

ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG PADA PEMBANGUNAN MANADO TOWN SQUARE III DENGAN METODE *WAVE EQUATION*

Derwin Dirta Jaya
Sjachrul Balamba, Alva N. Sarajar
Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi
Email : Derwindjaya@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi khususnya dalam bidang geoteknik telah mengalami kemajuan yang cukup besar. Salah satunya tanah sebagai tempat untuk berdirinya bangunan. Banyak metode yang bisa digunakan untuk menghitung kapasitas beban lateral pada pondasi. Terutama metode *Wave Equation* dimana merupakan persamaan gelombang yang dapat menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan parameter-parameter dan faktor-faktor karakteristik yang ada. Analisis daya dukung menggunakan metode *Wave Equation*, harus dilakukan dengan bantuan aplikasi komputer didalam perhitungannya. Metode ini digunakan untuk mengetahui jumlah pukulan per millimeter (mm), banyaknya penetrasi akibat pemancangan tiang, gaya maksimum dan tegangan akibat beban. Pada skripsi ini dibuat metode perbandingan dengan menggunakan *Hilley* dan *ENR*. Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar nilai beban ultimate yang bekerja, maka akan memperbesar gaya maksimum yang terjadi pada elemen tiang. Kapasitas dari daya dukung dapat dihitung dengan rumus dinamik pada tiang.

Kata kunci : beban ultimate, elemen tiang, gaya maksimum, tegangan, *wave equation*.

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Pada konstruksi bangunan, fungsi pondasi sangat penting. Hal ini dikarenakan pondasi sebagai bangunan bawah tanah yang meneruskan beban yang berasal dari berat struktur pondasi itu sendiri dan berat bangunan diatasnya ke lapisan tanah di bawahnya.

Pada umumnya perencanaan konstruksi bangunan bertingkat menggunakan pondasi tiang pancang. Salah satu perhitungan daya dukung tiang pancang yang dapat digunakan yaitu metode dinamik. Metode dinamik terbaru adalah dengan menggunakan persamaan gelombang (*wave equation*) atau gelombang tegangan (*stress wave*). Metode dinamik membutuhkan keakuratan dan keandalan dalam penentuan kapasitas tiang pancang karena sangat berpengaruh dalam desain, konstruksi, serta biaya pada pondasi dalam (*deep foundations*).

Metode yang akan dijadikan obyek penelitian adalah metode dinamik dengan menggunakan *Wave Equation*. Keuntungan metode ini adalah analisa dapat dilakukan untuk setiap bagian sistem model tiang pancang atau tanah secara terpisah sehingga dimungkinkan mendapatkan hasil tiang pancang yang optimal dan daya dukung yang lebih tepat.

Oleh karena itulah, penulis menganggap perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode ini untuk mengetahui kapasitas daya dukung yang terdapat pada tiang pancang yang akan dihitung.

I.2. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung kapasitas daya dukung akibat adanya beban yang bekerja dan untuk mendapatkan hubungan jumlah pukulan dengan daya dukung yang dihitung.

I.3. Pembatasan Masalah

- Daya dukung yang akan dihitung adalah pondasi tiang pancang tunggal.
- Pembebanan bersifat dinamik.
- Tiang pancang yang digunakan adalah *flexible pile* atau *long pile*.
- Data beban bangunan yang digunakan adalah gedung parkir.
- Dimensi pondasi tiang pancang disesuaikan dengan lokasi proyek.
- Tidak memperhitungkan gaya minimum pada tiang pancang.
- Analisa yang digunakan untuk menghitung kapasitas dukung tiang adalah persamaan gelombang (*wave equation*).

I.4. Manfaat Penelitian

- Sebagai acuan untuk perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, khususnya pada penggunaan metode *wave equation*.
- Untuk menambah informasi untuk praktisi dan akademisi dibidang pondasi tiang pancang menggunakan program komputer.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Wave Equation (Persamaan Gelombang)

Persamaan gelombang didasarkan pada penggunaan gelombang tegang dari pemukulan palu di dalam analisa elemen hingga. Metode ini untuk pertama kalinya dituliskan di dalam bentuk praktis dan selanjutnya oleh yang lain. Penggunaan persamaan ini dilakukan berdasarkan gelombang tegang dari tumbukan palu dengan analisa elemen hingga. Persamaan gelombang dapat digunakan untuk menyelidiki soal-soal berikut :

1. Kapasitas tiang-pancang berupa gambar Ru terhadap himpunan dan pengujian beban yang digambarkan pada kurva untuk mendapatkan kurva yang benar.
2. Kecocokan peralatan yang dipakai. Pemecahan-pemecahan tiang tidak bisa dihasilkan bila palu terlalu besar atau terlalu kecil untuk tiang-pancang.
3. Tegangan pancang berupa gambar tegangan terhadap himpunan dapat dibuat untuk memastikan bahwa tiang-pancang tidak terlalu tegang.

Sebuah tiang pancang dibentuk kedalam sebuah himpunan elemen elemen diskrit. Sistem tersebut kemudian ditinjau di dalam sederet interval waktu yang terpisah DT yang dipilih cukup kecil sehingga gelombang tegang akan bergerak dari satu elemen kedalam elemen yang lebih rendah berikutnya selama DT.

Untuk ukuran panjang yang lebih pendek, maka DT yang bersangkutan harus dibuat lebih kecil. Waktu DT yang sesungguhnya dapat dihitung dengan coba-coba yaitu :

$$DT = C \sqrt{WmL/AEg} \dots\dots (1)$$

di mana C = 0,5 hingga 0,75.

Bentuk persamaan diferensial elemen hingga yang digunakan dalam analisis gelombang adalah :

$$Dm = 2D'm - D''m + (Fam g)/Wm(DT)^2 \dots\dots (2)$$

Kita tidak perlu memecahkan persamaan ini secara langsung, karena bagian yang penting untuk setiap nilai kapasitas tiang-pancang akhir Ru adalah:

1. Gaya-gaya dalam setiap segmen tiang-pancang.
2. Perpindahan (atau set) titik tiang-pancang.

Perpindahan elemen sesaat dihitung sebagai

$$Dm = D'm + Vm(DT) \dots\dots (3)$$

Dengan perpindahan elemen sesaat tersebut, maka pemampatan relatif atau pergerakantekan dapat dihitung di antara dua elemen berdekatan sebagai

$$Cm = Dm - Dm + 1 \dots\dots (4)$$

Gaya dalam segmen m adalah

$$Fm = Cm (AE/L)m = Cm.Km \dots\dots (5)$$

Pegas tanah dihitung sebagai

$$K'm = R'm/Gempa \dots\dots (6)$$

Tahanan sisi atau tahanan titik didapat dengan menggunakan redaman dengan nilai sisi atau titik dari J dan K'm yang sesuai yaitu :

$$Rm = (Dm - Dsm) K'm (1 + JVm) \dots\dots (7)$$

Gaya yang memberi percepatan dalam segmen m diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya elemen untuk mendapatkan

$$F_{am} = Fm - 1 - Fm - Rm \dots\dots (8)$$

Kecepatan elemen dihitung sebagai

$$V_m = V'_m + (Fam.g)/Wm.(DT) \dots\dots (9)$$

Untuk daftar notasi dari rumus tersebut adalah ;

- Cm = Kompresi pegas internal m
- DT = Interval waktu
- Dm = Perpindahan elemen m
- D'm = Perpindahan plastis m
- E = Modulus elastisitas tiang
- F_{am} = Gaya yang menimbulkan percepatan akibat elemen m
- Fm = Gaya yang bekerja pada pegas elemen
- K'm = Konstanta pegas internal
- L = Panjang elemen tiang
- Q = "Quake", deformasi tanah
- Rm = Gaya yang ditimbulkan oleh pegas internal m
- Vm = Kecepatan elemen m

II.2. Analisis Persamaan Gelombang

Analisis persamaan gelombang memerlukan data masukan untuk menghitung setiap segmen tiang pancang, diantaranya adalah :

1. Tinggi jatuhnya balok besi panjang dari palu tiang-pancang dan berat balok besi panjang.

$$V_1 = \sqrt{eh(2gh)} \dots\dots \text{pers 2.1}$$

2. Berat topi tiang-pancang, blok topi, segmen tiang-pancang, sepatu pendorong, dan modulus elastisitas tiang-pancang.

3. Nilai-nilai konstanta pegas blok sungkup dan bantalan tiang-pancang. Menurut Smith (1962) dan Hirsch dkk (1970) telah menyusun nilai-nilai konstanta pegas dan konstanta restitusi cap block sebagai

$$K = AE/L \dots\dots (10)$$

4. Sifat-sifat tanah dari :

- Gempa (deformasi tanah yang terjadi)
- Redaman sisi (biasanya sepertiga dari nilai titik) Js
- Redaman titik Jp.

Menurut Joseph E. Bowles , nilai Q tidak terlalu kritis dapat diambil sekitar 0,1 inch s/d 0,30 inch. Konstanta redaman tanah sisi tiang biasanya diambil :

$$J_s = J_p/3 \dots\dots (11)$$

5. Perkiraan persentase beban ultimate yang diangkut oleh titik tiang-pancang (0 sampai 100 persen). Untuk mendapatkan nilai pukulan per cm terhadap tahanan ultimate (Ru) serta dengan menggunakan program komputer. Nilai pukulan/cm itu adalah

$$N = 1/s \dots\dots (12)$$

Bahan	e
Kayu Garuk	0
Tiang pancang kayu (ujung yang tak mengerut)	0,25
Bantalan Kayu pampat diatas tiang pancang baja	0,32
Bantalan Kayu pampat pada tiang pancang baja	0,40
Landasan baja diatas baja, baik diatas baja maupun tiang pancang beton	0,50
Palu besi cor diatas tiang pancang beton tanpa sungkup	0,40

Gambar 1. Koefisien restitusi untuk bahan tiang pancang

Bahan	E, ksi	E, Mpa
Micarta	450	3100
Kayu keras, kayu ek	45	310
Lingkar asbestos	45	310
Kayulapis, fir (semacam cemara)	35	240
Cemara	25	170
Kayu lunak, getah	30	205

Gambar 2. Nilai – nilai modulus elastisitas untuk tiang pancang

Tanah	Gempa		Redaman Titik J _p	
	inch	mm	s/ft	s/m
Pasir	0,05 - 0,20	1,0 - 5,0	0,10 - 0,20	0,33 - 0,66
Lempung	0,05 - 0,30	1,0 - 8,0	0,40 - 1,00	1,30 - 3,30
Batuan	> 0,20	> 5,0	-	-

Gambar 3. Nilai-nilai Quake (Q) dan Redaman titik (Jp)

II.3. Tegangan-Tegangan pada Tiang Pancang

Persamaan gelombang menurut Josep E. Bowles (1986) merupakan cara terbaik yang tersedia saat ini untuk mendapatkan tegangan pancang, baik tekanan untuk metal maupun tekanan dan tarik untuk tiang-pancang beton. Analisa tersebut dilakukan dengan cara memasukkan nilai-nilai yang tepat mengenai tanah, tiang dan alat pancang ke dalam program komputer.

II.4. Kapasitas Daya Dukung Tiang

Menurut Hary Christady Hardiyatmo (2010), 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.

1. Kapasitas Daya Dukung Cara Statis

Kapasitas dukung ultimit neto tiang adalah jumlah dari tahanan ujung bawah ultimit dan tahanan gesek ultimit antara sisi tiang dan tanah disekitarnya dikurangi dengan berat sendiri tiang.

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \dots\dots\dots (13)$$

2. Kapasitas Daya Dukung Cara Dinamis

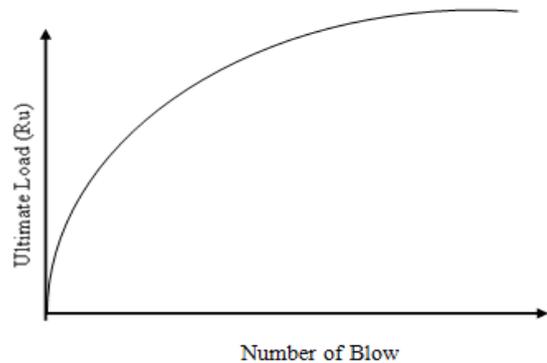
Hitungan kapasitas dukung ultimit tiang secara dinamik didasarkan pada rumus tiang pancang dinamik.

a. Hilley

$$Q_u = \frac{eh \cdot Eh}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W + n^2 W_p}{W + W_p} \dots\dots\dots$$

b. ENR

$$Q_u = \frac{eh \cdot Eh}{s + C} \dots\dots\dots$$



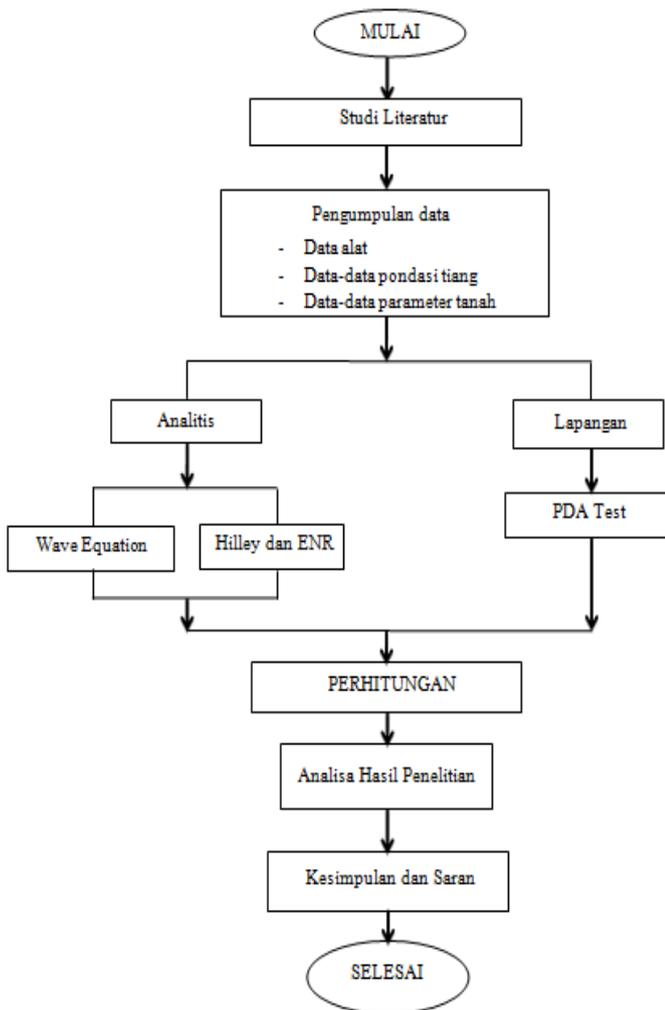
Gambar 4. Grafik Daya Dukung

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Prosedur Penelitian

Metodologi penelitian adalah tata cara pelaksanaan suatu penelitian dalam rangka penyelesaian suatu permasalahan penelitian yang akan dilakukan yaitu perhitungan dengan metode *wave equation*. Dalam menyiapkan rencana penelitian akan dilakukan berbagai pendekatan-pendekatan berdasarkan rumus empiris, sesuai dengan buku panduan atau diktat yang mempunyai fungsi sebagai acuan dalam melakukan metodologi penelitian.

III.2. Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram alir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Pembahasan Pemodelan Tiang Pancang untuk Analisis

Berikut ini adalah data-data yang akan digunakan dalam menganalisis:

a. Data Tiang Pancang

- Jenis Tiang : ASB1-BC/NO.A
- Luas Penampang Tiang (AREA) : 2500 cm²
- Modulus Elastisitas Tiang (EMOD): 32562,55 MPa
- Berat Per Satuan Panjang (WFT) : 986 Kg/m'
- Tebal Selimut Tiang (TWALL) : 10 cm
- Jumlah Segmen (Termasuk Ram dan Cap) : 13
- Panjang Tiap Segmen (ELEML) : 1,4 m
- Panjang Tiang Tertanam : 12,85 m

b. Data Hammer

- Jenis Hammer Pukulan : Disesel Hammer KOBE-35

- Berat Hammer (W(2)) : 3,5 ton
- Berat Pile Cap (W(3)) : 1 ton
- Berat Drop Hammer : 4 ton
- Tinggi Jatuh Hammer (FALL) : 1,4 m
- Effisiensi Hammer (EFF) : 35,51 %
- Energi Tumbukan : 1,74 ton.m
- Berat Driven Point : 0,0 ton

c. Data Tanah

- Jenis Tanah : Lempung
- Redaman Tanah Ujung (JP) : 2,0 s/m
- Redaman Tanah Sisi (JS) : 0,667 s/m
- Quake (Q) : 0,254 cm

d. Data Perlengkapan Pemancangan

- Interval Waktu (DT) : 0,00025 detik
- Koefisien Restitusi Cap Block : 0,5
- Koefisien Restitusi Pile Cushion : 0,5
- Konstanta Pegas Cap Block : 772440,9 kN/m
- Konstanta Pegas Pile Cushion dan Tanah : 603102,9 kN/m
- Presentase Ru pada Ujung Tiang : 25 % (0,25)
- Daya Dukung Tiang (RUTOT) : 105,5 - 300 ton

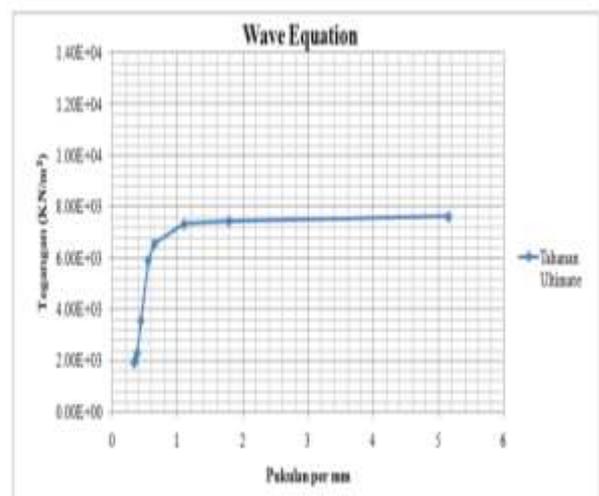
e. Data-data Lainnya

Pada data ini, akan dimasukkan dalam program FORCE 2.0, yaitu ;

- Tipe Tiang (PILTYP) : 1 (luas penampang tetap)
- Perhitungan GO TO : 3 (Nilai Ru yang divariasikan)

IV.2. Analisis Daya Dukung dengan Metode Wave Equation

Variasi Beban Ultimate 1



Gambar 6. Nilai hubungan tegangan pancang dengan jumlah pukulan pada Ru = 1034,95 KN

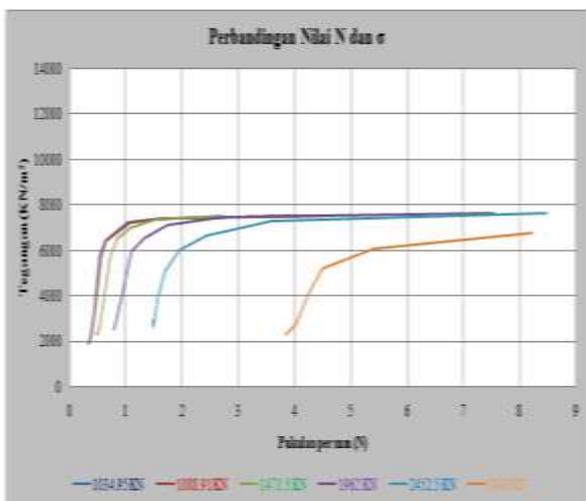
DT	S (mm)	1/s	FMAX (kN)	σ (kN/m ²)
16	0.000	-	3171.90	12687.60
24	0.000	-	2962.30	11849.20
32	0.000	-	2032.80	8131.20
35	0.247	4.052	1875.60	7502.40
36	0.614	1.630	1843.90	7375.60
37	0.965	1.036	1802.50	7210.00
39	1.599	0.626	1607.70	6430.80
40	1.870	0.535	1429.80	5719.20
42	2.314	0.432	813.40	3253.60
44	2.641	0.379	570.80	2283.20
46	2.886	0.346	496.50	1986.00
47	2.991	0.334	476.10	1904.40

Tabel 1. Nilai-nilai tegangan pancang untuk Ru = 1034,95 KN

REKAPITULASI						
Variasi	s (mm)	1/s	FMAX (KN)	σ (KN/m ²)	DT	Total Trial
Ru1	4.249	0.235	3135.80	12687.60	16	81
Ru2	4.016	0.249	3172.50	12690.00	16	80
Ru3	2.792	0.358	3176.60	12706.40	16	66
Ru4	1.536	0.651	3181.90	12727.60	16	58
Ru5	0.638	1.567	3187.10	12748.40	16	50
Ru6	0.188	5.319	3192.20	12768.80	16	47

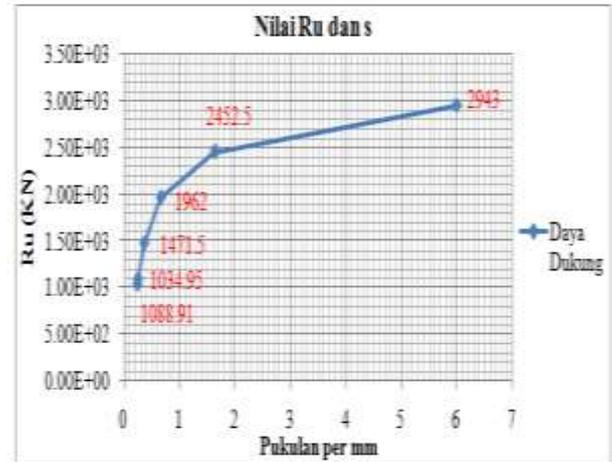
Tabel 2. Hasil Rekapitulasi wave equation

Didapatkan gaya maksimum terbesar terjadi pada beban ultimate (Ru) ke-6 yaitu 3154,90 KN.



Gambar 7. Perbandingan nilai N dan σ terhadap 6 variasi tahanan ultimate.

Dari hasil grafik dapat dilihat bahwa hubungan penetrasi pukulan dan tegangan pada Ru ke-1 hingga Ru ke-5 memiliki garis lengkung (kurva) yang mendekati tetapi pada grafik Ru ke-6 memiliki garis lengkung yang jauh dimana penetrasi 4,0 mm.

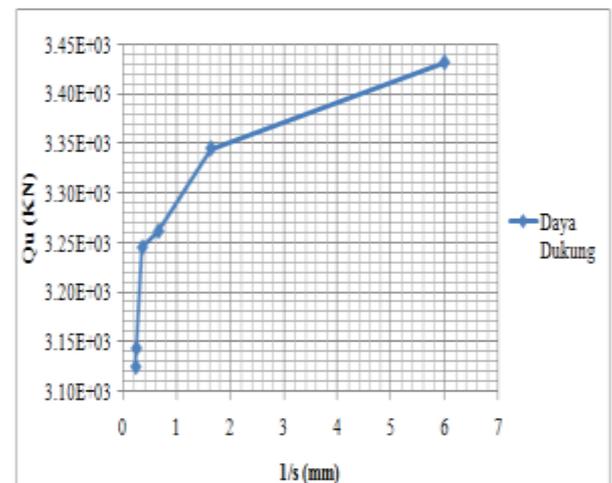


Gambar 8. Perbandingan nilai beban ultimate dan pukulan per mm

Gambar 7 memberikan hasil bahwa bila beban ultimate bertambah besar maka jumlah pukulan akan semakin bertambah. Ru yang terbesar dari variasi beban adalah 2943 KN atau 300 ton, sebanyak 6 pukulan per mm.

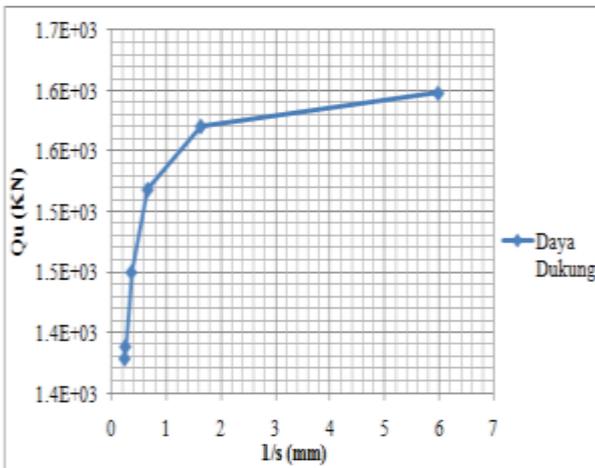
IV.3. Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang dengan Rumus Hilley dan ENR

1. Persamaan Hilley

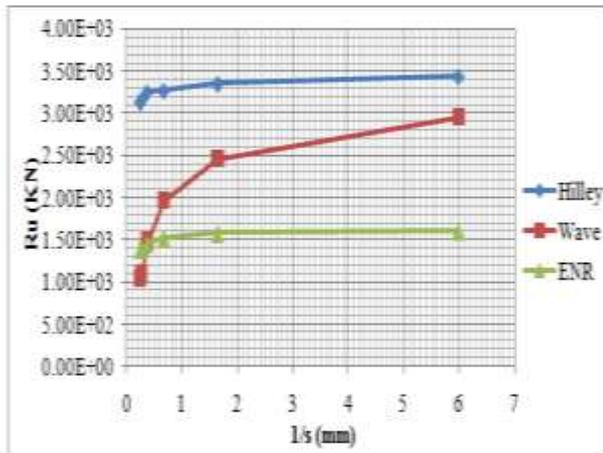


Gambar 9. Nilai daya dukung dengan pukulan per mm dengan persamaan Hilley

2. Persamaan ENR (Engineering News-Records)



Gambar 10. Nilai daya dukung akibat pukulan per mm pada tiang dengan persamaan ENR



Gambar 11. Hasil rekapitulasi jumlah pukulan per mm dengan beban ultimate

Pada gambar 11 tentang hasil perhitungan daya dukung menggunakan metode wave, hilley dan ENR. Hasil rekap antara ketiga metode itu nilai perbandingannya berdekatan sehingga dapat dipakai dalam menganalisis daya dukung.

No	Metode	Ru
1	Wave Equation	2350 KN
2	Hilley	3320 KN
3	Engineering News-Records (ENR)	1615 KN

Tabel 3. Hasil Daya Dukung dari ketiga metode

Nilai daya dukung yang diambil adalah metode ENR, yaitu 1615 KN.

V. PENUTUP

V.1. Kesimpulan

1. Dari perbandingan jumlah pukulan penetrasi tiang dan daya dukung (gambar 8) memberikan hasil bahwa bertambahnya daya dukung (Ru) menyebabkan penetrasi bertambah dimana Ru sudah ditentukan. Pada Ru1 hingga Ru5 penetrasi bertambah mengikuti garis lengkung dan pada Ru5 hingga Ru6 mengikuti garis linear (lurus).
2. Perbandingan beban ultimate antara wave equation dengan hilley dan ENR memberi hasil bahwa hilley menunjukkan perbedaan yang besar dari ketiga metode yang digunakan (gambar11). Perbedaan ini disebabkan karena rumus / persamaan yang digunakan berbeda sehingga daya dukung yang didapatkan memiliki nilai-nilai yang cukup besar pada ketiga metode ini. Tetapi daya dukung pada Hilley yang dihitung terlalu besar sehingga kurang efektif digunakan dalam pembangunan.
3. Rekapitulasi perbandingan gaya dan tegangan pada variasi daya dukung tiang memberikan hasil bahwa Ru pertama (Ru1) memiliki gaya dan tegangan yang minimum dimana Ru telah ditentukan (tabel 2).
4. Nilai daya dukung yang didapatkan dari ketiga metode tersebut adalah berbeda jauh, dimana Ru wave = 2350 KN, Ru Hilley = 3320 KN dan Ru ENR = 1615 KN (tabel 3). Daya dukung pada Hilley lebih besar dari kedua metode yang dihitung karena pengaruh koefisien-koefisien pada tiang. Tetapi daya dukung yang digunakan adalah dengan metode ENR, karena lebih efisien daripada kedua metode tersebut.

V.2. Saran

1. Tanah pada penelitian ini hanya bersifat homogen. Disarankan untuk menggunakan tanah yang berlapis-lapis (lapis 1, lapis 2, dsb).
2. Bahan elemen tiang yang digunakan adalah tiang pancang beton. Disarankan untuk memilih material yang lain karena beton menyebabkan keretakan pada bagian kepala beton saat pemancangan.
3. Pada penelitian ini, analisis daya dukung yang dihasilkan menggunakan program Fortran secara numerik. Penulis menganjurkan untuk menggunakan aplikasi lain yang bekerja lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Bismo, Setijo, 2013. Pemrograman FORTRAN dan Analisis Galat (errors). FTUI. Jakarta.
- Bowles, Joseph E, 1982, Foundation and Analysis Design, Third Edition, Mc Graw-Hill Book Company, Japan.
- Bowles, Joseph E, 1986. Analisa dan Desain Pondasi Jilid 2. Edisi Ketiga. Erlangga. Jakarta.
- Goro, Garup L, 2007. Studi Analisis Stabilitas Lereng Pada Timbunan dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, Politeknik Negeri Semarang, Semarang.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2010, Teknik Pondasi 2. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Jogiyanto, H. M, 1985. Teori dan Aplikasi Program Komputer Bahasa Fortran. Andi Offset. Yogyakarta.
- Maizir, Harnedi., Jitno, Hendra., dan Toni, Nopember, 2015. Evaluasi Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Metode Dinamik.
- <http://ejournal.unri.ac.id%2Findex.php%2FACES%2Farticle%2Fdownload%2F2973%2F2905&usg.pdf>. 2 November 2015.
- Standar Nasional Indonesia 03 – 2847 – 2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. 2002. Bandung.