

RASIO DAYA DUKUNG TIANG PANCANG TUNGGAL BERDASARKAN DATA KALENDERING DENGAN DATA TEST PDA

Dora Melati Nurita Sandi¹, Achmad Reynaldo Maldini², Farra Anindita Rachmayu³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Politeknik Negeri Banyuwangi

Email Corresponding Author: doranurita@poliwangi.ac.id

Info Artikel

Diajukan : 18/08/2022

Direview: 21/08/2022

Dipublikasi: 31/08/2022

Abstrak

Daya dukung tiang pancang dapat diperoleh dari pendekatan statis dan dinamis. Perhitungan daya dukung tiang pancang secara statis yaitu dengan melakukan pendekatan melalui sifat-sifat teknis tanah. Sedangkan, cara dinamis yaitu dengan menganalisis kapasitas ultimit dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang. Penelitian dilakukan untuk mendapatkan rasio daya dukung berdasarkan pendekatan dinamis yaitu dengan menggunakan data kalendering. Daya dukung berdasarkan data kalendering dihitung dengan menggunakan 5 metode, yaitu Hilley, ENR, Danish, Navy-Mc.Key, dan Janbu. Hasil perhitungan tersebut, kemudian dilakukan perbandingan rasio terhadap daya dukung test PDA. Penelitian dilakukan pada dua lokasi yang berbeda yaitu di proyek pembangunan tol Gempol-Pasuruan dan Jembatan Widuri Bondowoso. Hasil perhitungan daya dukung untuk Q ultimate pada lokasi tol Gempol-Pasuruan, metode Danish yang mendekati hasil test PDA dengan rasio 1,1132 (P1-2) 0,8911 (P3-5), untuk Qijin pada lokasi tol Gempol-Pasuruan, metode Danish yang mendekati hasil test PDA dengan rasio 0,7421 (P1-2), 0,5940 (P3-5). Hasil perhitungan daya dukung untuk Q ultimate pada lokasi Jembatan Widuri Bondowoso, metode ENR yang mendekati hasil test PDA dengan rasio 1,7260 (P1-19), 1,2553 (P2-17), untuk Qijin pada lokasi Jembatan Widuri Bondowoso, metode Hilley yang mendekati hasil test PDA dengan rasio 1,0489 (P1-19), 0,7625 (P2-17).

Kata Kunci : PDA, Kalendering, Daya Dukung

Abstract

Pile bearing capacity can be obtained from static and dynamic approaches. Calculation of the carrying capacity of the pile statically is by approaching it through the technical properties of the soil. Meanwhile, the dynamic method is to analyse the ultimate capacity with data obtained from pile driving data. The research was conducted using calendaring data to get the carrying capacity ratio based on a dynamic approach. Carrying capacity based on calendaring data is calculated using five methods, namely Hilley, ENR, Danish, and Navy-Mc.Key, and Janbu. The results of these calculations, then a comparison of the ratio to the carrying capacity of the PDA test is carried out. The research was carried out at two locations: the Gempol-Pasuruan toll road construction project and the Widuri Bondowoso Bridge. The results of the calculation of the carrying capacity for the ultimate Q at the Gempol-Pasuruan toll road location, the Danish method, which is close to the PDA test results with a ratio of 1.1132 (P1-2) 0.8911 (P3-5), for Qijin at the Gempol-Pasuruan toll location, the method Danish is close to the PDA test results with a ratio of 0.7421 (P1-2), 0.5940 (P3-5). The calculation results for the ultimate Q at the Widuri Bondowoso Bridge location, the ENR method is close to the PDA test results with a ratio of 1.7260 (P1-19), 1.2553 (P2-17), for Qijin at the Widuri Bondowoso Bridge location. This Hilley method is close to the PDA test results with a ratio of 1.0489 (P1-19), and 0.7625 (P2-17).

Keyword : PDA, calendaring, Bearing Capacity

PENDAHULUAN

Bagian paling bawah dari suatu konstruksi dinamakan "pondasi". Fungsi pondasi adalah meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah yang berada di bawah pondasi. Suatu perencanaan dikatakan benar apabila beban yang diteruskan oleh pondasi ke tanah tidak melampaui kekuatan tanah. Apabila kekuatan tanah dilampaui maka,

penurunan yang berlebih atau keruntuhan dari tanah terlampaui (Das, 1998).

Pondasi tiang (*pile foundation*), digunakan bila tanah pondasi pada kedalaman yang normal tidak mampu mendukung bebannya, sedangkan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam (Hardiyatmo, 2011). Pondasi tiang mendapatkan beban yang diteruskan oleh

kolom/tiang melalui perantara (*poer* pondasi, *rooster* kayu/balok kayu maupun beton bertulang).

Daya dukung tiang pancang dapat diperoleh dari pendekatan statis dan dinamis. Perhitungan daya dukung tiang pancang secara statis yaitu dengan melakukan pendekatan melalui sifat-sifat teknis tanah. Sedangkan, cara dinamis yaitu dengan menganalisis kapasitas ultimit dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang. Daya dukung tiang dengan pengujian dinamis dilakukan di lapangan dengan berbagai metode. Metode yang sering digunakan adalah metode kalendering dan PDA (*Pile Driving Analysis*).

Metode kalendering merupakan pengujian untuk mendapatkan daya dukung pancang saat proses pekerjaan pemancangan berlangsung. Daya dukung empiris diperoleh melalui perhitungan yang dihasilkan oleh pemukulan alat pancang, bisa berupa *diesel hammer* maupun *hidraulik hammer*. Pelaksanaan kalendering dilakukan ketika 10 pukulan terakhir saat hampir mendekati *top pile* diisyaratkan dengan *final set* 3 cm untuk 10 pukulan terakhir.

Metode pengujian PDA dilakukan untuk menentukan daya dukung aksial tiang didasarkan pada karakteristik dari pantulan gelombang yang diberikan oleh reaksi tanah (lengketan dan tahanan ujung). Beban dinamik akibat tumbukan dari *diesel hammer* pada kepala tiang, akan menimbulkan regangan pada tiang dan pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara tiang dan tanah di sekitarnya, menimbulkan gelombang akibat perlawanan atau reaksi tanah.

Daya dukung ditinjau dari cara mendukung beban, dibagi menjadi dua macam, yaitu *end bearing pile* (dukung ujung tiang) dan *friction pile* (tiang gesek). *End bearing pile* adalah kapasitas dukung ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada di bawah ujung tiang. *Friction pile* adalah kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah sekitarnya. Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.

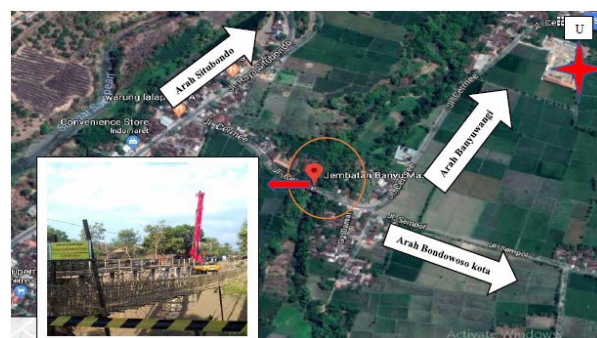
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder dari proyek pembangunan jalan tol Gempol-Pasuruan dan Jembatan Widuri (Kabupaten Bondowoso). Data sekunder yang diambil adalah data hasil pengujian kalendering dan data hasil pengujian PDA. Pada proyek pembangunan Tol Gempol-Pasuruan, dilakukan evaluasi pada dua titik pemancangan, yaitu titik

P1-2 dan titik P3-5. Sedangkan pada proyek pembangunan jembatan Widuri, dilakukan evaluasi terhadap titik P1-19 dan titik P2-17. Lokasi penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2** sebagaimana berikut:



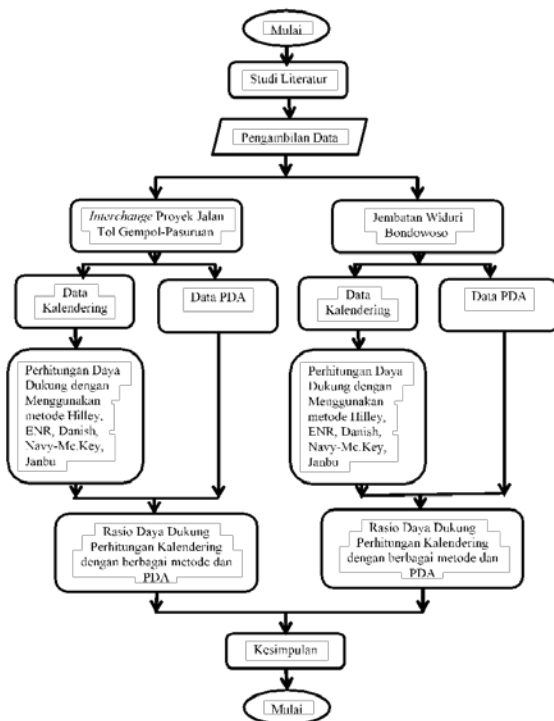
Gambar 1. Lokasi Proyek Jalan Tol Gempol-Pasuruan (PT. Hutama-Gorip, 2016)



Gambar 2. Lokasi Proyek Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso (Google Earth, 2019)

Perhitungan daya dukung pancang menggunakan data hasil pengujian kalendering dengan melakukan analisis terhadap beberapa metode, yaitu metode Hiley, metode ENR, metode Danish, metode Navy-Mc.Kay, dan metode Janbu. Dari hasil analisis terhadap beberapa metode tersebut, dilakukan perhitungan rasio terhadap daya dukung pancang hasil pengujian PDA. Nilai rasio 1 digunakan sebagai acuan. Semakin mendekati nilai 1, maka dapat dinyatakan hasil hampir sebanding.

Daya dukung pancang dari pengujian PDA digunakan sebagai akurasi perhitungan daya dukung, karena pengujian PDA merupakan pengujian yang dilakukan secara langsung untuk mendapatkan daya dukung. Berbeda dengan pengujian-pengujian lainnya, yang memerlukan pengolahan data dengan beberapa metode untuk mendapatkan daya dukungnya. Bagan alur penelitian ini sesuai dengan **Gambar 3** berikut:



Gambar 3. Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

• Spesifikasi Pancang

Pekerjaan pemancangan pada *Interchange* jalan tol Gempol-Pasuruan Seksi II STA 20+360 menggunakan tiang pancang beton pracetak bulat berongga yang diproduksi PT. WIKA BETON.

- Mutu beton $f_c' = 52$ MPa
- Diameter tiang pancang (D) = 500 mm = 0,5 m
- Luas penampang tiang (A) = 0,1962 m²
- Modulus Elastisitas tiang (E_p) = 33.892,18198 MPa = 3.389.218.198 kg/m²
- Berat tiang pancang / m¹ = 471 kg/m¹

Pekerjaan pemancangan pada proyek pembangunan Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso menggunakan tiang pancang beton pracetak bulat berongga yang diproduksi PT. WIKA BETON dengan

- Mutu beton $f_c' = 52$ MPa
- Diameter tiang pancang (D) = 450 mm = 0,45 m
- Luas penampang tiang (A) = 0,1589 m²
- Modulus Elastisitas tiang (E_p) = 33.892,18198 MPa = 3.389.218.198 kg/m²
- Berat tiang pancang / m¹ = 381 kg/m¹

• Spesifikasi Alat Pancang (*Diesel Hammer*)

Pekerjaan pemancangan pada *Interchange* jalan tol Gempol-Pasuruan Seksi II STA 20+360 menggunakan *crane* tipe PH-335 dengan alat

pemukul *diesel hammer* (*Delmag*) D55 yang diproduksi *Delmag Diesel Hammer*.

- Berat hammer / ram (W_r) = 5,2 ton = 5200 kg
- Berat cap = 0,5 ton = 500 kg
- Tebal cap = 100 mm
- Tinggi jatuh ram (h) = 2 m
- Efisiensi diesel hammer (eh) = 0,85
- Koefisien restitusi (n) = 0,5

Pekerjaan pemancangan pada proyek pembangunan Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso menggunakan *crane* tipe PH-440 dengan alat pemukul 48 diesel hammer (*Delmag*) D55 yang diproduksi *Delmag Diesel Hammer*.

- Berat hammer / ram (W_r) = 3,5 ton = 3.500 kg
- Berat cap = 0,5 ton = 500 kg
- Tebal cap = 100 mm
- Tinggi jatuh ram (h) = 2,5 m
- Efisiensi diesel hammer (eh) = 0,85
- Koefisien restitusi (n) = 0,5

Daya Dukung dari Data Kalendering

• Data Kalendering *Interchange* pembangunan Tol Pasuruan-Gempol

Pengambilan data kalendering dilakukan pada saat tiang pancang mencapai tanah keras, ketika penetrasi atau penurunan tiang lebih kecil dari 1 cm/10 pukulan (final set) dan rebound hammer sudah terlihat tinggi. Data pemancangan terletak titik P1 dan P3 di *Interchange* Jalan Tol Gempol-Pasuruan Seksi II sta 20+360. Hasil kalendering *Interchange* dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Data Pengujian Kalendering (PT. Hutama-Gorip. KSO,2016)

Kode	Panjang tiang (m)	Depth Penetration (m)	Total Blow	Final Set (S) (cm/blow)	Rebound (K) (cm)
P1	3	11,6	665	0,02	1,1
P2	8,5	8	420	0,03	0,8

• Daya Dukung Tiang Pancang *Interchange* pembangunan Tol Pasuruan-Gempol

Data daya dukung tiang pancang bisa dilihat pada **Tabel 2** berikut:

Tabel 2. Daya Dukung Tiang Pancang Metode Perhitungan Dinamis

Perhitungan Dinamis						
No.	Metode Perhitungan an Dinamis	Daya Dukung (Ton)				FS
		P1		P3		
		Qu	Qall	Qu	Qall	

1.	Hilley	215,1 43	53,78 5	173,1 58	43,2 89	4
2.	ENR	116,7 01	19,45 0	105,6 19	17,6 03	6
3.	Danish	307,1 47	102,3 82	237,0 47	79,0 15	3
4.	Navy-Mc.Kay	328,8 69	54,81 1	236,4 50	39,4 08	6
5.	Janbu	218,8 10	36,46 8	163,3 93	27,2 32	6

- Data Kalendering Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso

Data pemancangan terletak pada titik 19 dan 17 di abutmen timur Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso. Hasil kalendering pancang dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Data Pengujian Kalendering

Kode Tiang Panca ng	Panja ng Tiang (m)	Depth Penetra tion (m)	Tot al Blo w	Final Set (S) (cm/bl ow)	Rebou nd (K) (cm)
P1	20	11	314	0,1	0,9
P2	20	14	374	0,1	0,8

- Daya Dukung Tiang Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso.

Data daya dukung tiang pancang bisa dilihat pada **Tabel 4** berikut:

Tabel 4. Daya Dukung Tiang Pancang Metode Perhitungan Dinamis

No.	Metode Perhitun gan Dinamis	Daya Dukung (Ton)				FS
		P1		P3		
		Qu	Qall	Qu	Qall	
1.	Hilley	411,2 2	102,8	382,7	95,7	4
2.	ENR	338,3	56,4	315,1	52,5	6
3.	Danish	684,1 3	228,0	677,2	225,7	3
4.	Navy- Mc.Kay	530,5	88,4	495,9	82,6	6
5.	Janbu	390,8	65,1	371,7	61,9	6

Rasio Daya Dukung Kalendering dengan PDA

- Rasio Daya Dukung Kalendering dengan PDA *Interchange* pembangunan Tol Pasuruan-Gempol

Data hasil uji PDA dan rasio nilai daya dukung bisa dilihat pada **Tabel 5** dan **Tabel 6** berikut:

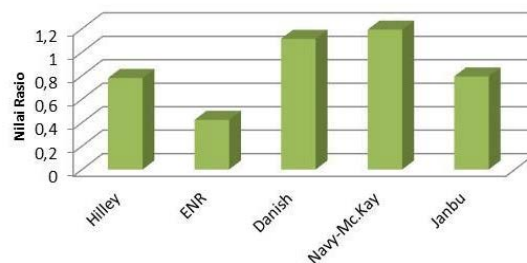
Tabel 5. Hasil Uji PDA *Interchange* Pembangunan Tol Pasuruan-Gempol

Nomor Tiang	Daya Dukung Ultimate Qu (Ton)			Daya Dukung Ijin Qall (Ton)
	Tahanan Gesek (Ton)	Tahanan Ujung (Ton)	Total (Ton)	
P1-2	71,3	204,5	275,9	137,95
P3-5	43,9	222,1	266	133

Tabel 6. Rasio Nilai Daya Dukung Ultimate Qu Kalendering terhadap Qu PDA Pada Titik (P1-2)

No.	Kalendering (A) (Ton)		PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)
1	Hilley	215,143	275,9	0,7797
2	ENR	116,701	275,9	0,4229
3	Danish	307,147	275,9	1,1132
4	Navy- Mc.Kay	328,869	275,9	1,1919
5	Janbu	218,810	275,9	0,7930

Data rasio perbandingan daya dukung ultimate hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA lokasi P1-2 bisa dilihat pada **Gambar 4** berikut:



Gambar 4. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ultimate Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P1-2

Data rasio nilai daya dukung ultimate Qu kalendering terhadap Qu pda pada titik P3-5 bisa dilihat pada **Tabel 7** berikut:

Tabel 7. Rasio Nilai Daya Dukung Ultimate Qu Kalendering terhadap Qu PDA Pada Titik (P3-5)

No.	Kalendering (A) (Ton)		PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)
1	Hilley	173,158	266	0,6509
2	ENR	105,619	266	0,3970
3	Danish	237,047	266	0,8911
4	Navy- Mc.Kay	236,450	266	0,8889
5	Janbu	163,393	266	0,6142

Data rasio perbandingan daya dukung ultimate hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA lokasi P3-5 bisa dilihat pada **Gambar 5** berikut:



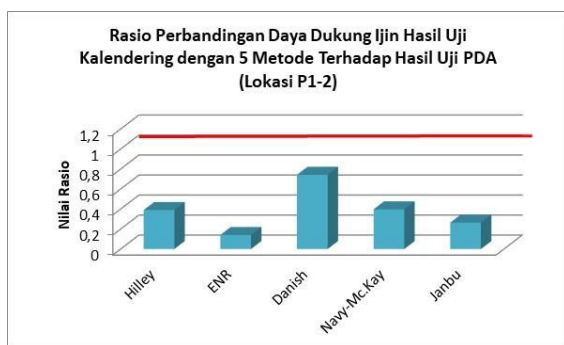
Gambar 5. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ultimate Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P3-5

Data rasio nilai daya dukung ijin Qall kalendering terhadap Qall PDA Pada titik P1-2 bisa dilihat pada **Tabel 8** berikut:

Tabel 8. Rasio Nilai Daya Dukung Ijin Qall Kalendering terhadap Qall PDA Pada Titik (P1-2)

No.	Kalendering (A) (Ton)	PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)
1	Hilley 53,785	137,95	0,3898
2	ENR 19,450	137,95	0,1409
3	Danish 102,382	137,95	0,7421
4	Navy-McKay 54,811	137,95	0,3973
5	Janbu 36,468	137,95	0,2643

Data rasio perbandingan daya dukung ijin hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA lokasi P1-2 bisa dilihat pada **Gambar 6** berikut:



Gambar 6. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ijin Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P1-2

Data rasio nilai daya dukung ijin Qall kalendering terhadap Qall PDA Pada titik P3-5 bisa dilihat pada **Tabel 9** berikut:

Tabel 9. Rasio Nilai Daya Dukung Ijin Qall Kalendering terhadap Qall PDA Pada Titik (P3-5)

No.	Kalendering (A) (Ton)	PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)
1	Hilley 43,289	133	0,3254
2	ENR 17,603	133	0,1323
3	Danish 79,015	133	0,5940
4	Navy-McKay 39,408	133	0,2963
5	Janbu 27,232	133	0,2047

Data rasio perbandingan daya dukung ijin hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA lokasi P3-5 bisa dilihat pada **Gambar 7** berikut:



Gambar 7. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ijin Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P3-5

- Rasio Daya Dukung Kalendering dengan PDA Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso

Data hasil uji PDA jembatan widuri kabupaten bondowoso dapat dilihat pada **Tabel 10** berikut:

Tabel 10. Hasil Uji PDA Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso

Nomor Tiang	Daya Dukung Ultimate Qu (Ton)	Daya Dukung Ijin Qall (Ton)
P1-19	196	98
P2-17	251	125,5

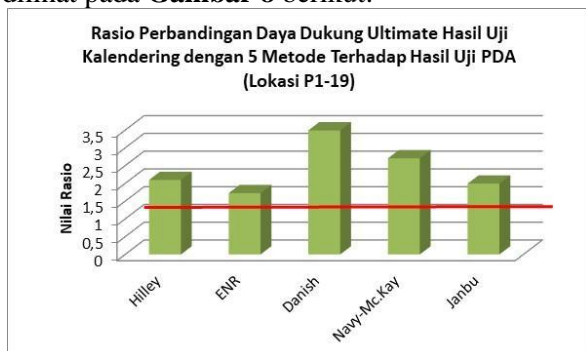
Data Rasio Nilai Daya Dukung Ultimate Qu Kalendering terhadap Qu PDA Pada Titik (P1-19) dapat dilihat pada **Tabel 11** berikut:

Tabel 11. Rasio Nilai Daya Dukung Ultimate Qu Kalendering terhadap Qu PDA Pada Titik (P1-19)

No.	Kalendering (A) (Ton)	PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)
1	Hilley 411,2	196	2,0979
2	ENR 338,3	196	1,7260
3	Danish 684,1	196	3,4923
4	530,5	196	2,7066

	Navy-Mc.Kay			
5	Mc.Kay Janbu	390,8	196	1,9938

Data rasio perbandingan daya dukung ultimate hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA lokasi P1-19 bisa dilihat pada **Gambar 8** berikut:



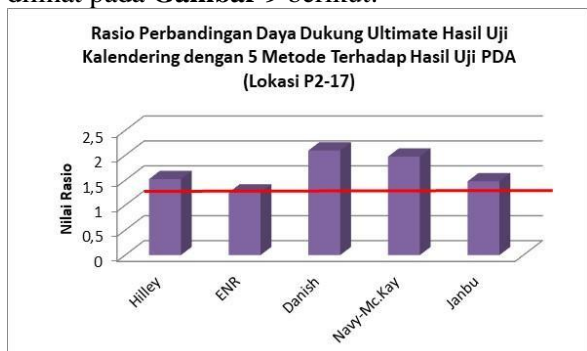
Gambar 8. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ultimate Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P1-19

Data Rasio Nilai Daya Dukung Ultimate Qu Kalendering terhadap Qu PDA Pada Titik (P2-17) dapat dilihat pada **Tabel 12** berikut:

Tabel 12. Rasio Nilai Daya Dukung Ultimate Qu Kalendering terhadap Qu PDA Pada Titik (P2-17)

No.	Kalendering (A) (Ton)	PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)	
1	Hilley	382,7	251	1,5247
2	ENR	315,1	251	1,2553
3	Danish	677,2	251	2,0980
4	Navy- Mc.Kay	495,9	251	1,9756
5	Janbu	371,7	251	1,4808

Data rasio perbandingan daya dukung ultimate hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA Lokasi P2-17 bisa dilihat pada **Gambar 9** berikut:



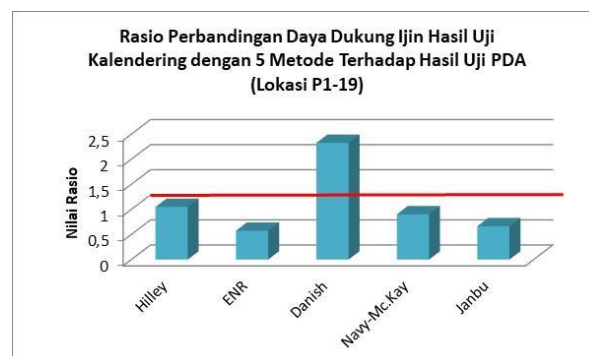
Gambar 9. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ultimate Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P2-17

Data rasio nilai daya dukung ijin qall kalendering terhadap Qall PDA Pada Titik (P1-19) dapat dilihat pada **Tabel 13** berikut:

Tabel 13. Rasio Nilai Daya Dukung Ijin Qall Kalendering terhadap Qall PDA Pada Titik (P1-19)

No.	Kalendering (A) (Ton)	PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)	
1	Hilley	102,8	98	1,0489
2	ENR	56,4	98	0,5755
3	Danish	228,03	98	2,3268
4	Navy- Mc.Kay	88,4	98	0,9020
5	Janbu	65,1	98	0,6642

Data rasio perbandingan daya dukung ijin hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA Lokasi P1-19 bisa dilihat pada **Gambar 10** berikut:



Gambar 10. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ijin Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P1-19

Data rasio nilai daya dukung ijin qall kalendering terhadap Qall PDA Pada Titik (P2-17) dapat dilihat pada **Tabel 14** berikut:

Tabel 14. Rasio Nilai Daya Dukung Ijin Qall Kalendering terhadap Qall PDA Pada Titik (P2-17)

No.	Kalendering (A) (Ton)	PDA (B) (Ton)	Rasio (A/B)	
1	Hilley	95,7	125,5	0,7625
2	ENR	52,5	125,5	0,4183
3	Danish	225,7	125,5	1,7984
4	Navy-Mc.Kay	82,6	125,5	0,6582
5	Janbu	61,9	125,5	0,4932

Data rasio perbandingan daya dukung ijin hasil uji kalendering dengan metode dinamis terhadap hasil uji PDA Lokasi P2-17 bisa dilihat pada **Gambar 11** berikut:



Gambar 11. Rasio Perbandingan Daya Dukung Ijin Hasil Uji Kalendering dengan Metode Dinamis Terhadap Hasil Uji PDA Lokasi P2-17

KESIMPULAN

Analisis rasio perhitungan daya dukung ultimate dan ijin berdasarkan pengujian kalendering dengan menggunakan 5 metode terhadap hasil uji PDA yang telah dilakukan menunjukkan konsistensi data. Pada lokasi proyek tol Gempol-Pasuruan, rasio yang mendekati 1 adalah metode Danish baik untuk daya dukung ultimate maupun daya dukung ijinnya. Sedangkan pada lokasi proyek jembatan Widuri Bondowoso, rasio yang mendekati 1 adalah metode ENR untuk daya dukung ultimate sedangkan untuk daya dukung ijin, yang mendekati 1 adalah metode Hilley.

DAFTAR PUSTAKA

- Das, B. M. (1998). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)* (Jilid-1). Erlangga.
- Google Earth. (2019). *Peta Lokasi Proyek Jembatan Widuri Kabupaten Bondowoso*. https://earth.google.com/web/search/Jembatan+Widuri+Bondowoso/@-7.7810482,113.9942804,62.51590765a,1045.65892565d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCaHa-33KCjNAEZ_a-33KCjPAGRAgy-rDw0zAlbOazN5MrGPA
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Perancangan Perkerasan Jalan Penyelidikan Tanah* (Cetakan 1). Gajah Mada University Press.
- PT. Hutama-Gorip. (2016). *Pile Driving Record - Jalan Tol Gempol-Pasuruan Seksi II*.