

ANALISIS KAPASITAS TIANG PANCANG MENGUNAKAN FORMULA DINAMIS

Aazokhi Waruwu^{1*)}, Jack Widjajakusuma¹⁾, Rika Deni Susanti²⁾, Akbar Lubis³⁾

¹⁾Fakultas Sains dan Teknologi, Program Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan

²⁾Fakultas Teknik, Program Teknik Sipil, Universitas Amin Hamzah

³⁾Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Medan

*) azokhiw@gmail.com

Abstrak

Pembangunan suatu konstruksi tidak lepas dari perancangan pondasi. Konstruksi Underpass di Jalan Provinsi STA 6+850 memudahkan kegiatan masyarakat dalam menempuh Jalan Tandem Hilir 1 tanpa harus terganggu karena adanya Jalan Tol Binjai – Stabat Sumatera Utara. Konstruksi Underpass memerlukan fondasi yang kuat dan kokoh. Studi pada fondasi tiang pancang dilakukan untuk menganalisis dan mengetahui kapasitas tiang tunggal, hubungan penetrasi dengan kapasitas tiang rata-rata, dan perbandingan kapasitas tiang kelompok dari beberapa metode. Penelitian ini menggunakan data kalendering dari hasil pemancangan tiang untuk menganalisis kapasitas tiang pancang dengan formula dinamis. Hasil penelitian menunjukkan kapasitas tiang dari metode Modified New Engineering News Record (ENR) tidak jauh beda dengan Olsen & Flaate (1967) dan Metode Hiley (1930), sedangkan Metode Gates (1957) lebih tinggi 24% dengan Metode ENR. Penetrasi tiang berhubungan dengan perilaku tanah, tanah yang keras menunjukkan penetrasi kecil dan kapasitas dukung tiang yang lebih tinggi.

Kata Kunci : *Formula Dinamis, Kapasitas Tiang Tunggal, Penetrasi, Kapasitas Tiang Kelompok*

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan tol harus memiliki kualitas pondasi yang kuat dan kokoh, serta didukung adanya jembatan *underpass* yang berguna untuk jalan penyeberangan masyarakat. Setiap tahapan pembangunan jembatan mulai dari pondasi, bangunan bawah hingga bangunan atas harus dilaksanakan secara benar mengikuti ketentuan yang ada dalam gambar dan spesifikasi teknis (Santoso & Hartono, 2020).

Underpass adalah tembusan di bawah permukaan tanah yang berfungsi memperbaiki geometrik jalan, sehingga dapat memberikan rasa nyaman dan aman bagi pengendara bermotor atau pejalan kaki (Priliyani et al., 2017). Jembatan *underpass* harus mempunyai pondasi yang kuat dan kokoh, karena pondasi sebagai dasar bangunan harus mampu memikul seluruh beban bangunan dan beban lainnya yang turut diperhitungkan, serta meneruskannya ke dalam tanah sampai ke lapisan atau kedalaman tertentu.

Fungsi dari pondasi tiang pancang adalah untuk memindahkan atau mentransfer beban-beban dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah keras yang letaknya sangat dalam (Ramadhani et al., 2021). Pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin (Hardiyatmo, 2010).

Penyelidikan tanah diperlukan dalam perencanaan pondasi. Jenis pengujian disesuaikan dengan kebutuhan perencanaan, untuk pondasi dalam

seperti tiang pancang perlu hasil uji yang dapat mengetahui kedalaman tanah keras untuk meletakkan dasar pondasi dengan daya dukung yang cukup, sehingga penurunan masih dalam batas toleransi (Sundary et al., 2014). Kedalaman tanah keras dan kapasitas tiang dapat ditentukan dari hasil uji *Cone Penetration Test* (CPT) atau sondir dan *Standard Penetration Test* (SPT), namun hasil uji SPT memberikan hasil yang lebih konsisten (Basoka, 2020). Selain lapisan tanah keras yang cukup dalam, pondasi dalam juga digunakan apabila beban vertikal yang dipikul pondasi cukup besar, sehingga pondasi perlu dipancang sampai pada kedalaman tertentu (Mubarak et al., 2014).

Kemampuan pondasi dalam memikul beban dibutuhkan sebagai dasar perencanaan, namun apabila pondasi sudah terpasang di lapangan, maka perlu analisis kapasitas tiang sebagai kemampuan yang sebenarnya. Nilai kapasitas dukung tiang hasil perencanaan yang berbeda jauh nilai aktual, berakibat pada kesalahan kedalaman dan jumlah tiang yang digunakan (Sari et al., 2019).

Pondasi tiang pancang digunakan karena pertimbangan beban yang besar dan faktor lapisan tanah keras yang cukup dalam (Arfan et al., 2020). Data uji tiang di lapangan dapat berupa data *Pile Driving Analyzer* (PDA) atau data kalendering. Secara umum, hasil analisis kapasitas dukung pondasi dari data PDA memberikan hasil yang cukup baik pada pondasi yang telah dipancang di (Santoso & Hartono, 2020).

Kapasitas tiang pancang dapat dihitung dengan data pada saat pelaksanaan pemancangan yaitu dengan data hasil kalendering (Surendro, 2015). Secara umum kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang yaitu untuk

mengetahui daya dukung tiang melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang.

Kapasitas dukung tiang pancang dapat dianalisis dengan formula dinamis (Jaya et al., 2016). Analisis kapasitas tiang di lapangan diperlukan untuk memastikan kapasitas tiang yang sebenarnya (Prama et al., 2015). Formula dinamis memerlukan data pemancangan dari alat yang digunakan dan gambar kerja (Kurniawan et al., 2020).

Pelaksanaan pembangunan Jalan Tol Binjai – Stabat Sumatera Utara memiliki beberapa pembangunan *underpass* salah satunya *Underpass* STA 6+850. Bangunan ini menggunakan fondasi tiang pancang *spun pile* berukuran diameter 60 cm.

Penelitian terdahulu menganalisis rasio daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil kalendering dengan membandingkan antara daya dukung ijin dinamis ($Q_{i,d}$) terhadap daya dukung ijin perencanaan (Q_i) (Lukman, 2017). Perbandingan lainnya dapat dilakukan dengan kapasitas ijin tiang rencana ($Q_{ijin,r}$) berdasarkan kekuatan bahan (Saptorini, 2015).

Analisis dilakukan dengan beberapa persamaan dari rumus dinamis, karena beberapa persamaan ini memiliki keakuratan dalam menganalisis kapasitas tiang pancang tunggal, adapun persamaan-persamaan yang akan dilakukan yaitu, persamaan Hiley (1930), persamaan Gates (1957), persamaan Olsen & Flaate (1967) dan metode *Modified New Engineering News Record* (ENR), kemudian hasil perhitungan tiang pancang tunggal dibandingkan dengan kapasitas ijin tiang rencana sehingga mendapatkan rasio daya dukung tiang pancang.

Tiang yang dipasang dalam satu kelompok dapat dianggap sebagai satu tiang besar dengan lebar yang sama dengan lebar kelompok tiang (Sulha et al., 2018). Untuk perhitungan kapasitas tiang kelompok menggunakan faktor efisiensi dengan metode Converse-Labarre. Sehingga kapasitas tiang kelompok pada *underpass* STA 6+850 dapat dianalisis untuk menentukan daya dukung kapasitas tiang kelompoknya.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan pengumpulan data-data dari lokasi pembangunan *Underpass* Jalan Provinsi Sta. 6+850 Binjai – Stabat Sumatera Utara. Berdasarkan data-data yang ada dilakukan analisis kapasitas tiang pancang menggunakan formula dinamis.

Studi literatur merupakan tahap pertama pada tahapan penelitian. Melakukan identifikasi dan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, analisis antara data lapangan dengan teori yang sesuai dengan studi tentang penggunaan teori tersebut dan persamaan yang sesuai, serta pendekatan yang akan digunakan.

Berdasarkan metode yang digunakan, penelitian ini dilakukan dengan pengamatan atau survei secara langsung di lapangan dalam proses pemancangan satu titik dan satu tiang pancang. Lokasi *underpass*

berada di Jalan Tandem Hilir 1 Binjai – Stabat STA.6+850 (Gambar 1).

Data yang dibutuhkan meliputi: data tiang pancang, data kalendering, gambar pelaksanaan (*shop drawing*). Pengumpulan data dilakukan melalui metode observasi dan pengamatan langsung di lapangan.

Teknik yang akan digunakan dalam menganalisa penelitian ini adalah teknik analisa data dan deskriptif dengan prosedur analisis.

Tahapan analisis data diuraikan sebagai berikut:

a. Analisis kapasitas ijin tiang pancang tunggal berdasarkan data kalendering.

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2010). Persamaan Hiley (1930) seperti pada Persamaan (1).

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{S + \frac{1}{2} K} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$$

dimana:

Q_u : kapasitas tiang ultimit (kN)

e_h : efisiensi pemukul

W_r : berat *ram* (kN)

h : tinggi jatuh pemukul (m)

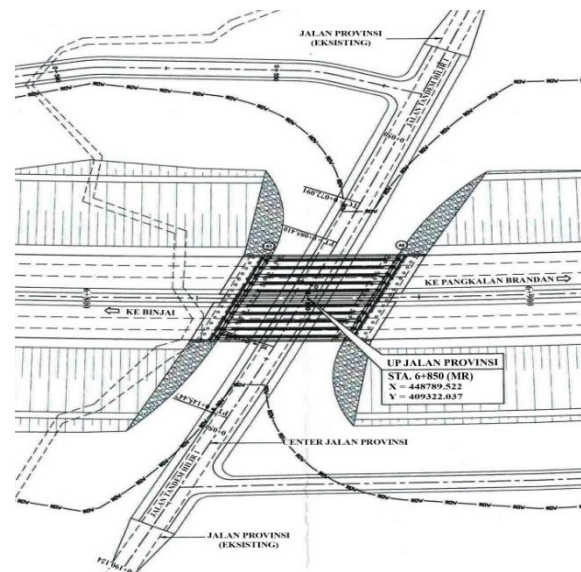
n : koefisien restitusi

s : penetrasi per 10 pukulan (m)

k : rata-rata *rebound* untuk 10 pukulan terakhir (m), nilai k_1 Tabel 1.

W_p : berat tiang (kN)

F : faktor keamanan (4)



Gambar 1. Layout *underpass* jalan provinsi Sta. 6+850

Nilai efisiensi pemukul (e_h) bergantung pada kondisi pemukul dan blok penutup (*capblock*) dan kondisi tanah (khususnya untuk pemukul tenaga uap). Jika belum ada data yang tepat, nilai-nilai e_h dalam Tabel 2, dapat dipakai sebagai acuan.

Nilai-nilai koefisien restitusi n ditunjukkan dalam

Tabel 3, dimana nilai-nilai aktualnya bergantung pada tipe dan kondisi bahan *capblock* dan bantalan kepala tiang.

Koefisien k_2 dihitung sama dengan $Q_u/L/AE$, nilai k_3 dapat diambil: $K_3 = 0$ untuk tanah keras (batu, pasir sangat padat dan kerikil, 0,1 sampai 0,2 (2,5 mm sampai 5 mm) untuk tanah-tanah yang lain (Hardiyatmo, 2010).

Tabel 1. Nilai-nilai k_1 (Chellis, 1961)

Bahan Tiang	Nilai-nilai k_1 (mm), untuk tegangan akibat pukulan pemancangan di kepala tiang			
	3,5 Mpa	7,0 Mpa	10,5 Mpa	14 Mpa
Tiang baja atau pipa langsung pada kepala tiang	0	0	0	0
Tiang kayu langsung pada kepala tiang	1,3	2,5	3,8	5
Tiang beton pracetak dengan 75 - 100 mm bantalan di dalam cap	3	6	9	12,5
Baja tertutup <i>cap</i> yang berisi bantalan kayu untuk tiang baja H atau tiang pipa	1	2	3	4
Piringan fiber 5 mm diantara dua pelat baja 10 mm	0,5	1	1,5	2

Tabel 2. Nilai efisiensi e_h (Hardiyatmo, 2010)

Tipe	Efisiensi
Pemukul jatuh (<i>drop Hammer</i>)	0,75 -1
Pemukul Aksi Tunggal	0,75-0,85
Pemukul Aksi double	0,85
Pemukul diesel	0,85-1

Tabel 3. Koefisien restitusi n (Hardiyatmo, 2010)

Material	n
<i>Broomed wood</i>	0
Tiang kayu (ujung tidak rusak)	0,25
Bantalan kayu padat pada tiang baja	0,32
Bantalan kayu padat di atas tiang baja	0,40
Landasan baja pada baja, pada tiang baja atau beton	0,50
Pemukul besi cor pada tiang beton tanpa penutup (<i>cap</i>)	0,40

Persamaan Gates (1957) diuraikan pada Persamaan (2).

$$Q_u = a \sqrt{e_h E_h} \times (b - \log s)$$

dimana:

- Q_u : kapasitas tiang ultimit (kN)
- e_h : efisiensi pemukul
- E_h : besaran energi pemukul dari pabrik (kNm)

- a : 104,5
- b : 2,4
- s : penetrasi per 10 pukulan (m)
- F : faktor keamanan (6)

Persamaan Olsen & Flaate (1967) diuraikan pada Persamaan (4).

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2AE}}$$

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{S + C_1}$$

dimana:

- Q_u : kapasitas tiang ultimit (kN)
- e_h : efisiensi pemukul
- E_h : besaran energi pemukul dari pabrik (kNm)
- L : panjang tiang (m)
- A : tampang melintang tiang (m²)
- E : modulus elastis bahan tiang (kN/m²)
- s : penetrasi per 10 pukulan (m)
- F : faktor keamanan (6)

Persamaan *Engineering News-Record (ENR)* ditunjukkan pada Persamaan (5).⁽²⁾

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + 0,25} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$$

dimana:

- Q_u : kapasitas tiang ultimit (kN)

- e_h : efisiensi pemukul
- W_r : berat ram (kN)
- h : tinggi jatuh pemukul (m)
- n : koefisien restitusi
- s : penetrasi per 10 pukulan (m)
- k : rata-rata rebound untuk 10 pukulan terakhir (m)
- W_p : berat tiang (kN)
- F : faktor keamanan (6)

b. Analisis kapasitas tiang tunggal berdasarkan faktor efisiensi.

Pondasi tiang pancang yang umumnya dipasang secara berkelompok, yang dimaksud berkelompok adalah sekumpulan tiang yang dipasang secara relatif berdekatan dan biasanya diikat menjadi satu, di bagian atasnya dengan menggunakan *pile cap* (Meisari & Yakin, 2017). Efisiensi tiang dengan persamaan *Converse-Labarre* pada Persamaan (6).

$$E_g = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}$$

dimana:

- E_g : efisiensi kelompok tiang
- m : jumlah baris tiang
- n' : jumlah tiang dalam satu baris
- θ : arc tg D/s , dalam derajat
- S : jarak pusat ke pusat tiang (m)
- d : diameter tiang (m)

Daya dukung tiang pancang kelompok ditunjukkan pada Persamaan (7).

$$Q_g = E_g \times n \times Q_a$$

dimana:

- Q_g : daya dukung tiang kelompok (kN)
- E_g : efisiensi kelompok tiang
- N : jumlah tiang dalam satu kelompok
- Q_a : kapasitas ijin tiang pancang (kN)

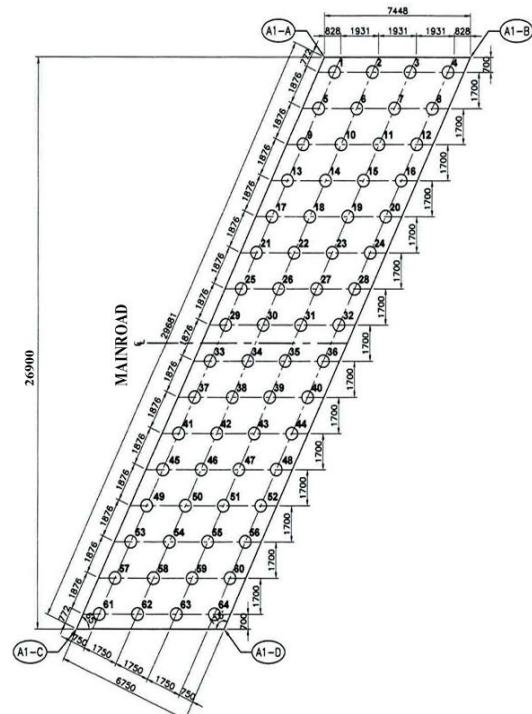
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kapasitas Tiang Tunggal

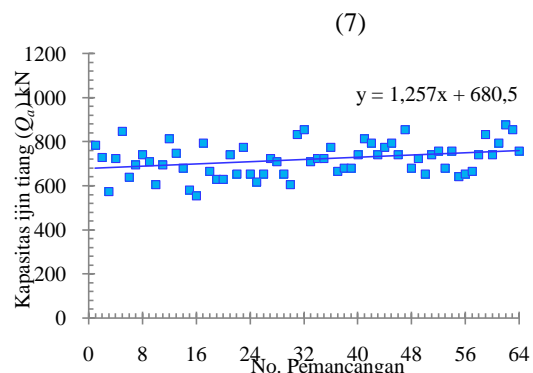
Analisis kapasitas tiang tunggal berdasarkan data kalendering dilakukan dengan formula dinamis pada titik pemancangan 1 ABT-1 (Tabel 4). Data kalendering dipergunakan sebagai kontrol pada saat pemancangan pondasi tiang pancang di lapangan (Randyanto et al., 2015). Denah tiang pancang ditunjukkan pada Gambar 2.

Analisis kapasitas tiang tunggal berdasarkan data kalendering menggunakan beberapa persamaan seperti diuraikan berikut. Hasil analisis yang diuraikan hanya pada satu titik pengamatan.

Hasil analisis kapasitas tiang tunggal menggunakan persamaan Hiley (1930) selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Denah tiang pancang underpass jalan provinsi STA.6+850

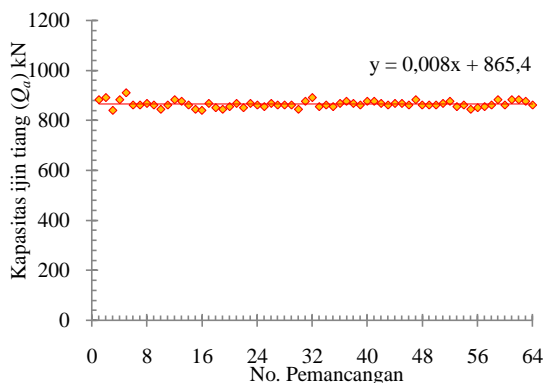


Gambar 3. Hasil uji kapasitas ijin tiang (Q_a) persamaan Hiley (1930)

Tabel 4. Hasil Kalendering titik pemancangan 1 ABT-1

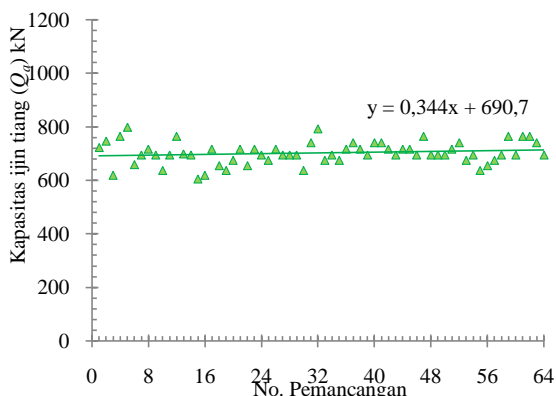
No	D (cm)	Konfigurasi Tiang Pancang (m)		Final Set		Berat Hammer (ton)	Ram stroke (cm)
		Bottom	Middle 1	K (cm)	S (cm)		
1	60	12	12	1,8	1,1	6,5	250

Hasil analisis kapasitas tiang tunggal menggunakan persamaan Gates (1957) selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 4.



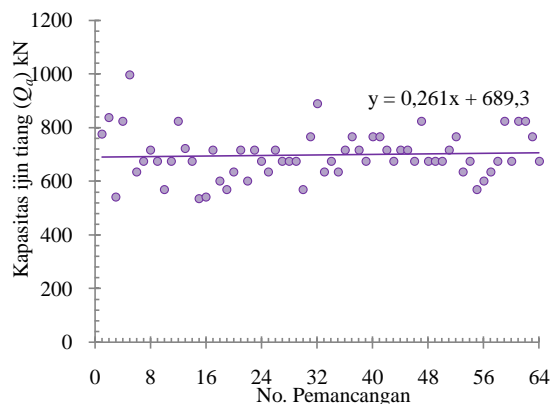
Gambar 4. Hasil uji kapasitas ijin tiang (Q_a) persamaan gates (1957)

Hasil analisis kapasitas tiang tunggal menggunakan persamaan Olsen & Flaate (1967) selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil uji kapasitas ijin tiang (Q_a) persamaan Olsen & Flaate (1967)

Hasil analisis kapasitas tiang tunggal menggunakan persamaan *Engineering News-Record* (ENR) selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil uji kapasitas ijin tiang (Q_a) metode *Engineering News-Record*

Hasil analisis kapasitas ijin tiang tunggal berdasarkan rumus dinamis pada ABT-1 seperti terlihat pada Gambar 3 sampai Gambar 6 menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Dimana kapasitas ijin tiang (Q_a) pada persamaan Gates (1957) cenderung lebih tinggi dibandingkan kapasitas ijin tiang (Q_a) pada persamaan Hiley (1930), persamaan Olsen & Flaate (1967) dan metode *Modified New Engineering News Record* (ENR).

3.2 Hasil Analisis Kapasitas Ijin Tiang Tunggal

Hasil pengolahan data kalendering menjadi besaran kapasitas ijin tiang (Q_a) seperti pada Tabel 5. Berdasarkan total kapasitas ijin tiang hasil analisis persamaan Gates (1957) lebih tinggi dari persamaan lainnya.

Hasil analisis persamaan Olsen & Flaate (1967) dan ENR menunjukkan hasil yang mendekati satu sama lainnya, sedangkan hasil analisis Hiley (1930) tidak jauh beda dengan keduanya. Rasio kapasitas dukung ultimit pondasi tiang pancang antara SPT dengan Metode ENR didapatkan antara 1,09-1,55. Hal ini menunjukkan bahwa Metode ENR tidak terlalu jauh berbeda dengan kapasitas dukung ultimit pondasi tiang pancang.

Tabel 5. Rekapitulasi nilai kapasitas tiang

No	Titik Pemancangan	Q_u/F (kN)			
		Hiley (1930)	Gates (1957)	Olsen & Flaate (1967)	ENR
1	1	785,86	883,51	721,98	776,16
2	64	731,03	891,90	745,83	838,25
3	57	575,77	840,15	618,46	543,00
4	58	725,97	883,51	765,20	824,56
5	61	849,58	911,54	798,60	997,91
6	62	641,52	862,28	658,78	635,04
7	63	695,72	862,28	694,57	674,64
8	49	742,11	868,80	716,62	718,17
9	50	710,53	862,28	694,57	674,64
10	51	607,18	845,19	635,88	570,85

No	Titik Pemancangan	Q_u/F (kN)			
		Hiley (1930)	Gates (1957)	Olsen & Flaate (1967)	ENR
11	52	695,72	862,28	694,57	674,64
12	53	814,51	883,51	765,20	824,56
13	54	748,44	875,85	699,61	722,63
14	55	681,53	862,28	694,57	674,64
15	56	582,12	845,19	605,75	537,34
16	59	556,58	840,15	618,46	543,00
17	60	795,11	868,80	716,62	718,17
18	33	667,90	850,52	654,31	601,71
19	34	630,09	845,19	635,88	570,85
20	38	630,09	856,20	673,84	636,09
21	39	742,11	868,80	716,62	718,17
22	40	654,80	850,52	654,31	601,71
23	41	776,62	868,80	716,62	718,17
24	42	654,80	862,28	694,57	674,64
25	43	618,42	856,20	673,84	636,09
26	44	654,80	868,80	716,62	718,17
27	45	725,97	862,28	694,57	674,64
28	46	710,53	862,28	694,57	674,64
29	47	654,80	862,28	694,57	674,64
30	48	607,18	845,19	635,88	570,85
31	21	834,87	875,85	740,11	767,70
32	25	856,28	891,90	792,05	890,53
33	26	710,53	856,20	673,84	636,09
34	27	725,97	862,28	694,57	674,64
35	28	725,97	856,20	673,84	636,09
36	29	776,62	868,80	716,62	718,17
37	30	667,90	875,85	740,11	767,70
38	31	681,53	868,80	716,62	718,17
39	32	681,53	862,28	694,57	674,64
40	34	742,11	875,85	740,11	767,70
41	35	814,51	875,85	740,11	767,70
42	36	795,11	868,80	716,62	718,17
43	13	742,11	862,28	694,57	674,64
44	14	776,62	868,80	716,62	718,17
45	15	795,11	868,80	716,62	718,17
46	16	742,11	862,28	694,57	674,64
47	17	856,28	883,51	765,20	824,56
48	18	681,53	862,28	694,57	674,64
49	19	725,97	862,28	694,57	674,64
50	20	654,80	862,28	694,57	674,64
51	22	742,11	868,80	716,62	718,17
52	23	758,97	875,85	740,11	767,70
53	24	681,53	856,20	673,84	636,09
54	2	758,97	862,28	694,57	674,64
55	3	642,21	845,19	635,88	570,85
56	4	654,80	850,52	654,31	601,71
57	5	667,90	856,20	673,84	636,09
58	6	742,11	862,28	694,57	674,64
59	7	834,87	883,51	765,20	824,56
60	8	742,11	862,28	694,57	674,64
61	9	795,11	883,51	765,20	824,56
62	10	878,81	883,51	765,20	824,56
63	11	856,28	875,85	740,11	767,70
64	12	758,97	862,28	694,57	674,64
Total		46170	55408	44921	44661

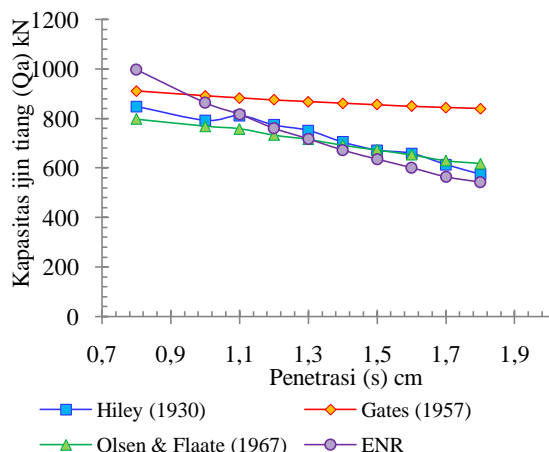
3.3 Hubungan penetrasi (s) dengan kapasitas ijin tiang (Q_a)

Hasil analisis tiang pancang untuk setiap *pile cap*, maka dapat dihubungkan penetrasi (s) dengan kapasitas ijin tiang rata-rata (Q_a). Hasil analisis selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 7.

Umumnya penetrasi yang semakin tinggi memperlihatkan kapasitas ijin tiang yang semakin kecil. Tanah yang semakin keras memberikan penetrasi tiang yang semakin kecil dan kapasitas ijin tiang yang semakin tinggi. Selain jenis tanah, peningkatan kapasitas tiang dapat dipengaruhi oleh

panjang tiang dan jenis material tiang yang digunakan (Waruwu & Pardosi, 2021).

Hasil analisis Metode Gates (1957) memperlihatkan hasil yang jauh berbeda dengan metode lainnya, sedangkan tiga metode lainnya memberikan hubungan penetrasi dengan kapasitas ijin tiang yang mendekati sama satu dengan lainnya. Semua metode menunjukkan penurunan kapasitas tiang seiring dengan peningkatan penetrasi, hal ini sama dengan hasil penelitian (Waruwu & Sirait, 2022).

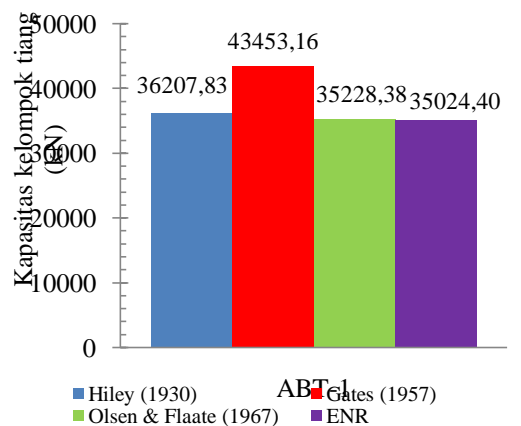


Gambar 7. Hubungan penetrasi (s) dengan kapasitas ijin tiang (Q_a)

3.4 Kapasitas Tiang Kelompok Berdasarkan Faktor Efisiensi

Hasil analisis kapasitas kelompok tiang menggunakan faktor efisiensi dengan metode *Converse-Labarre* selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 8. Nilai kapasitas kelompok tiang (Q_g) terbesar terlihat pada persamaan *Gates* (1957) dengan kapasitas 43453,16kN, sedangkan nilai kapasitas kelompok tiang (Q_g) terkecil pada metode *Modified New Engineering News Record (ENR)* dengan kapasitas 35024,40 kN. Metode Olsen & Flaate (1967) dan Metode Hiley (1930) mendekati sama dengan Metode ENR, perbedaannya masing-masing hanya 1% dan 3%. Sedangkan Metode *Gates* (1957) lebih tinggi 1,24 kali hasil analisis Metode ENR atau lebih tinggi 24%.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa 3 (tiga) persamaan pertama lebih mudah diterima daripada metode terakhir. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian (Randyanto et al., 2015). Metode Hiley (1930) menghasilkan kapasitas tiang pancang yang tertinggi dibandingkan metode-metode lainnya yang menggunakan data pengujian Sondir dan SPT. Hal ini menunjukkan bahwa data pemancangan merupakan hasil aktual dari kapasitas dukung tiang pancang di lapangan. Naibaho & Waruwu (2021) menyatakan bahwa peningkatan kapasitas tiang pada setiap penambahan jumlah tiang pancang tidak sama dengan hasil analisis menggunakan metode-metode yang ada.



Gambar 8. Hasil analisis kapasitas tiang kelompok

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis kapasitas tiang dengan rumus dinamis, didapatkan bahwa persamaan *Gates* (1957) cenderung lebih tinggi dibandingkan kapasitas ijin tiang (Q_a) pada persamaan Hiley (1930), Olsen & Flaate (1967), dan *Modified New Engineering News Record (ENR)*. Hasil analisis persamaan Olsen & Flaate (1967) dan ENR menunjukkan hasil yang mendekati satu sama lainnya, sedangkan hasil analisis Hiley (1930) tidak jauh beda dengan keduanya.
2. Berdasarkan hubungan penetrasi tiang (s) dengan kapasitas ijin tiang rata-rata (Q_a), hasil analisis menunjukkan semakin kecil nilai penetrasi (s), maka nilai kapasitas ijin tiang rata-rata (Q_a) semakin besar. Hal ini membuktikan bahwa tanah yang semakin keras memberikan penetrasi tiang yang semakin kecil dan kapasitas ijin tiang yang semakin tinggi.
3. Hasil analisis kapasitas kelompok tiang (Q_g) menunjukkan nilai kapasitas kelompok tiang (Q_g) dari metode *Modified New Engineering News Record (ENR)* lebih kecil daripada metode lainnya. Metode Olsen & Flaate (1967) dan Metode Hiley (1930) menghasilkan perbedaan 1% dan 3% dengan Metode ENR, sedangkan Metode *Gates* (1957) lebih tinggi 24% dengan Metode ENR.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arfan, M., Setiawati, M., & Kateni, D. 2020. *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Terpadu Politeknik Pariwisata Palembang. Bearing : Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, 6(3), 144–153. <https://doi.org/10.32502/jbearing.2837202063>

2. Basoka, I. W. A. 2020. *Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Cone Penetration (CPT) dan Standard Penetration Test (SPT) pada Tanah Berpasir*. Ukarst : Universitas Kadiri Riset Teknik Sipil, 4(1), 110–123.
3. Chellis, R. D. 1961. *Pile Foundations*. McGraw Hill Book Company.
4. Hardiyatmo, H. C. 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian II*. Gadjah Mada University Press.
5. Jaya, D. D., Balamba, S., & Sarajar, A. N. 2016. *Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Pada Pembangunan Manado Town Square III Dengan Metode Wave Equation*. Tekno, 14(65), 49–55.
6. Kurniawan, R., Sitepu, A. R. H., & Syuhada, S. 2020. *Studi Numerik Pengaruh Jarak dan Konfigurasi Kelompok Tiang Terhadap Daya Dukung Aksial Tekan Fondasi Dalam*. Fropil, 8(1), 25–35.
7. Lukman, H. 2017. *Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering*. Jurnal Teknik / Majalah Ilmiah Fakultas Teknik UNPAK, 18(1), 51–57. <https://doi.org/10.33751/teknik.v18i1.1539>
8. Meisari, Y., & Yakin, Y. A. 2017. *Analisis Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang pada Tanah Lempung Cimencrang*. Reka Racana: Jurnal Teknik Sipil, 3(4), 92–103.
9. Mubarak, M., Bulba, A. T., & Yunita, M. 2014. *Studi Nilai Produktivitas Pekerjaan Pondasi Bored Pile*. Jurnal Teknik Sipil, 3(2), 199–208.
10. Naibaho, A. G., & Waruwu, A. 2021. *Kajian Kapasitas Kelompok Tiang pada Tanah Lunak Menggunakan Skala Kecil Laboratorium*. Media Komunikasi Teknik Sipil, 27(2), 179–186.
11. Prama, H., Muslih, Y., & Djarwanti, N. 2015. *Perbandingan Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Pondasi Minipile Menggunakan Rumus Dinamik, Hasil Uji Spt Dengan Hasil Uji PDA*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, 3(2), 570–577.
12. Priliyani, M. R., Fitriyantina, L., Muhrozi, & Sadono, K. W. 2017. *Perencanaan Underpass Zaenal Abidin-Soekarno Hatta, Bandar Lampung*. Jurnal Karya Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, 6(2), 22–30.
13. Ramadhani, F. I., Lukman, H., & Bidiono. 2021. *Perencanaan Konstruksi Diaphragm Wall Apartemen XYZ Tangerang Selatan*. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil, 1(1), 1–12.
14. Randyanto, E. S., Sumampouw, J. E. R., & Balamba, S. 2015. *Menggunakan Metode Statik Dan Calendring Studi Kasus: Proyek Pembangunan Manado Town Square 3*. Jurnal Sipil Statik, 3(9), 631–643.
15. Santoso, H. T., & Hartono, J. 2020. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis*. Jurnal Riset Rekayasa Sipil, 4(1), 31–38. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v4i1.44635>
16. Saptorini, T. R. 2015. *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Hasil Uji Calendering*. Teknik Sipil & Perencanaan, 17(1), 35–42.
17. Sari, E. P., Prihantono, P., & Musalamah, S. 2019. *Analisis Daya Dukung Tiang Aksial Tunggal Dengan Metode Statis Dan Dinamis Terhadap Hasil Uji Pile Driving Analyze (Pda) Pada Pekerjaan Pondasi Proyek Jakarta Box Tower*. Menara: Jurnal Teknik Sipil, 14(2), 35–45. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v14i2.18119>
18. Sulha, Kimsan, M., & Wahyudin. 2018. *Analisa Perilaku Pondasi Kelompok Tiang Akibat Beban Gempa Pada Gedung Kuliah Umum Universitas Halu Oleo*. Jurnal STABILITA, 6(2), 88–95.
19. Sundary, D., Chairullah, B., & Gunawan, H. 2014. *Pemetaan Daya Dukung Tanag di Beberapa Daerah Aceh Besar Menggunakan Daya Cone Penetration Tets*. Jurnal Teknik Sipil, 3(2), 157–166.
20. Surendro, B. 2015. *Rekayasa Fondasi*. Graha Ilmu.
21. Waruwu, A., & Pardosi, S. Y. 2021. *The Effect of Pile on the Bearing Capacity of the Plate and the Modulus of Subgrade Reaction on Peat Soil*. Jurnal Sainstis, 21(02), 79–86. [https://doi.org/10.25299/sainstis.2021.vol21\(0\).7546](https://doi.org/10.25299/sainstis.2021.vol21(0).7546)
22. Waruwu, A., & Sirait, J. F. L. 2022. *Analisis Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Berdasarkan Data Kelendering*. JMST: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 5(1), 1–14.