

SKRIPSI

**ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI (MINI
PILE) BOX CULVERT PADA TANAH *CLAY SHALE* PROYEK
TOL PROBOLINGGO – BANYUWANGI
(STUDI KASUS: STA. 43+370 PROYEK TOL PROBAN)**



POLITEKNIK NEGERI BALI

**Oleh :
MICHAEL NORMAN PARDEDE
2115124118**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI BALI
JURUSAN TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI D4 MANAJEMEN PROYEK KONSTRUKSI
2025**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI BALI**

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali-80364
Telp. (0361) 701981 | Fax. 701128 | Laman. <https://www.pnb.ac.id> | Email. poltek@pnb.ac.id

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dosen Pembimbing 1 Skripsi Program Studi Manajemen Proyek Konstruksi Politeknik Negeri Bali menerangkan bahwa :

Nama Mahasiswa : Michael Norman Pardede
NIM : 2115124118
Program Studi : Manajemen Proyek Konstruksi
Judul Skripsi : ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI (MINI PILE)
BOX CULVERT PADA TANAH CLAY SHALE PROYEK TOL
PROBOLINGGO – BANYUWANGI (STUDI KASUS: STA. 43+370
PROYEK TOL PROBAN)

Telah diperiksa ulang dan dinyatakan selesai serta dapat diajukan dalam ujian Skripsi Program Studi Manajemen Proyek Konstruksi, Politeknik Negeri Bali.

Bukit Jimbaran, 09 Agustus 2025
Dosen Pembimbing 1



Ir. I Wayan Wiraga, MT
NIP. 196407261990031002

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI BALI**

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali-80364
Telp. (0361) 701981 | Fax. 701128 | Laman. <https://www.pnb.ac.id> | Email. poltek@pnb.ac.id

Yang bertanda tangan dibawah ini, Dosen Pembimbing 2 Skripsi Program Studi Manajemen Proyek Konstruksi Politeknik Negeri Bali menerangkan bahwa :

Nama Mahasiswa : Michael Norman Pardede
NIM : 2115124118
Program Studi : Manajemen Proyek Konstruksi
Judul Skripsi : ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI (MINI PILE)
BOX CULVERT PADA TANAH CLAY SHALE PROYEK TOL
PROBOLINGGO – BANYUWANGI (STUDI KASUS: STA. 43+370
PROYEK TOL PROBAN)

Telah diperiksa ulang dan dinyatakan selesai serta dapat diajukan dalam ujian Skripsi Program Studi Manajemen Proyek Konstruksi, Politeknik Negeri Bali.

Bukit Jimbaran, 08 Agustus 2025
Dosen Pembimbing 2



Ir. I Wayan Sudiasa, MT.
NIP. 196506241991031002



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI BALI**

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali – 80364

Telp. (0361) 701981 (hunting) Fax. 701128

Laman: www.pnb.ac.id Email: poltek@pnb.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI (MINI PILE)
BOX CULVERT PADA TANAH CLAY SHALE PROYEK TOL
PROBOLINGGO – BANYUWANGI**

(Studi Kasus: Sta. 43+370 Proyek Tol Proban)

Oleh:

MICHAEL NORMAN PARDEDE

2115124118

**Laporan ini Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk
Menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Terapan Manajemen Proyek
Konstruksi Pada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bali**

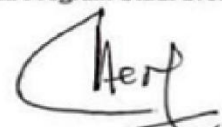
Disetujui oleh :

Ketua Jurusan Teknik Sipil


Ir. I Nyoman Suardika, MT
NIP. 196510261994031001

Bukit Jimbaran, Agustus 2025

Ketua Program Studi S.Tr - MPK


Dr. Ir. Putu Hermawati, MT
NIP. 196604231995122001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Michael Norman Pardede
N I M : 2115124118
Jurusan/Prodi : Teknik Sipil / Sarjana Terapan Manajemen Proyek
Konstruksi
Tahun Akademik : 2024/2025
Judul : Analisis Daya Dukung Tiang Pancang (Mini Pile)
Box Culvert Pada Tanah Clay Shale Proyek Tol
Probolinggo – Banyuwangi (Studi Kasus: Sta.
43+370 Proyek Tol Proban)

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan Judul di atas, benar merupakan hasil karya **Asli/Original**.

Demikianlah keterangan ini saya buat dan apabila ada kesalahan dikemudian hari, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkannya.

Bukit Jimbaran, 15 September 2025



Michael Norman Pardede

ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI (MINI PILE) BOX CULVERT PADA TANAH *CLAY SHALE* PROYEK TOL PROBOLINGGO – BANYUWANGI

Michael Norman Pardede

Program Studi Sarjana terapan manajemen proyek konstruksi

Jurusan teknik sipil politeknik negeri bali, jalan kampus bukit jimbaran

Kuta selatan, kabupaten badung, bali – 80364

Telp. (0361) 701891 Fax. 701128

Email: michaelnormanpardede@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis daya dukung pondasi tiang pancang mini (mini pile) untuk struktur *box culvert* pada Proyek Tol Probolinggo-Banyuwangi (STA. 43+370), yang berlokasi di atas lapisan tanah *clay shale* yang problematik. Tantangan geoteknik utama pada tanah jenis ini adalah potensinya untuk mengalami degradasi kekuatan akibat proses instalasi. Tujuan penelitian adalah untuk menghitung kapasitas dukung tiang secara kuantitatif, mengidentifikasi mekanisme transfer beban yang dominan, menentukan jumlah kebutuhan tiang, dan menganalisis estimasi biaya. Analisis daya dukung dilakukan berdasarkan data N-SPT menggunakan metode Meyerhof untuk tahanan ujung (Q_p) dan Metode Alpha untuk gesekan selimut (Q_s), yang relevan untuk tanah kohesif. Hasil analisis yang telah dikoreksi menunjukkan bahwa daya dukung izin (Q_{all}) untuk satu tiang pancang mini berukuran 25x25 cm adalah **23.12 ton**. Analisis kontribusi komponen menunjukkan bahwa **91.65%** dari kapasitas dukung ultimit berasal dari gesekan selimut. Kesimpulan utama adalah pondasi ini secara definitif berfungsi sebagai **tiang gesek (*friction pile*)**, di mana kinerjanya sangat bergantung pada kualitas interaksi antara badan tiang dengan tanah di sekelilingnya. Untuk menopang beban struktur total sebesar 2500 kN, dibutuhkan **12 buah tiang pancang**. Temuan ini menggarisbawahi bahwa keberhasilan desain pondasi pada tanah *clay shale* tidak hanya bergantung pada akurasi perhitungan, tetapi juga sangat kritis terhadap kontrol kualitas metode instalasi di lapangan.

Kata Kunci: Daya Dukung, Tiang Pancang Mini, Box Culvert, Clay Shale, Estimasi Biaya

**BEARING CAPACITY ANALYSIS OF A MINI PILE
FOUNDATION FOR A BOX CULVERT ON CLAY SHALE SOIL
AT THE PROBOLINGGO-BANYUWANGI TOLL ROAD
PROJECT**

Michael Norman Pardede

Program Studi Sarjana terapan manajemen proyek konstruksi

Jurusan teknik sipil politeknik negeri bali, jalan kampus bukit jimbaran

Kuta selatan, kabupaten badung, bali – 80364

Telp. (0361) 701891 Fax. 701128

Email: michaelnormanpardede@gmail.com

ABSTRACT

*This research analyzes the bearing capacity of a mini pile foundation for a box culvert structure at the Probolinggo-Banyuwangi Toll Road Project (STA. 43+370), situated on problematic clay shale soil. The primary geotechnical challenge with this soil type is its potential for strength degradation due to installation processes. The study aims to quantitatively calculate the pile's bearing capacity, identify the dominant load transfer mechanism, determine the required number of piles, and analyze the cost estimation. The bearing capacity analysis was performed based on N-SPT data using the Meyerhof method for end bearing (Q_p) and the Alpha Method for skin friction (Q_s), which is relevant for cohesive soils. The corrected analysis results indicate that the allowable bearing capacity (Q_{all}) of a single 25x25 cm mini pile is **23.12 tons**. Component contribution analysis reveals that **91.65%** of the ultimate capacity is derived from skin friction. The main conclusion is that this foundation definitively functions as a **friction pile**, where its performance is highly dependent on the quality of the pile-soil interaction. A total of **12 piles** are required to support the total structural load of 2500 kN. This finding underscores that the success of foundation design on clay shale is critically dependent not only on calculation accuracy but also on the quality control of installation methods in the field.*

Keywords: Bearing Capacity, Mini Pile, Box Culvert, Clay Shale, Cost Estimation

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa. karena berkat rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Mini (Mini Pile) Box Culvert Pada Tanah Clay Shale Proyek Tol Probolinggo - Banyuwangi**”. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya skripsi ini yaitu :

1. Bapak I Nyoman Abdi, SE. M.eCom selaku Direktur Politeknik Negeri.
2. Bapak Ir. I Nyoman Suardika, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
3. Ibu Dr. Ir. Putu Hermawati, M.T., selaku Ketua Program Studi Manajemen Proyek Konstruksi.
4. Bapak Ir. I Wayan Wiraga, M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan, petunjuk dan bimbingan selama penyusunan proposal skripsi.
5. Bapak Ir. I Wayan Sudiasa, M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan kepercayaan yang sangat berarti bagi penulis.
6. Kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan moral serta sarana dan prasarana yang dapat menunjang terselesaikannya proposal skripsi ini.
7. Serta semua pihak yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam proses penyusunan proposal skripsi yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian dan penyusunan skripsi ini, masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini.

Denpasar, 14 Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Dasar - Dasar Geoteknik dalam Konstruksi Jalan Tol	5
2.2 Karakteristik Tanah Clay Shale	6
2.3 Pondasi Tiang Pancang Mini (<i>Mini Pile</i>)	6
2.4 Teori Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang	7
2.4.1 Daya Dukung Ujung Berdasarkan N-SPT (Meyerhof, 1976)	7
2.4.2 Daya Dukung Gesek Selimut pada Tanah Lempung (Metode α)	7
2.5 Analisis Kebutuhan Untuk 1 Kelompok Tiang Pancang	8
2.5.1 Penentuan Jumlah Kebutuhan Tiang Untuk 1 Kelompok	8
2.5.2 Efisiensi Kelompok Tiang	9
2.6 Metodologi Estimasi Biaya Konstruksi	10
2.6.1 Rencana Anggaran Biaya (RAB)	10
2.6.2 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)	10
2.6.3 Biaya Langsung dan Tidak Langsung	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Rancangan Penelitian	12
3.2 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian	12
3.2.1 Lokasi Penelitian	12
3.2.2 Waktu Penelitian	12
3.3 Sumber dan Jenis Data	13

3.3.1 Pengumpulan Data	13
3.4 Variabel Penelitian	14
3.4.1 Variabel bebas	14
3.4.2 Variabel Terikat	14
3.5 Instrumen Penelitian.....	14
3.6 Metode Analisis Data	14
3.6.1 Analisis Daya Dukung Tiang Tunggal.....	14
3.6.2 Analisis Kebutuhan Jumlah Tiang	15
3.6.3 Analisis Estimasi Biaya	15
3.7 Bagan Alir Penelitian	17
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Tinjauan Umum Proyek dan Paramater Perencanaan	18
4.1.1 Deskripsi Proyek dan Kondisi Geoteknik	18
4.1.2 Parameter Beban dan Struktur	18
4.1.3 Parameter Geoteknik Tanah.....	21
4.2 Analisis Daya Dukung dan Kontribusi Komponen	22
4.2.1 Perhitungan Kapasitas Dukung Ujung Tiang (Q_p).....	23
4.2.2 Perhitungan Kapasitas Dukung Gesekan Selimut (Q_s)	24
4.2.3 Analisis Daya Dukung Ultimit (Q_u) dan izin (Q_{all}) Tiang Tunggal	25
4.2.4 Analisis Konstrbusi Komponen Daya Dukung.....	26
4.3 Analisis Kebutuhan Tiang Pancang Mini	27
4.4 Analisis Estimasi Biaya Pekerjaan.....	29
4.4.1 Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)	30
4.4.2 Rekapitulasi Estimasi Biaya.....	32
4.5 Analisis Perbandingan Dengan Pendekatan Praktik Rekayasa.....	33
4.5.1 Tinjauan Kritis Metodologi Perhitungan Skripsi (Baseline).....	33
4.5.2 Rekonstruksi Skenario Desain Konsultan	34
4.5.3 Perbandingan Kuantitatif dan Pembahasan Implikasi.....	37
4.6 Rangkuman Hasil dan Pembahasan	38
4.6.1 Pembahasan.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran.....	42
5.2.1 Saran Praktis	42

5.2.2 Saran Akademis	43
Lampiran	47
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Gambar Lokasi Penelitian	12
Gambar 4. 1 Denah Penulangan dan Layout Titik Pondasi	29
Gambar 4. 2 Detail Dimensi dari Box Culvert	30

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1	Rekapitulasi Perhitungan Beban Terfaktor (Pu) pada Box Culvert	20
Tabel 4. 2	Paramter Desain Pondasi dan Beban Rencana	21
Tabel 4. 3	Rangkuman Data Tanah dari Bor Log dan Uji SPT	22
Tabel 4. 4	Kontribusi Komponen Terhadap Daya Dukung Ultimit Tiang Tunggal	27
Tabel 4. 5	Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Pondasi Mini Pile	30
Tabel 4. 6	Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Beton K-250	31
Tabel 4. 7	Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Pembesian	31
Tabel 4. 8	Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bekisting	32
Tabel 4. 9	Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya (RAB)	33
Tabel 4. 10	Perhitungan Efisiensi Kelompok Tiang (Eg) Menggunakan Formula Converse-Labarre	37
Tabel 4. 11	Analisis Komparatif Desain Pondasi	38

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proyek pembangunan Jalan Tol memiliki peran krusial dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan hubungan antarwilayah. Keberadaan jalan tol dapat mengatasi kemacetan arus lalu lintas dan meningkatkan efisiensi distribusi barang dan jasa, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan ekonomi regional[1]. Proyek Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi merupakan salah satu inisiatif strategis yang bertujuan meningkatkan konektivitas antara Kabupaten Probolinggo dan Kabupaten Situbondo di Jawa Timur. Selain mendukung kemudahan berkendara, jalan tol ini diharapkan dapat mendorong pertumbuhan ekonomi, memudahkan akses ke destinasi wisata, serta mempercepat penyaluran barang dan jasa di wilayah tersebut, serta mampu menambah lapangan kerja

Proyek Pembangunan jalan tol ini menghadapi tantangan teknis, terutama di daerah yang melewati tanah clay shale. Tanah clay shale memiliki karakteristik yang kompleks, seperti mudah mengalami perubahan mekanis ketika terkena air, yang dapat mempengaruhi stabilitas struktur di atasnya. Clay shale merupakan salah satu tanah problematik menyebabkan banyak terjadi kegagalan lereng di Indonesia[2]. Dalam proyek ini, struktur *box culvert* digunakan sebagai saluran drainase, pemilihan jenis pondasi yang tepat sangat penting untuk memastikan stabilitas daya dukung yang bagus dan kuat. Penggunaan tiang pancang mini (*mini pile*) sebagai solusi pondasi telah terbukti efektif dalam kondisi tanah berdaya dukung yang rendah seperti clay shale. Mini pile dapat meningkatkan stabilitas dan daya dukung struktur pada clay shale[3]. Dengan demikian, pemilihan mini pile sebagai pondasi untuk struktur *box culvert* di proyek Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi diharapkan dapat mengatasi tantangan geoteknik yang ada dan memastikan keberhasilan konstruksi serta operasional jalan tol tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dijabarkan maka didapat rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Berapa daya dukung tiang pancang mini (*mini pile*) pada struktur box culvert di tanah clay shale di STA. 43+370?
2. Berapa besar kontribusi gesekan selimut (*skin friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing capacity*) terhadap total daya dukung tiang pancang mini?
3. Berapa jumlah kebutuhan tiang pancang mini (*mini pile*) untuk mendukung struktur box culvert di STA. 43+370?
4. Berapa estimasi biaya yang diperlukan untuk pekerjaan pondasi tiang pancang mini (*mini pile*) dan struktur *box culvert* di lokasi studi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Menghitung besarnya daya dukung tiang pancang mini (*mini pile*) yang mampu menopang struktur *box culvert* pada kondisi tanah *clay shale* di STA. 43+370.
2. Menganalisis persentase kontribusi dari gesekan selimut (*skin friction*) dan daya dukung ujung (*end bearing capacity*) terhadap total kapasitas daya dukung tiang pancang mini.
3. Menentukan jumlah tiang pancang mini (*mini pile*) yang dibutuhkan untuk menjamin stabilitas dan keamanan struktur *box culvert*.
4. Menghitung estimasi biaya yang diperlukan untuk pekerjaan pondasi tiang pancang mini (*mini pile*) dan pembangunan struktur *box culvert* di lokasi studi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Akademisi

Penambahan literatur dan referensi ilmiah tentang penerapan tiang pancang mini pada struktur *box culvert* dalam kondisi tanah *clay shale*. memberi kontribusi kepada penelitian geoteknik tentang daya dukung dan stabilitas pondasi di tanah berdaya dukung rendah, yang bermanfaat bagi mahasiswa, peneliti, dan akademisi teknik sipil dan geoteknik.

2. Bagi Praktisi Industri Konstruksi

Memberi insinyur dan konsultan konstruksi rekomendasi desain dan metode pelaksanaan yang bisa digunakan untuk proyek serupa, terutama yang melibatkan tanah *clay shale* atau tanah berdaya dukung rendah. Ini juga membantu membuat keputusan teknis yang lebih tepat tentang cara melaksanakan proyek infrastruktur di wilayah dengan kondisi tanah yang sulit, yang dapat meningkatkan keamanan dan efisiensi biaya proyek.

3. Bagi Masyarakat

Proyek infrastruktur jalan tol diharapkan dapat meningkatkan konektivitas dan mendukung perekonomian Jawa Timur, khususnya di Probolinggo dan Banyuwangi. Ini juga akan mengurangi risiko kerusakan dan biaya perawatan di masa depan dengan meningkatkan kestabilan struktur, yang pada akhirnya akan meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

1. Lokasi Penelitian:

Penelitian ini akan berkonsentrasi pada bagian proyek Jalan Tol Probolinggo - Banyuwangi yang melintasi tanah *clay shale*, terutama pada titik pemasangan *box culvert* yang menggunakan pondasi tiang pancang mini (mini pile).

2. Tujuan Penelitian:

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis daya dukung, stabilitas, dan penurunan tanah di sekitar pondasi struktur *box culvert* dan tiang pancang mini yang ditanam di tanah *clay shale* di lokasi proyek tol.

3. Parameter yang Dianalisis:

Parameter tanah yang akan dianalisis termasuk daya dukung, kohesi, sudut geser dalam, indeks konsistensi, dan potensi penurunan (*settlement*) dari tanah *clay shale*. Parameter teknis tiang pancang mini meliputi dimensi, kapasitas daya dukung, kedalaman tanam, dan efek beban pada stabilitas *box culvert*.

4. Metode Analisis:

Penelitian ini akan menggunakan metode analisis geoteknik, seperti analisis daya dukung dan penurunan tanah (analisis penempatan). Hasil yang lebih akurat dapat diperoleh dengan menggunakan simulasi perangkat lunak geoteknik seperti Plaxis atau perangkat lunak serupa. Untuk mendukung analisis daya dukung dan stabilitas struktur, data sekunder akan dikumpulkan dari dokumen proyek serta dari survei lapangan.

5. Batasan Penelitian:

- Penelitian ini hanya akan fokus pada pondasi mini pile untuk struktur *box culvert* di area proyek dengan kondisi tanah *clay shale*.
- Tidak akan beralih membahas konstruksi lain yang tidak berkaitan langsung dengan pondasi *box culvert*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyajikan rangkuman dari seluruh hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya. Kesimpulan yang ditarik merupakan jawaban langsung terhadap rumusan masalah penelitian, sementara saran yang diberikan bertujuan untuk memberikan masukan konstruktif bagi para praktisi di industri konstruksi serta arahan bagi penelitian akademis di masa mendatang. Penyusunan bab ini mengacu pada pedoman penulisan skripsi yang berlaku.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data geoteknik dan rekayasa pondasi yang telah dilakukan untuk struktur *box culvert* di STA 43+370 Proyek Tol Probolinggo-Banyuwangi, dengan menggunakan pondasi tiang pancang mini berdimensi 25 cm x 25 cm, dapat ditarik empat kesimpulan utama sebagai berikut:

1. **Kapasitas Dukung Tiang Tunggal:** Daya dukung aksial izin (Q_{all}) untuk satu tiang pancang mini pada kondisi tanah *clay shale* di lokasi studi adalah sebesar **22.87 ton**. Nilai ini telah memperhitungkan Faktor Keamanan sebesar 3.0 dan merupakan kapasitas aman yang dapat dipikul oleh setiap tiang.
2. **Kontribusi Komponen Daya Dukung:** Analisis menunjukkan bahwa mekanisme transfer beban pondasi didominasi secara signifikan oleh gesekan selimut. Dari total kapasitas dukung ultimit, sebesar **92.57%** disumbangkan oleh tahanan gesekan selimut (Q_s), sementara hanya **7.43%** yang berasal dari tahanan ujung (Q_p). Hal ini secara definitif mengklasifikasikan pondasi *mini pile* pada lokasi ini sebagai **tiang gesek (*friction pile*)**, di mana kinerjanya sangat bergantung pada kualitas interaksi antara badan tiang dengan tanah di sekelilingnya.
3. **Kebutuhan Jumlah Tiang:** Berdasarkan analisis kapasitas dukung tiang tunggal dengan Faktor Keamanan 3.0, kebutuhan pondasi adalah **12 buah tiang pancang mini**. Namun, setelah dilakukan analisis komparatif yang mempertimbangkan **efisiensi kelompok tiang (E_g)** sesuai praktik rekayasa standar untuk tanah kohesif, ditemukan bahwa pendekatan desain yang

lebih komprehensif mengindikasikan kebutuhan sebanyak **13 buah tiang**. Perbedaan ini menyoroti pentingnya analisis interaksi kelompok untuk memastikan keamanan jangka panjang terhadap mekanisme kegagalan blok.

4. **Estimasi Biaya Pekerjaan:** Estimasi total biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan pondasi *mini pile* dan struktur *box culvert* di lokasi studi adalah sebesar **Rp 495.480.000,-** (Empat ratus sembilan puluh lima juta empat ratus delapan puluh ribu rupiah). Angka ini didasarkan pada Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang terperinci dan sudah mencakup Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sebesar 11%.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah ditarik, diajukan beberapa saran yang terbagi menjadi saran praktis untuk aplikasi di industri dan saran akademis untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

5.2.1 Saran Praktis

1. **Fokus pada Kontrol Kualitas Instalasi:** Mengingat pondasi berfungsi sebagai *friction pile*, kualitas interaksi antara permukaan tiang dan tanah *clay shale* menjadi faktor paling kritis. Oleh karena itu, pengawasan mutu selama instalasi harus menjadi prioritas utama. Direkomendasikan untuk menghindari metode pemancangan yang dapat mengurangi gesekan, seperti penggunaan *jetting* atau *wash boring* yang berlebihan yang berisiko menciptakan rongga atau melunakkan tanah di sekitar tiang.
2. **Verifikasi Integritas dan Kapasitas Tiang:** Untuk memastikan integritas struktural tiang setelah pemancangan, disarankan untuk melakukan *Pile Integrity Test* (PIT) pada persentase sampel tiang yang representatif (misalnya 10-15% dari total tiang). Lebih lanjut, mengingat sifat problematik dari *clay shale*, sangat direkomendasikan untuk melaksanakan satu uji beban statis (*Static Loading Test*) pada tiang uji (*sacrificial pile*) hingga mencapai beban ultimit. Uji ini akan memberikan data lapangan yang paling akurat untuk memvalidasi asumsi desain dan memastikan Faktor Keamanan yang sesungguhnya tercapai.

5.2.2 Saran Akademis

1. **Analisis Beban Lateral dan Momen:** Penelitian ini telah berfokus pada kapasitas beban aksial untuk menentukan jumlah tiang. Disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan yang menganalisis distribusi beban akibat momen lentur pada kelompok tiang 12 buah tersebut untuk memastikan beban pada tiang kritis (P_{maks}) tidak melebihi daya dukung izinnya. Selain itu, analisis kapasitas dukung lateral kelompok tiang juga perlu dilakukan untuk mendapatkan gambaran stabilitas pondasi yang lebih komprehensif.
2. **Studi Perbandingan Biaya dengan Opsi Pondasi Lain:** Analisis biaya telah difokuskan pada desain yang ada. Penelitian selanjutnya dapat melakukan studi komparatif dengan menganalisis desain dan biaya alternatif, seperti penggunaan pondasi sumuran atau perbaikan tanah (misalnya dengan *soil replacement*), untuk mengevaluasi solusi mana yang paling optimal dari segi teknis dan ekonomis untuk struktur *box culvert* pada kondisi tanah serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumaryoto, “Dampak keberadaan jalan tol terhadap kondisi fisik, sosial dan ekonomi lingkungannya,” *J. Rural Dev.*, vol. I, no. 2, pp. 161–168, 2010.
- [2] I. T. Pratama, “Studi Stabilitas Lereng Clay Shale di Kalimantan dengan Menggunakan Metode Keseimbangan Batas dan Pendekatan Probabilistik dan Deterministik,” *J. Rekayasa Konstr. Mek. Sipil*, vol. 04, no. September, pp. 103–113, 2021, doi: 10.54367/jrkms.v4i2.1366.
- [3] H. Tantra and A. Prihatiningsih, “Analisis Kuat Geser Tanah Clay Shale Yang Terendam Dan Tidak Terendam Dengan Unconfined Compression Test,” *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, p. 77, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i1.3037.
- [4] A. A. Pantja Gelora and C. A. Prastyanto, “Perancangan Geometri dan Perkerasan Kaku Jalan Tol Cileunyi-Sumedang-Dawuan Seksi 5,” *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.63337.
- [5] S. Nasional, “Standar pembebanan untuk jembatan,” 2005.
- [6] N. N. Uyun, N. Endah, and P. T. Kumalasari, “Analisa Stabilitas Timbunan Jalan Berdasarkan Instrumen Geoteknik pada Proyek Pembangunan Relokasi Jalan Tol Surabaya–Gempol, Paket 3A STA 40+950 – 42+200: Ruas Porong – Gempol,” *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.26244.
- [7] M. Metode, E. Hingga, I. N. Hamdhan, and D. S. Pratiwi, “Analisis Stabilitas Lereng dalam Penanganan Longsoran,” *J. Rekayasa Hijau ISSN 2550-1070*, vol. I, no. 2, pp. 100–111, 2017.
- [8] Y. D. Setiyarto, “Standar Pembebanan Pada Jembatan Menurut SNI 1725 2016,” *Load. Stand. Bridg. Accord. to SNI 1725 2016*, no. 9, p. 8, 2017, [Online]. Available: <https://repository.unikom.ac.id/54571/1/vii-10->

y.djoko-setiyarto-standar-pembebanan-pada-jembatan.pdf

- [9] A. Nurdiana, R. Susanti, and M. Rifqi Naufaldy, “Jurnal Proyek Teknik Sipil PERENCANAAN JEMBATAN MLULON DENGAN BOX CULVERT,” *J. Civ. Eng. Proj.*, vol. 4, no. 1, p. 2021, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi>
- [10] A. Yusuf, I. Dio, and kresno wikan S, “Perilaku Clay Shale Terhadap Kuat Geser Residual,” *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1994, p. 81, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/viewFile/17034/16329>
- [11] E. Hartono, “Karakterisasi Tanah Clay Shale Ungaran - Bawen,” 2017.
- [12] R. A. Ariesnawan, “Karakteristik Mekanik Dan Dinamik Clay Shale Kabupaten Tuban Terhadap Perubahan Kadar Air,” *Thesis Rc-2399*, p. 1, 2015, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/41609/1/3112201002-Master Thesis.pdf>
- [13] A. M. A. Putera, S. Pramusandi, and B. Damianto, “Identification and classification of clayshale characteristic and some considerations for slope stability,” *African J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 4, pp. 163–197, 2017, doi: 10.5897/ajest2014.1792.
- [14] C. Timur *et al.*, “ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG MENGGUNAKAN DATA SONDIR DAN SPT PADA PEMBANGUNAN GEDUNG FAKULTAS ILMU KESEHATAN UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SYARIF HIDAYATULLAH JAKARTA , Metode Penyelidikan Tanah Menggunakan Sondir (Cone Penetration Test) dan SP,” pp. 20–26.
- [15] M. Mulyono and D. H. Agustina, “Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Dan Kelompok (Studi Kasus Proyek Hangar Lion Air Batam),” *Sigma Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 372–382, 2022, doi: 10.33373/sigmateknika.v5i2.4646.
- [16] M. Khairi, D. Sundary, and H. Gunawan, “Daya Dukung Pondasi Tiang

- Pancang Dengan Metode Statis Menggunakan Data Laboratorium,” *J. Civ. Eng. Student*, vol. 3, no. 3, pp. 287–293, 2021, doi: 10.24815/journalces.v3i3.17804.
- [17] S. K. Khotimah, M. Isram, and E. Azmanajaya, “STUDI PERBANDINGAN DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DIVERIFIKASI DENGAN HASIL UJI PILE DRIVING ANALYZER (Studi Kasus Proyek Overpass Jalan Tol Balikpapan-Samarinda),” *J. Tugas Akhir Tek. Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 277–290, 2019, [Online]. Available: <https://ojs.poltekba.ac.id/ojs/index.php/jutateks/article/view/186>
- [18] A. Nuranto, “ANALISIS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG MINI PILE,” pp. 1–12, [Online]. Available: ejournal.jagakarsa.ac.id
- [19] L. Adh rence, P. Battus, and S. Argileux, “INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING The Adh sion of Piles Driven in Clay Soils L’Adh rence des Pieux Battus dans des Sols Argileux”, [Online]. Available: <https://www.issmge.org/publications/online-library>
- [20] X. Chen, J. Van Den Broecke, and S. A. Miedema, “Experimental Study on the Adhesion Factor of Clay,” *Terra Aqua*, pp. 6–17, 2021, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/352559988>
- [21] S. Kawengian, S. Balamba, and A. N. Sarajar, “Analisis Daya Dukung Lateral pada Tiang Pancang Kelompok di Dermaga Belang,” *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 9, pp. 683–692, 2018.
- [22] U. T. Madura, “REPUBLIK INDONESIA PEKERJAAN Jasa Konsultan Perancang Pembangunan Gedung Klinik Universitas Trunojoyo Madura Review Tahun Anggaran,” 2024.