

## SURAT TUGAS

Nomor: 627-R/UNTAR/PENELITIAN/VIII/2024

Rektor Universitas Tarumanagara, dengan ini menugaskan kepada saudara:

**ANIEK PRIHATININGSIH, Ir., M.M.**

Untuk melaksanakan kegiatan penelitian/publikasi ilmiah dengan data sebagai berikut:

Judul : ANALISIS PENGARUH DIAMETER TIANG TERHADAP DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG TUNGGAL DENGAN PEMBEBANAN STATIK DAN SIKLIK  
Nama Media : Jurnal Mitra Teknik Sipil  
Penerbit : Program Studi Sarjana Teknik Sipil  
Volume/Tahun : 7/2/2024/Mei  
URL Repository : <https://journal.untar.ac.id/index.php/jmts/article/view/27929>

Demikian Surat Tugas ini dibuat, untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya dan melaporkan hasil penugasan tersebut kepada Rektor Universitas Tarumanagara

15 Agustus 2024

**Rektor**



**Prof. Dr. Ir. AGUSTINUS PURNA IRAWAN**

Print Security : b4e3f5ff7ced6ab0e9baa4c3ea4d1e4a

Disclaimer: Surat ini dicetak dari Sistem Layanan Informasi Terpadu Universitas Tarumanagara dan dinyatakan sah secara hukum.

# JMPTS

JURNAL MITRA TEKNIK SIPIL

---

Volume 7 No. 2 Mei 2024



e-ISSN : 2622-545X  
Program Studi Sarjana Teknik Sipil UNTAR

## **JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil**

Volume 7, Nomor 2, Mei 2024

### **Redaksi**

<b>Ketua Dewan Editor</b> ( <i>Editor-in-Chief</i> )	Prof. Ir. Leksmono Suryo Putranto, M.T., Ph.D.
<b>Editor Pelaksana</b> ( <i>Executive Editors</i> )	Andy Prabowo, S.T., M.T., Ph.D. Vittorio Kurniawan, S.T., M.Sc. Arif Sandjaya, S.T., M.T.
<b>Dewan Editor</b> ( <i>Editorial Board</i> )	Dr. Widodo Kushartomo, S.Si., M.Si. Dr. Daniel Christianto, S.T., M.T. Yenny Untari Liucius, S.T., M.T. Ir. Aniek Prihatiningsih, M.M. Ir. Arianti Sutandi, M.Eng. Ir. Sunarjo Leman, M.T.
<b>Mitra Bestari</b> ( <i>Reviewers</i> )	Prof. Ir. Roesdiman Soegiarso, M.Sc., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Prof. Ir. Chaidir Anwar Makarim, MCE., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Basuki Anondho, M.T. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Najid, M.T. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Wati Asriningsih Pranoto, M.T. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Henny Wiyanto, M.T. (Universitas Tarumanagara) Ir. Oei Fuk Jin, S.T., M.Eng., D.Eng. (Universitas Tarumanagara) Dr. Mega Waty, M.T. (Universitas Tarumanagara) Alfred J. Susilo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Universitas Tarumanagara) Dr. Ir. Onnyxiforus Gondokusumo, M.Eng. (Universitas Tarumanagara) Dr. Nurul Fajar Januriyadi (Universitas Pertamina) Dr. Ir. Usman Wijaya, S.T., M.T. (Universitas Kristen Krida Wacana) Vienti Hadsari, PhD (Universitas Atma Jaya Yogyakarta) Ir. Andryan Suhendra, M.T. (Binus University) Reynaldo Siahaan, S.T., M.T. (Universitas Katolik Santo Thomas) Hokbyan R. Angkat, S.T., M.Sc. (Praktisi Transportasi) Ir. Ali S. Iskandar, S.T., M.T. (Praktisi Geoteknik)
<b>Alamat Redaksi</b> ( <i>Editorial Address</i> )	Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara Alamat: Jl. Letjen S. Parman No.1, Jakarta Barat, 11440 Kampus 1 Gedung L Lantai 5 Telepon: 021-5672548 ext.331 E-mail: jmts@untar.ac.id

## **JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil**

Volume 7, Nomor 2, Mei 2024

### **Kata Pengantar**

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil (E-ISSN 2622-545X) merupakan jurnal *peer-reviewed* yang dipublikasikan oleh Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara sebagai wadah peneliti, mahasiswa, dan dosen dari dalam maupun luar UNTAR untuk mempublikasikan makalah hasil penelitian dan studi ilmiah dalam bidang Teknik Sipil.

JMTS mempublikasikan artikel ilmiah pada bidang Teknik Sipil dengan sub-bidang sebagai berikut:

- Struktur
- Material Konstruksi
- Geoteknik
- Sistem dan Teknik Transportasi
- Manajemen Konstruksi
- Keairan

Tim editor JMTS menerima artikel yang berisi laporan kegiatan pengujian laboratorium/lapangan disertai simulasi numerik berbasis metode teruji yang bertujuan untuk memperoleh temuan baru, evaluasi terhadap hasil temuan eksisting, kritik terhadap metode eksisting. Selain itu, JMTS juga menerima artikel berisi *literature review* mengenai perkembangan dan penerapan *building information modelling*, *artificial intelligence*, *virtual reality*, *augmented reality* dan aspek digitalisasi lainnya pada dunia konstruksi.

JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil terbitan Volume 7 Nomor 2 bulan Mei 2024 merupakan terbitan ke-24 sejak terbitan pertama pada Agustus 2018. Penerbitan JMTS dilakukan secara berkala setiap 3 bulan, yaitu pada bulan Februari, Mei, Agustus, dan November.

Pada edisi Volume 7 Nomor 1 terdapat artikel yang merupakan laporan kegiatan magang mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara. Artikel ini menjadi syarat luaran bagi mahasiswa yang memilih kegiatan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) melalui kegiatan magang.

JMTS berhasil mendapatkan akreditasi peringkat 4 akreditasi jurnal ilmiah periode 1 tahun 2022 (Sinta4).

Penerbitan jurnal ini dapat berlangsung secara maksimal berkat kontribusi berbagai pihak. Terima kasih kepada tim editor yang telah membantu proses penerbitan dan Reviewer yang telah berkenan memberikan saran perbaikan untuk menjaga kualitas jurnal. Semoga jurnal ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu Teknik Sipil.

Salam,

Tim Redaksi Jurnal Mitra Teknik Sipil

## **JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil**

Vol. 7 No. 2, Mei 2024

### **Daftar Isi**

ANALISIS PENGARUH GRADASI UKURAN BUTIRAN KASAR TANAH TERHADAP NILAI KUAT TEKAN <i>Vikent Dior Reagan dan Gregorius Sandjaja Sentosa</i>	373-380
ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG <i>SPUN</i> DAN PERSEGI PADA TANAH BERBUTIR HALUS DAN KASAR <i>Louis Jordan Divani dan Aniek Prihatiningsih</i>	381-392
PENYEBAB KEGAGALAN KONSTRUKSI BETON (STUDI KASUS: PROYEK KONSTRUKSI X DI JAKARTA SELATAN) <i>Tasya Yunita dan Arianti Sutandi</i>	393-414
ANALISIS KERUSAKAN PERKERASAN JALAN MENGGUNAKAN METODE <i>PAVEMENT CONDITION INDEX</i> (PCI) DI KECAMATAN CIAMPEA <i>Kelvin Eliansyah, Rulhendri, dan Nurul Chayati</i>	415-426
ANALISIS STABILITAS <i>COFFERDAM</i> JEMBATAN DENGAN KOMBINASI PERKUATAN PADA JEMBATAN WAMPU SUMATERA UTARA <i>Novia Komala Sari, Zakwan Gusnadi, dan Fitriana Sarifah</i>	427-434
MANFAAT DAN HAMBATAN DALAM PENERAPAN <i>BUILDING INFORMATION MODELLING</i> (BIM) <i>Dedyanto Wijaya, Fathan Fauzan, dan Fuk Jin Oei</i>	435-442
PERKEMBANGAN BIM DAN DAMPAKNYA PADA TRANSFORMASI SEKTOR KONSTRUKSI <i>Frenki, Farry Yusak Mokoagow, dan Fuk Jin Oei</i>	443-454
TEKNOLOGI 3D <i>PRINTING</i> DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI <i>Sunaryo Wongso Suharto, Firman Sarifudin, dan Fuk Jin Oei</i>	455-464
IMPLEMENTASI <i>VALUE ENGINEERING</i> UNTUK OPTIMASI PEMBIAYAAN PADA PROYEK KONSTRUKSI <i>Ni Putu Githa Sugiandhari, Rida Respati, dan Norseta Ajie Saputra</i>	465-478
STUDI KOMPARASI HASIL PENGUJIAN PEMBEBANAN STATIS UNTUK DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG <i>Jason Kovic Xu dan Alfred Jonathan Susilo</i>	479-488
KETIDAKLENGKAPAN KONTRAK DAN SENGKETA KONSTRUKSI DI INDONESIA <i>Dian Laras Wati, Firman Sarifudin, dan Mega Waty</i>	489-502
<b>ANALISIS PENGARUH DIAMETER TIANG TERHADAP DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG TUNGGAL DENGAN PEMBEBANAN STATIK DAN SIKLIK</b> <i>David Jose dan Aniek Prihatiningsih</i>	<b>503-514</b>

EVALUASI PENURUNAN TERHADAP IMPLEMENTASI ELEMEN PENGAKU BETON PADA METODE PERBAIKAN TANAH <i>DEEP CEMENT MIXING</i> <i>Robert Antony dan Ali Iskandar</i>	515-524
PENGARUH NILAI SENSITIVITAS TANAH TERHADAP DAYA DUKUNG TIANG PADA <i>BATTER PILE</i> <i>Jason Limanjaya dan Alfred Jonathan Susilo</i>	525-538
ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN <i>GROUND ANCHOR</i> DENGAN TIANG BOR PADA FONDASI <i>RAFT</i> DALAM MENAHAN BEBAN TARIK <i>Victor Richard Lee dan Alfred Jonathan Susilo</i>	539-552
PENGARUH PENINGKATAN KUAT GESER AKIBAT PENAMBAHAN PASIR PANTAI PADA TANAH RANGKAS BITUNG <i>Ervina Melinda dan Aniek Prihatiningsih</i>	553-560
ANALISIS PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN GEOGRID YANG DIPERKUAT DENGAN <i>RIGID INCLUSION</i> DAN <i>BORED PILE</i> <i>Cakra Wicaksana Pahlawan dan Andryan Suhendra</i>	561-572
ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR BIASA DAN <i>MULTI-BELLED PILE</i> <i>Brian Gian dan Aniek Prihatiningsih</i>	573-582
HUBUNGAN EFISIENSI KAPASITAS DUKUNG TERHADAP JARAK ANTAR TIANG PADA KELOMPOK TIANG <i>Shaq Qorull'Ali Mahmud dan Ali Iskandar</i>	583-588
POTENSI TANAH EKSPANSIF DI WILAYAH JAKARTA DAN SEKITARNYA <i>Odilia Sandrina Levany dan Gregorius Sandjaja Sentosa</i>	589-596
ANALISIS PERBANDINGAN PRODUKTIVITAS JAM KERJA LEMBUR DAN JAM KERJA NORMAL PADA PEMBANGUNAN GEDUNG ASRAMA HAJI PONTIANAK <i>Kevin Andrea Kunjono Putra, Lusiana, dan Rafie</i>	597-610
PERKEMBANGAN <i>inTEGRASI</i> DIGITAL TWIN dan robotik di INDUSTRI KONSTRUKSI <i>Dian Laras Wati, Prima Ranna, dan Oei Fuk Jin</i>	611-620
STRATEGI PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DIGITAL DALAM METODE KERJA DI INDUSTRI KONSTRUKSI UNTUK PEMBANGUNAN NASIONAL <i>Jatiaryo Sidiq Ramadhan dan Oei Fuk Jin</i>	621-630
STUDI KASUS OPTIMASI BIAYA PROYEK BANGUNAN GREEN BUILDING DENGAN METODE VALUE ENGINEERING <i>Aurelia Clarissa dan Basuki Anondho</i>	630-642
ANALISIS PENGGUNAAN POLIAMIDA PADA RPC UNTUK MENINGKATKAN KETAHANAN TERHADAP TEMPERATUR	643-650

*Widodo Kushartomo dan John Tory*

- ANALISIS DESAIN PERKERASAN LENTUR BERDASARKAN MDPJ 2017 MENGGUNAKAN METODE MEKANISTIK EMPIRIS PADA PROGRAM KENPAVE* 651-662  
*Edi Yusuf Adiman dan Agus Yuda Pranata*
- FORMULASI FAKTOR MODIFIKASI KUAT TARIK BELAH UNTUK KUAT GESER BETON TANPA AGREGAT KASAR 663-670  
*Daniel Christianto, Wati Asriningsih Pranoto, Andrew Hartanto Jusuf, Dhea Angelica Kho, dan Tavio*
- STUDI RASIONALISASI POS CURAH HUJAN SISTEM SUNGAI SEMARANG BARAT 671-682  
*Theresia Puji Setyaningsih, Slamet Imam Wahyudi, Soedarsono Soedarsono*
- ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS BALOK KOMPOSIT STANDAR DENGAN BALOK KOMPOSIT KASTELA MENGGUNAKAN APLIKASI MIDAS FEA NX 683-696  
*Darryl Sebastian dan Sunarjo Leman*
- AKSESIBILITAS TRANSPORTASI BAGI PENGGUNA KURSI RODA DI TRANSIT ORIENTED DEVELOPMENT DUKUH ATAS 697-708  
*Raynaldi Handojo Putra dan Leksmono Suryo Putranto*
- ANALISIS PERMINTAAN DAN KEPUASAN PENUMPANG TERHADAP PELAYANAN BUS TRANSJAKARTA KORIDOR 9 709-720  
*Emillio Chandra dan Leksmono Suryo Putranto*
- PENDAPAT PENGGUNA PERLINTASAN LIAR TENTANG PENUTUPAN KEMBALI PADA PERLINTASAN TIDAK SEBIDANG JL. KYAI TAPA 721-732  
*Okky Kenjihiro, Yenny Untari Liucius, dan Hokbyan RS Angkat*
- TANGGAPAN MASYARAKAT MENGENAI PENGARUH FAKTOR DEMOGRAFIS DAN GEOGRAFIS TERHADAP MODA TRANSPORTASI BISKITA TRANS PAKUAN 733-744  
*Filbert Manuel Prisy Hendrawan dan Leksmono Suryo Putranto*
- ANALISIS KEPUASAN PENGGUNA PARKIR STASIUN KERETA TANGERANG 745-750  
*Vicky Eldora Wuisan, Yenny Untari Liucius, dan Hokbyan RS Angkat*
- ANALISIS MUTU PELAYANAN TRANSPORTASI TRANSJAKARTA DI HALTE JELAMBAR 751-760  
*Dian Indah Lestari dan Leksmono Suryo Putranto*
- FAKTOR-FAKTOR PENGHAMBAT PENGGUNAAN SEPEDA DI DAERAH GROGOL 761-772  
*Ricardo dan Leksmono Suryo Putranto*
- PERSEPSI PENGGUNA LRT JABODEBEK STASIUN HARJAMUKTI 773-784  
*Eldwin Imantaka, Najid, dan Hokbyan RS Angkat*

## ANALISIS PENGARUH DIAMETER TIANG TERHADAP DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG TUNGGAL DENGAN PEMBEBANAN STATIK DAN SIKLIK

David Jose<sup>1</sup> dan Aniek Prihatiningsih<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*djosewijaya@gmail.com*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*aniekp@ft.untar.ac.id*

Masuk: 09-01-2024, revisi: 10-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 01-02-2024

### ABSTRACT

*The pile foundation is a frequently chosen option in constructing multi-story buildings, where the vertical load is substantial and needs to be transferred to hard soil/strata. Multi-story structures impose significant loads, and these loads are directed into the hard soil/strata using pile foundations. Apart from multi-story buildings, pile foundations can also be employed to resist lateral loads such as seismic forces, wind, waves, and others. Therefore, this research is conducted to gain a more thorough understanding of the influence of pile diameter on the lateral load-carrying capacity of a single-pile foundation, both under static and cyclic loading conditions. The study involves piles with diameters of 0.3 m, 0.6 m, and 1 m, under fixed-head conditions, with a safety factor of 2.5. The comparison is made regarding static lateral load-carrying capacity using the Broms method, Reese-Matlock method, and the p-y curve method, as well as cyclic lateral load-carrying capacity using the SOLCYP-G method. From this study, it is concluded that the diameter of the pile does not affect the reduction factor of lateral load-bearing capacity due to cyclic loading; instead, it is the load itself that determines how much the lateral load-bearing capacity of the pile decreases.*

*Keywords: Broms method; Reese-Matlock method; lateral load; single pile foundations; cyclic load*

### ABSTRAK

Fondasi tiang merupakan pilihan yang sering digunakan dalam mendirikan bangunan bertingkat, dimana bangunan bertingkat memberikan beban yang sangat besar dan beban tersebut disalurkan ke tanah keras / *hard strata* dengan menggunakan fondasi tiang. Selain pada bangunan bertingkat, fondasi tiang juga dapat digunakan untuk menahan beban lateral seperti beban gempa, angin, ombak, dan lain-lain. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk memahami lebih saksama mengenai pengaruh diameter tiang terhadap nilai daya dukung lateral fondasi tiang tunggal baik dalam kondisi pembebanan statik maupun siklik. Penelitian dilakukan pada tiang tunggal berdiameter 0,3 m, 0,6 m, dan 1 m dengan kondisi *fixed-head* dan *safety factor* bernilai 2,5. Perbandingan dilakukan terhadap nilai daya dukung lateral statik dengan menggunakan metode Broms, metode Reese-Matlock, dan metode Kurva P-Y, dan daya dukung lateral siklik dengan metode SOLCYP-G. Dari penelitian ini, disimpulkan bahwa diameter tiang tidak mempengaruhi faktor reduksi daya dukung akibat pembebanan siklik, melainkan beban sendiri yang menentukan seberapa berkurangnya nilai daya dukung lateral tiang.

Kata kunci: Metode Broms; metode Reese-Matlock; beban lateral; fondasi tiang tunggal; beban siklik

### 1. PENDAHULUAN

Fondasi dalam adalah elemen krusial dalam dunia konstruksi yang memainkan peran sentral dalam memastikan stabilitas dan keberlanjutan bangunan. Disebut fondasi dalam karena fondasi ini ditempatkan pada lapisan tanah yang lebih dalam, jauh di bawah permukaan tanah. Fondasi ini dirancang untuk menanggung beban bangunan bertingkat dan mendistribusikannya dengan aman ke lapisan tanah keras yang memiliki daya dukung lebih tinggi. Fondasi dalam biasanya digunakan untuk bangunan dengan beban berat, seperti gedung bertingkat tinggi, jembatan, atau struktur industri besar. Dengan fondasi dalam, beban bangunan ditransfer melalui berbagai elemen penopang, seperti tiang pancang, bore pile ke lapisan tanah yang lebih stabil atau bahkan batuan di bawahnya (Bowles, 2001).

Untuk mendesain sebuah fondasi yang kokoh, diperlukan perhatian terhadap beberapa jenis pembebanan dikarenakan sifatnya yang berbeda-beda. Beban aksial bersifat sejajar dengan garis sumbu batang, sehingga bersifat menekan/menarik dan menghasilkan gaya dalam normal. Beban lateral bersifat tegak lurus dengan garis sumbu batang, berupa gaya geser dan menghasilkan gaya dalam lintang. Selain itu, beban dapat dibedakan menjadi beban statis/diam dan beban dinamis/berubah-ubah (Tomlinson & Woodward, 2008).

Beban aksial adalah gaya atau tekanan yang diterapkan secara langsung pada sumbu utama sebuah struktur, baik dalam arah vertikal atau horizontal. Beban ini bergerak sepanjang sumbu tengah struktur dan dapat menyebabkan regangan atau kompresi pada elemen struktural. Contoh beban aksial adalah beban gravitasi yang disebabkan oleh berat sendiri suatu bangunan (Poulos & Davis, 1980).

Beban lateral adalah beban yang diterapkan pada struktur dalam arah horizontal. Beban ini cenderung mempengaruhi stabilitas lateral struktur, seperti daya tahan terhadap angin kencang atau gempa bumi. Beban lateral dapat diakibatkan oleh angin, gempa bumi, atau aksi eksternal lainnya yang bekerja secara horizontal pada struktur (Poulos & Davis, 1980).

Menurut Gunawan (1991), secara umum fondasi dibagi menjadi dua jenis, yaitu fondasi dangkal dan fondasi dalam. Fondasi dangkal merupakan fondasi yang hanya mampu menerima beban relatif kecil dan secara langsung menerima beban bangunan. Sedangkan fondasi dalam adalah fondasi yang mampu menerima beban bangunan yang besar dan meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batuan yang sangat dalam. Pemilihan jenis fondasi dapat didasarkan pada beberapa aspek (Sardjono, 1988):

- Fungsi bangunan atas yang akan dipikul oleh fondasi.
- Besarnya beban dan beratnya bangunan atas.
- Keadaan tanah dimana bangunan akan didirikan.
- Biaya fondasi dibandingkan dengan bangunan atas.

Fondasi tiang juga dapat digunakan sebagai *friction pile* pada fondasi rakit untuk mengurangi nilai penurunan yang terjadi, hal ini biasa dilakukan dengan cara menambah tiang pada bagian bawah fondasi rakit agar nilai penurunan tidak melewati batas ijin (Laksmna & Prihatiningsih, 2020).

Penelitian ini membandingkan nilai daya dukung lateral fondasi tiang dengan diameter tiang sebagai variabel bebas, panjang tiang dan parameter tanah sebagai variabel kontrol dan kondisi pembebanan yang digunakan adalah pembebanan statik dan siklik. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh dari diameter tiang terhadap nilai daya dukung lateral fondasi tiang tunggal, baik akibat beban statik maupun beban siklik. Dengan diadakannya penelitian ini, diharapkan pengaruh dari pembebanan siklik lebih dipertimbangkan dalam perencanaan fondasi tiang pada daerah yang rawan terjadi beban siklik, seperti pada daerah *offshore*.

### Metode Broms

Daya dukung lateral fondasi tiang tunggal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Prof. Broms pada tahun 1964. Metode perhitungan ini menggunakan penyederhanaan diagram tekanan tanah dengan menganggap bahwa sepanjang tiang tersebut tahanan tanah mencapai nilai ultimit. Berikut ini adalah beberapa keuntungan menggunakan metode Broms:

- Dapat digunakan untuk tiang panjang maupun tiang pendek.
- Dapat digunakan untuk kondisi *free-head* maupun *fixed-head*.

Selain itu, ada pula beberapa kerugian dalam penggunaan metode Broms, diantaranya yaitu:

- Hanya berlaku pada tanah homogen.
- Tidak dapat digunakan untuk tanah berlapis-lapis.

Menurut Broms (1964) perhitungan defleksi lateral tiang pada tanah kohesif dapat dihitung menggunakan Persamaan 1-2.

$$\beta = \left( \frac{Kh \cdot d}{4 \cdot Ep \cdot Ip} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

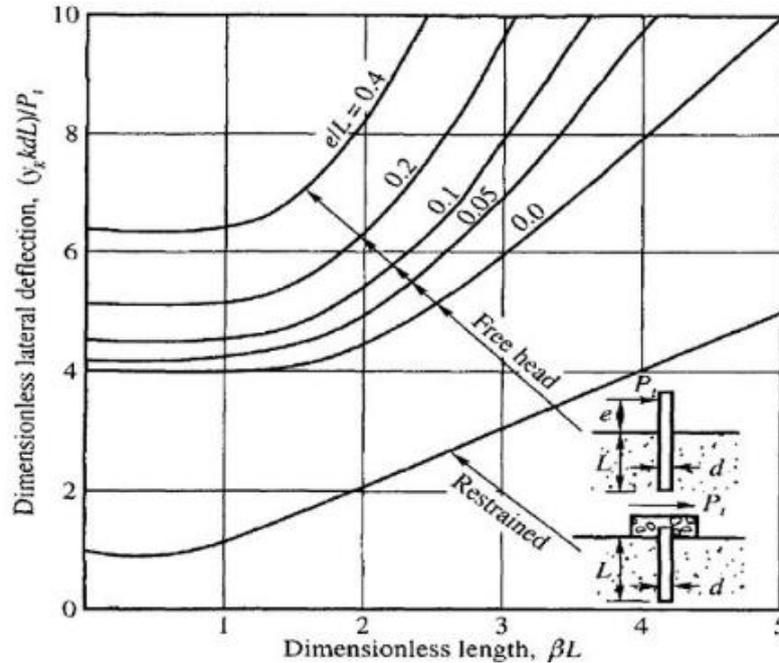
$$kh = \frac{K_1}{1,5} \quad (2)$$

Nilai  $k_1$  dapat menggunakan nilai rekomendasi oleh Terzaghi (1955) pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi nilai  $k_1$  dengan  $C_u$  (Terzaghi, 1955)

Konsistensi	Kaku	Sangat Kaku	Keras
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	100 – 200	200 – 400	> 400
$k_1$ (MN/m <sup>3</sup> )	18 – 36	36 – 72	> 72
$k_1$ rekomendasi	27	54	> 108

Nilai  $\beta L$  diplot ke dalam Gambar 1 dan didapat nilai  $y_x k d L / P$ , dan P dapat dicari dengan memasukkan nilai  $y_x$  sebesar 6 mm untuk gempa kuat.



Gambar 1. Defleksi lateral tiang pada tanah kohesif (Broms, 1964)

### Metode Reese-Matlock

Teori Reese-Matlock menggunakan defleksi lateral izin untuk menentukan kapasitas lateral ultimit dengan menggunakan pendekatan reaksi *subgrade*. Pada metode ini, tiang dibedakan menjadi tiang kaku/pendek dan tiang elastik/panjang serta kondisi kepala tiang terjepit dan bebas.

Untuk kepala tiang terjepit (*fixed head*), defleksi  $y_x$  dan momen  $M_x$  dapat dihitung dengan Persamaan 3-6.

$$y_x = F_y \frac{H \cdot T^3}{E_p I_p} \quad (3)$$

$$M_x = F_m \cdot H \cdot T \quad (4)$$

$$z = x/T \quad (5)$$

$$T = \left( \frac{E_p I_p}{\eta_h} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (6)$$

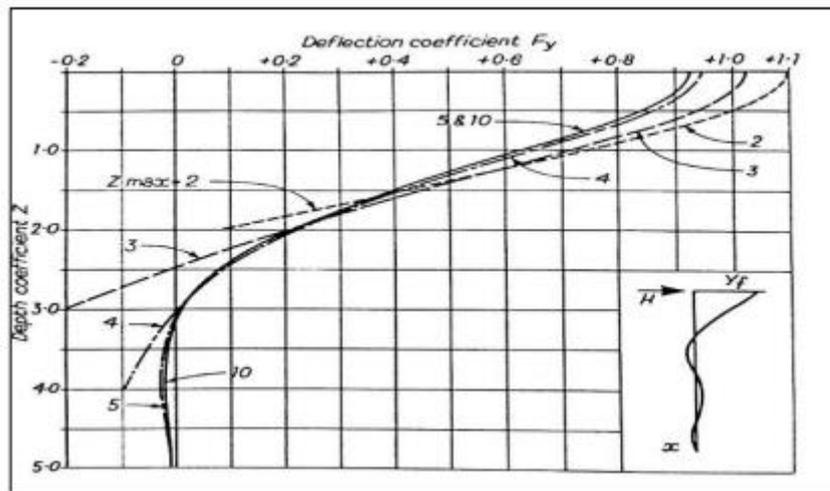
dengan  $H$  = beban lateral (kN),  $T$  = faktor kekakuan tiang,  $z$  = koefisien kedalaman,  $F_y$  dan  $F_m$  = koefisien Reese-Matlock kepala tiang terjepit.

Nilai koefisien Reese-Matlock ( $F_y$  dan  $F_m$ ) untuk kepala tiang terjepit didapat dengan menggunakan grafik pada Gambar 2-3 dengan cara memasukkan nilai koefisien kedalaman  $z$ .

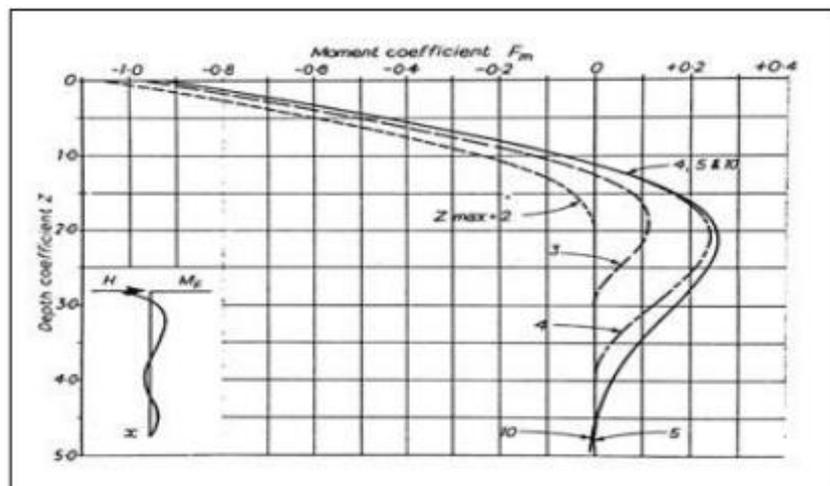
### Metode kurva P-Y

Metode yang paling sering digunakan dalam perhitungan daya dukung lateral fondasi tiang adalah metode Kurva P-Y, terdapat rumus berbeda untuk kondisi tanah yang berbeda. Karena penelitian dilakukan pada tanah kohesif kaku di atas permukaan air tanah, maka digunakan rumus seperti pada Gambar 4.

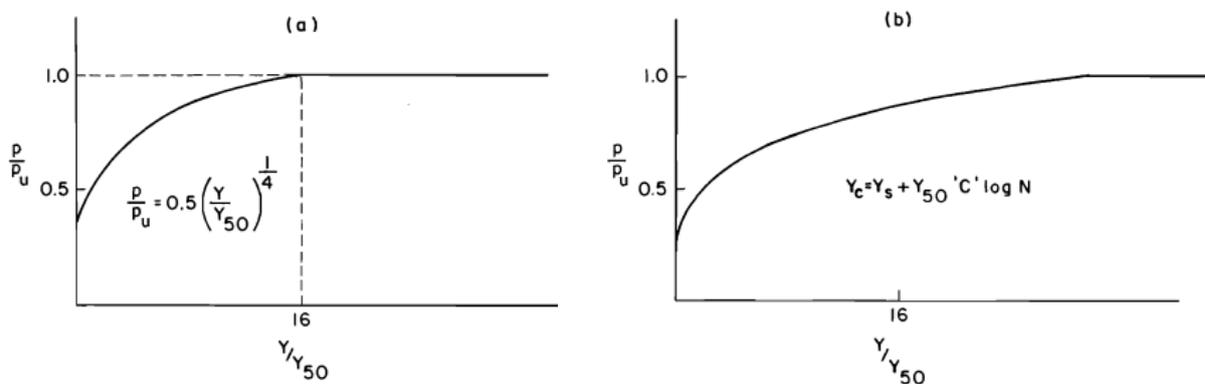
$P_u$  = tahanan ultimit tanah (kN),  $y_{50}$  = defleksi tiang saat 50% kuat geser tanah [ $2,5 \epsilon_{50} d$ ],  $\epsilon_{50}$  = regangan saat 50% kuat geser tanah (didapat dari uji UU *triaxial compression*),  $d$  = lebar tiang (m),  $y_s$  = defleksi statis,  $C = 9,6 R^4$ ,  $N$  = jumlah siklus beban,  $R = \frac{p}{p_u}$ .



Gambar 2. Koefisien  $F_y$  untuk tiang *fixed head* (Reese & Matlock, 1956)



Gambar 3. Koefisien  $F_m$  untuk tiang *fixed head* (Reese & Matlock, 1956)



Gambar 4. Grafik  $p$ - $y$  tanah lempung kaku di atas muka air tanah (a) pembebanan statis dan (b) pembebanan siklik (Reese & Meyer, 1979)

### Metode SOLCYP-G

Untuk memperhitungkan pengaruh pembebanan siklik digunakan metode SOLCYP yang dikembangkan pada tahun 2013 berdasarkan hasil pengujian pada fondasi tiang pada lapangan dengan skala nyata maupun di laboratorium

dengan skala model (Puech & Garnier, 2017). Metode ini menyebutkan bahwa pengaruh pembebanan siklik dapat diperhitungkan dalam desain fondasi tiang dengan menaikkan defleksi yang terjadi pada tiang setelah dibebani lateral siklik pada siklus ke-N dengan Persamaan 7-10.

- Untuk kondisi tanah pasir:

$$\frac{y_N}{y_1} = 1 + \frac{0,235}{CR} \log(N) \left( \frac{H_c}{H_{max}} \right)^{0,35} \quad (7)$$

$$CR = \left( \frac{E_p I_p}{(E_p I_p)_{fl}} \right)^{1/5} \quad (8)$$

Dengan CR adalah koefisien kekakuan untuk menentukan tipe tiang antara fleksibel atau kaku pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai koefisien kekakuan CR (Puech & Garnier, 2017)

Tipe	Kekakuan tiang $E_p I_p$	Koefisien Kekakuan CR
Fleksibel	$E_p I_p \leq (E_p I_p)_{fl}$	CR = 1
Menengah	$(E_p I_p)_{fl} \leq E_p I_p \leq (E_p I_p)_{ri}$	$CR = \left( \frac{E_p I_p}{(E_p I_p)_{fl}} \right)^{1/5}$
Kaku	$E_p I_p > (E_p I_p)_{ri}$	$CR = \left( \frac{E_p I_p}{(E_p I_p)_{fl}} \right)^{1/5}$

Keterangan: ri adalah *rigid* dan fl adalah *flexible*

- Untuk kondisi tanah lempung digunakan persamaan 9 & 10:
  - *Normally consolidated clays* dan *slightly overconsolidated saturated clays*

$$\frac{y_N}{y_1} = 1,1N^{0,5 \frac{H_c}{H_{max}}} \quad (9)$$

- *Unsaturated overconsolidated clays*

$$\frac{y_N}{y_1} = 1,1N^{0,16 \frac{H_c}{H_{max}}} \quad (10)$$

Untuk mencari nilai momen maksimum dan kedalaman dimana momen maksimum terjadi setelah dibebani lateral siklik pada siklus ke-N dapat menggunakan Persamaan 11-13:

- Untuk tanah pasir

$$\frac{M_{max,N}}{M_{max,1}} = 1 + \frac{0,094}{CR} \log N \left( \frac{H_c}{H_{max}} \right)^{0,35} \quad (11)$$

- Untuk tanah lempung *overconsolidated* dan *normally consolidated*

$$\frac{M_{max,N}}{M_{max,1}} = N^{0,25 \frac{H_c}{H_{max}}} \quad (12)$$

$$\frac{Z_{M_{max,N}}}{Z_{M_{max,1}}} = 1,1 \times N^{0,22 \frac{H_c}{H_{max}}} \quad (13)$$

## 2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan laporan hasil pengujian tanah pada sebuah proyek di Cilangkap, Jakarta Timur. Sifat tanah pada penelitian ini adalah tanah kohesif silt dengan konsistensi kaku hingga sangat kaku. Laporan hasil pengujian tanah tersebut tidak terdapat hasil uji laboratorium sehingga data yang diperlukan dapat dicari dengan menggunakan korelasi dengan parameter yang dimiliki. Dari studi literatur, data-data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan parameter desain tanah yang dibutuhkan untuk digunakan pada analisis.

Perhitungan daya dukung lateral statik dan siklik menggunakan data yang sudah diolah untuk tiga diameter tiang telah direncanakan, yaitu diameter 0,3 meter, 0,6 meter, dan 1 meter. Kemudian analisis membandingkan nilai yang didapat dari beberapa metode dalam satu tabel dan juga grafik untuk membuat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

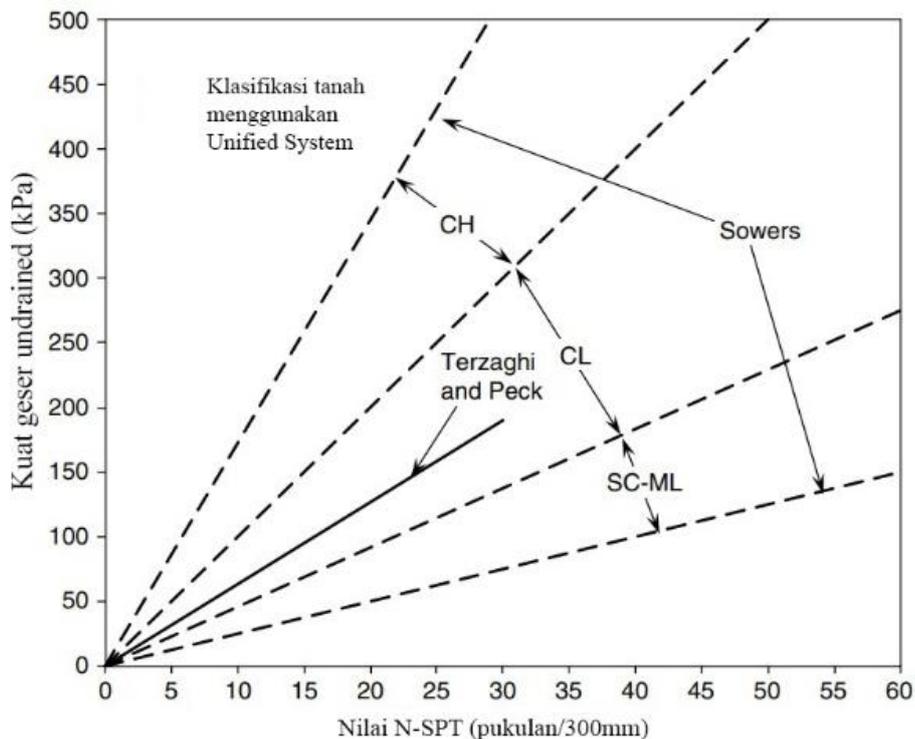
#### Parameter tanah

Dari hasil pengujian tanah diperoleh *boring log* tanah pada Tabel 3.

Tabel 3. *Boring log* proyek X di Cilangkap, Jakarta Timur

Kedalaman (m)	N-SPT (pukulan/30cm)	$S_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )
0-5	15	90	20
5-10	50	300	22
10-15	30	180	22
15-20	50	300	22
20-30	60	360	22

Untuk perhitungan atau analisis digunakan parameter kuat geser  $S_u$ , dan berat jenis tanah. Nilai berat jenis tanah menggunakan nilai tipikal, sedangkan nilai kuat geser  $S_u$  didapat dengan korelasi dengan N-SPT menggunakan grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Korelasi pendekatan antara kuat geser dengan nilai N-SPT (Terzaghi & Peck, 1967; Sowers 1979)

#### Data desain tiang

Fondasi tiang didesain dengan panjang 15 m agar duduk di atas tanah keras pada kedalaman 15 m, dengan  $f_c'$  25 MPa dengan parameter seperti Tabel 4.

#### Perhitungan daya dukung lateral akibat pembebanan statik

Tabel 5 adalah parameter desain tiang yang digunakan, dengan nilai tersebut maka dapat dicari nilai dari  $\beta$  dan juga  $\beta L$  yang diperlukan dalam perhitungan dengan metode Broms.

Didapat nilai  $H_u$  dan  $H_{all}$  dengan metode Broms pada Tabel 6.

Tabel 4. Data fondasi tiang

Parameter	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
$L_p$ (m)	15	15	15
$d_p$ (m)	0,3	0,6	1
$f_c'$ (MPa)	25	25	25
$E_p$ (MPa)	23500	23500	23500
$I_p$ (m <sup>4</sup> )	0,000397	0,006361	0,049087
$M_n$ (kNm)	44,37	357,17	1570,73

Tabel 5. Parameter desain tiang

Parameter	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
$L_p$ (m)	15	15	15
$d_p$ (m)	0,3	0,6	1
$f_c'$ (MPa)	25	25	25
$E_p$ (MPa)	23500	23500	23500
$I_p$ (m <sup>4</sup> )	0,000397	0,006361	0,049087
$\beta$	0,5570	0,3312	0,2258
$\beta L$	8,35	4,96	3,38

Tabel 6. Hasil perhitungan daya dukung lateral dengan metode Broms

	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
$\beta L$	0,6579	0,3912	0,2667
$y_{kdL/P}$	8	5,5	3,95
$y_x$ (mm)	6	6	6
$K$ (MN/m <sup>3</sup> )	23,33333	23,33333	23,33333
$d$ (m)	0,3	0,6	1
$L$ (m)	15	15	15
$H_u$ (kN)	78,75	229,09	531,65
$H_{all}$ (SF=2,5)	31,50	91,64	212,66
$H_{all}$ (ton)	3,15	9,16	21,27

Untuk fondasi tiang yang digunakan pada penelitian ini, didapati nilai koefisien  $F_m$  dan  $F_y$  seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Koefisien  $F_m$  dan  $F_y$

x	D = 0,3 m (T = 0,8213)			D = 0,6 m (T = 1,43)			D = 1 m (T = 2,1518)		
	z	$F_y$	$F_m$	z	$F_y$	$F_m$	z	$F_y$	$F_m$
0	0	0,91	-0,9	0	0,91	-0,9	0	0,91	-0,9
1	1,1643	0,6	-0,1	0,6687	0,8	-0,35	0,4444	0,9	-0,55
2	2,3287	0,2	0,25	1,3375	0,5	0,05	0,8888	0,73	-0,2
3	3,4931	0	0,18	2,006	0,25	0,25	1,3332	0,5	0,05
4	4,6575	-0,025	0,05	2,6750	0,1	0,23	1,7777	0,35	0,2
5	5,821	0	0	3,3438	0	0,15	2,2221	0,2	0,25
6	6,9863	0	0	4,0126	-0,025	0,08	2,6665	0,1	0,23
7	8,1507	0	0	4,6813	-0,02	0,05	3,1109	0,05	0,2
8	9,3151	0	0	5,3501	0	0	3,5554	0	0,15
9	10,4795	0	0	6,0189	0	0	3,9998	-0,025	0,07
10	11,6439	0	0	6,6877	0	0	4,4442	-0,02	0,03
11	12,8083	0	0	7,3564	0	0	4,8886	-0,01	0
12	13,9727	0	0	8,0252	0	0	5,3331	0	0
13	15,1371	0	0	8,6940	0	0	5,7775	0	0
14	16,3015	0	0	9,3627	0	0	6,2219	0	0
15	17,4659	0	0	10,0315	0	0	6,6663	0	0

Didapat nilai  $H_u$  dan  $H_{all}$  dengan metode Reese-Matlock dengan batasan  $y$  seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil perhitungan daya dukung lateral metode Reese-Matlock dengan batasan  $y = 6 \text{ mm}$  ( $SF = 2,5$ )

Tiang	$H_u$ (kN)	$H_{all}$ (kN)	$H_{all}$ (ton)	$M_u$ (kNm)	$M_n$ (kNm)
D = 0,3 m	111,1944	44,4777	4,4477	82,1944	44,37
D = 0,6 m	337,0784	134,8313	13,4831	433,824	357,17
D = 1 m	763,2889	305,3155	30,5315	1478,26	1570,73

$M_u$  pada tiang D = 0,3 m dan 0,6 m melebihi nilai  $M_n$  tiang sehingga tiang akan mengalami kegagalan akibat beban momen yang berlebih sehingga nilai  $H_u$  untuk tiang D = 0,3 m dan 0,6 m menggunakan perhitungan dengan batasan nilai  $M_n$ .

Didapati nilai  $H_u$  dan  $H_{all}$  metode Reese-Matlock dengan batasan  $M_n$  seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil perhitungan daya dukung statik lateral metode Reese-Matlock dengan batasan  $M_n$  ( $SF = 2,5$ )

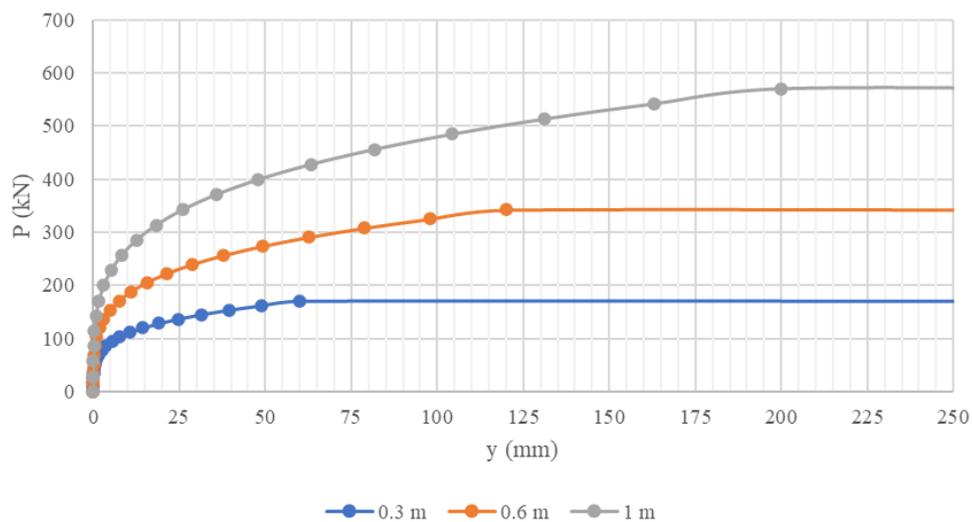
Tiang	$H_u$ (kN)	$H_{all}$ (kN)	$H_{all}$ (ton)	$y_x$ (mm)
D = 0,3 m	60,0247	24,0099	2,4009	3,2389
D = 0,6 m	277,5185	111,0074	11,1007	4,9398
D = 1 m	811,039	324,4156	32,4415	6,3753

Pada Kurva P-Y dibutuhkan nilai  $P_u$  di kepala tiang, nilai  $y_{50}$  dan nilai  $\epsilon_{50}$  untuk dilakukan perhitungan, pada penelitian ini kurva yang digunakan adalah kurva untuk tanah lempung kaku diatas permukaan air dengan nilai  $\epsilon_{50}$  adalah 0,005. Nilai parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Nilai parameter untuk perhitungan Kurva P-Y

	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
$P_u$ (kN)	171	342	570
$y_{50}$	0,00375	0,0075	0,0125

Dari parameter tersebut maka dapat digambarkan Kurva P-Y masing-masing tiang seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Kurva P-Y

Didapati nilai  $H_u$  dan  $H_{all}$  metode Kurva P-Y seperti pada Tabel 11.

### Perhitungan daya dukung lateral akibat pembebanan siklik

Beban siklik digunakan beban ekstrim yaitu beban siklik *one-way*  $H_c/H_{max} = 0,5$  dengan jumlah siklus  $N = 1000$ , metode yang digunakan merupakan metode SOLCYP-G untuk tanah lempung dengan validitas metode ini yaitu hingga  $N = 1000$  dan beban bersifat *one-way*/satu arah.

Tabel 11. Daya dukung lateral menggunakan metode Kurva P-Y dengan batasan  $y = 6$  mm (SF = 2,5)

	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
$H_u$ (kN)	96,1603	161,7218	237,2221
$H_{all}$ (kN)	38,4641	64,6887	94,8888
$H_{all}$ (ton)	3,8464	6,4688	9,4888

Digunakan Persamaan 10 untuk *unsaturated overconsolidated clays*, sehingga didapat nilai  $y_N/y_1$  adalah:

$$\frac{y_N}{y_1} = 1,1(1000)^{0,16(0,5)} = 1,9115$$

Dengan memasukkan nilai  $y_N = 6$  mm maka didapat nilai  $y_1$  sebagai batasan defleksi kepala tiang pada kondisi pembebanan siklik:

$$\frac{y_N}{y_1} = 1,9115 \rightarrow y_1 = \frac{6}{1,9115} = 3,1387 \text{ mm}$$

Tabel 12-13 berikut adalah hasil perhitungan daya dukung lateral dari ketiga metode akibat pembebanan siklik dengan menggunakan SF = 2,5.

Tabel 12. Hasil perhitungan daya dukung lateral akibat pembebanan siklik dalam satuan kN

$H_u$ (kN)	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
Broms	41,20	119,8413	278,1127
Reese-Matlock	58,17	176,3313	399,2892
Kurva P-Y	81,78	137,5372	201,747

Tabel 13. Daya dukung lateral ijin akibat pembebanan siklik dalam satuan kN (SF = 2,5)

$H_{all}$ (kN)	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m
Broms	16,48	47,9365	111,2451
Reese-Matlock	23,27	70,5325	159,7157
Kurva P-Y	32,71	55,0148	80,6988

### Summary

Setelah dilakukan analisis untuk semua diameter tiang, maka diperoleh data daya dukung lateral statik dan siklik seperti pada Tabel 14-15.

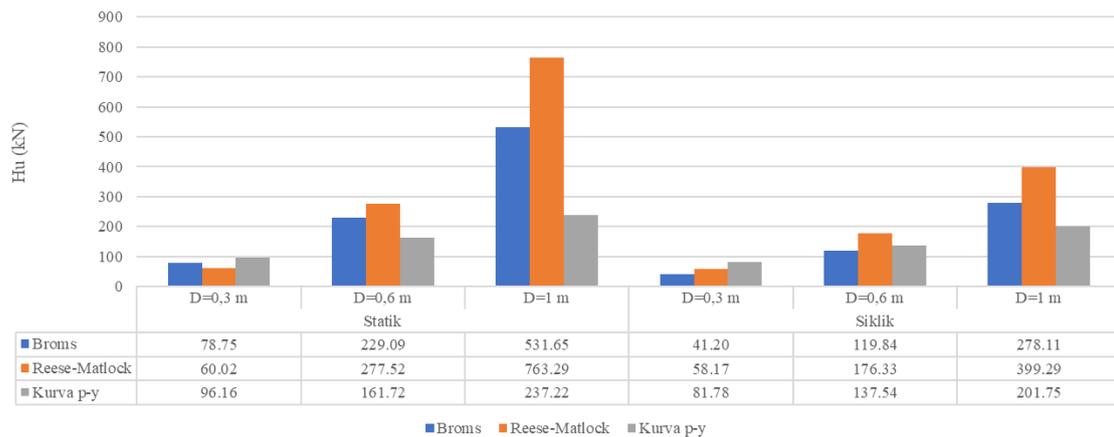
Tabel 14. Perbandingan daya dukung lateral ( $H_u$ ) dengan beban statik dan siklik dalam satuan kN

	Statik			Siklik			Faktor Reduksi Siklik
	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m	
Broms	78,75	229,0909	531,6456	41,20	119,8413	278,1127	0,5231
Reese-Matlock	60,0247	277,5185	763,2889	58,17	176,3313	399,2892	0,5231
Kurva P-Y	96,1603	161,7218	237,2221	81,78	137,5372	201,747	0,8505

Tabel 15. Perbandingan daya dukung lateral ( $H_{all}$ ) dengan beban statik dan siklik dalam satuan kN

	Statik			Siklik			Faktor Reduksi Siklik
	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m	D = 0,3 m	D = 0,6 m	D = 1 m	
Broms	31,5000	91,6364	212,6582	16,4782	47,9365	111,2451	0,5231
Reese-Matlock	24,0099	111,0074	305,3156	23,2671	70,5325	159,7157	0,5231
Kurva P-Y	38,4641	64,6887	94,8888	32,7120	55,0149	80,6988	0,8505

Nilai  $H_u$  dari ketiga metode kemudian digambarkan dalam bentuk grafik seperti Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan daya dukung lateral dengan beban statik dan siklik pada tiang tunggal

Dengan menggunakan metode SOLCYP-G didapati nilai daya dukung siklik lebih rendah dari daya dukung statik dengan nilai reduksi sebesar 0,5231 pada metode Broms dan Reese-Matlock, sedangkan pada metode Kurva P-Y nilai reduksi sebesar 0,8505. Hal ini disebabkan oleh perumusan Broms dan Reese-Matlock dimana variabel  $y$  (defleksi) berpangkat 1, sedangkan pada Kurva P-Y, variabel  $y$  (defleksi) berpangkat  $\frac{1}{4}$ .

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh berdasarkan hasil analisis dalam penelitian ini adalah:

- Nilai daya dukung lateral ketiga metode berbeda satu dengan lainnya karena berbedanya variabel yang diperhitungkan. Pada metode Broms variabel yang diperhitungkan merupakan *subgrade modulus*, panjang tiang, lebar tiang, kekakuan tiang, serta parameter penampang tiang. Metode Reese-Matlock hanya memperhitungkan variabel kekakuan tiang dan *subgrade modulus* dengan nilai  $T$ , dan berpusat di koefisien yang diberikan oleh Matlock. Sedangkan pada metode Kurva P-Y, variabel yang digunakan bergantung pada kondisi tanah, pada kondisi tanah lempung kaku diatas permukaan air variabel yang digunakan hanyalah diameter tiang dan  $\epsilon_{50}$  dimana nilai  $\epsilon_{50}$  menggunakan nilai tipikal berdasarkan nilai  $S_u$  tanah.
- Faktor reduksi siklik pada metode Broms dan Reese-Matlock bernilai 0,5231 sedangkan pada Kurva P-Y bernilai 0,8505. Hal ini disebabkan oleh perumusan Broms dan Reese-Matlock dimana variabel  $y$  (defleksi) berpangkat 1, sedangkan pada Kurva P-Y, variabel  $y$  (defleksi) berpangkat  $\frac{1}{4}$ .
- Diameter tiang merupakan faktor yang tidak mempengaruhi nilai reduksi daya dukung lateral akibat pembebanan siklik. Melainkan, nilai reduksi daya dukung lateral akibat pembebanan siklik dipengaruhi oleh nilai  $H_c/H_{max}$  dari beban tersebut dan juga jumlah siklus  $N$  yang terjadi.
- Faktor reduksi daya dukung lateral akibat pembebanan siklik terbilang cukup besar, walaupun nilai  $H_u$  siklik lebih besar dari  $H_{all}$  statik sehingga pembebanan siklik mungkin tidak menyebabkan kegagalan struktur fondasi tiang, kelalaian dalam memperhitungkan beban siklik dapat membahayakan dan mengurangi keamanan struktur bawah maupun atas.

Saran yang dapat penulis berikan dari hasil penelitian ini adalah:

- Dengan diadakannya penelitian ini, diharapkan pengaruh pembebanan siklik lebih diperhatikan pada daerah rawan gempa dimana dapat terjadi beban siklik satu arah maupun bolak-balik.
- Langkah yang dapat dilakukan untuk menambah ketahanan tiang terhadap beban siklik ialah menambahkan “sirip” pada dinding tiang seperti pada penelitian yang dilakukan oleh J. Peng dan rekannya (Peng et al., 2011).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Broms, B. B. (1964). Lateral resistance of piles in cohesive soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 90(2) <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000611>
- Gunawan, R. (1991). *Pengantar teknik pondasi*. Kanisius.
- Laksmiana, T., & Prihatiningsih, A. (2020). Analisis fondasi tiang rakit yang menyatu di suatu bangunan. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(2), 361-374. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v3i2.7022>

- Peng, J., Clarke, B. G., & Rouainia, M. (2011). Increasing the resistance of piles subject to cyclic lateral loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(10), 977-982. [https://doi.org/https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000504](https://doi.org/https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000504)
- Puech, A., & Garnier, J. (2017). *Design of piles under cyclic loading*. John Wiley & Sons
- Reese, L. C., & Meyer, B. J. (1979). *Analysis of single piles under lateral loading*. Center For Highway Research.
- Reese, L., & Matlock, H. (1956). *Non-dimensional solutions for laterally loaded piles with soil modulus assumed proportional to depth*. Association of Drilled Shaft Contractors.
- Sardjono, H. S. (1988). *Pondasi tiang pancang jilid 1*. Sinar Wijaya.
- Terzaghi, K. (1955). Evaluation of coefficients of subgrade reaction. *Géotechnique*, 5(4), 41-50. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.4.297>

