

Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering Pada Proyek Simpang Susun Romokalisari Zona 2 STA 0+900

Rio Rahma Dhana¹⁾, Dwi Kartikasari²⁾, Tika Tsaniya Pratiwi³⁾

^{1, 2, 3)}Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Lamongan

Email: riorahma@gmail.com¹⁾, dkartika27@gmail.com²⁾, tikats0303@gmail.com³⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i1.815>

(Received: August 2022 / Revised: January 2023 / Accepted: February 2023)

Abstrak

Tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi dalam yang berfungsi untuk menyalurkan beban struktur kelapisan tanah keras. Proyek pembangunan jalan tol Romokalisari ini berlokasi di jalan tol perbatasan kota Surabaya dan Gresik yang merupakan salah satu bentuk dari upaya percepatan dalam pembangunan infrastruktur yang berada di wilayah Provinsi Jawa Timur. Tujuan dari penelitian ini untuk menghitung daya dukung tiang pancang yang diperoleh dari hasil kalendering pada proyek Romokalisari zona 2 STA 0+900 dengan menggunakan formula Hiley, WIKA, Engineering New Record ENR, Navy – McKay ataupun formula Danish. Berdasarkan hasil kalendering didapatkan nilai kapasitas daya dukung tiang pancang rata-rata terbesar yaitu dengan menggunakan formula WIKA yaitu sebesar 159,08 ton. Formula WIKA memberikan nilai daya dukung tiang pancang terbesar dibanding metode lainnya. Untuk nilai kapasitas daya dukung tiang pancang terendah yaitu menggunakan formula Navy MC-Kay yaitu sebesar 90,90 ton. Dari hasil perhitungan daya dukung tiap formula didapatkan nilai Q_u rata – rata tiap formula yang masih memenuhi daya dukung ijin dengan hasil Q_u Hiley 135,22 ton, Q_u WIKA 159,08 ton, Q_u ENR 109,01 ton, Q_u Navy-MCKay 90,90 ton, dan Q_u Danish 128,17 ton. Sehingga daya dukung tiang pancang pada proyek Romokalisari zona 2 STA 0+900 dapat dikatakan aman.

Kata kunci: *Pondasi, tiang pancang, daya dukung tiang pancang, kalendering*

Abstract

Pile is one type of deep foundation that serves to channel the load of the structure to the hard soil layer. The location of Romokalisari toll road project is on Surabaya – Gresik which is as one of infrastructure development in the East Java Province. The purpose of this study is to calculate the carrying capacity of piles obtained from the results of calendaring in the Romokalisari zone 2 Project STA 0+900 using the Hiley, WIKA, Engineering New Record ENR, Navy – McKay, and the Danish formulas. Based on the results of the calendaring, the WIKA's formula is commonly used for the calculation of the carrying capacity of piles, which is 159,08 tons. The WIKA formula is largest of the carrying capacity. From the result of calculating the carrying capacity of each formula, the average Q_u value of each formula that still meets the license carrying capacity with the results of Q_u Hiley 135.22 tons, Q_u WIKA 159.08 tons, Q_u ENR 109.01 tons, Q_u Navy-MCKay 90 .90 tons, and Q_u Danish 128.17 tons. So that the carrying capacity of the piles in the Romokalisari zone 2 Project STA 0+900 can be said to be safe.

Keywords: *Fondation, piles, pile carrying capacity, calendaring*

1. Latar Belakang

Proyek pembangunan jalan tol Romokalisari Surabaya - Gresik adalah salah satu bentuk dari upaya percepatan dalam pembangunan infrastruktur yang berada di wilayah Provinsi Jawa Timur. Dari pembangunan simpang susun pada ruas tol Surabaya – Gresik ini ditujukan untuk mempermudah dan mempercepat akses transportasi yang lebih baik dan cepat sehingga membawa manfaat bagi pengguna. Pelaksanaan pembangunan infrastruktur seperti jalan tol sangat membutuhkan bangunan yang kokoh tentunya dengan pondasi yang kokoh. (Aldino, 2019) (Yuda Afdhau, 2019). Perlunya perhatian khusus pada struktur pondasi karena pondasi merupakan komponen penting untuk menopang struktur atas, yang kondisi kerjanya secara langsung mempengaruhi keselamatan bangunan atas atau jembatan. (Pramono, 2018) (Febriantoro dkk., 2018). Pondasi yang digunakan yaitu jenis pondasi tiang pancang *spun pile* yang berdiameter 50 cm dan dengan ketebalan 10 cm. Pondasi tiang pancang biasanya digunakan untuk mengurangi penurunan struktur beban berat. (Pratama dkk., 2019)



Gambar 1 Lokasi proyek Romokalisari Surabaya – Gresik

Daya dukung tanah adalah kemampuan tanah untuk menahan tekanan atau tahanan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang disebarkan oleh tanah sepanjang bidang gesernya. (Novita Br Ginting dkk., 2019)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai daya dukung tiang pancang dari data yang umum didapatkan pada saat pemancangan tiang pancang di lapangan, yaitu data kalendering yang tentunya hanya menganalisa dari metode dinamisnya saja dengan menggunakan formula – formula yang berbeda-beda (Bowles, 1977). Dari data tersebut ingin diketahui besar nilai dan perbandingan dari nilai daya dukung tiap formula yang memenuhi daya dukung ijin rencana. Dalam analisa ini akan membahas mengenai perbandingan nilai daya dukung tiang pancang yang diperoleh dari hasil kalendering dengan menggunakan 5 formula (Hiley, WIKA, Engineering New Record ENR, Navy – Mc,Kay, serta formula Danish) pada Zona 2 STA 0+900.

Analisis daya dukung yang berdasarkan hasil kalendering dari metode dinamis memiliki sifat yang lebih efisien dibandingkan dengan metode statis. Selain itu waktu yang dibutuhkan untuk pengujian dengan metode dinamis ini relatif singkat untuk pengujian beberapa pondasi tiang pancang meskipun pada area kerja yang terbatas. (Santoso dan Hartono, 2020). Dalam pengujian pondasi tiang pancang yang berdasarkan hasil kalendering dengan menggunakan data *final set* melalui perhitungan data dengan menggunakan formula dinamis yang dihasilkan pada saat proses pemancangan tiang pancang (Pratama dkk., 2019)

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini diperlukan kelengkapan data kalendering pada saat proses pemancangan tiang pancang. Data yang dipakai adalah nilai *final set (s)* yaitu besarnya penurunan tiang pancang terhadap pukulan alat pancang *drop hammer* sebanyak 10 kali pukulan (Lukman, 2017) dari pencatatan di lapangan berupa goresan pada kertas milimeter. Dalam perhitungan data kalendering dengan metode dinamis ini diperlukannya data – data pendukung yang berhubungan dengan proses pemancangan tiang pancang di lapangan. (Munirwan dkk., 2022)

2.1. Metode Pemancangan Tiang

Jenis pondasi tiang pancang yang digunakan dalam proyek Romokalisari Surabaya – Gresik ini adalah jenis *Precast Concrete Pile* tipe *spun pile* dengan menggunakan alat pancang berupa *drop hammer*. Mutu tiang pancang yang digunakan adalah K-600 setara dengan 49,80 Mpa dengan diameter 50cm. Panjang tiang pancang yang dimasukkan ke dalam tanah mencapai kedalaman 35 meter. Metode pemancangan yang dilakukan pada proyek Romokalisari Surabaya – Gresik dapat dilihat seperti Gambar 2.

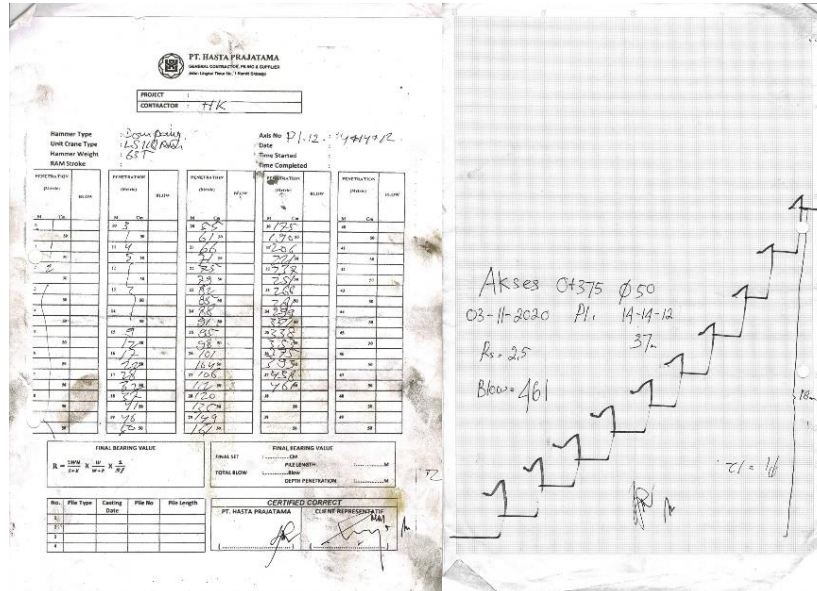


Gambar 2 Pemancangan *spun pile* menggunakan alat *drop hammer*

2.2. Metode Pengukuran Kalendering

Perhitungan kalendering dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya nilai daya dukung tiang pancang pada lapisan tanah dalam menopang beban struktur di atasnya. Pengujian ini menggunakan alat pancang berupa *drop hammer* seberat 6,3 ton. Dengan data hammer dan mutu tiang pancang beton sebagai berikut berat

hammer (*Wr*) 6,3 ton, tinggi jatuh hamer (*H*) 2 meter, berat tiang pancang (*Wp*) 10,15 ton dengan diameter 50 cm. Analisa ini untuk mendapatkan nilai daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil kalendering yang dipengaruhi oleh nilai dari *elastic rebound* (*K*) dan *final set* (*s*).



Gambar 3 Data kalendering

Dalam perhitungan kalendering tentunya membutuhkan nilai efisiensi hammer sesuai dengan panduan pada (Bowles, 1977) dan juga nilai restitusi (*n*) yang dipakai adalah 0,50 dikarenakan material yang digunakan yaitu jenis landasan baja pada baja (*steel on steel anvil*) pada tiang baja atau beton.

Tabel 1 Nilai efisiensi hammer (Bowles, 1977)

Tipe	Efisiensi (e_h)
Pemukul Jatuh (<i>Drop Hammer</i>)	0,75 - 1
Pemukul Aksi Tunggal (<i>Single Acting Hammer</i>)	0,75 – 0,85
Pemukul Aksi Ganda (<i>Double Acting Hammer</i>)	0,85
Pemukul Diesel (<i>Diesel Hammer</i>)	0,85 - 1

Tabel 2 Koefisien restitusi (*n*)

Material	<i>n</i>
<i>Broomed wood</i>	0
Tiang kayu padat tiang baja	0,25
Bantalan kayu padat pada tiang	0,32
Bantalan kayu padat alas tiang	0,40
Landasan baja pada baja (<i>steel on steel anvil</i>) pada tiang baja atau beton	0,50
Pemukul besi cor pada tiang beton tanpa penutup (<i>cap</i>)	0,40

2.3. Metode Analisa Daya Dukung

Analisa daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil kalendering dengan menggunakan beberapa formula diantaranya yaitu formula Hiley, WIKA, Engineering New Record (ENR), Navy-MCKay, dan Danish. Analisa daya dukung ini dilakukan berdasarkan nilai *final set* yang didapatkan di lapangan melalui proses pemancangan tiang pancang, maka diambil salah satu sampel di suatu titik pada tubuh *pile cap* yang berada di zona 2 yaitu titik PEA 1.3 di mana diketahui nilai Q_{all} ijin rencana telah diketahui sebesar 50,00 ton, nilai *final set* (s) nya sebesar 0,7 cm dan nilai *rebound*nya adalah 1,96 cm. Berdasarkan metode dinamis yang digunakan maka dapat diketahui rumus persamaan sebagai berikut :

a. Formula Hiley

$$Q_u = \frac{2 \times eh \times Wr \times H}{s+K} \times \frac{Wr+(n^2 \times Wp)}{Wr+Wp} \times \frac{1}{Sf} \quad (1)$$

b. Formula WIKA

$$Q_u = \frac{2 \times Wr \times H}{s+k} \times \frac{Wr+(n^2 \times Wp)}{Wr+Wp} \times \frac{1}{Sf} \quad (2)$$

c. Formula Engineering New Record (ENR)

$$Q_u = \frac{eh \times Wr \times H}{s+c} \times \frac{1}{Sf} \quad (3)$$

d. Formula Navy – MCKay

$$Q_u = \frac{eh \times Eh}{s(1+0,3 \frac{Wp}{Wr})} \times \frac{1}{Sf} \quad (4)$$

e. Formula Danish

$$Q_u = \frac{eh \times Eh}{s + \left(\frac{eh \times Eh \times L}{2 \times As \times Ep} \right)^{\frac{1}{2}}} \times \frac{1}{SF} \quad (5)$$

Keterangan

Q_u = kapasitas daya dukung tiang (ton)

K = koefisien yang tergantung dari jenis tanah

eh = efisiensi hammer

Eh = energi hammer = $Wr \times H$

S = final set (cm/blows)

K = rebound dari pukulan terakhir (cm)

Wr = berat ram (ton)

n = koefisien restitusi

Wp = berat tiang pancang (ton)

Sf = safety factory

H = tinggi jatuh hammer (cm)

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil analisa daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil kalendering dengan menggunakan 5 formula yang berbeda telah ditemukan nilai yang bervariasi dari masing – masing formula. Dari kelima formula tersebut dapat diketahui formula mana yang menghasilkan nilai daya dukung tertinggi dan juga terendah yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik seperti pada Gambar 4 s/d Gambar 5.

3.1 Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang

Dari data hasil kalendering yang didapatkan di lapangan, maka diambil salah satu sampel di suatu titik pada tubuh *pile cap* yang berada di zona 2 yaitu titik PEA

1.3 diketahui nilai efisiensi hammer (eh) sebesar 0,85 tinggi jatuh hammer (H) sebesar 2 meter, berat hammer (Wr) 6,3 ton, tinggi jatuh hammer (H) 2 meter, berat tiang pancang (Wp) 10,15 ton, nilai *final set* (s) sebesar 0,7 cm dan nilai *rebound* adalah 1,96 cm. Perhitungan daya dukung tiang pancang dengan menggunakan beberapa formula sebagai berikut:

a. Formula Hiley (1930)

Dalam perhitungan daya dukung tiang menggunakan hasil dari kalendering kebanyakan menggunakan rumus Hiley dengan *safety factory* (SF) 3. Dari perhitungan formula Hiley didapatkan bahwa nilai daya dukung tiang pancang (Q_u) pada titik PEA 1.3 adalah 144,20 ton yang artinya lebih besar dari Q_{all} rencana awal yaitu 50,00 ton. Jadi, nilai yang diperoleh dari perhitungan dapat diterima karena memenuhi daya dukung ijin rencana.

b. Formula WIKA

Dalam perhitungan daya dukung tiang menggunakan hasil dari kalendering juga dapat menggunakan formula WIKA dengan *safety factory* (SF) 3. Dari perhitungan formula WIKA didapatkan bahwa nilai daya dukung tiang pancang (Q_u) pada titik PEA 1.3 adalah 169,65 ton yang artinya lebih besar dari Q_{all} rencana yaitu 50,00 ton. Jadi, nilai yang diperoleh dari perhitungan dapat diterima karena memenuhi daya dukung ijin rencana.

c. Formula Engineering New Record (ENR)

Dalam perhitungan daya dukung tiang menggunakan hasil dari kalendering juga dapat menggunakan formula Engineering News Record (ENR) dengan *safety factory* (SF) 6. Dari perhitungan formula ENR didapatkan bahwa nilai daya dukung tiang pancang (Q_u) pada titik PEA 1.3 adalah 187,11 ton yang artinya lebih besar dari Q_{all} rencana yaitu 50,00 ton. Jadi, nilai yang diperoleh dari perhitungan dapat diterima karena memenuhi daya dukung ijin rencana.

d. Formula Navy – MCKay

Dalam perhitungan daya dukung tiang menggunakan hasil dari kalendering juga dapat menggunakan formula Navy – MCKay dengan *safety factory* (SF) 6. Dari perhitungan formula Navy – MCKay didapatkan bahwa nilai daya dukung tiang pancang (Q_u) pada titik PEA 1.3 adalah 171,91 ton yang artinya lebih besar dari Q_{all} rencana yaitu 50,00 ton. Jadi, nilai yang diperoleh dari perhitungan dapat diterima karena memenuhi daya dukung ijin rencana.

e. Formula Danish

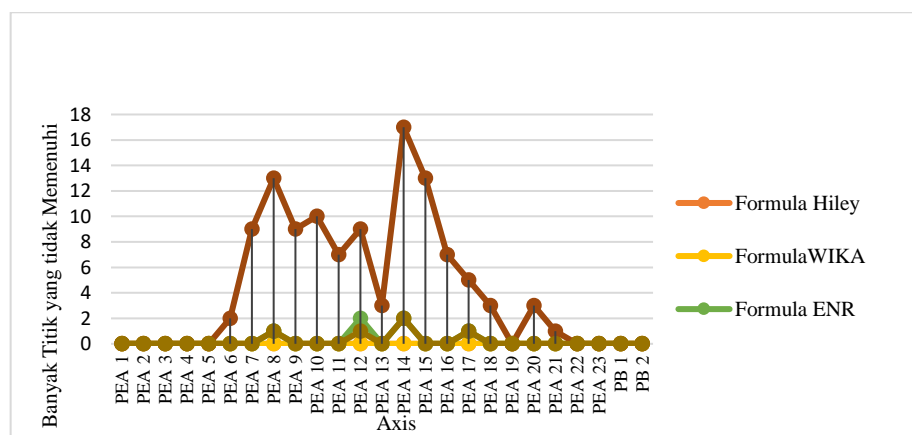
Dalam perhitungan daya dukung tiang menggunakan hasil dari kalendering juga dapat menggunakan formula Danish dengan *safety factory* (SF) 3. Dari perhitungan formula Navy – MCKay didapatkan bahwa nilai daya dukung tiang pancang (Q_u) pada titik PEA 1.3 adalah 236,83 ton yang artinya lebih besar dari Q_{all} rencana yaitu 50,00 ton. Jadi, nilai yang diperoleh dari perhitungan dapat diterima karena memenuhi daya dukung ijin rencana.

3.2 Analisa Titik yang Tidak Memenuhi Daya Dukung Ijin Rencana

Dari keseluruhan perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil kalendering disajikan dalam bentuk tabel sedangkan jumlah titik yang dikelompokkan tiap *pile cap* maka data nilai daya dukung yang tidak memenuhi ijin rencana disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Banyaknya titik yang tidak memenuhi daya dukung ijin rencana

Axis	Hiley	WIKA	ENR	Navy MC-Kay	Danish
PEA 1	0	0	0	0	0
PEA 2	0	0	0	0	0
PEA 3	0	0	0	0	0
PEA 4	0	0	0	0	0
PEA 5	0	0	0	0	0
PEA 6	0	0	0	2	0
PEA 7	0	0	0	9	0
PEA 8	0	0	1	13	1
PEA 9	0	0	0	9	0
PEA 10	0	0	0	10	0
PEA 11	0	0	0	7	0
PEA 12	0	0	2	9	1
PEA 13	0	0	0	3	0
PEA 14	0	0	2	17	2
PEA 15	0	0	0	13	0
PEA 16	0	0	0	7	0
PEA 17	0	0	1	5	1
PEA 18	0	0	0	3	0
PEA 19	0	0	0	0	0
PEA 20	0	0	0	3	0
PEA 21	0	0	0	1	0
PEA 22	0	0	0	0	0
PEA 23	0	0	0	0	0
PB 1	0	0	0	0	0
PB 2	0	0	0	0	0
Jumlah titik tidak memenuhi daya dukung ijin rencana	0	0	6	111	5



Gambar 4 Grafik banyaknya titik yang tidak memenuhi daya dukung ijin rencana.

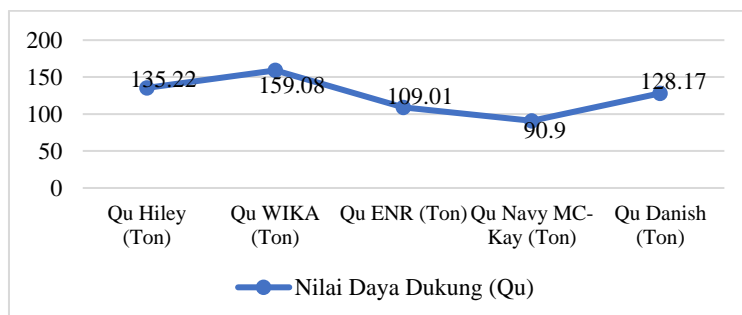
Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa untuk perhitungan daya dukung dengan menggunakan formula Hiley dan WIKA keseluruhan titik dapat dikatakan aman dikarenakan nilai $Q_u > Q_{all}$ ijin rencana yang artinya memenuhi daya dukung ijin rencana. Sedangkan untuk formula Engineering New Record (ENR), Navy-MCKay, dan Danish masih ada beberapa titik yang nilai Q_u nya tidak memenuhi daya dukung ijin dengan jumlah 6 titik untuk formula Engineering New Record (ENR), 111 titik pada formula Navy-MCKay, dan 5 titik pada formula Danish. Sehingga dari Tabel 3 dapat digambarkan dengan diagram garis seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

3.3 Perbandingan Hasil Nilai Daya Dukung

Setelah dilakukan perhitungan terhadap nilai daya dukung tiang pancang dengan menggunakan rumus/formula yang berbeda dapat disajikan rekapitulasi hasil perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan data kalendering yang menunjukkan nilai perbandingan dari tiap formula tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan hasil nilai daya dukung tiap formula

Axis	Wr	Wp	S	K	n	eh	Eh	Formula Daya Dukung (Q_u)				
								Q_u Hiley (Ton)	Q_u WIKA (Ton)	Q_u ENR (Ton)	Q_u Navy MC-Kay (Ton)	Q_u Danish (Ton)
PEA 1	6,3	10,15	1,00	2,14	0,5	0,85	1260	124,16	146,07	150,32	131,27	183,12
PEA 2	6,3	10,15	1,04	2,03	0,5	0,85	1260	126,41	148,71	149,69	131,69	183,30
PEA 3	6,3	10,15	1,04	2,34	0,5	0,85	1260	114,44	134,63	142,17	121,53	170,52
PEA 4	6,3	10,15	1,40	2,43	0,5	0,85	1260	101,78	119,74	114,31	93,47	132,60
PEA 5	6,3	10,15	1,28	2,30	0,5	0,85	1260	108,32	127,44	122,51	101,55	143,58
PEA 6	6,3	10,15	1,53	1,99	0,5	0,85	1260	110,95	130,53	111,62	91,56	129,76
PEA 7	6,3	10,15	1,90	1,74	0,5	0,85	1260	107,01	125,89	96,40	77,53	110,40
PEA 8	6,3	10,15	2,27	0,95	0,5	0,85	1260	121,79	143,28	81,40	64,45	92,07
PEA 9	6,3	10,15	2,37	0,83	0,5	0,85	1260	120,86	142,19	68,55	51,26	74,32
PEA 10	6,3	10,15	2,41	0,76	0,5	0,85	1260	123,55	145,36	67,57	50,46	73,18
PEA 11	6,3	10,15	2,23	0,99	0,5	0,85	1260	126,62	148,97	74,49	56,42	81,56
PEA 12	6,3	10,15	2,13	1,54	0,5	0,85	1260	111,89	131,63	84,22	65,84	94,42
PEA 13	6,3	10,15	1,74	0,88	0,5	0,85	1260	155,85	183,36	94,95	74,95	107,25
PEA 14	6,3	10,15	2,67	0,84	0,5	0,85	1260	111,57	131,26	62,54	46,39	67,39
PEA 15	6,3	10,15	2,45	0,72	0,5	0,85	1260	128,76	151,48	69,35	52,24	75,59
PEA 16	6,3	10,15	2,04	0,65	0,5	0,85	1260	148,92	175,19	81,57	62,62	90,23
PEA 17	6,3	10,15	2,20	0,72	0,5	0,85	1260	137,98	162,33	74,88	56,70	81,96
PEA 18	6,3	10,15	2,05	0,80	0,5	0,85	1260	141,10	166,00	79,72	60,89	87,84
PEA 19	6,3	10,15	1,66	0,85	0,5	0,85	1260	154,93	182,27	99,44	79,76	113,64
PEA 20	6,3	10,15	1,73	0,91	0,5	0,85	1260	149,74	176,17	98,37	78,46	111,99
PEA 21	6,3	10,15	1,19	1,24	0,5	0,85	1260	161,47	189,96	138,44	120,90	168,46
PEA 22	6,3	10,15	0,98	1,53	0,5	0,85	1260	157,83	185,68	158,46	142,74	197,34
PEA 23	6,3	10,15	0,83	1,52	0,5	0,85	1260	166,29	195,64	172,81	157,54	217,25
PB 1	6,3	10,15	0,97	1,70	0,5	0,85	1260	148,43	174,63	152,31	132,78	185,37
PB 2	6,3	10,15	0,84	0,99	0,5	0,85	1260	219,89	258,69	179,23	169,53	231,05
Qu Maksimum								219,89	258,69	179,23	169,53	231,05
Qu Minimum								101,78	119,74	62,54	46,39	67,39
Qu Rata - Rata								135,22	159,08	109,01	90,90	128,17
Kesimpulan Daya Dukung $Q_u > Q_{all}$ ijin Rencana								OK $Q_u > Q_{all}$	OK $Q_u > Q_{all}$	OK $Q_u > Q_{all}$	OK $Q_u > Q_{all}$	OK $Q_u > Q_{all}$



Gambar 5 Grafik Qu rata – rata setiap formula.

Dari Gambar 5 dapat kita ketahui bahwa nilai Q_u rata – rata terendah yaitu dengan menggunakan formula Navy-MCKay dengan nilai Q_u rata – ratanya adalah 90,90 ton. Sedangkan nilai Q_u rata – rata tertinggi yaitu dengan menggunakan formula WIKA dengan nilai Q_u rata – ratanya adalah 159,08 ton.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan perhitungan keseluruhan data kalendering dengan menggunakan 5 formula didapat bahwa nilai kapasitas daya dukung tiang pancang rata-rata terbesar yaitu dengan menggunakan formula WIKA yaitu sebesar 159,08 ton. Formula WIKA memberikan nilai daya dukung tiang pancang terbesar dibanding metode lainnya seperti metode Hiley, ENR, Navy MC-Kay, dan Danish. Untuk nilai kapasitas daya dukung tiang pancang terendah yaitu menggunakan formula Navy MC-Kay yaitu sebesar 90,90 ton.

Perbedaan daya dukung tiang pancang dari 5 formula disebabkan karena jenis dan sifat tanah yang berbeda pada jarak yang dekat sekalipun pada lokasi penelitian yang dapat menyebabkan perbedaan kepadatan tanah sehingga mempengaruhi besarnya daya dukung tiang pancang. Selain itu, nilai daya dukung yang berbeda juga dikarenakan adanya beberapa formula yang tidak mencantumkan nilai koefisien restitusi dan bisa juga dikarenakan oleh perbedaan besarnya faktor aman (SF).

Nilai daya dukung tiang pancang berdasarkan hasil kalendering menggunakan 5 formula diperoleh nilai Q_u rata – rata tiap formula masih memenuhi daya dukung ijin dengan hasil Q_u Hiley 135,22 ton, Q_u WIKA 159,08 ton, Q_u ENR 109,01 ton, Q_u Navy-MCKay 90,90 ton, dan Q_u Danish 128,17 ton. Sehingga berdasarkan perhitungan hasil kalendering pada zona 2 dapat disimpulkan modifikasi simpang susun Romokalisari jalan tol Surabaya – Gresik dapat dikatakan aman.

4.2 Saran

Penelitian ini perlu memperoleh data teknis yang lengkap, karena data tersebut sangat menunjang dalam proses pembuatan analisa perhitungan sesuai dengan formula yang ditentukan sedangkan dalam menganalisa hasil kalendering diharapkan sangat teliti dalam membaca coretan yang terdapat pada kertas milimeter sehingga data yang dihasilkan bisa akurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada seluruh tim editorial Teras Jurnal yang telah memberikan kesempatan penulis untuk mempublikasikan artikel ini. Kepada para tim peneliti yang ikut berperan membantu selama proses penelitian berlangsung sehingga penulis dapat mempublikasi artikel ini. Semoga artikel ini berguna bagi masyarakat maupun akademik.

Daftar Kepustakaan

- Aldino, R. (2019). *Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data*. 7.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis And Design*. Ltd, Tokyo, Japan.
- Febriantoro, F., Purnomo, Y. C. S., & Ridwan, A. (2018). Study Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Jembatan Sembayat Baru Ii Kecamatan Manyar Kabupaten Gresik. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 1(1). <https://doi.org/10.30737/Jurmateks.V1i1.147>
- Lukman, H. (2017). Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering. *Jurnal Teknik/ Majalah Ilmiah Fakultas Teknik Unpak*, 18(1).
- Munirwan, R. P., Mufid, F., Sipil, J. T., Kuala, U. S., & Aceh, B. (2022). Analisis Daya Dukung Axial Pondasi Tiang Pancang Dengan Menggunakan Metode Kalendering Hasil Uji Pile Driving Analyzer. *Teras Jurnal*, 12(1), 93–102.
- Novita Br Ginting, S. V., Irwan, I., & Nurmaidah, N. (2019). Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Overpass Sei Semayang Sta. 0+350 Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Medan-Binjai. *Journal Of Civil Engineering, Building And Transportation*, 3(1), 40. <https://doi.org/10.31289/Jcebt.V3i1.2460>
- Pramono, S. (2018). Evaluasi Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Pembangunan Konstruksi Jembatan Tol Pagar Merbau (Studi Kasus). *Medan Area University Repository*.
- Pratama, R. R., Lukman, H., & Rahmat, A. (2019). Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Data Kalendering Pada Proyek Icon City Delta Mas, Cikarang Pusat, Bekasi. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Pakuan*.
- 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). <https://doi.org/10.20961/Jrrs.V4i1.44635>
- Yuda Afdhau, M. (2019). *Perbandingan Daya Dukung Ultimit Tiang Pancang Secara Teoritis Pada Abutmen Hasil Calendering*. 11(2), 39–46.