresi Linier, Forum Statistika, <http://ineddeni.wordpress.com>
- Liew, dkk . (2004). Judul. Kota dan penerbit
- Prakash, S. and Sharma, H. 1990. *Pile foundations in engineering practice*. New York: John Wiley and Sons.
- Putra, H. 2013. *Basis Data Uji Statik dan Dinamik untuk Fondasi Dalam*. Bandung: Pusjatan.
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta
- Walpole, R.E. 1995. *Pengantar Statistika*. Edisi ke-3. Jakarta: Gramedia.
- Yekong, W. 2006. *Design and construction of driven pile foundations*. Kuala Lumpur: Traswaja.