



---

## **PERBANDINGAN DAYA DUKUNG FONDASI TIANG PANCANG BERDASARKAN UJI KALENDERING DENGAN UJI PDA PADA PEMBANGUNAN JEMBATAN MENINTING**

**Suparjo<sup>1</sup>, Ismail Hoesain M<sup>2</sup>, Pande Setiawan Azhar<sup>3</sup>**

Universitas Mataram, Indonesia

[jojo14867@gmail.com](mailto:jojo14867@gmail.com)

---

### **Abstrak:**

Jembatan Meninting adalah jembatan yang berada di Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat yang mengalami kerusakan akibat banjir sehingga dilakukan penggantian. Pada penggantian Jembatan Meninting digunakan fondasi tiang pancang, dalam membangun fondasi tiang pancang dibutuhkan perhitungan daya dukung fondasi. Daya dukung fondasi dapat dihitung dari uji beban dinamis di lapangan seperti uji kalendering dan uji PDA (Pile Driving Analyzer). Tujuan penelitian ini adalah memperoleh perbandingan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA. Hitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley, Gates, dan ENR. Analisis dan interpretasi berdasarkan uji PDA menggunakan metode Case dan CAPWAP. Hasil perhitungan berdasarkan uji kalendering menunjukkan bahwa daya dukung izin (Qa) terkecil menggunakan metode Hiley sebesar 1547,460 kN, Gates sebesar 1669,483 kN, dan ENR sebesar 2369,548 kN lebih besar daripada daya dukung izin (Qa) rencana sebesar 1374,584 kN. Hasil analisis dan interpretasi berdasarkan uji PDA menunjukkan bahwa daya dukung izin (Qa) yang diperoleh menggunakan metode Case dan CAPWAP sebesar 2404,444 kN lebih besar daripada daya dukung izin (Qa) rencana sebesar 1374,584 kN. Perbandingan hasil daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA menunjukkan bahwa nilai rata-rata daya dukung izin (Qa) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley sebesar 2311,555 kN lebih mendekati hasil daya dukung izin (Qa) fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA sebesar 2404,444 kN dengan selisih perbandingan sebesar 3,86%. Uji PDA memberikan hasil daya dukung yang lebih besar daripada uji kalendering, Hal tersebut dikarenakan perbedaan proses pelaksanaan serta faktor aman yang digunakan.

**Kata kunci:** Daya Dukung, Fondasi Tiang Pancang, Kalendering, PDA

### **Abstract:**

*The Meninting Bridge is a bridge located in Mataram City, West Nusa Tenggara that has been damaged by flooding so it has been replaced. In the replacement of the Meninting Bridge, a pile foundation is used, in building a pile foundation, a calculation of the bearing capacity of the foundation is needed. The bearing capacity of the foundation can be calculated from dynamic load tests in the field such as calendering tests and PDA (Pile Driving Analyzer) tests. The purpose of this study is to obtain a comparison of the bearing capacity of pile foundations based on the calendering test with the PDA test. The calculation of the bearing capacity of the pile foundation is based on the calendering test using the Hiley, Gates, and ENR methods. Analysis and interpretation based on the PDA test using the Case and CAPWAP methods. The results of calculations based on the calendering test show that the smallest allowable bearing capacity (Qa) using the Hiley method is 1547.460 kN, Gates is 1669.483 kN, and ENR is 2369.548 kN greater than the planned allowable bearing capacity (Qa) of 1374.584 kN. The results of analysis and interpretation based on the PDA test show that the allowable bearing capacity (Qa) obtained using the Case and CAPWAP methods is 2404.444 kN greater than the planned allowable bearing capacity (Qa) of 1374.584 kN. The comparison of the bearing capacity of pile foundations based on the calendering test with the PDA test shows that the average value of the allowable bearing capacity (Qa) of the pile foundation based on the calendering test using the Hiley method of 2311.555*

*kN is closer to the allowable bearing capacity ( $Q_a$ ) of the pile foundation based on the PDA test of 2404.444 kN with a difference of 3,86%. The PDA test provides greater bearing capacity results than the calendering test, this is due to the difference in the implementation process and the safety factors used.*

**Keywords:** *Bearing Capacity, Pile Foundation, Calendering, PDA*

---

Corresponding: Suparjo  
E-mail: jojo14867@gmail.com



## **PENDAHULUAN**

Pembangunan infrastruktur, terutama jembatan, menjadi salah satu aspek penting dalam pengembangan ekonomi global. Fondasi tiang pancang sering digunakan sebagai solusi utama untuk menopang struktur yang melibatkan beban besar dan kondisi tanah yang bervariasi (Bowles, 1988). Dalam era pembangunan modern, pentingnya pengujian dan analisis daya dukung fondasi untuk menjamin keamanan dan efisiensi konstruksi semakin diakui secara global (Badan Standardisasi Nasional, 2017).

Di Indonesia, keberhasilan pembangunan infrastruktur seperti jembatan sangat dipengaruhi oleh ketepatan perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang. Pada proyek pembangunan Jembatan Meninting, terdapat kebutuhan mendesak untuk membandingkan metode pengujian kalendering dengan uji PDA (Pile Driving Analyzer) dalam menentukan daya dukung fondasi (Riyanda et al., 2023). Perbedaan hasil dari kedua metode ini sering kali menimbulkan tantangan dalam memilih pendekatan yang lebih akurat dan efisien (Aldino, 2019).

Kesalahan dalam estimasi daya dukung fondasi dapat menyebabkan kerugian besar, baik secara ekonomi maupun keselamatan konstruksi. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk memberikan pemahaman lebih mendalam mengenai perbedaan hasil dari metode uji kalendering dan uji PDA, serta implikasinya pada pembangunan infrastruktur di Indonesia (Nurhazizah, 2020).

Metode kalendering sering digunakan karena kesederhanaannya, meskipun hasilnya kurang akurat dibandingkan metode uji dinamis seperti PDA (Gunawan, 1991). Menurut Pile Dynamics, Inc. (2009), PDA merupakan alat uji dinamis yang sangat efektif untuk mengukur kapasitas daya dukung fondasi tiang pancang secara real-time. Dalam penelitian sebelumnya, Sari (2021) mengungkapkan bahwa metode PDA memberikan hasil yang lebih akurat dalam kondisi tanah yang heterogen dibandingkan dengan kalendering. Selain itu, standar yang ditetapkan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020) dan (Badan Standardisasi Nasional, 2017) memberikan pedoman penting dalam pelaksanaan uji fondasi tiang pancang di Indonesia.

Penelitian ini menawarkan pembaharuan dengan mengkaji kasus spesifik Jembatan Meninting, membandingkan kedua metode pengujian dengan data empiris yang lebih terkini. Hal ini mencakup analisis dari berbagai parameter teknis, seperti kedalaman penetrasi dan beban aksial, yang belum banyak dibahas dalam literatur sebelumnya (Agus et al., 2023; Santoso, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk Menganalisis perbedaan hasil daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dan uji PDA. Menilai keunggulan dan kelemahan masing-masing metode dalam konteks pembangunan Jembatan Meninting. Memberikan rekomendasi praktis untuk pengujian daya dukung fondasi di proyek infrastruktur serupa.

## **METODE PENELITIAN**

### **Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan pada abutment arah Pemenang (ABT1) pembangunan penggantian Jembatan Meninting B dengan panjang bentang 60 m yang terletak di ruas Jalan Saleh Sungkar 2, Kecamatan Ampenan, Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat.

### **Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-komparatif, yang bertujuan untuk membandingkan hasil daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dan uji PDA.

### **Pendekatan Penelitian**

Pendekatan yang digunakan adalah studi kasus, dengan fokus pada pembangunan Jembatan Meninting. Data primer diperoleh melalui pengujian di lapangan menggunakan metode kalendering dan PDA, sementara data sekunder berasal dari dokumen proyek terkait.

### **Populasi dan Sampel**

Populasi penelitian ini adalah semua fondasi tiang pancang pada Jembatan Meninting. Sampel yang digunakan adalah fondasi tiang pancang abutment arah Pemenang (ABT1), yang dianggap mewakili kondisi keseluruhan proyek.

### **Teknik Pengumpulan Data**

Pengamatan langsung: Melakukan uji kalendering dan PDA di lapangan. Dokumentasi: Mengumpulkan data sekunder dari laporan proyek, gambar teknik, dan spesifikasi teknis. Wawancara: Melakukan diskusi dengan tim teknis proyek untuk mendapatkan informasi tambahan.

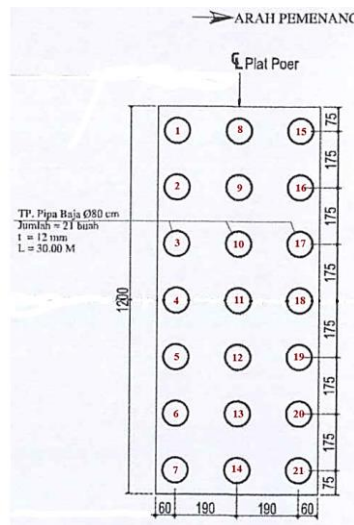
### **Teknik Analisis Data**

Analisis Daya Dukung Kalendering: Menggunakan metode Hiley, Gates, dan ENR untuk menghitung daya dukung fondasi. Analisis Daya Dukung PDA: Menggunakan metode Case dan CAPWAP untuk menganalisis hasil uji PDA. Perbandingan Data: Membandingkan hasil daya dukung dari kedua metode menggunakan statistik deskriptif dan analisis perbedaan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Gambaran Umum**

Pembangunan penggantian Jembatan Meninting B pada abutment arah Pemenang (ABT1) menggunakan jenis fondasi tiang pancang pipa baja dengan diameter 0,8 m, tebal 0,012 m, panjang 30 m dan berjumlah 21 tiang. Denah fondasi tiang pancang tersebut ditunjukkan dalam **Gambar 4.1**, dimana seluruh fondasi tiang pancang dilakukan pengujian kalendering dan pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*) hanya dilakukan pada fondasi tiang pancang nomor 1 (TP1) untuk mewakili keseluruhan tiang pancang.



**Gambar 3. Denah fondasi tiang pancang**  
(Sumber: PT. Surya Perdana Konsultan)

### Data Tanah

Berdasarkan hasil pemeriksaan material dengan sampel bor mesin pada pembangunan penggantian Jembatan Meninting B diperoleh data tanah yang ditunjukkan dalam **Tabel 1**.

**Tabel 1. Data tanah**

| Data Hasil Pengujian Laboratorium (Data Bor Tanah) |           |               |                                |                                     |                          |
|----------------------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| No                                                 | Kedalaman | Jenis Tanah   | $c_u$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $\gamma_b$<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | $\phi$<br>( $^{\circ}$ ) |
| 1                                                  | 0 - 3     | Pasir Lanauan | 0,09                           | 1,608                               | 27,21                    |
| 2                                                  | 3 - 7     | Pasir Sedang  | 0,03                           | 1,475                               | 29,12                    |
| 3                                                  | 7 - 13    | Pasir Kasar   | 0,18                           | 1,921                               | 28,49                    |
| 4                                                  | 13 - 16   | Pasir Lanauan | 0,08                           | 1,316                               | 29,74                    |
| 5                                                  | 16 - 28   | Pasir Kasar   | 0,09                           | 1,313                               | 29,74                    |
| 6                                                  | 28 - 40   | Pasir Lanauan | 0,04                           | 1,481                               | 29,74                    |

(Sumber: PT. Surya Perdana Konsultan)

### Data Tiang dan Alat Pancang

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara di lapangan diperoleh data tiang dan alat pancang sebagai berikut:

Jenis tiang pancang : Pipa baja  
 Berat jenis baja ( $W_s$ ) : 78,50 kN/m<sup>3</sup>  
 Diameter tiang pancang ( $D$ ) : 0,8 m  
 Tebal tiang pancang ( $T$ ) : 0,012 m  
 Panjang tiang pancang ( $L$ ) : 30 m

Jenis pemukul : Pemukul Hidraulik  
 Material pemukul : Bantalan kayu padat

di atas tiang  
Berat pemukul ( $W_r$ ) : 80 kN  
Tinggi jatuh pemukul ( $h$ ) : 1,1 m

Berdasarkan data tersebut, maka dapat dihitung luas penampang, berat, dan energi pemukul tiang pancang sebagai berikut:

Luas penampang tiang pancang ( $A$ ):

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - (D - 2T)^2)$$

$$A = \frac{3,14}{4} \times (0,8^2 - (0,8 - 2 \times 0,012)^2)$$

$$A = 0,0297 \text{ m}^2$$

Berat tiang pancang ( $W_p$ ):

$$W_p = A_p \times L \times W_s$$

$$W_p = 0,0297 \times 30 \times 78,50$$

$$W_p = 69,924 \text{ kN}$$

Energi pemukul ( $E_h$ ):

$$E_h = W_r \times h$$

$$E_h = 80 \times 1,1$$

$$E_h = 88 \text{ kN}$$

#### Data Pembebanan

Berdasarkan analisis struktur fondasi tiang pancang pada pembangunan penggantian Jembatan Meninting B, diperoleh data pembebanan rencana yang ditunjukkan dalam **Tabel 4.2**.

**Tabel 2. Data pembebanan**

| No. | Jenis                                                           | kN        |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 1.  | Beban maksimum yang diterima setiap tiang pancang ( $P_{mak}$ ) | 1226,75   |
| 2.  | Beban kerja pada kelompok tiang ( $P_{kerja}$ )                 | 15993,968 |
| 3.  | Daya dukung ultimit rencana tiang pancang ( $Q_u$ rencana)      | 4123,751  |
| 4.  | Daya dukung izin rencana tiang pancang ( $Q_a$ rencana)         | 1374,584  |

(Sumber: PT. Surya Perdana Konsultan)

### Data Uji Kalendering

Berdasarkan hasil pengujian kalendering pada fondasi tiang pancang abutment arah Pemenang (ABT1) diperoleh data yang ditunjukkan dalam **Tabel 4.3**.

**Tabel 3. Data uji kalendering**

| Kode Tiang |      | Penetrasi (s) |             | Perlawanan/Rebound (k) |             |
|------------|------|---------------|-------------|------------------------|-------------|
|            |      | (cm/pukulan)  | (m/pukulan) | (cm/pukulan)           | (m/pukulan) |
| ABT1       | TP1  | 0,06          | 0,0006      | 1,24                   | 0,0124      |
|            | TP2  | 0,05          | 0,0005      | 1,25                   | 0,0125      |
|            | TP3  | 0,03          | 0,0003      | 1,57                   | 0,0157      |
|            | TP4  | 0,05          | 0,0005      | 1,62                   | 0,0162      |
|            | TP5  | 0,03          | 0,0003      | 1,23                   | 0,0123      |
|            | TP6  | 0,05          | 0,0005      | 1,56                   | 0,0156      |
|            | TP7  | 0,04          | 0,0004      | 1,88                   | 0,0188      |
|            | TP8  | 0,04          | 0,0004      | 1,61                   | 0,0161      |
|            | TP9  | 0,07          | 0,0007      | 0,65                   | 0,0065      |
|            | TP10 | 0,05          | 0,0005      | 1,64                   | 0,0164      |
|            | TP11 | 0,05          | 0,0005      | 0,81                   | 0,0081      |
|            | TP12 | 0,05          | 0,0005      | 1,18                   | 0,0118      |
|            | TP13 | 0,03          | 0,0003      | 1,45                   | 0,0145      |
|            | TP14 | 0,05          | 0,0005      | 1,65                   | 0,0165      |
|            | TP15 | 0,05          | 0,0005      | 1,73                   | 0,0173      |
|            | TP16 | 0,05          | 0,0005      | 0,82                   | 0,0082      |
|            | TP17 | 0,04          | 0,0004      | 1,17                   | 0,0117      |
|            | TP18 | 0,05          | 0,0005      | 1,00                   | 0,0100      |
|            | TP19 | 0,05          | 0,0005      | 1,03                   | 0,0103      |
|            | TP20 | 0,05          | 0,0005      | 1,21                   | 0,0121      |
|            | TP21 | 0,05          | 0,0005      | 1,00                   | 0,0100      |

(Sumber: PT. Surya Perdana Konsultan)

### Hasil Perhitungan Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang berdasarkan Uji Kalendering

#### a. Metode Hiley (1930)

Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930) ditunjukkan dalam **Tabel 4**.

**Tabel 4. Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930)**

| Kode Tiang   |      | Penetrasi<br>(s) | Rebound<br>(k) | Daya<br>dukung<br>ultimat<br>( $Q_u$ ) | Daya<br>dukung izin<br>( $Q_a$ ) | Daya<br>dukung izin<br>( $Q_a$ ) | Keterangan             | Rasio                |
|--------------|------|------------------|----------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|
|              |      | (m)              | (m)            | (kN)                                   | (kN)                             | (kN)                             | $Q_a > Q_a$<br>rencana | $Q_u/Q_a$<br>rencana |
| ABT1         | TP1  | 0,0006           | 0,0124         | 6690,489                               | 2230,163                         | 1374,584                         | Aman                   | 1,62                 |
|              | TP2  | 0,0005           | 0,0125         | 6740,048                               | 2246,683                         |                                  | Aman                   | 1,63                 |
|              | TP3  | 0,0003           | 0,0157         | 5582,248                               | 1860,749                         |                                  | Aman                   | 1,35                 |
|              | TP4  | 0,0005           | 0,0162         | 5290,154                               | 1763,385                         |                                  | Aman                   | 1,28                 |
|              | TP5  | 0,0003           | 0,0123         | 7053,539                               | 2351,180                         |                                  | Aman                   | 1,71                 |
|              | TP6  | 0,0005           | 0,0156         | 5481,364                               | 1827,121                         |                                  | Aman                   | 1,33                 |
|              | TP7  | 0,0004           | 0,0188         | 4642,380                               | 1547,460                         |                                  | Aman                   | 1,13                 |
|              | TP8  | 0,0004           | 0,0161         | 5384,062                               | 1794,687                         |                                  | Aman                   | 1,31                 |
|              | TP9  | 0,0007           | 0,0065         | 11517,80                               | 3839,268                         |                                  | Aman                   | 2,79                 |
|              | TP10 | 0,0005           | 0,0164         | 5229,348                               | 1743,116                         |                                  | Aman                   | 1,27                 |
|              | TP11 | 0,0005           | 0,0081         | 9998,972                               | 3332,991                         |                                  | Aman                   | 2,42                 |
|              | TP12 | 0,0005           | 0,0118         | 7108,644                               | 2369,548                         |                                  | Aman                   | 1,72                 |
|              | TP13 | 0,0003           | 0,0145         | 6025,871                               | 2008,624                         |                                  | Aman                   | 1,46                 |
|              | TP14 | 0,0005           | 0,0165         | 5199,466                               | 1733,155                         |                                  | Aman                   | 1,26                 |
|              | TP15 | 0,0005           | 0,0173         | 4972,167                               | 1657,389                         |                                  | Aman                   | 1,21                 |
|              | TP16 | 0,0005           | 0,0082         | 9890,288                               | 3296,763                         |                                  | Aman                   | 2,40                 |
|              | TP17 | 0,0004           | 0,0117         | 7279,252                               | 2426,417                         |                                  | Aman                   | 1,77                 |
|              | TP18 | 0,0005           | 0,0100         | 8271,877                               | 2757,292                         |                                  | Aman                   | 2,01                 |
|              | TP19 | 0,0005           | 0,0103         | 8052,270                               | 2684,090                         |                                  | Aman                   | 1,95                 |
|              | TP20 | 0,0005           | 0,0121         | 6945,851                               | 2315,284                         |                                  | Aman                   | 1,68                 |
|              | TP21 | 0,0005           | 0,0100         | 8271,877                               | 2757,292                         |                                  | Aman                   | 2,01                 |
| $\Sigma Q_u$ |      |                  |                | 48542,656                              |                                  |                                  |                        |                      |

## b. Metode Gates (1957)

Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Gates (1957) ditunjukkan dalam **Tabel 5**.

**Tabel 5. Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Gates (1957)**

| Kode Tiang   |      | Penetrasi<br>(s) | Daya<br>dukung<br>ultimat<br>( $Q_u$ ) | Daya<br>dukung izin<br>( $Q_a$ ) | Daya<br>dukung izin<br>( $Q_a$ ) | Keterangan          | Rasio                |
|--------------|------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|
|              |      | (m)              | (kN)                                   | (kN)                             | (kN)                             | $Q_u > Q_a$ rencana | $Q_u/Q_a$<br>rencana |
| ABT1         | TP1  | 0,0006           | 5068,810                               | 1689,603                         | 1374,584                         | Aman                | 1,23                 |
|              | TP2  | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP3  | 0,0003           | 5340,227                               | 1780,076                         |                                  | Aman                | 1,29                 |
|              | TP4  | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP5  | 0,0003           | 5340,227                               | 1780,076                         |                                  | Aman                | 1,29                 |
|              | TP6  | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP7  | 0,0004           | 5227,579                               | 1742,526                         |                                  | Aman                | 1,27                 |
|              | TP8  | 0,0004           | 5227,579                               | 1742,526                         |                                  | Aman                | 1,27                 |
|              | TP9  | 0,0007           | 5008,449                               | 1669,483                         |                                  | Aman                | 1,21                 |
|              | TP10 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP11 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP12 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP13 | 0,0003           | 5340,227                               | 1780,076                         |                                  | Aman                | 1,29                 |
|              | TP14 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP15 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP16 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP17 | 0,0004           | 5227,579                               | 1742,526                         |                                  | Aman                | 1,27                 |
|              | TP18 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP19 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP20 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
|              | TP21 | 0,0005           | 5140,202                               | 1713,401                         |                                  | Aman                | 1,25                 |
| $\Sigma Q_u$ |      |                  |                                        | 36201,101                        |                                  |                     |                      |

## c. Metode ENR (1965)

Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930) ditunjukkan dalam **Tabel 6**.

**Tabel 6. Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode ENR (1965)**

| Kode Tiang   |      | Penetrasi<br>(s) | Daya<br>dukung<br>ultimit<br>( $Q_u$ ) | Daya<br>dukung izin<br>( $Q_a$ ) | Daya<br>dukung izin<br>( $Q_a$ ) | Keterangan          | Rasio                |
|--------------|------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|
|              |      | (m)              | (kN)                                   | (kN)                             | (kN)                             | $Q_u > Q_a$ rencana | $Q_u/Q_a$<br>rencana |
| ABT1         | TP1  | 0,06             | 14675,91                               | 2445,985                         | 1374,584                         | Aman                | 1,78                 |
|              | TP2  | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP3  | 0,03             | 16248,33                               | 2708,055                         |                                  | Aman                | 1,97                 |
|              | TP4  | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP5  | 0,03             | 16248,33                               | 2708,055                         |                                  | Aman                | 1,97                 |
|              | TP6  | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP7  | 0,04             | 15688,04                               | 2614,674                         |                                  | Aman                | 1,90                 |
|              | TP8  | 0,04             | 15688,04                               | 2614,674                         |                                  | Aman                | 1,90                 |
|              | TP9  | 0,07             | 14217,29                               | 2369,548                         |                                  | Aman                | 1,72                 |
|              | TP10 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP11 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP12 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP13 | 0,03             | 16248,33                               | 2708,055                         |                                  | Aman                | 1,97                 |
|              | TP14 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP15 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP16 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP17 | 0,04             | 15688,04                               | 2614,674                         |                                  | Aman                | 1,90                 |
|              | TP18 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP19 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP20 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
|              | TP21 | 0,05             | 15165,11                               | 2527,518                         |                                  | Aman                | 1,84                 |
| $\Sigma Q_u$ |      |                  | 53641,454                              |                                  |                                  |                     |                      |

### Hasil Analisis dan Interpretasi Daya Dukung Fondasi Tiang Pancang berdasarkan Uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

#### a. Metode Case

Hasil analisis dan interpretasi daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA menggunakan metode Case ditunjukkan dalam **Tabel 7**.

**Tabel 7. Hasil analisis dan interpretasi hasil daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan metode Case**

| Kode tiang | Metode Case          |                                    |                              |                            |
|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|            | Daya dukung<br>tiang | Energi maksimum<br>yang ditransfer | Keutuhan<br>fondasi<br>tiang | Penurunan<br>fondasi tiang |
|            | RMX<br>(Ton)         | EMX<br>(Ton.m)                     | BTA<br>(%)                   | DFN<br>(mm)                |
| ABT1 TP1   | 541                  | 10,53                              | 86                           | 15,3                       |

#### b. Metode CAPWAP

Hasil analisis dan interpretasi daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA menggunakan metode CAPWAP ditunjukkan dalam **Tabel 8**.

**Tabel 8. Hasil analisis dan interpretasi hasil daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan metode CAPWAP**

| Kode tiang | Metode CAPWAP |               |               |
|------------|---------------|---------------|---------------|
|            | Daya Dukung   | Tahanan Gesek | Tahanan Ujung |
|            | $R_{ult}$     | $R_s$         | $R_r$         |
|            | (Ton)         | (Ton)         | (Ton)         |
| ABT1 TP1   | 541           | 359           | 182           |

Dari hasil analisis dan interpretasi metode Case dan metode CAPWAP menghasilkan nilai daya dukung ultimit fondasi tiang pancang ( $Q_u$ ) sebesar 541 ton atau sama dengan 5410 kN sehingga dengan faktor aman sebesar 2,25 diperoleh daya dukung izin fondasi tiang pancang ( $Q_a$ ) pada kode tiang ABT1 TP1 sebagai berikut:

$$Q_a = \frac{Q_u}{F} = \frac{5410}{2,25} = 2404,444 \text{ kN} > 1374,584 \text{ kN (Aman)}$$

$$\text{Rasio} = \frac{Q_a}{Q_{a \text{ rencana}}} = \frac{2404,444}{1374,584} = 1,75$$

### Hasil Analisis Daya Dukung Kelompok Tiang

Hasil analisis daya dukung kelompok tiang ditunjukkan dalam **Tabel 4.9**.

**Tabel 9. Rekapitulasi hasil analisis daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ )**

| Metode          | $E_p$        | $\Sigma Q_{a0}$<br>(kN) | $Q_g$<br>(kN) | $P_{uji}$<br>(kN) | Keterangan<br>( $Q_g > P_{uji}$ ) | Rasio<br>( $Q_g / P_{uji}$ ) |
|-----------------|--------------|-------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Rencana         |              | 28866,264               | 16859,281     |                   | Aman                              | 1,05                         |
| Uji kalendering | Hiley (1930) | 48542,656               | 28351,236     |                   | Aman                              | 1,77                         |
|                 | Gates (1957) | 36201,101               | 21143,177     |                   | Aman                              | 1,32                         |
|                 | ENR (1965)   | 53641,454               | 31329,178     |                   | Aman                              | 1,96                         |
|                 |              | 50493,333               | 29490,525     | 15993,968         | Aman                              | 1,84                         |
| Uji PDA         | Case         | 50493,333               | 29490,525     |                   | Aman                              | 1,84                         |
|                 | CAPWAP       | 50493,333               | 29490,525     |                   | Aman                              | 1,84                         |

### Pembahasan

Hasil perhitungan daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930) (**Tabel 4**) dengan faktor aman sebesar 3, metode Gates (1957) (**Tabel 4.5**) dengan faktor aman sebesar 3 dan metode ENR (1965) (**Tabel 6**) dengan faktor aman sebesar 6 menunjukkan bahwa pada seluruh kode tiang lebih besar daripada daya dukung izin ( $Q_a$ ) rencana sebesar 1374,584 kN. Hasil daya dukung izin ( $Q_a$ ) terkecil diperoleh menggunakan metode Hiley (1930) sebesar 1547,460 kN, metode Gates (1957) sebesar 1669,483 kN, dan metode ENR (1965) sebesar 2369,548 kN. Pada semua metode uji kalendering memberikan rasio sebesar 1,13 hingga 2,79, hal tersebut menandakan fondasi tiang pancang yang digunakan memenuhi persyaratan keamanan struktur.

Hasil analisis dan interpretasi daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dengan faktor aman sebesar 2,25 menggunakan metode Case (**Tabel 7**) dan metode CAPWAP (**Tabel 8**) diperoleh sebesar 2404,444 kN sehingga lebih besar daripada daya

dukung izin ( $Q_a$ ) rencana sebesar 1374,584 kN. Pada semua metode uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) memberikan rasio sebesar 1,75, hal tersebut menandakan fondasi tiang pancang yang digunakan memenuhi persyaratan keamanan struktur.

Dari hasil perhitungan berdasarkan data uji kalendering dan interpretasi data uji PDA (*Pile Driving Analyzer*), maka diperoleh perbandingan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan data uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930), metode Gates (1957), dan metode ENR (1965) dengan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan data uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) menggunakan metode Case dan metode CAPWAP yang ditunjukkan dalam **Tabel 10** untuk hasil perbandingan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) dan **Tabel 11** untuk hasil perbandingan daya dukung izin ( $Q_a$ ).

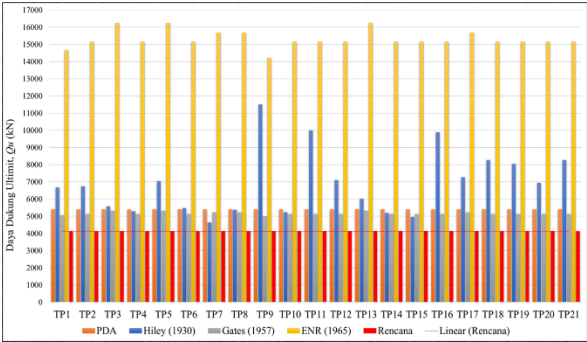
**Tabel 10. Hasil perbandingan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)**

| Kode Tiang                   |      | Daya Dukung Ultimit Fondasi Tiang Pancang, $Q_u$ (kN) |              |            | Daya Dukung Ultimit Rencana Fondasi Tiang Pancang, $Q_u$ rencana (kN) |                             |
|------------------------------|------|-------------------------------------------------------|--------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
|                              |      | Uji Kalendering                                       |              |            |                                                                       | Uji PDA<br>Case &<br>CAPWAP |
|                              |      | Hiley (1930)                                          | Gates (1957) | ENR (1965) |                                                                       |                             |
| ABT1                         | TP1  | 6690,489                                              | 5068,81      | 14675,911  | 5410                                                                  | 4123,751                    |
|                              | TP2  | 6740,048                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP3  | 5582,248                                              | 5340,227     | 16248,33   |                                                                       |                             |
|                              | TP4  | 5290,154                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP5  | 7053,539                                              | 5340,227     | 16248,33   |                                                                       |                             |
|                              | TP6  | 5481,364                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP7  | 4642,38                                               | 5227,579     | 15688,043  |                                                                       |                             |
|                              | TP8  | 5384,062                                              | 5227,579     | 15688,043  |                                                                       |                             |
|                              | TP9  | 11517,804                                             | 5008,449     | 14217,289  |                                                                       |                             |
|                              | TP10 | 5229,348                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP11 | 9998,972                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP12 | 7108,644                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP13 | 6025,871                                              | 5340,227     | 16248,33   |                                                                       |                             |
|                              | TP14 | 5199,466                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP15 | 4972,167                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP16 | 9890,288                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP17 | 7279,252                                              | 5227,579     | 15688,043  |                                                                       |                             |
|                              | TP18 | 8271,877                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP19 | 8052,27                                               | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP20 | 6945,851                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
|                              | TP21 | 8271,877                                              | 5140,202     | 15165,108  |                                                                       |                             |
| Rata-rata                    |      | 6934,665                                              | 5171,586     | 15326,13   | 5410                                                                  | 4123,751                    |
| Selisih dengan Hasil Uji PDA |      | 28,18%                                                | 4,41%        | 183,29%    |                                                                       | 23,78%                      |

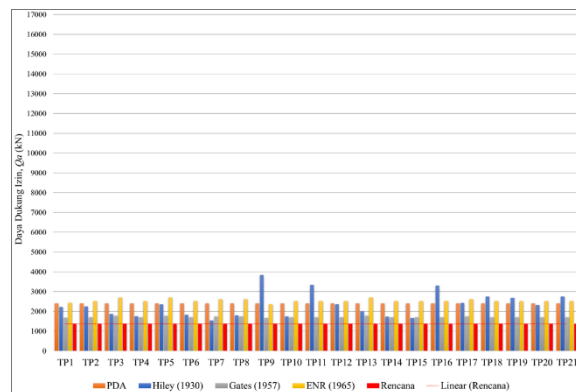
Tabel 11. Hasil perbandingan daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

| Kode Tiang                   |      | Daya Dukung Izin Fondasi Tiang Pancang, $Q_a$ (kN) |              |            |               | Daya Dukung Izin Rencana Fondasi Tiang Pancang, $Q_{ar}$ rencana (kN) |
|------------------------------|------|----------------------------------------------------|--------------|------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------|
|                              |      | Uji Kalendering                                    |              |            | Uji PDA       |                                                                       |
|                              |      | Hiley (1930)                                       | Gates (1957) | ENR (1965) | Case & CAPWAP |                                                                       |
|                              |      | ( $F=3$ )                                          | ( $F=3$ )    | ( $F=6$ )  | ( $F=2,25$ )  |                                                                       |
|                              |      |                                                    |              |            |               |                                                                       |
| ABT1                         | TP1  | 2230,163                                           | 1689,603     | 2445,985   | 2404,444      | 1374,584                                                              |
|                              | TP2  | 2246,683                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP3  | 1860,749                                           | 1780,076     | 2708,055   |               |                                                                       |
|                              | TP4  | 1763,385                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP5  | 2351,18                                            | 1780,076     | 2708,055   |               |                                                                       |
|                              | TP6  | 1827,121                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP7  | 1547,46                                            | 1742,526     | 2614,674   |               |                                                                       |
|                              | TP8  | 1794,687                                           | 1742,526     | 2614,674   |               |                                                                       |
|                              | TP9  | 3839,268                                           | 1669,483     | 2369,548   |               |                                                                       |
|                              | TP10 | 1743,116                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP11 | 3332,991                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP12 | 2369,548                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP13 | 2008,624                                           | 1780,076     | 2708,055   |               |                                                                       |
|                              | TP14 | 1733,155                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP15 | 1657,389                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP16 | 3296,763                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP17 | 2426,417                                           | 1742,526     | 2614,674   |               |                                                                       |
|                              | TP18 | 2757,292                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP19 | 2684,09                                            | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP20 | 2315,284                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
|                              | TP21 | 2757,292                                           | 1713,401     | 2527,518   |               |                                                                       |
| Rata-rata                    |      | 2311,555                                           | 1723,862     | 2554,355   | 2404,444      | 1374,584                                                              |
| Selisih dengan Hasil Uji PDA |      | 3,86%                                              | 28,31%       | 6,23%      |               | 42,83%                                                                |

Dari Tabel 10 dan Tabel 11 di atas, dapat dibuat dalam bentuk diagram batang yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

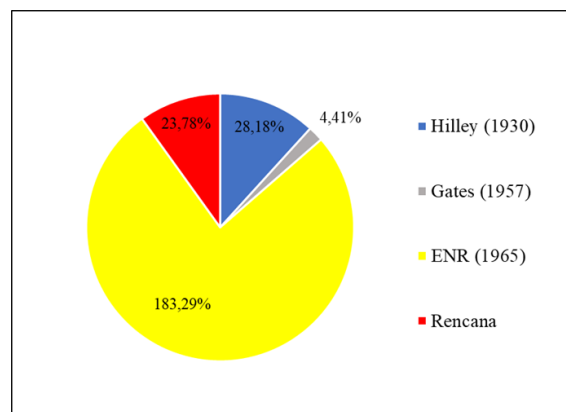


Gambar 4. Perbandingan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

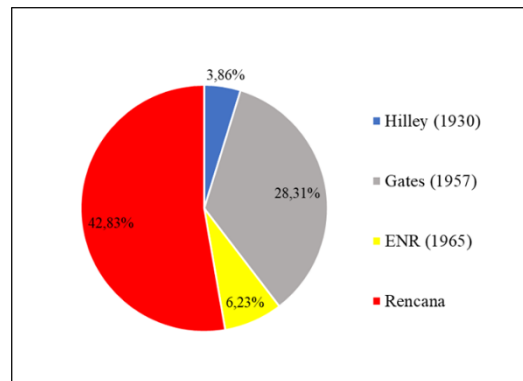


**Gambar 5. Perbandingan daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (Pile Driving Analyzer)**

Perbandingan hasil dari **Tabel 10** dan **Tabel 11** tersebut, kemudian dibuat grafik dalam bentuk diagram lingkaran yang ditunjukkan dalam **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



**Gambar 5. Grafik perbandingan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (Pile Driving Analyzer)**



**Gambar 6. Grafik perbandingan daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)**

Hasil perbandingan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) memiliki perbedaan nilai di titik pengujian yang sama, yaitu pada kode tiang ABT1 TP1 (**Gambar 3** dan **Gambar 4**). Hasil perbandingan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering lebih kecil daripada uji PDA (*Pile Driving Analyzer*), dimana berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) memberikan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) sebesar 5410 kN dan berdasarkan uji kalendering yang lebih mendekati PDA (*Pile Driving Analyzer*) yaitu menggunakan metode Gates (1957) memberikan daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) sebesar 5068,810 kN dengan selisih 6,73%. Hasil perbandingan daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering lebih besar daripada uji PDA (*Pile Driving Analyzer*), dimana berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) memberikan daya dukung izin ( $Q_a$ ) sebesar 2404,444 kN dan berdasarkan uji kalendering yang lebih mendekati PDA (*Pile Driving Analyzer*) yaitu menggunakan metode ENR (1965) memberikan daya dukung izin ( $Q_u$ ) sebesar 2445,985 kN dengan selisih 1,73%.

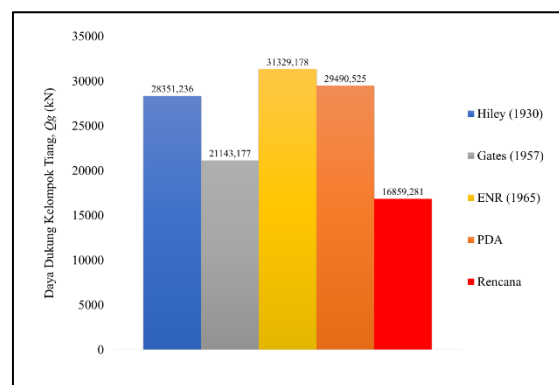
Grafik perbandingan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dalam **Gambar 5** dan **Gambar 6** memperlihatkan bahwa nilai rata-rata daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Gates (1957) sebesar 5171,586 kN lebih mendekati hasil daya dukung ultimit ( $Q_u$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) sebesar 5410 kN dengan selisih perbandingan sebesar 4,41% dan nilai rata-rata daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930) sebesar 2311,555 kN lebih mendekati hasil daya dukung izin ( $Q_a$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) sebesar 2404,444 kN dengan selisih perbandingan sebesar 3,86%.

Dari hasil Analisis daya dukung kelompok tiang, maka diperoleh hasil bahwa semua metode analisis memberikan daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) lebih besar daripada beban kerja kelompok tiang ( $P_{kerja}$ ) sebesar 15993,968 kN (**Tabel 9**) dengan memberikan rasio sebesar 1,05 hingga 1,96, hal tersebut menandakan kelompok tiang aman dan mampu memikul besarnya beban yang bekerja. Dari hasil Analisis juga diperoleh perbandingan daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) yang ditunjukkan dalam **Tabel 12**.

**Tabel 12 Hasil perbandingan daya dukung kelompok tiang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)**

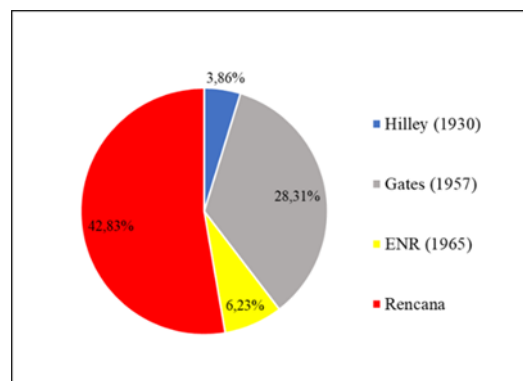
| Metode          |               | Daya Dukung kelompok Tiang ( $Q_g$ ) |  | Perbandingan dengan Hasil Uji PDA |
|-----------------|---------------|--------------------------------------|--|-----------------------------------|
|                 |               | (kN)                                 |  |                                   |
| Rencana         |               | 16859,281                            |  | 42,83%                            |
| Uji kalendering | Hiley (1930)  | 28351,236                            |  | 3,86%                             |
|                 | Gates (1957)  | 21143,177                            |  | 28,31%                            |
|                 | ENR (1965)    | 31329,178                            |  | 6,23%                             |
| Uji PDA         | Case & CAPWAP | 29490,525                            |  |                                   |

Dari **Tabel 12** di atas, dapat dibuat dalam bentuk diagram batang yang ditunjukkan dalam **Gambar 7**.



**Gambar 7** Perbandingan daya dukung kelompok tiang berdasarkan uji kalendering dengan dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)

Perbandingan hasil dari **Tabel 12** tersebut, kemudian dibuat grafik dalam bentuk diagram lingkaran yang ditunjukkan dalam **Gambar 7**.



**Gambar 7. Grafik perbandingan daya dukung kelompok tiang ( $Q_g$ ) fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*)**

Grafik perbandingan daya dukung kelompok tiang tiang ( $Q_g$ ) berdasarkan uji kalendering dengan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dalam **Gambar 7** dan **Gambar 8** memperlihatkan bahwa daya dukung kelompok tiang tiang ( $Q_g$ ) berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1957) sebesar 28351,236 kN lebih mendekati hasil daya dukung kelompok tiang tiang ( $Q_g$ ) berdasarkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) sebesar 29490,525 kN dengan selisih perbandingan sebesar 3,86% .

Berdasarkan hasil perhitungan, analisis, dan interpretasi daya dukung fondasi tiang pancang dengan cara uji beban dinamis di lapangan yaitu uji kalendering dan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) memberikan nilai yang bervariasi pada masing-masing metode. Secara umum uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) memberikan hasil daya dukung yang lebih besar daripada uji kalendering. Hal tersebut dapat terjadi karena perbedaan proses dan hasil pelaksanaan pemancangan serta faktor aman yang digunakan. Proses pelaksanaan uji kalendering dilakukan pada saat lekatan tanah belum bekerja, sedangkan uji PDA (*Pile Driving Analyzer*) dilaksanakan 15 menit hingga 30 hari setelah uji kalendering sehingga lekatan tanah sudah mulai bekerja.

#### **Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa uji PDA memberikan daya dukung fondasi tiang pancang yang lebih besar dibandingkan dengan uji kalendering. Hal ini sejalan dengan temuan Aldino (2019), yang menyebutkan bahwa hasil uji PDA cenderung lebih akurat dibandingkan metode kalendering karena memperhitungkan variabel dinamis seperti lekatan tanah setelah pemancangan.

Selain itu, penelitian ini mendukung hasil yang diperoleh oleh Nurhazizah (2020), di mana metode Gates dalam uji kalendering memiliki akurasi yang lebih baik dalam mendekati hasil uji PDA dibandingkan metode lain. Sementara itu, Riyanda et al. (2023) menemukan bahwa metode Case dan CAPWAP pada uji PDA mampu memberikan hasil daya dukung yang lebih mendekati kondisi aktual di lapangan.

Berbeda dengan penelitian Sari (2021) yang menyebutkan bahwa metode ENR dalam uji kalendering menghasilkan perbandingan yang lebih akurat dengan uji PDA, penelitian ini menunjukkan bahwa metode Hiley memberikan nilai daya dukung izin yang lebih mendekati hasil uji PDA, dengan selisih perbandingan sebesar 3,86%. Faktor ini dapat disebabkan oleh karakteristik tanah di lokasi penelitian yang memiliki lapisan kepasiran dominan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan kontribusi tambahan terhadap literatur, dengan menegaskan bahwa pemilihan metode kalendering dan PDA harus disesuaikan dengan kondisi lapangan dan kebutuhan proyek. Penelitian ini juga menyoroti pentingnya mempertimbangkan variabel seperti kedalaman penetrasi dan faktor aman dalam analisis daya dukung fondasi tiang pancang.

Hasil perbandingan dengan penelitian sebelumnya memperkuat validitas metode PDA sebagai alat uji yang lebih akurat dalam menilai kapasitas daya dukung fondasi. Namun, metode kalendering tetap relevan sebagai metode pendukung, terutama untuk estimasi awal daya dukung fondasi.

#### **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dalam penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut: Hasil perhitungan daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji kalendering menunjukkan bahwa daya dukung izin ( $Q_a$ ) terkecil menggunakan metode Hiley (1930) sebesar 1547,460 kN, metode Gates (1957) sebesar 1669,483 kN, dan metode ENR (1965) sebesar 2369,548 kN lebih besar daripada daya dukung izin ( $Q_a$ ) rencana sebesar 1374,584 kN. Hal tersebut menandakan fondasi tiang pancang yang digunakan memenuhi persyaratan keamanan struktur. Hasil analisis dan interpretasi daya dukung fondasi tiang pancang berdasarkan uji PDA (*Pile Driving*

Anlayzer) menunjukkan bahwa daya dukung izin (Qa) yang diperoleh menggunakan metode Case dan metode CAPWAP sebesar 2404,444 kN lebih besar daripada daya dukung izin (Qa) rencana sebesar 1374,584 kN. Hal tersebut menandakan fondasi tiang pancang yang digunakan memenuhi persyaratan keamanan struktur.

Nilai rata-rata daya dukung ultimit (Qu) yang diperoleh berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930) sebesar 6934,665 kN, metode Gates (1957) sebesar 5171,586 kN, dan metode ENR (1965) sebesar 15326,130 kN. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode Gates (1957) lebih mendekati daya dukung ultimit (Qu) berdasarkan uji PDA (Pile Driving Analyzer) sebesar 5410 kN dengan selisih sebesar 4,41%. Nilai rata-rata daya dukung izin (Qa) yang diperoleh berdasarkan uji kalendering menggunakan metode Hiley (1930) sebesar 2311,555 kN, metode Gates (1957) sebesar 1723,862 kN, dan metode ENR (1965) sebesar 2554,355 kN. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa metode Hiley (1930) lebih mendekati hasil daya dukung izin (Qa) berdasarkan uji PDA (Pile Driving Analyzer) sebesar 2404,444 kN dengan selisih sebesar 3,86%.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Agus, M., Muchlian, M., & Dewi, N. P. (2023). "Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasarkan Data N-SPT dan Pembacaan Alat Hydraulic Static Pile Drive (HSPD) 320 T." *Journal of Infrastructural in Civil Engineering*, 4(2), 52-64.
- Aldino, R. (2019). Tinjauan Perbedaan Kuat Dukung Tiang Tunggal Antara Data Kalendering, Data SPT, Dan Data PDA Test Pada Tiang Pancang No. 7 Dan No. 25 Pile Cap No. 1 Overpass STA 58+250 Proyek Jalan Tol Pekanbaru-Dumai, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Badan Standardisasi Nasional (2017). SNI 8459:2017 Metode uji fondasi dalam dengan High-Strain Dynamic Pile (HSDP). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Bowles, J. E. Alih Bahasa Oleh Silaban, Pantur. (1988). Analisis dan Desain Fondasi Jilid 1 (Edisi keempat). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2020. Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2016. Ketentuan Praktis Uji Fondasi Tiang Jembatan. Kemernterian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Gunawan, R. (1991). Pengantar Teknik Fondasi, Kanisius.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I edisi kedua. Gadjah Mada University press, Yogyakarta.
- Nurhazizah, P. (2020). Komparasi Kuat Dukung Tiang Pancang Menggunakan Beberapa Metode Dinamik dan Metode Statis Terhadap Hasil PDA Test Pada Pembangunan Masjid Raya Provinsi Riau, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.
- Pile Dynamics, Inc. 2009., "PDA-W Manual of Operation", Cleveland, Ohio 44128, USA.
- Putri, R. M. (2017). "Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Pile Driving Analyze (PDA) Test dan Standard Penetration Test (SPT)." Universitas Jember Repository.
- Riyanda, D., & Chairullah, B. (2020). "Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Data Kalendering dan Data SPT." *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 5(2), 1-10.

- Riyanda, D., & Yunita, H. (2023). Perbandingan Daya Dukung Menggunakan Metode Statis, Dinamis dan Hasil Uji PDA Fondasi Tiang Pancang Jembatan Peureulak. *Journal of The Civil Engineering Student*, 5(1), 78-84.
- Riyanda, D., Yunita, H., & Chairullah, B. (2020). "Perbandingan Daya Dukung Menggunakan Metode Statis, Dinamis dan Hasil Uji PDA Pondasi Tiang Pancang Jembatan Peureulak." *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 5(3), 1-10.
- Santoso, H. T., & Hartono, J. (2020). "Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis." *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret*, 4(1), 32-38.
- Sari, R. A. (2021). Analisis Kuat Dukung Dinamis Fondasi Tiang Pancang Pada Jembatan Overpass Sta 58+ 250 Jalan Tol Ruas Pekanbaru-Dumai Seksi 4, Tugas Akhir, Universitas Islam Riau.