

## SURAT TUGAS

Nomor: 625-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 DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR  
BIASA DAN MULTI-BELLED PILE  
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/27934>

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 : da4bda8c3132d2256ad10bd04c24aff6

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

### Lembaga

- Pembelajaran
- Kemahasiswaan dan Alumni
- Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat
- Penjaminan Mutu dan Sumber Daya
- Sistem Informasi dan Database

### Fakultas

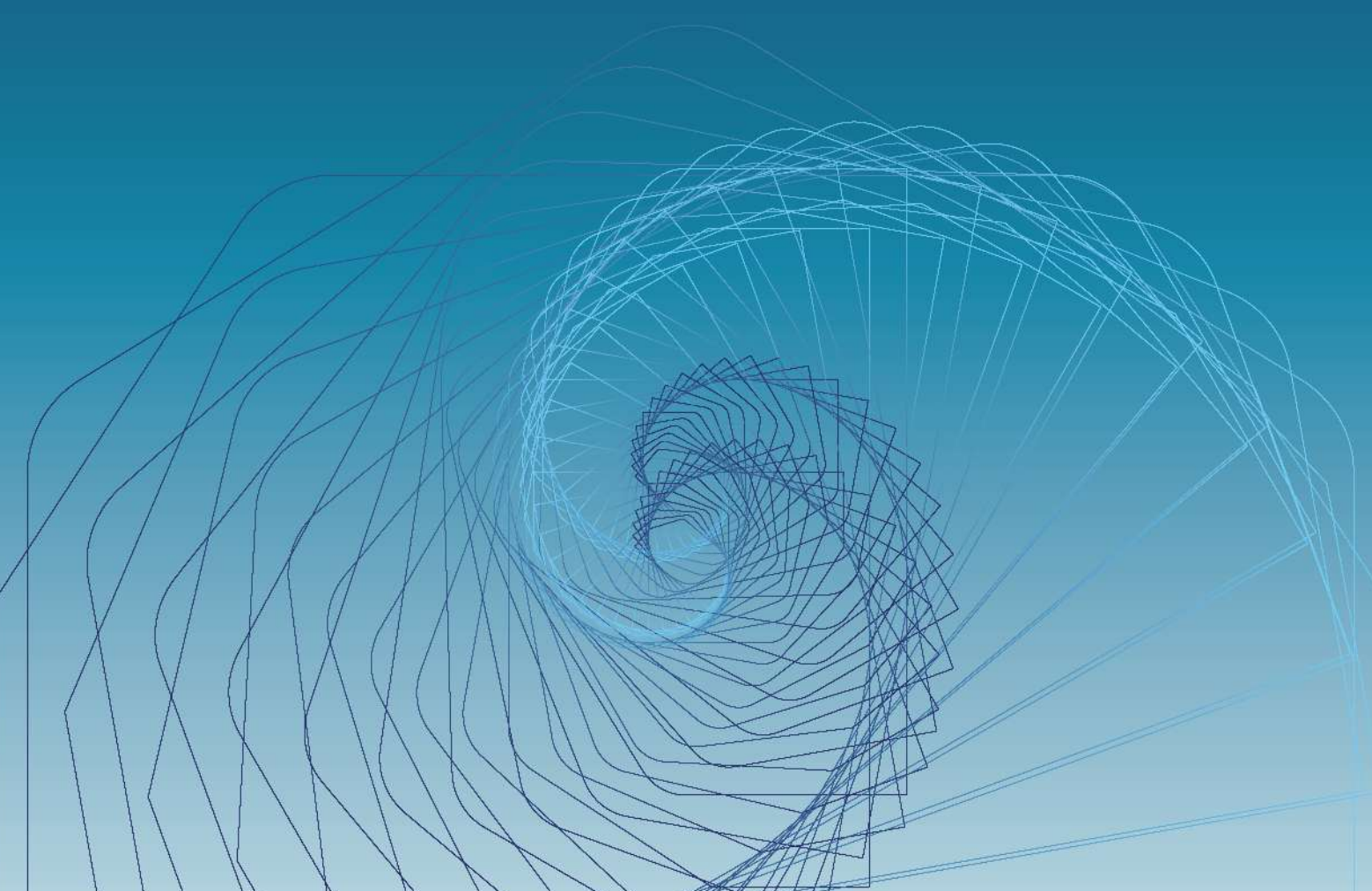
- Ekonomi dan Bisnis
- Hukum
- Teknik
- Kedokteran
- Psikologi
- Teknologi Informasi
- Seni Rupa dan Desain
- Ilmu Komunikasi
- Program Pascasarjana

# 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
ANALISIS PENGARUH DIAMETER TIANG TERHADAP DAYA DUKUNG LATERAL FONDASI TIANG TUNGGAL DENGAN PEMBEBANAN STATIK DAN SIKLIK <i>David Jose dan Aniek Prihatiningsih</i>	503-514

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
<b>ANALISIS DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR BIASA DAN <i>MULTI-BELLED PILE</i></b> <i>Brian Gian dan Aniek Prihatiningsih</i>	<b>573-582</b>
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 inTEGRASI 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  
MENGUNAKAN 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 DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN FONDASI TIANG BOR BIASA DAN *MULTI-BELLED PILE*

Brian Gian<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  
*briangian28@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: 29-12-2023, revisi: 13-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 07-02-2024

### ABSTRACT

*Foundation is an important structure as a support for the building on it and no less important is the soil on which the foundation is built. The importance of soil investigation to determine geotechnical properties and identify soil layers and thickness at the project site. The utilization of the lens soil layer can increase the bearing capacity of the pole. In this writing, we will discuss the increase in carrying capacity and decrease of ordinary bored pile foundations against drill piles with pile magnification in two lens soils (multi-belled pile) for magnification diameters of 0.7m, 0.8 m, and 0.9 m in two different concrete qualities, namely 20 and 35 MPa. The dimensions of the mast use a diameter of 0.6 m. The results showed that the use of multi-belled piles on the lens layer is better than ordinary drilled piles, because the magnification of the pole on the lens layer can increase the bearing capacity and reduce the decrease that occurs in the pile foundation, and improving the quality of concrete can also reduce the decrease that occurs in the foundation pile.*

*Keywords: Bored pile foundation; multi belled pile; lens soil; bearing capacity; settlement*

### ABSTRAK

Fondasi ialah struktur penting sebagai penopang bangunan di atasnya dan tidak kalah penting yaitu tanah yang berada pada lokasi dibangunnya fondasi tersebut. Pentingnya penyelidikan tanah untuk mengetahui sifat-sifat geoteknik serta mengidentifikasi lapisan-lapisan serta ketebalan tanah di lokasi proyek. Pemanfaatan lapisan tanah lensa dapat meningkatkan daya dukung tiang. Pada penulisan ini akan membahas mengenai peningkatan daya dukung dan penurunan fondasi tiang bor biasa terhadap tiang bor dengan perbesaran tiang di dua tanah lensa (*multi-belled pile*) untuk diameter perbesaran sebesar 0,7m, 0,8 m, dan 0,9 m pada dua mutu beton yang berbeda yaitu 20 dan 35 MPa. Dimensi tiang menggunakan diameter 0,6 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *multi-belled pile* pada lapisan lensa lebih baik dari tiang bor biasa, dikarenakan dengan adanya perbesaran tiang pada lapisan lensa dapat meningkatkan daya dukung serta mengurangi penurunan yang terjadi pada fondasi tiang, dan peningkatan mutu beton juga dapat mengurangi penurunan yang terjadi pada tiang fondasi.

Kata kunci: Fondasi tiang bor; *multi belled pile*; tanah lensa; daya dukung; penurunan

## 1. PENDAHULUAN

Fondasi merupakan sebuah struktur berfungsi untuk mentransfer beban bangunan ke tanah dan memastikan stabilitasnya. Dalam kondisi tanah yang lemah atau memiliki daya dukung rendah, fondasi dangkal tidak selalu cukup untuk menopang beban struktur. Fondasi tiang bor menjadi solusi fondasi dalam yang dapat diandalkan. Kondisi lapisan tanah sekitar fondasi juga berpengaruh pada kekuatan daya dukung dan penurunan struktur fondasi yang akan dibangun. Pada umumnya sering dijumpai lapisan tanah berupa tanah lunak atau tanah keras pada daerah yang akan dibangun suatu struktur fondasi, namun tidak menutup kemungkinan adanya lapisan tanah keras diantara lapisan tanah lunak yang bisa disebut sebagai lapisan lensa.

Daya dukung tiang juga dipengaruhi oleh gesekan selimut tiang fondasi dan juga tahanan ujung tiang, sehingga agar daya dukung tiang meningkat dapat digunakan alternatif dengan memperbesar ukuran penampang tiang yang dapat disebut dengan *belled-pile*, dan jika tiang memiliki lebih dari satu perbesaran maka dapat disebut *multi-belled pile* (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Selain itu, penggunaan mutu beton untuk tiang fondasi juga harus diperhatikan karena dapat berpengaruh pada penurunan yang akan terjadi pada tiang fondasi.



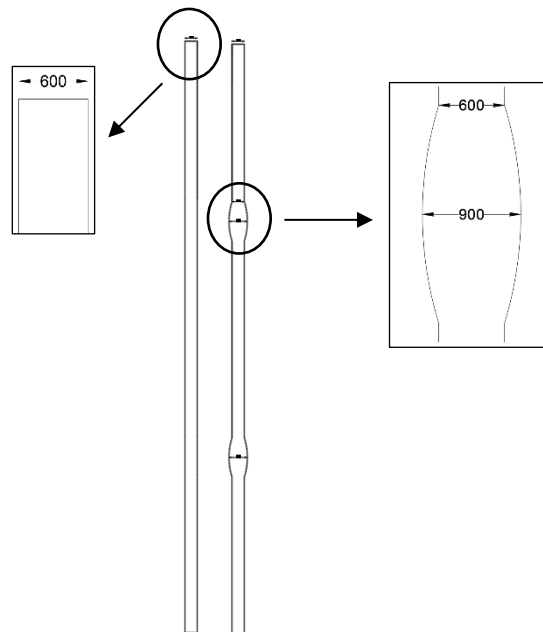
Dalam studi kasus ini, terdapat lahan dengan kondisi lapisan tanah yang memiliki dua lapisan lensa berupa tanah lempung dan tanah pasir. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung dan penurunan tiang bor biasa dan tiang dengan perbesaran diameter pada area lapisan lensa, serta membandingkan penurunan yang terjadi pada tiang bor biasa dan *multi-belled pile* dengan mutu beton yang berbeda yaitu 20 dan 35 MPa.

### Fondasi tiang bor

Tiang bor dibuat dengan cara mengebor lubang dengan kedalaman yang dibutuhkan dan kemudian diisi dengan tulangan baja dan beton (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Tiang bor biasanya berbentuk lingkaran dari kepala tiang hingga ujung tiang, atau bagian bawahnya dapat diperbesar. Penggunaan fondasi tiang bor sangat fleksibel karena dapat digunakan pada jenis tanah apapun.

### *Multi-belled pile*

*Multi-Belled pile* adalah tiang bor yang dimodifikasi agar dapat menambahkan daya dukung pada tiang bor. Peningkatan diameter *pile* dapat meningkatkan daya dukung dari *pile*. Kekurangan dari *multi-belled pile* adalah instalasi yang lebih sulit dari tiang bor biasa (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). *Multi-Belled pile* berbentuk tiang lurus dengan perbesaran seperti bel, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tiang bor biasa dan *multi-belled pile*

### Tanah lensa

Tanah lensa adalah lapisan tanah padat dan keras dengan N-SPT > 50 diantara lapisan tanah lunak dengan N-SPT < 15. Lapisan ini memiliki ketebalan yang berbeda. Lapisan lensa bisa berupa tanah pasir dan tanah lempung. (Lu & Susilo, 2022)

### Daya dukung fondasi tiang

Daya dukung tiang diperoleh dengan menggabungkan daya dukung ujung tiang dengan daya dukung selimut tiang. Sehingga daya dukung tiang dapat diperhitungkan dengan Persamaan 1.

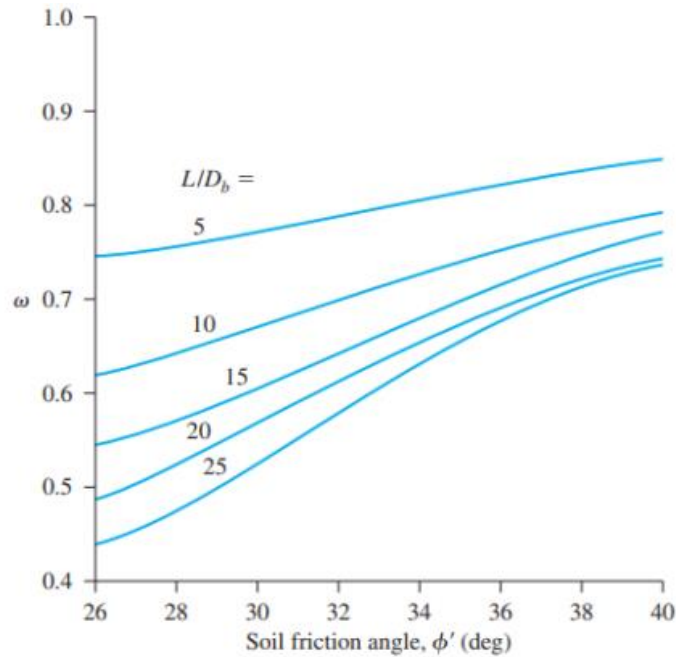
$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{SF} \quad (1)$$

dengan  $Q_{all}$  = daya dukung izin (ton),  $Q_p$  = daya dukung ujung (ton), dan  $Q_s$  = daya dukung selimut (ton), dan SF = faktor keamanan .

Tahanan ujung tiang untuk tanah lempung dapat diperoleh dari metode O'Neill dan Reese (1999) seperti pada Persamaan 2 dan untuk tahanan ujung tiang pada tanah pasir dapat diperoleh dari metode Berezantev et al. (1961) seperti pada Persamaan 3. Nilai  $\omega$  dapat diperoleh dari grafik pada Gambar 2.

$$Q_p = A_p c_u N_c^* \quad (2)$$

$$Q_p = A_p [q'(\omega N_q^* - 1)] \quad (3)$$



Gambar 2. Grafik nilai koreksi  $\omega$  terhadap perbandingan panjang dan diameter tiang berdasarkan nilai  $\phi'$  (Das, 2011)

dengan  $Q_p$  = daya dukung ujung (ton),  $A_p$  = luas penampang ujung tiang ( $m^2$ ), dan  $c_u$  = undrained shear strength ( $ton/m^2$ ),  $N_c^* = 9$ ,  $q'$  = tegangan efektif ( $ton/m^2$ ),  $N_q^* = 0.21e^{0.17\phi'}$ ,  $\omega$  = faktor koreksi,  $L$  = panjang tiang (m),  $D_b$  = diameter tiang (m), dan  $\phi'$  = sudut geser efektif tanah.

Tahanan selimut tiang untuk tanah lempung dapat diperoleh dari metode Kulhaway dan Jackson (1989) seperti pada Persamaan 4 dan untuk tanah pasir dapat diperoleh dari metode Reese et al. (1976) seperti pada Persamaan 5.

$$Q_s = \alpha^* c_u p \Delta L \quad (4)$$

$$Q_s = K p_0 \tan \delta (\pi D_s) \Delta L \quad (5)$$

dengan  $Q_s$  = daya dukung selimut (ton),  $\alpha^* = 0.4$ ,  $p = \pi D_s$ ,  $D_s$  = diameter tiang (m),  $\Delta L$  = panjang selimut tiang (m),  $K$  = faktor tekanan lateral (Tabel 1), dan  $\delta$  = sudut geser tanah pasir.

Tabel 1. Nilai K koefisien faktor tekanan lateral

Depth to base, m	K
$\leq 7,5$	0,7
$7,5 < L \leq 12$	0,6
$> 12$	0,5

### Daya dukung multi-belled pile

Daya dukung *multi-belled* diperoleh dari daya dukung ujung tiang dan daya dukung selimut tiang (Septiadi & Prihatiningsih, 2020). Jika perbesaran tiang berada di tengah tiang, untuk daya dukung ujung *belled* pada tanah lempung dapat dihitung dengan Persamaan 6 dan untuk daya dukung ujung *belled* pada tanah pasir dapat dihitung dengan Persamaan 7.

$$Q_p = (A_b - A_p) c_u N_c^* \quad (6)$$

$$Q_p = (A_b - A_p) [q'(\omega N_q^* - 1)] \quad (7)$$

dengan  $Q_p$  = daya dukung ujung (ton),  $A_p$  = luas penampang ujung tiang ( $m^2$ ),  $c_u$  = undrained shear strength ( $ton/m^2$ ),  $N_c^* = 9$ ,  $A_p$  = luas penampang ujung tiang ( $m^2$ ),  $A_b$  = luas penampang ujung *belled* ( $m^2$ ),  $q'$  = tegangan

efektif (ton/m<sup>2</sup>),  $N_q^* = 0.21e^{0.17\phi'}$ ,  $\omega$  = faktor koreksi,  $L$  = panjang tiang (m), fsn  $D_b = D_s$  = diameter ujung tiang *belled* (m).

Untuk mencari nilai  $\omega$  dibutuhkan besar nilai diameter ujung tiang *belled* yang dapat diperoleh dari Persamaan 8.

$$D_b = D_a - D_s \quad (8)$$

dengan  $D_b$  = diameter ujung *belled* (m),  $D_a$  = diameter *belled* (m),  $D_s$  = diameter tiang (m).

Daya dukung selimut tiang *multi-belled* pada tanah lempung dapat dihitung dari Persamaan 9 dan untuk tanah pasir dapat dihitung berdasarkan Persamaan 10. Jika ada perbedaan jenis lapisan tanah, maka daya dukung selimut tiang diperhitungkan sesuai dengan jenis lapisan tanah dan tebal lapisan tanah tersebut.

$$Q_s = \alpha^* c_u p \Delta L \quad (9)$$

$$Q_s = K p_0 \tan \delta (\pi D_a) \Delta L \quad (10)$$

dengan  $Q_s$  = daya dukung selimut (ton),  $\alpha^* = 0.4$ ,  $p = \pi D_s$ ,  $\Delta L$  = panjang selimut tiang (m),  $K$  = faktor tekanan lateral,  $\delta$  = sudut geser tanah pasir, dan  $D_a$  = diameter *belled* (m).

Pada tiang dengan *multi-belled*, maka daya dukung diperoleh berdasarkan total daya dukung tiap perbesaran dan total daya dukung selimut tiang seperti pada Persamaan 11.

$$Q_{all} = \frac{Q_{p1} + Q_{p2} + Q_s}{SF} \quad (11)$$

dengan  $Q_{all}$  = daya dukung izin,  $Q_{p1}$  = daya dukung ujung tiang,  $Q_{p2}$  = daya dukung ujung tiang akibat perbesaran di tengah,  $Q_s$  = daya dukung selimut tiang, SF = faktor keamanan.

### Penurunan elastis

Penurunan elastis merupakan penurunan yang terjadi setelah beban pada tiang bekerja yang menyebabkan deformasi elatis pada tanah tanpa merubah kadar air tanah (Lu & Susilo, 2022). Penurunan elastis tiang dibagi menjadi tiga faktor, yaitu:

1. Penurunan tiang akibat pemendekan tiang ( $S_{e(1)}$ )
2. Penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada ujung tiang ( $S_{e(2)}$ )
3. Penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada selimut tiang ( $S_{e(3)}$ )

Penurunan elastis tiang akibat beban yang bekerja dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (12)$$

Untuk penurunan tiang akibat pemendekan tiang dapat dihitung dengan Persamaan 13.

$$s_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \quad (13)$$

Kemudian untuk penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada ujung tiang diperoleh dari Persamaan 14.

$$s_{e(2)} = \frac{q_{wp} D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} = \frac{Q_{wp} C_p}{D q_p} \quad (14)$$

Kemudian untuk penurunan tiang akibat beban yang bekerja pada selimut tiang diperoleh dari Persamaan 15.

$$s_{e(3)} = \left( \frac{Q_{ws}}{pL} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} = \frac{Q_{ws} C_s}{L q_p} \quad (15)$$

dengan  $Q_{wp}$  = beban yang bekerja pada ujung tiang (ton),  $Q_{ws}$  = beban yang bekerja pada selimut tiang (ton),  $A_p$  = luas penampang tiang (m<sup>2</sup>),  $L$  = panjang tiang (m),  $E_p$  = modulus elastisitas tiang (ton/m<sup>2</sup>),  $\xi$  = konstanta nilai *skin friction* (0,5-0,67),  $D$  = diameter tiang (m),  $q_{wp}$  = beban per luas area yang bekerja pada ujung tiang (ton/m<sup>2</sup>),  $E_s$  = modulus elastisitas tanah (ton/m<sup>2</sup>),  $\mu_s$  = *poisson's ratio* tanah,  $q_p$  = tahanan ujung tiang (ton/m<sup>2</sup>),  $I_{wp}$  = factor pengaruh (0,85),  $C_p$  = koefisien empiris,  $C_s$  = konstanta empiris,  $p$  = perimeter tiang (m), dan  $I_{ws}$  = factor pengaruh.

### Penurunan konsolidasi primer

Penurunan konsolidasi primer terjadi dikarenakan meningkatnya tegangan akibat oleh beban sehingga keluarnya air pori tanah. Proses ini akan berlangsung sampai air pori dalam kondisi yang seimbang dengan tekanan hidrostatik di sekitarnya. (Fernanda & Susilo, 2023)

Untuk penurunan konsolidasi *normally consolidated* dapat dihitung dari Persamaan 16.

$$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \frac{P'_o + \Delta\sigma}{P'_o} \quad (16)$$

Kemudian untuk penurunan konsolidasi *over consolidated* dapat dihitung dari Persamaan 17-18.

Jika kondisi  $P'_o + \Delta\sigma \leq P'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \frac{P'_o + \Delta\sigma}{P'_o} \quad (17)$$

Jika kondisi  $P'_o + \Delta\sigma > P'_c$

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \frac{P'_c}{P'_o} + \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \frac{P'_o + \Delta\sigma}{P'_c} \quad (18)$$

dengan  $S_c$  = penurunan konsolidasi primer (m),  $C_c$  = indeks pemuaian,  $C_s$  = indeks pemampatan kembali,  $H$  = tebal lapisan tanah (m),  $P'_o$  = tegangan efektif tanah ( $\text{ton/m}^2$ ),  $P'_c$  = tekanan prakonsolidasi ( $\text{ton/m}^2$ ), dan  $e_o$  = angka pori tanah.

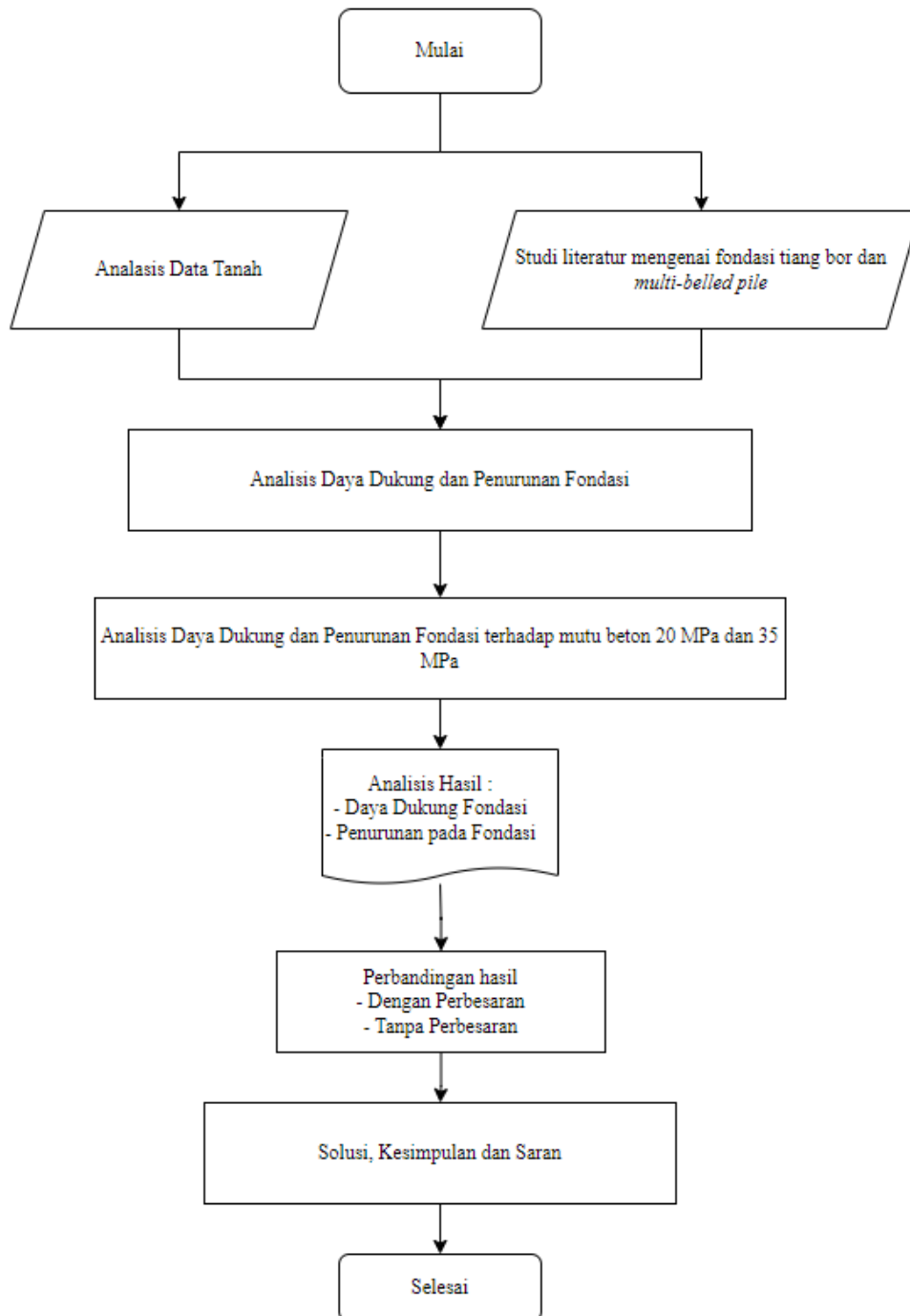
## Penurunan ijin

Berdasarkan SNI 8460-2017 pasal 9.8.1, penurunan (*settlement*) tiang dibatas 25 mm untuk tiang dengan diameter maksimum 80 cm, dan 4% diameter tiang untuk tiang dengan diameter lebih dari 80 cm.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Untuk penjelasan diagram alir jurnal:

1. Tahap awal penelitian melakukan pencarian dan pengumpulan dasar teori yang akan digunakan melalui buku bacaan, jurnal, artikel yang berhubungan dengan topik yang dibahas.
2. Kemudian pengumpulan data proyek berupa data tanah yang akan dianalisis.
3. Lalu menganalisis sifat tanah, daya dukung dan penurunan fondasi. Dan menentukan parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan
4. Selanjutnya melakukan perhitungan daya dukung dan penurunan pada fondasi dengan perbesaran dan tanpa perbesaran terhadap mutu beton 20 MPa dan 35 MPa.
5. Membuat kesimpulan dan saran untuk analisis yang dilakukan.



Gambar 3. Diagram alir

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter tanah (Tabel 2) didapat dengan menggunakan dua titik *boring log* sedalam 30 m dari kawasan Cibitung. Pada kondisi tanah di lapangan, terdapat lapisan lensa pada kedalaman 8-14 m yang berupa tanah pasir dan 18-22 m berupa tanah lanau. Perbesaran tiang berada pada kedalaman 8 – 10 m dan 20 – 22 m.

#### Daya dukung fondasi

Berdasarkan data tanah yang didapat bahwa terdapat lapisan lensa pada kedalaman 8-14 m yang berupa tanah pasir, dan pada kedalaman 18-22 m yang berupa tanah lanau. Perhitungan daya dukung ujung tiang menggunakan metode O'Neill dan Reese (1999) untuk tanah lempung dan metode Berenzantev et al. (1961). Untuk daya dukung selimut tiang dihitung menggunakan metode Kulhaway dan Jackson (1989) untuk tanah lempung dan metode Reese et al.

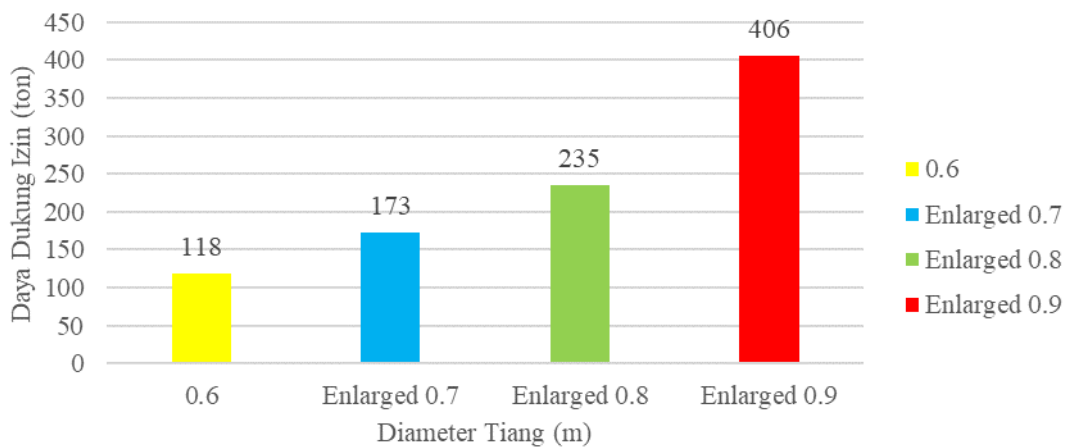
1976. Panjang tiang sedalam 30 m Perhitungan daya dukung tiang terdapat pada Tabel 3. Untuk peningkatan daya dukung fondasi dapat dilihat pada Gambar 4-5.

Tabel 2. Parameter tanah yang digunakan

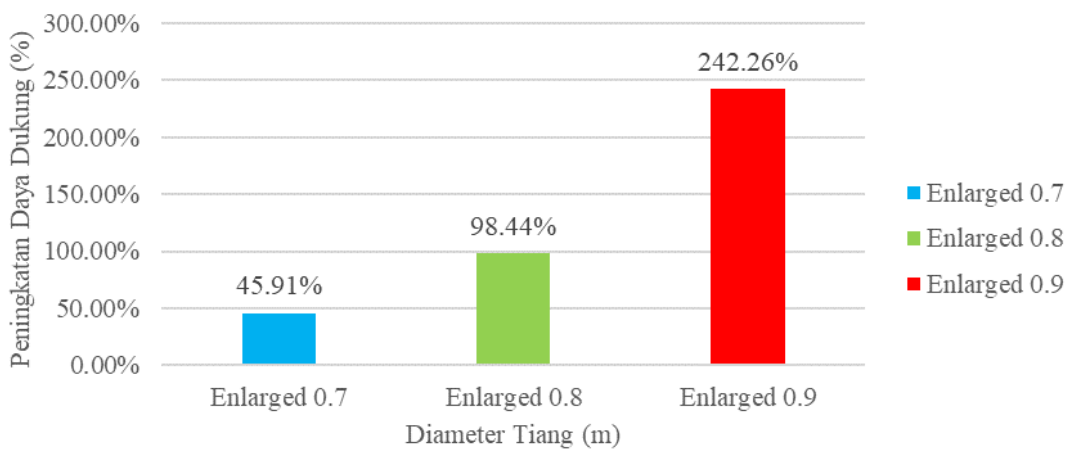
Elevasi (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	N-SPT	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$c_u$ (kPa)	$\phi'$	E (MPa)	$C_c$	$C_s$	$e_0$
0 – 8	Clay	Lunak	4	16	30	28	4	0,52	0,11	2,4
8 – 14	Sand	Padat	60	16	360	44	20	-	-	2,4
14 – 18	Silt	Kaku	15	14	100	34	8	0,4	0,08	2,4
18 – 22	Silt	Sangat Kaku	56	14	400	52	26	0,4	0,12	2,4
22 – 30	Clay	Sangat Kaku	20	16	100	34	8	0,5	0,11	2

Tabel 3. Daya dukung fondasi

Kedalaman (m)	Diameter (m)	$Q_p$ (ton)	$Q_s$ (ton)	$Q_p$ Perbesaran (ton)	$Q_{ult}$ (ton)	$Q_{all}$ (ton)
30	0,6	25,45	270,8	-	296,24	118,49
	Enlarged 0,7	25,45	279,46	127,34	432,25	172,9
	Enlarged 0,8	25,45	288,13	274,28	587,85	235,14
	Enlarged 0,9	25,45	296,8	691,65	1012,89	405,56



Gambar 4. Analisis daya dukung fondasi tiang bor biasa dan *multi-belled pile*



Gambar 5. Analisis persentase daya dukung *multi-belled pile* terhadap fondasi tiang bor biasa

### Penurunan elastis fondasi tiang

Penurunan elastis yakni penurunan yang terjadi setelah beban bekerja pada tiang, sehingga menyebabkan tanah mengalami deformasi elastis. Perhitungan penurunan elastis dibagi menjadi tiga seperti pada Tabel 4 untuk mutu beton 20 MPa dan Tabel 5 untuk mutu beton 35 MPa.

Tabel 4. Penurunan elastis tiang dengan mutu beton 20 MPa

Kedalaman (m)	Diameter (m)	$S_{e(1)}$ (mm)	$S_{e(2)}$ (mm)	$S_{e(3)}$ (mm)	$S_e$ (mm)
30	0,6	3,24	7,51	25,9	36,64
	<i>Enlarged 0,7</i>	2,89	13,98	1,4	18,3
	<i>Enlarged 0,8</i>	2,13	14,5	1,46	18,08
	<i>Enlarged 0,9</i>	1,66	12,68	0,57	14,91

Tabel 5. Penurunan elastis tiang dengan mutu beton 35 MPa

Kedalaman (m)	Diameter (m)	$S_{e(1)}$ (mm)	$S_{e(2)}$ (mm)	$S_{e(3)}$ (mm)	$S_e$ (mm)
30	0.6	2,45	7,51	25,9	35,85
	<i>Enlarged 0,7</i>	2,19	13,98	1,4	17,57
	<i>Enlarged 0,8</i>	1,61	14,5	1,46	17,56
	<i>Enlarged 0,9</i>	1,25	12,68	0,57	14,5

### Penurunan konsolidasi primer

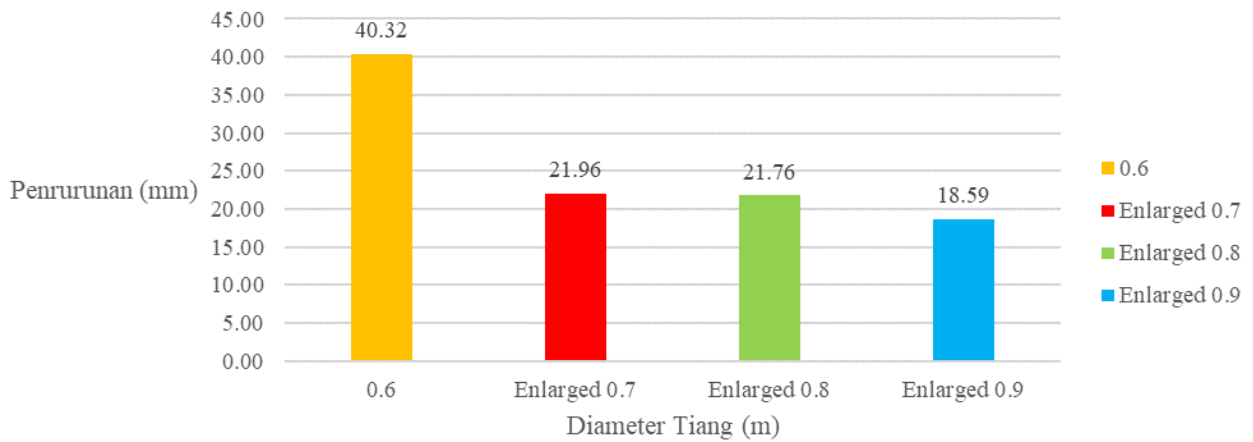
Penurunan konsolidasi primer adalah keluarnya air pori tanah karena meningkatnya tegangan yang dipengaruhi oleh beban. Proses ini akan berlangsung hingga air pori tanah dalam keadaan sebanding dengan tekanan hidrostatik disekitarnya. Beban yang digunakan sebesar 118 ton. Untuk perhitungan penurunan konsolidasi primer dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penurunan konsolidasi primer

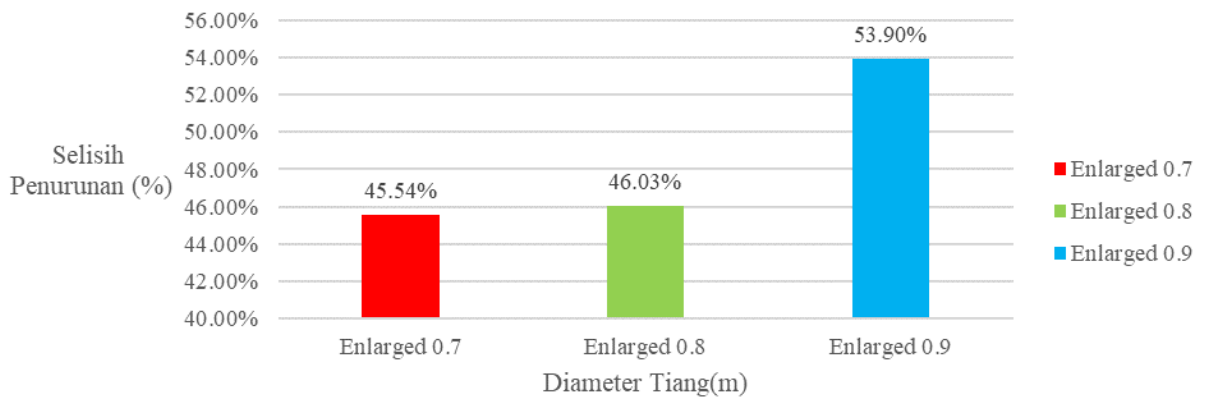
Elevasi (m)	$\Delta H$	$\Delta\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$P'_o$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\Delta\sigma + P'_o$ (kN/m <sup>2</sup> )	Cek	$e_0$	$C_s$	$S_c$ (mm)	
20	22	2	4,08	180	184,1	OC	2,4	0,12	0,69
22	24	2	3,39	192	195,4	OC	2	0,11	0,56
24	26	2	2,86	204	206,9	OC	2	0,11	0,44
26	28	2	2,45	216	218,45	OC	2	0,11	0,36
28	30	2	2,12	228	230,12	OC	2	0,11	0,3
30	32	2	1,85	240	241,85	OC	2	0,11	0,25
32	34	2	1,63	252	253,63	OC	2	0,11	0,21
34	36	2	1,45	264	265,45	OC	2	0,11	0,17
36	48	2	1,29	276	277,3	OC	2	0,11	0,15
38	40	2	1,16	288	289,16	OC	2	0,11	0,13
40	42	2	1,05	300	301,05	OC	2	0,11	0,11
42	44	2	0,96	312	312,96	OC	2	0,11	0,1
44	46	2	0,87	324	324,87	OC	2	0,11	0,085
46	48	2	0,79	336	336,8	OC	2	0,11	0,08
48	50	2	0,74	348	348,74	OC	2	0,11	0,07
Total Penurunan Konsolidasi Primer									3,68

### Analisis penurunan

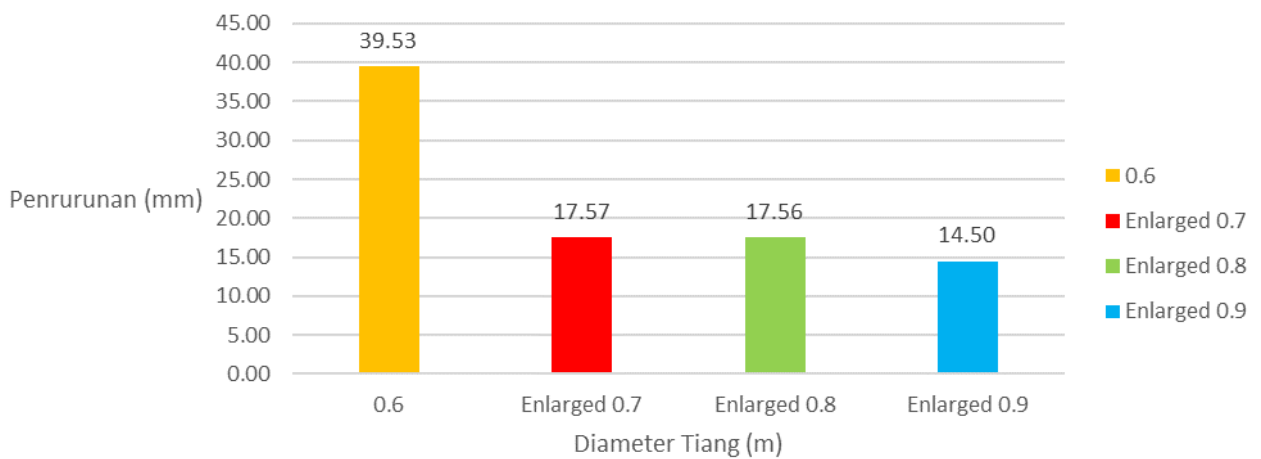
Untuk analisis penurunan dan persentase fondasi tiang bor dengan mutu beton 20 MPa dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Kemudian analisis penurunan dan persentase fondasi tiang bor dengan mutu beton 35 MPa dapat dilihat pada Gambar 8-9.



Gambar 6. Analisis penurunan tiang bor biasa dan *multi-belled pile* untuk mutu beton 20 MPa

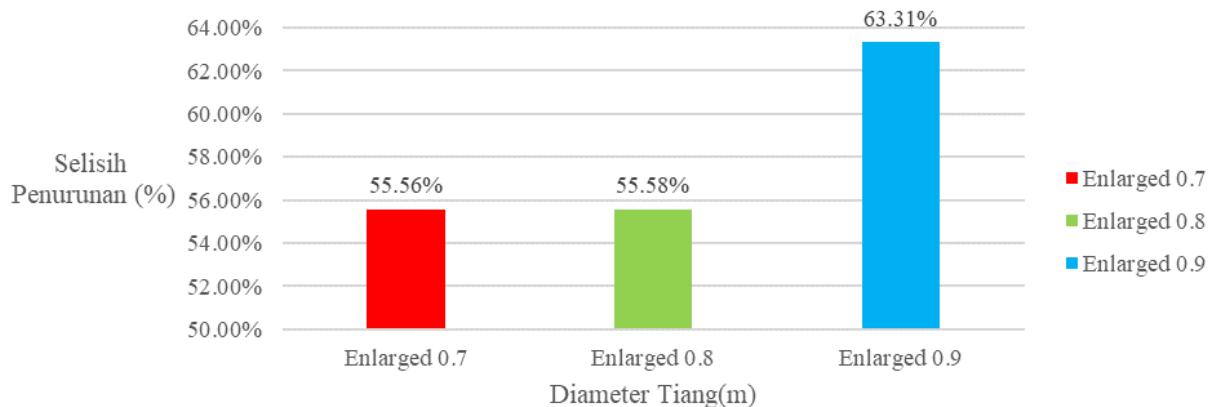


Gambar 7. Persentase penurunan fondasi *multi-belled pile* terhadap tiang bor biasa untuk mutu beton 20 MPa



Gambar 8. Analisis penurunan tiang bor biasa dan *multi-belled pile* untuk mutu beton 35 MPa





Gambar 9. Persentase penurunan fondasi *multi-belled pile* terhadap tiang bor biasa untuk mutu beton 35 MPa

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

1. Penggunaan *multi-belled pile* pada lapisan lensa dapat meningkatkan daya dukung fondasi tiang lebih besar dari daya dukung fondasi tiang bor biasa. Hal ini dibuktikan dengan analisis daya dukung antara *multi belled pile* perbesaran 0,9 m dengan tiang bor biasa yang meningkat sebesar 242,26%.
2. Berdasarkan hasil analisis, perbesaran diameter tiang *multi-belled pile* 0,9 m lebih efisien karena menghasilkan persentase peningkatan daya dukung yang cukup tinggi sebesar 242,26% dari daya dukung tiang bor biasa dan memiliki persentase penurunan yang berkurang banyak dari tiang bor biasa sebesar 61,42% dengan total penurunan 14,5 mm, juga memenuhi syarat penurunan fondasi tiang pada SNI 2847-2017 Pasal 9.8.1.
3. Mutu beton berpengaruh terhadap penurunan elastis yang terjadi pada fondasi tiang. Hal ini dibuktikan berdasarkan analisis penurunan pada tiang bor biasa dengan mutu beton 20 MPa sebesar 38,38 mm dan mutu beton 35 sebesar 37,59 mm.

##### Saran

1. Karena menggunakan *multi-belled pile*, dicoba melakukan analisis lebih lanjut untuk bagian perbesaran tiang agar mendapat dimensi yang lebih efisien untuk digunakan.
2. Melakukan analisis daya dukung *multi-belled pile* dengan *software* agar hasil yang didapat semakin akurat.

##### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2019) *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan* (SNI 2847:2019).
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering* (edisi ke 7). Christopher M. Shortt.
- Fernanda, N. O., & Susilo, A. J. (2023). Analisis efisiensi tiang ujung pada fondasi tiang bor di proyek gading serpong. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(2), 301-308. <https://doi.org/10.24912/jmts.v6i2.21904>
- Lu, M., & Susilo, A. J. (2022). Analisis perbandingan penurunan tiang fondasi pada lapisan lensa dan lapisan tanah keras. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(1), 113-128. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v5i1.16645>
- Septiadi, K., & Prihatiningsih, A. (2020). Studi manfaat daya dukung belled pile dan multi-belled pile. *JMTS : Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(4), 1113-1124. <https://doi.org/https://doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8394>