

## PENGARUH KEMIRINGAN PONDASI TIANG TERHADAP DAYA DUKUNG TIANG TUNGGAL AKIBAT BEBAN VERTIKAL

Rudy Suryadi<sup>1</sup>, Soewignjo Agus Nugroho<sup>2</sup> dan Muhardi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau  
[rudy.suryadi20@gmail.com](mailto:rudy.suryadi20@gmail.com)

### ABSTRAK

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi sebagai penopang bangunan. Dalam beberapa konstruksi, pondasi tiang sengaja dimiringkan untuk menahan beban lateral yang cukup besar. Kecenderungan tiang miring dalam menopang beban vertikal juga perlu diperhatikan. Kajian berupa eksperimental laboratorium dilakukan dengan membuat model pondasi tiang diameter 2 cm. Model pondasi tiang dimiringkan sebesar  $\pm 0^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$ , dan  $\pm 30^\circ$ . Kemudian dilakukan uji pembebanan pada masing-masing model pondasi tiang, dan dilakukan interpretasi data hasil uji dengan metode grafik p-y, Mazurkiewicz, dan Chin, serta membandingkan dengan hasil analisa formula empirik. Hasil pengujian dengan menggunakan interpretasi metode grafik p-y menunjukkan adanya kecenderungan berkurangnya daya dukung seiring bertambahnya kemiringan model pondasi tiang. Analisa dengan formula empirik juga menunjukkan bentuk kecenderungan yang sama. Namun pada metode Mazurkiewicz dan Chin tidak menunjukkan kecenderungan yang sama dengan analisa menggunakan formula empirik.

**Kata kunci:** model, pasir, pondasi tiang, tiang miring, uji beban

## 1. PENDAHULUAN

### Latar belakang

Pondasi tiang merupakan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya ke lapisan tanah dalam yang cukup kuat daya dukungnya. Pondasi tiang digunakan untuk suatu bangunan yang tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang diterimanya.

Dalam beberapa konstruksi, pondasi tiang pancang sengaja dimiringkan untuk menahan beban lateral yang melebihi daya dukung izin lateral pada tiang pancang vertikal. Menurut Pect et al., (1953) dan McNulty (1956) di dalam Manoppo (2008) tiang pancang miring dapat digunakan untuk menaikkan kapasitas dukung jika tiang pancang vertikal tidak mampu memikul beban lateral yang ada. Oleh sebab itu tiang pancang miring (*batter pile*) biasanya digunakan pada konstruksi yang menerima beban lateral yang besar seperti *abutment* jembatan, pilar jembatan, struktur lepas pantai, dan dermaga.

Daya dukung vertikal pada tiang miring dirasa perlu untuk diperhatikan, karena pondasi tiang miring juga menopang beban vertikal yang ada di atasnya. Berdasarkan peneliti terdahulu memiringkan tiang dapat meningkatkan daya dukung horisontal tiang pancang. Namun untuk daya dukung vertikalnya dirasa perlu untuk diperhatikan juga. Penelitian ini membahas pengaruh kemiringan pondasi tiang terhadap daya dukung pondasi tiang tunggal akibat beban aksial pada tanah pasir.

### Kajian pustaka

Penelitian-penelitian mengenai pondasi tiang pancang miring telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, salah satunya dilakukan oleh Manoppo, F.J (2008) yang meneliti tentang pengaruh kemiringan tiang pada kapasitas dukung tiang pancang kelompok di tanah lempung lunak akibat beban aksial, dan menyimpulkan bahwa untuk menaikkan daya dukung tiang pancang dapat dilakukan dengan memiringkan tiang berkisar antara  $\pm 15^\circ$  s/d  $\pm 30^\circ$ .

Manoppo, F.J (2010) juga melakukan penelitian tentang perilaku tiang pancang miring pada daya dukung tiang pancang kelompok akibat beban vertikal di tanah pasir, dan menyimpulkan bahwa tiang pancang miring mengurangi daya dukung tiang pancang kelompok khususnya di tanah pasir akibat beban vertikal.

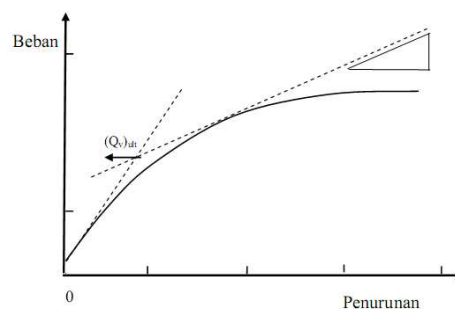
## Landasan teori

Pondasi tiang digunakan pada suatu bangunan yang tanah dasarnya tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul beban yang diterimanya, sedangkan tanah keras terletak pada kedalaman yang sangat dalam. Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan pondasi tiang antara lain fungsi bangunan, beban yang diterima oleh pondasi, jenis tanah dasar pondasi, dan ciri-ciri topografinya.

Daya dukung suatu pondasi tiang pancang dapat diperkirakan dari berbagai pengujian, baik pengujian laboratorium atau analisa empirik, maupun pengujian langsung di lapangan. Analisa empirik dengan menggunakan data *Cone Penetration Test* (CPT) dan atau data *Standard Penetration Test* (SPT), sedangkan pengujian di lapangan berupa *Static Loading Test* (uji pembebanan statik) dan *Pile Driving Analyzer* (PDA).

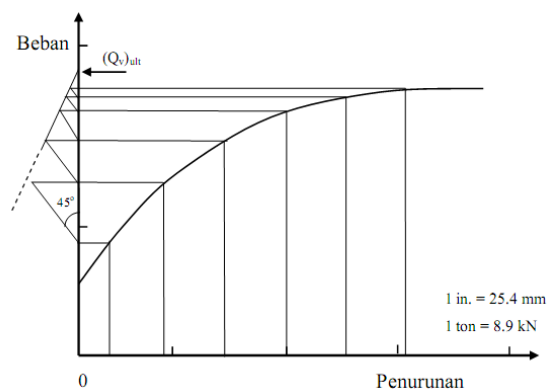
Interprestasi dari hasil uji pembebanan statik dapat menggunakan beberapa metode, yaitu metode p-y, metode Mazurkiewich (1972), dan metode Chin (1971).

Interpretasi hasil pengujian pembebanan metode grafik p-y merupakan cara sederhana untuk menentukan  $Q_{ult}$ . Penentuan  $Q_{ult}$  menggunakan grafik hubungan beban dan penurunan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik interpretasi data hubungan beban dan penurunan metode grafik p-y

Prakash, S. dan Sharma, H. (1990) didalam Arifin (2007) mengatakan metode ini diasumsikan bahwa dengan kapasitas tahanan terbesar akan didapatkan dari beban yang berpotongan, diantaranya beban yang searah sumbu tiang untuk dihubungkan beban dengan titik-titik dari posisi garis terhadap sudut  $45^\circ$  pada beban sumbu yang berbatasan dengan beban. Gambar 2 memperlihatkan cara interpretasi data metode Mazurkiewicz.



Gambar 2. Grafik interpretasi data hubungan beban dan penurunan metode Mazurkiewich (1972)

Chin (1971) mengemukakan bahwa kurva beban-penurunan berbentuk hiperbola dan dianggap bahwa hanya terjadi deformasi geser. Maka kurva beban-penurunan digambarkan dalam kaitannya dengan  $\Delta/Q$  adalah sebagai berikut:

$$\frac{\Delta}{Q} = C_1 \cdot \Delta + C_2 \quad (1)$$

Sehingga daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) merupakan *inverse slope* dari garis tersebut, yaitu:

$$Q_{ult} = \frac{1}{C_1} \quad (2)$$

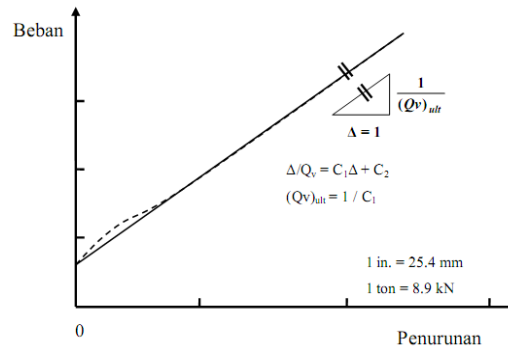
dengan:

$\Delta$  : penurunan

$Q$  : penambahan beban

$C_1$  : kemiringan garis lurus

$Q_{ult}$  : daya dukung ultimit



Gambar 3. Grafik interpretasi data hubungan beban dan penurunan metode Chin (1971)

Daya dukung ultimit pondasi tiang terdiri dari daya dukung selimut ( $Q_s$ ) dan daya dukung ujung ( $Q_p$ ). Daya dukung selimut dapat menggunakan persamaan (4) dan daya dukung ujung menggunakan persamaan (5) yaitu:

$$Q_{ult} = Q_s + Q_p \quad (3)$$

$$Q_s = K \cdot \sigma'_z \cdot \tan(\phi) \cdot P \cdot L \quad (4)$$

$$Q_p = \sigma'_z \cdot Nq \cdot A_p \quad (5)$$

$$K = 1 - \sin(\phi) \quad (6)$$

dengan:

$Q_{ult}$  : daya dukung ultimit

$Q_s$  : daya dukung selimut tiang

$Q_p$  : daya dukung ujung tiang

$K$  : Koefisien tekanan tanah lateral

$\phi$  : sudut geser

$P$  : perimeter tiang

$L$  : kedalaman tiang

$A_p$  : luas penampang melintang tiang

$Nq$  : faktor kapasitas dukung

Pada pondasi tiang miring,  $Q_{ult}$  terproyeksi ke arah vertikal dan horisontal seperti yang terlihat pada Gambar 4. Sehingga daya dukung vertikal tiang ( $Q_v$ ) dan daya dukung horisontal tiang ( $Q_h$ ) adalah:

$$Q_v = Q_{ult} \cdot \cos(\beta) \quad (7)$$

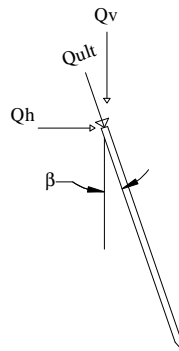
$$Q_h = Q_{ult} \cdot \sin(\beta) \quad (8)$$

dengan:

$Q_v$  : daya dukung vertikal

$Q_h$  : daya dukung horisontal

$\beta$  : sudut kemiringan tiang



Gambar 4. Proyeksi  $Q_{ult}$  terhadap vertikal dan horisontal

## 2. METODOLOGI

### Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir bersih yang berasal dari sungai kamapar, yang dikeringkan terlebih dahulu. Pasir bersih merupakan pasir yang telah disaring terlebih dahulu dengan saringan no.10.

### Alat

Adapun alat-alat yang digunakan adalah alat pengujian kadar air, alat pengujian berat volum, alat pengujian *specific gravity*, alat pengujian *direct shear*, *dial gauge*, satu set beban, palu, model pondasi tiang, bak pengujian.

Model pondasi tiang terbuat dari mortar beton yang dicetak menyerupai pondasi tiang pancang berpenampang lingkaran dengan diameter 2 cm dan diisi dengan tulangan besi diameter 8 mm. Panjang model pondasi tiang rata-rata 58 cm. Gambar model pondasi tiang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Model Pondasi Tiang Pancang

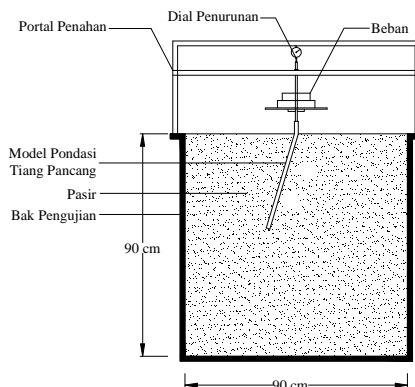
Bak pengujian terbuat dari besi yang digunakan untuk tempat pasir sebagai media pemancangan model pondasi tiang dan dilengkapi beberapa portal. Bak pengujian berukuran lebar 150 cm, panjang 90 cm, dan tinggi 90 cm. Detail bek pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.

### Prosedur pengujian

Pengujian pendahuluan pada umumnya merujuk pada ASTM. Adapun pengujian pendahuluan adalah pengujian kadar air, pengujian *specific gravity*, analisa saringan, pengujian berat volum, pengujian *direct shear*, dan pengujian sudut geser.

Pengujian utama merupakan pengujian pembebanan model pondasi tiang yang dilakukan di dalam bak pengujian. Bak pengujian diisi pasir secara bertahap hingga penuh. Pengisian pasir ke dalam bak dibagi menjadi tiga lapis atau tiga tahap dengan tebal 30 cm. Setiap lapis diberi beban merata sebesar  $0,01 \text{ kg/cm}^2$  dengan tujuan agar kepadatan merata. Untuk lapisan selanjutnya diperlakukan sama seperti lapisan pertama.

Kepadatan setiap lapisan dikontrol dengan menggunakan *nuclear density meter*. Kemudian dilanjutkan dengan *setting* model pondasi tiang. Model dipancang ke dalam bak pengujian dengan cara dipukul dengan palu secara perlahan hingga terbenam sepanjang 55 cm. Setiap model uji mempunyai kemiringan yang berbeda, yaitu kemiringan  $\pm 0^\circ$ ,  $\pm 15^\circ$ , dan  $\pm 30^\circ$ . Selama proses pemancangan berlangsung, posisi dan kemiringan tiang terus dikontrol dengan menggunakan timbangan benang dan *theodolite*. Kemudian dilakukan *setting* portal pembebanan yang diposisikan di atas model uji, dan *setting dial gauge* yang diletakkan di atas tiang seperti yang dilihat pada Gambar 6. *Dial gauge* digunakan untuk mengetahui penurunan yang terjadi.



Gambar 6. Detail bak pengujian

Setelah *setting* alat selesai, dilakukan pembebanan pada model pondasi tiang. Pembebanan dilakukan secara bertahap. Pada setiap tahap diberikan tambahan beban sebesar 4 kg, setelah mencapai 14 kg, penambahan beban dilakukan sebesar 2 kg hingga selesai. Penambahan beban diberikan apabila tiang tidak mengalami penurunan lagi atau bacaan pada dial gauge lebih kecil dari 0,01 mm/jam. Pembebanan dihentikan apabila penurunan yang terjadi telah mencapai minimal sebesar 6% dari diameter tiang pada sekali tahap pembebanan. Pencatatan penurunan dilakukan pada setiap tahap pembebanan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil pengujian propertis pasir

Pengujian propertis pasir berupa pengujian sifat fisik dan pengujian sifat mekanik. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah pengujian kadar air, pengujian berat jenis, pengujian berat volum, *coefficient of uniformity*, *coefficient of curvature*, dan *internal skin friction*. Hasil dari pengujian propertis pasir disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Propertis Pasir

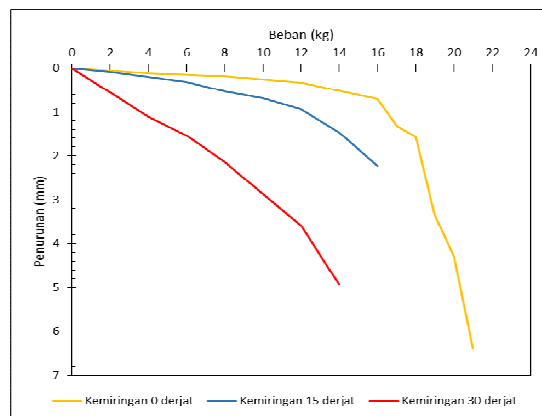
Propertis Pasir	Simbol	Satuan	Nilai
Kadar air	w	%	0,07
Berat jenis	Gs	-	2,65
Berat Volum	$\gamma$	gr/cm <sup>3</sup>	1,52
<i>Coefficient of uniformity</i>	$c_u$	-	2,88
<i>Coefficient of curvature</i>	$c_c$	-	1,01
<i>Internal skin friction</i>	$\phi$	degree	29
Klasifikasi tanah	<i>Poorly graded sand (SP)</i>		

Berdasarkan ASTM D2847 dengan  $C_u < 6$  dan  $C_c > 1$ , maka pasir yang digunakan pada penelitian ini termasuk dalam klasifikasi pasir dengan pembagian ukuran butiran buruk atau *poorly graded sand (SP)*. Berdasarkan data propertis pasir yang didapat, kepadatan pasir termasuk kepadatan rendah dan pasir yang dimasukkan ke dalam bak pengujian merupakan jenis pasir halus dengan butiran seragam.

#### Hasil pengujian pembebanan model pondasi

Hasil pengujian pembebanan disajikan dalam Gambar 7, yang merupakan grafik hubungan antara beban dan penurunan.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa model pondasi tiang kemiringan  $0^\circ$  membutuhkan beban yang lebih besar dibandingkan kemiringan  $15^\circ$  dan  $30^\circ$  untuk mencapai besar penurunan yang sama, dan model pondasi tiang kemiringan  $15^\circ$  membutuhkan beban yang lebih besar dibandingkan kemiringan  $30^\circ$  untuk mencapai besar penurunan yang sama.

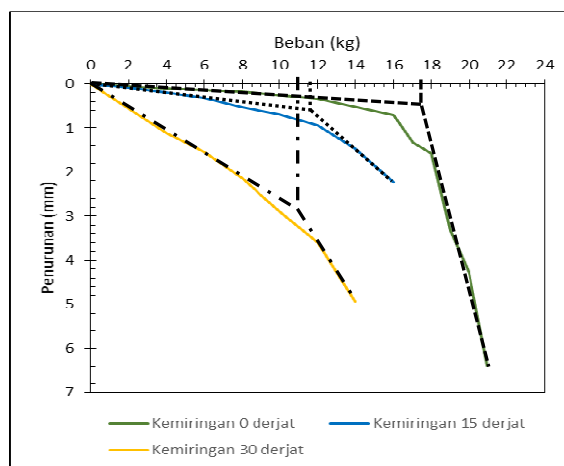


Gambar 7. Grafik Hubungan Beban dan Penurunan

### Interpretasi data hasil pengujian pembebanan

Untuk mendapatkan daya dukung ultimit ( $Q_{ult}$ ) model pondasi tiang pada masing-masing kemiringan, maka dilakukan interpretasi data hasil pengujian pembebanan berupa data hubungan antara beban dan penurunan. Metode interpretasi data yang digunakan yaitu metode p-y, metode Mazurkiewicz dan metode Chin.

Interpretasi data hasil pengujian pembebanan metode p-y disajikan dalam Gambar 8. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin miring model pondasi tiang,  $Q_{ult}$  yang diperoleh semakin kecil. Adapun nilai  $Q_{ult}$  untuk model pondasi tiang kemiringan  $0^\circ$  adalah 17,50 kg, kemiringan  $15^\circ$  adalah 11,80 kg, dan kemiringan  $30^\circ$  adalah 10,95 kg.

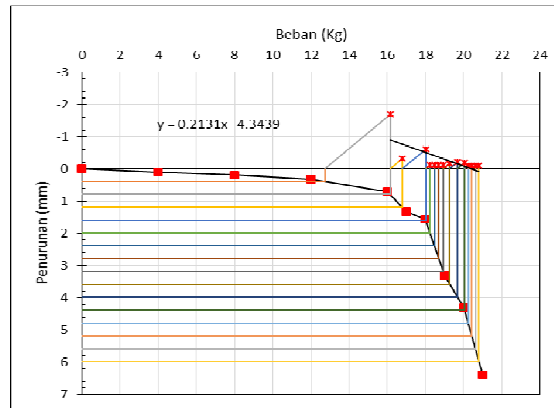


Gambar 8. Grafik Interpretasi Data Metode p-y untuk Model Pondasi Tiang

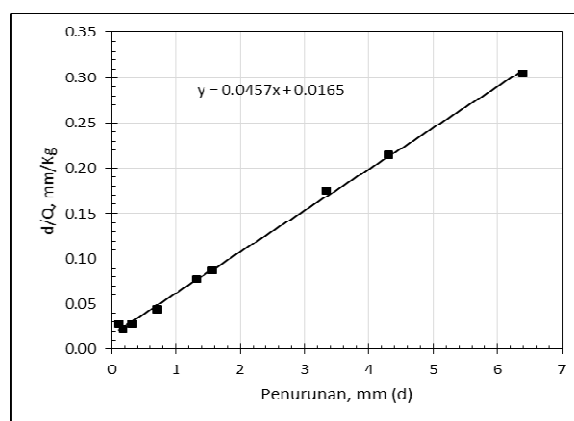
Cara interpretasi data hasil pengujian pembebanan metode Mazurkiewicz disajikan dalam Gambar 9. Nilai  $Q_{ult}$  model pondasi tiang kemiringan  $0^\circ$  adalah 20,384 kg, kemiringan  $15^\circ$  adalah 16,653 kg, dan kemiringan  $30^\circ$  adalah 21,494 kg.

Sedangkan cara interpretasi data hasil pengujian pembebanan metode Chin disajikan dalam Gambar 10. Adapun nilai  $Q_{ult}$  model pondasi tiang kemiringan  $0^\circ$  adalah 21,882 kg, kemiringan  $15^\circ$  adalah 22,831 kg, dan kemiringan  $30^\circ$  adalah 45,455 kg.

Rekapitulasi hasil interpretasi dari kedua metode dapat dilihat pada Tabel 2. Kedua metode mempunyai hasil yang berbeda-beda pada setiap variasi kemiringan model pondasi tiang.



Gambar 9. Grafik Interpretasi Data Metode Mazurkiewicz untuk Model Pondasi Tiang Kemiringan 0°



Gambar 10. Grafik Interpretasi Data Metode Chin untuk Model Pondasi Tiang Kemiringan 0°

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Interpretasi Data Pengujian Pembebanan

Kemiringan tiang	Q <sub>ult</sub> (kg)		
	p-y	Mazurkiewicz	Chin
0°	17,50	20.38	21.88
15°	11,80	16.65	22.83
30°	10,95	21.49	45.45

Dari Tabel 2, hasil interpretasi metode p-y menunjukkan bahwa Q<sub>ult</sub> semakin mengecil seiring bertambahnya kemiringan tiang. Hasil interpretasi metode Chin menunjukkan bahwa Q<sub>ult</sub> semakin besar seiring bertambah besarnya kemiringan tiang. Sedangkan hasil interpretasi metode Mazurkiewicz tidak menunjukkan perubahan yang linier, terlihat pada kemiringan 15° Q<sub>ult</sub> menurun dibandingkan kemiringan 0°, dan kembali naik pada kemiringan 30°.

### Hasil analisa model pondasi tiang dengan formula empirik

Daya dukung yang berkerja pada pondasi tiang terdiri dari daya dukung selimut tiang (Q<sub>s</sub>) dan daya dukung ujung tiang (Q<sub>p</sub>). Diameter tiang yang dianalisa adalah 2 cm, dan tertanam sedalam 55 cm. Propertis tanah yang digunakan sesuai dengan Tabel 1. Gambar 4 menjelaskan proyeksi daya dukung ultimit pondasi tiang terhadap vertikal dan horizontal. Nilai daya dukung model pondasi tiang didapat dari persamaan (3), (4), (5), dan (6) adalah sebagai berikut: Q<sub>s</sub> = 2,455 kg, Q<sub>p</sub> = 12,213 kg, Q<sub>ult</sub> = 14,667 kg, Q<sub>v-15</sub> = 14,165 kg, dan Q<sub>v-30</sub> = 12,700 kg

Nilai Q<sub>ult</sub> di atas merupakan daya dukung ultimit tiang tegak yang juga merupakan daya dukung vertikal tiang kemiringan 0°. Apabila pondasi tiang dimiringkan dengan panjang tiang yang terbenam adalah sama, maka daya dukung vertikal untuk pondasi tiang kemiringan 15° (Q<sub>v-15</sub>) adalah 14,165 kg, dan daya dukung vertikal untuk pondasi tiang kemiringan 30° (Q<sub>v-30</sub>) adalah 12,700 kg.

### Hubungan kemiringan pondasi tiang dengan daya dukung

Berdasarkan  $Q_{ult}$  hasil interpretasi data pengujian pembebanan pada model pondasi tiang dan  $Q_{ult}$  hasil perhitungan dengan formula empirik, terlihat bahwa pada hasil interpretasi dengan metode grafik p-y daya dukung menurun seiring bertambahnya kemiringan tiang. Kecenderungan ini juga terlihat pada hasil analisa dengan formula empirik, daya dukung menurun seiring bertambahnya kemiringan tiang. Namun hasil interpretasi dengan menggunakan metode Mazurkiewicz memperlihatkan kecenderungan yang berbeda dengan hasil interpretasi metode grafik p-y dan analisa dengan formula empirik, yaitu daya dukung semakin besar seiring bertambahnya kemiringan tiang. Sedangkan hasil interpretasi metode Chin tidak menunjukkan kecenderungan apakah daya dukung menurun atau naik seiring bertambahnya kemiringan tiang.

#### 4. KESIMPULAN

- Daya dukung vertikal pondasi tiang mempunyai kecenderungan menurun seiring bertambahnya kemiringan tiang.
- Daya dukung hasil pengujian berbeda dengan hasil daya dukung analisa dengan formula empirik. Tetapi terdapat kesamaan kecenderungan perubahan daya dukung terhadap perubahan kemiringan pondasi tiang.
- Hasil formula empirik mempunyai kecenderungan yang sama dengan hasil interpretasi metode grafik p-y, namun berbeda dengan hasil interpretasi metode Mazurkiewicz dan metode Chin.
- Interpretasi menggunakan metode grafik p-y menunjukkan hasil yang lebih mendekati hasil analisa formula empirik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur atas rahmat Allah, SWT. Terimakasih diucapkan kepada kedua orang tua dan keluarga atas doa dan nasehatnya. Kemudian terimakasih yang sebesar-besarnya kepada bapak Suwigno Agus Nuroho, ST., MT. dan bapak Dr. Muhardi yang telah membimbing hingga penelitian selesai. Terimakasih kepada semua yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, R. N., Analisa Daya Dukung Tiang Spunpile Dengan metode Uji Pembebanan Statik (*Loading Test*), Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- Ariyanto, D. D., dan Untung, Dr. Ir. Djoko., 2013. Studi Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Dengan Beberapa Metode Analisa, *Jurnal Teknik Pomits*, Vol.1(1):1-5.
- ASTM D 1143, 2010. *Standard Test Method for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load*. American Society for Testing Materials, USA.
- Coduto, D. P., 2001. *Foundation Design Principles and Practices*, Second Edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Hardiyatmo, H. C., 2010. Analisis dan Perancangan Fondasi, bagian II, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Manoppo, F. J., 2008. Pengaruh Kemiringan Tiang pada Kapasitas Dukung Tiang Pancang Kelompok di Tanah Lempung Lunak Akibat Beban Aksial. *Tekno*, volume06/No.48/Desember 2008.
- Manoppo, F. J., 2009. Behaviour of the Ultimate Bearing Capacity of Single Flexible Batter Pile under Horizontal Loads in Homogeneous Sand. Civil Department Faculty of Engineering Sam Ratulangi University Manado. *Dinamika Teknik Sipil* No: 110/DIKTI/Kep/2009.
- Manoppo, F. J., 2010. Perilaku Tiang Pancang Miring Pada Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Akibat Beban Vertikal di Tanah Pasir. *Media Teknik Sipil*, Volume X, Juli 2010. ISSN 1412-0976.
- Sardjono, HS., 1988. Pondasi Tiang Pancang Jilid II, Sinar Wijaya, Surabaya.
- Tomlinson, M. J., 2004. *Pile Design and Construction Practice. Fourth Edition*. E & FN Spon, London.