STUDI DEFORMASI TANAH DASAR PADA OPRIT JEMBATAN DI MEMPAWAH (STUDI KASUS: DUPLIKASI JEMBATAN AIR HITAM PENGHUBUNG SUNGAI NIPAH–PONTIANAK STA 0+174,7)

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Jurusan Teknik Sipil

Oleh:

RIZKI INDAH MAULANI

NIM. D1011221014

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2026

STUDI DEFORMASI TANAH DASAR PADA OPRIT JEMBATAN DI MEMPAWAH (STUDI KASUS: DUPLIKASI JEMBATAN AIR HITAM PENGHUBUNG SUNGAI NIPAH–PONTIANAK STA 0+174,7)

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Jurusan Teknik Sipil

Oleh:

RIZKI INDAH MAULANI

NIM. D1011221014

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizki Indah Maulani

NIM : D1011221014

Menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul "Studi Deformasi Tanah Dasar pada Oprit Jembatan di Mempawah (Studi Kasus: Duplikasi Jembatan Air Hitam Penghubung Sungai Nipah-Pontianak STA 0+174,7)" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 26 Agustus 2026



Rizki Indah Maulani

NIM. D1011221014

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS,
DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI DEFORMASI TANAH DASAR PADA OPRIT JEMBATAN DI MEMPAWAH (STUDI KASUS: DUPLIKASI JEMBATAN AIR HITAM PENGHUBUNG SUNGAI NIPAH–PONTIANAK STA 0+174,7)

Jurusan Teknik Sipil
Program Studi Sarjana Teknik Sipil

Oleh:

Rizki Indah Maulani
NIM D1011221014

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 26 Agustus 2026
dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana teknik

Susunan Penguji Skripsi

Dosen Pembimbing Utama	: Prof. Dr.rer.nat. Ir. R.M. Rustamaji, M.T., IPU NIP 19680116199403100 3
Dosen Pembimbing Kedua	: Ir. Vivi Bachtiar, S.T., M.T., IPM NIP 19700105199702200 3
Dosen Penguji Utama	: Dr.-Ing. Ir. Eka Priadi, M.T. NIP 19630324199003100 2
Dosen Penguji Kedua	: Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM NIP 19671223199203100 2

Pontianak, 26 Agustus 2026

Dekan,

Dr.–Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP 19671223199203100 2

Pembimbing Utama,

Prof. Dr.rer.nat. Ir. R.M. Rustamaji, M.T., IPU
NIP 19680116199403100 3

Dipindai dengan CamScanner

بسم الله الرحمن الرحيم

Skripsi ini saya persembahkan kepada
Kedua orang tua yang paling saya cintai,
Ayah Firdaus dan Mamak Sri Nurhidayah,
serta kepada diri saya sendiri.

"Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.
Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan"
(QS. Al-Insyirah [94]: 5-6)

PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT karena karunia–Nya sehingga tugas akhir saya yang berjudul Studi Deformasi Tanah Dasar Pada Oprit Jembatan di Mempawah (Studi Kasus: Duplikasi Jembatan Air Hitam Penghubung Sungai Nipah–Pontianak STA 0+174,7) yang diajukan untuk memenuhi sebagai syarat-syarat guna memperoleh gelar Sarjana Strata–1 (S1) Teknik, Universitas Tanjungpura dapat diselesaikan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas rida-Nya yang selalu menyertai penulis sebagai Pemilik Rencana Terbaik.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil sehingga dalam prosesnya penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr.–Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik sekaligus Dosen Penguji Kedua yang telah memberikan saran serta masukan kepada penulis.
4. Ibu Dr. Ir. Nurhayati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
5. Ibu Dr. Ir. Eti Sulandari, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.
6. Bapak Prof. Dr.rer.nat. Ir. R.M. Rustamaji, M.T., IPU selaku Dosen Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan kepada penulis.
7. Ibu Ir. Vivi Bachtiar, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah membimbing dan memberikan saran serta masukan kepada penulis.
8. Bapak Dr.–Ing. Ir. Eka Priadi, M.T. selaku Dosen Penguji Utama yang telah memberikan saran serta masukan kepada penulis.
9. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat bagi diri penulis.
10. Staf Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang sedikit banyak sudah membantu penulis selama proses perkuliahan.

11. Staf, Pranata, dan Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang banyak membantu memberikan masukan serta saran untuk penulisan tugas akhir ini.
12. Teman-teman yang telah membantu penulis melakukan pengujian di laboratorium, Ari, Firdaus, Jimmy, Lia, dan Kaloka.
13. Pranata dan Asisten Laboratorium Survey dan Pemetaan Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang selalu ada dan menjadi tempat belajar sekaligus menjadi rumah pertama penulis di kampus.
14. Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMS) Periode 2023/2024 hingga Periode 2024/2025. Kakak, abang, teman-teman yang telah memberikan pengalaman berharga bagi penulis untuk belajar rasa kebersamaan, tanggung jawab, dan kerja sama sebagai rekan sekaligus keluarga penulis selama masa perkuliahan.
15. Kepada sahabat penulis selama masa kuliah yang selalu menemani penulis dalam prosesnya, *Basecamp*, Rizqiyah Aidini, Lidya Shinta Bella, Kartika Sari, Fitria Nabilah, Siti Toharoh, Rizky Ratna Wulan, dan Tasya Nalurita Hutami.
16. Pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
17. Teruntuk diri sendiri, terima kasih karena sudah sangat berjuang dan tidak menyerah.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, dikarenakan keterbatasan pengetahuan dan wawasan yang penulis miliki. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun akan diterima dengan segala kerendahan hati. Demikian prakata ini disampaikan dan semoga penelitian ini bermanfaat bagi ilmu pengetahuan, para pembaca dan diri penulis.

Pontianak, Agustus 2026
Penulis,

Rizki Indah Maulani

ABSTRAK

Oprit jembatan adalah bagian penghubung antara struktur jembatan dengan jalan raya. Perbedaan kekakuan antara struktur jembatan dan timbunan oprit pada tanah lunak berpotensi menimbulkan deformasi berupa penurunan tanah dasar yang dapat memengaruhi kinerja konstruksi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis besar deformasi tanah dasar pada oprit Jembatan Air Hitam di Kabupaten Mempawah, Analisis dilakukan melalui perhitungan manual penurunan total kemudian dibandingkan dengan pemodelan numerik menggunakan Plaxis 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah dasar diklasifikasikan sebagai lempung lanauan plastisitas tinggi (MH) yang didominasi lapisan lunak hingga kedalaman 39 m. Penurunan total secara manual tanpa perkuatan berkisar 1,201–1,315 m, sedangkan dengan perkuatan berupa cerucuk berkurang menjadi 0,963–1,058 m atau menurun sekitar 20%. Waktu konsolidasi berlangsung dalam rentang waktu yang diperkirakan mencapai 629 tahun, namun penurunan yang terjadi masih melampaui batas penurunan yang diizinkan. Dibandingkan dengan hasil program Plaxis 2D, kondisi tanpa perkuatan ditemui tanah tidak mampu menahan beban timbunan terlalu tinggi, tanah mengalami *collapse* setelah diberikan timbunan lebih tinggi dari 3,8 m. Hasil Deformasi menggunakan Plaxis 2D kondisi dengan perkuatan memiliki selisih eror hingga 13% dibandingkan analisis manual. Dengan demikian, adanya perkuatan cerucuk terbukti mampu mengurangi deformasi, namun belum sepenuhnya memenuhi persyaratan kinerja sehingga metode perbaikan tanah masih diperlukan.

Kata kunci: deformasi, oprit jembatan, penurunan, tanah lunak, Plaxis 2D.

ABSTRACT

A bridge approach is the transition section connecting a bridge structure to the roadway. The difference in stiffness between the bridge structure and the approach embankment constructed on soft soil has the potential to cause ground deformation in the form of foundation settlement, which may affect construction performance. This study was conducted to identify the characteristics of the foundation soil, analyze the magnitude of foundation soil deformation at the approach embankment of the Air Hitam Bridge in Mempawah Regenc. The analysis was performed through manual calculations of total settlement and subsequently compared with numerical modeling using Plaxis 2D. The results showed that the foundation soil was classified as high-plasticity silt (MH), predominantly consisting of soft soil layers extending to a depth of 39 m. The manually calculated total settlement without reinforcement ranged from 1,201 to 1,315 m, whereas the application of timber pile reinforcement reduced the settlement to 0,963 to 1,058 m, representing a reduction of approximately 20%. The consolidation period was estimated to reach 629 years; however, the resulting settlement still exceeded the allowable settlement limit. Based on the Plaxis 2D analysis, the unreinforced condition indicated that the foundation soil was unable to withstand excessive embankment loading and experienced collapse when the embankment height exceeded 3,8 m. For the reinforced condition, the deformation results obtained from Plaxis 2D showed a difference of up to 13% compared with the manual analysis. Therefore, timber pile reinforcement was proven to reduce ground deformation; however, the required performance criteria were not fully satisfied, indicating that additional ground improvement measures are still necessary.

Keywords: *bridge approach, deformation, settlement, soft soil, Plaxis 2D.*

DAFTAR ISI

PRAKATA i
ABSTRAK iii
ABSTRACT iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL x
DAFTAR LAMPIRAN xii
GLOSARIUM xiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Pembatasan Masalah 3
1.5 Hipotesis Penelitian 4
1.6 Sistematika Penulisan 5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Tanah 6
2.1.1 Klasifikasi Tanah 8
2.1.2 Stratifikasi Tanah 14
2.1.3 Tanah Lunak 18
2.1.3.1 Tanah Lempung Lunak 18
2.1.3.2 Tanah Gambut 19
2.1.3.3 Tanah Lempung Organik 19
2.1.4 Tanah Ekspansif 20
2.2 Penyelidikan Tanah 21
2.2.1 Penyelidikan Tanah di Lapangan 22
2.2.1.1 *Cone Penetration Test* (CPT). 22
2.2.1.2 *Standard Penetration Test* (SPT). 23
2.2.1.3 Bor Tangan (*Hand Auger*) 24
2.2.2 Pengujian Laboratorium 25
2.2.2.1 Pengujian Terhadap Sifat Fisik Tanah 25
2.2.2.2 Pengujian Terhadap Sifat Mekanis Tanah 28
2.2.3 Pengujian SEM-EDX *Mapping* 29
2.3 Deformasi dan Penurunan Tanah 31
2.3.1 Kedalaman Zona Pengaruh Beban 32
2.3.2 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*) 33
2.3.3 Penurunan Konsolidasi Primer 36
2.3.4 Penurunan Konsolidasi Sekunder 41
2.3.5 Penurunan Izin 42
2.4 Konsolidasi 43
2.4.1 Kondisi Tanah saat Konsolidasi 43
2.4.2 Tekanan Prakonsolidasi (*Preconsolidation Pressure*) 44
2.4.3 Kecepatan Penurunan Konsolidasi 45
2.5 Jembatan 47
2.5.1 Struktur Atas (*Superstructure*) 48

2.5.2 Struktur Bawah (*Substructure*) 48
2.5.3 Oprit jembatan 49
2.6 Pembebanan Pada Jembatan 50
2.6.1 Beban Permanen 50
2.6.2 Beban Transien 52
2.7 Kondisi Infrastruktur Jalan 52
2.7.1 Kondisi Jalan *At-Grade* 52
2.7.2 Kondisi Jalan *At-Fills* 53
2.7.3 Kondisi Jalan *At-Cut* 53
2.8 Metode Perbaikan Tanah 54
2.8.1 Perbaikan Mekanik 55
2.8.2 Perbaikan Hidrolik 55
2.8.3 Perbaikan Fisika dan Kimia 55
2.8.4 Perkuatan Tanah 56
2.9 Tahapan Penggunaan Aplikasi Plaxis 2D 2024.2 56
2.9.1 Model Material 58
2.9.1.1 *Mohr-Coulomb model* (MC) 58
2.9.1.2 *Soft Soil model* (SS) 58
2.9.1.3 *Soft Soil Creep model* (SSC) 59
2.10 Studi Kasus Terdahulu 61

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 63

3.1 Umum 63
3.2 Lokasi Penelitian 63
3.3 Data yang Digunakan 66
3.3.1 *Standart Penetration Test* (SPT) 66
3.3.2 Data Laboratorium 68
3.3.3 Data Hasil Korelasi Parameter Tanah 71
3.3.4 Data Tanah Dasar 72
3.3.5 Data Tanah Timbunan dan Cerucuk 74
3.3.6 Data Konstruksi Jembatan 75
3.4 Beban yang bekerja 78
3.4.1 Beban Perkerasan 79
3.4.2 Beban Lalu Lintas 79
3.4.3 Beban Pejalan Kaki 80
3.4.4 Total Beban *Surcharge* 80
3.5 Pemodelan Struktur Lapisan Tanah 80
3.6 Metode Analisis 81
3.6.1 Analisis Perhitungan Manual 81
3.6.2 Pemodelan Numerik dengan Plaxis *2*D 83
3.7 Bagan Alir Penelitian 93

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN 94

4.1 Tinjauan Umum 94
4.2 Analisis Indeks Tanah 95
4.2.1 *Activity* (A) 95
4.2.2 *Group Index* (GI) 95
4.3 Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD) Sampel Tanah 96

4.3.1 Pengamatan Morfologi Sampel Tanah 96
4.3.2 Interpretasi Fasa Mineral Tanah 97
4.4 Analisis Perhitungan Manual Penurunan Tanah Dasar 99
4.4.1 Tanpa Perkuatan 99
4.4.1.1 Penurunan Segera 99
4.4.1.2 Penurunan Konsolidasi Primer 102
4.4.1.3 Analisis Waktu Penurunan Konsolidasi 113
4.4.1.4 Penurunan Total 115
4.4.1.5 Penurunan Izin 116
4.4.2 Dengan Perkuatan 117
4.4.2.1 Penurunan Segera 117
4.4.2.2 Penurunan Konsolidasi Primer 120
4.4.2.3 Analisis Waktu Penurunan Konsolidasi 130
4.4.2.4 Penurunan Total 130
4.4.2.5 Penurunan Izin 131
4.5 Penurunan Tanah Dasar Dengan Program Plaxis 2D 133
4.5.1 Tanpa Perkuatan 133
4.5.2 Dengan Perkuatan 135
4.6 Perbandingan Hasil Analisis Penurunan Tanah Dasar 138
4.6.1 Dasar Perbandingan Metode Manual dan Plaxis 2D 138
4.6.2 Hasil Perbandingan Penurunan 138

BAB 5 PENUTUP 142

5.1 Kesimpulan 142
5.2 Saran 143

DAFTAR RUJUKAN 145
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Dokumentasi lokasi penelitian 2
Gambar 2.1 Fase elemen tanah 7
Gambar 2.2 Klasifikasi berdasarkan tekstur oleh USDA..... 9
Gambar 2.3 Grafik Plastisitas 11
Gambar 2.4 Korelasi sudut dilatansi 18
Gambar 2.5 Lokasi tanah lunak di Indonesia..... 20
Gambar 2.6 Kerucut konus mekanis, urutan kerja alat, dan data tahanan ujung .. 23
Gambar 2.7 Skema uji *standard penetration test* (SPT)..... 24
Gambar 2.8 Ilustrasi alat bor tangan 25
Gambar 2.9 Alat uji SEM dan contoh hasil *mapping* oleh UPA Laboratorium Terpadu UNTAN, 2026. Diakses dari https://upt-labterpadu.untan.ac.id/ 30
Gambar 2.10 Grafik waktu pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan (Das, 1995) 32
Gambar 2.11 Tekanan overburden dan distribusi tegangan vertikal 33
Gambar 2.12 Nilai A1 dan A2 untuk perhitungan penurunan elastis..... 34
Gambar 2.13 Penurunan elastis pada fondasi fleksibel dan kaku 35
Gambar 2.14 Penurunan elastis pada fondasi fleksibel..... 36
Gambar 2.15 Tambahan tegangan pada tanah..... 37
Gambar 2.16 Kurva kompresi awal untuk lempung *normally consolidated* 38
Gambar 2.17 Kurva konsolidasi untuk tanah lempung *overconsolidated* 39
Gambar 2.18 Tambahan tegangan metode 2:1 40
Gambar 2.19 Variasi e terhadap log t pada kenaikan beban tertentu 41
Gambar 2.20 Kalkulasi penurunan satu dimensi..... 43
Gambar 2.21 (a) Diagram skematis susunan pengujian konsolidasi; 44
Gambar 2.22 Variasi Δu terhadap waktu dan kedalaman..... 45
Gambar 2.23 Bagian-bagian struktural jembatan pada umumnya 48
Gambar 2.24 Abutmen jembatan..... 49
Gambar 2.25 Struktur utama jembatan 50
Gambar 2.26 Kondisi jalan *at-grade*..... 53
Gambar 2.27 Penurunan dan keruntuhan timbunan jalan pada tanah lunak 53
Gambar 2.28 Kondisi perkerasaan jalan *at-cut* 54
Gambar 2.29 Jenis metode perbaikan tanah (SNI 8460:2017) 54
Gambar 2.30 Tampilan awal Plaxis..... 57
Gambar 2.31 *Calculating phases* 57
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian 63
Gambar 3.2 *Layout* lokasi penelitian 64
Gambar 3.3 Dokumentasi Penurunan pada Oprit Jembatan 65
Gambar 3.4 Tampak Oprit Jembatan..... 65
Gambar 3.5 Lokasi titik pengujian tanah SPT 68
Gambar 3.6 Potongan memanjang jembatan 75
Gambar 3.7 Denah rencana jembatan 76
Gambar 3.8 Potongan melintang jembatan 77
Gambar 3.9 Lapisan perkerasan jalan raya di Jembatan Air Hitam 79
Gambar 3.10 Stratigrafi tanah berdasarkan data borlog..... 80
Gambar 3.11 Pemodelan analisis penurunan tanpa perkuatan 82
Gambar 3.12 Pemodelan analisis penurunan dengan perkuatan 83
Gambar 3.13 *Start Option* 84

Gambar 3.14 *Project properties* 84
Gambar 3.15 *General setting project properties model* 85
Gambar 3.16 *Insert borehole* 85
Gambar 3.17 *Modify soil layers* 86
Gambar 3.18 *Soil material set* 86
Gambar 3.19 *Create soil polygon* 87
Gambar 3.20 *Cut polygon* 87
Gambar 3.21 *Create structure* 87
Gambar 3.22 *Create array* 88
Gambar 3.23 *Create load* 88
Gambar 3.24 *Mesh Option* 88
Gambar 3.25 *Flow conditions* 89
Gambar 3.26 *Phases* 90
Gambar 3.27 *Deformed Mesh* 91
Gambar 3.28 *Total displacements (Arrow)* 91
Gambar 3.29 *Total displacements (Shadings)* 91
Gambar 3.30 Grafik penurunan vs ΣM_{SF} 92
Gambar 3.31 Bagan alir penggunaan program Plaxis 2D 92
Gambar 3.32 Bagan alir penelitian 93
Gambar 4.1 Mikrograf SEM sampel lempung pada perbesaran 15.000× (20 kV, SP = 6, WD = 22,2 mm, mode SE; Laboratorium UPA UNTAN, 2026) 97
Gambar 4.2 Difraktogram XRD sampel lempung, radiasi Cu-Kα, 2θ = 5°– 90° (Laboratorium UPA UNTAN, 2026) 98
Gambar 4.3 Tinjauan kedalaman z di bawah timbunan tanpa perkuatan 102
Gambar 4.4 Geometri potongan 1-1 kondisi tanpa perkuatan 103
Gambar 4.5 Geometri potongan 2-2 kondisi tanpa perkuatan 105
Gambar 4.6 Geometri potongan 3-3 kondisi tanpa perkuatan 107
Gambar 4.7 Ketebalan lapisan tanah aktual 114
Gambar 4.8 Tinjauan kedalaman z di bawah timbunan dengan perkuatan 120
Gambar 4.9 Geometri potongan 1-1 kondisi dengan perkuatan 121
Gambar 4.10 Geometri potongan 2-2 kondisi dengan perkuatan 123
Gambar 4.11 Geometri potongan 3-3 kondisi dengan perkuatan 125
Gambar 4.12 *Deformed Mesh* kondisi tanpa perkuatan 133
Gambar 4.13 *Total displacement* kondisi tanpa perkuatan 134
Gambar 4.14 *Step vs Safety* ΣM_{SF} kondisi tanpa perkuatan 134
Gambar 4.15 *Deformed Mesh* kondisi dengan perkuatan STA 0+175 135
Gambar 4.16 *Total displacement* kondisi dengan perkuatan STA 0+175 135
Gambar 4.17 *Deformed Mesh* kondisi dengan perkuatan STA 0+200 136
Gambar 4.18 *Total displacement* kondisi dengan perkuatan STA 0+200 136
Gambar 4.19 *Deformed Mesh* kondisi dengan perkuatan STA 0+225 137
Gambar 4.20 *Total displacement* kondisi dengan perkuatan STA 0+225 137
Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil penurunan tanah secara manual 140
Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil penurunan tanah manual vs plaxis kondisi dengan perkuatan 141

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batasan-batasan ukuran golongan tanah 8
Tabel 2.2 Sistem klasifikasi tanah menurut AASHTO..... 10
Tabel 2.3 Simbol USCS 11
Tabel 2.4 Klasifikasi tanah lempung berdasarkan indeks plastisitas 12
Tabel 2.5 *Unified Soil Clasification System Chart* (sesuai ASTM D2487-10, 2011)..... 13
Tabel 2.6 Korelasi nilai berat isi tanah berdasarkan jenis tanah 14
Tabel 2.7 Nilai tipikal berat isi tanah 15
Tabel 2.8 Korelasi Nilai N-SPT Terhadap Kepadatan Tanah..... 15
Tabel 2.9 Korelasi nilai CI dan cu berdasarkan nilai N-SPT..... 15
Tabel 2.10 Nilai korelasi *Poisson's Ratio* berdasarkan jenis material..... 16
Tabel 2.11 Korelasi nilai modulus elastisitas 16
Tabel 2.12 Korelasi empiris untuk Dr, ϕ, γ berdasarkan nilai N' tanah berbutir... 16
Tabel 2.13 Korelasi nilai tipikal c' dan ϕ'..... 17
Tabel 2.14 Nilai tipikal permeabilitas tanah 17
Tabel 2.15 Nilai tipikal angka pori, e untuk tanah asli..... 17
Tabel 2.16 Kuat geser lempung lunak..... 18
Tabel 2.17 Indikator kuat geser tak terdrainase tanah lempung lunak 18
Tabel 2.18 Tipe tanah berdasarkan kadar organik..... 19
Tabel 2.19 Klasifikasi potensi ekspansi tanah..... 20
Tabel 2.20 Hubungan aktivitas dan kandungan mineral tanah 21
Tabel 2.21 Standar ukuran saringan..... 28
Tabel 2.22 Batas penurunan untuk timbunan..... 42
Tabel 2.23 Hubungan faktor waktu dan derajat konsolidasi..... 47
Tabel 2.24 Berat isi untuk beban mati (SNI 1727:2020) 51
Tabel 2.25 Beban lalu lintas dan beban di luar jalan untuk analisis stabilitas (DPU, 2001) dalam (SNI 8460:2017) 52
Tabel 2.26 Penelitian terdahulu..... 61
Tabel 3.1 Data yang digunakan..... 66
Tabel 3.2 Konsistensi tanah setiap kedalaman data DB-01 66
Tabel 3.3 Konsistensi tanah setiap kedalaman data DB-02 67
Tabel 3.4 Hasil Penyelidikan Tanah SPT DB.01..... 67
Tabel 3.5 Hasil Penyelidikan Tanah SPT DB.02..... 67
Tabel 3.6 Jenis pengujian dan acuan yang digunakan..... 69
Tabel 3.7 Data Parameter Tanah Hasil Pengujian Laboratorium 70
Tabel 3.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanah Timbunan Peniraman 71
Tabel 3.9 Parameter tanah dasar acuan analisis penurunan secara manual..... 72
Tabel 3.10 Parameter tanah dasar acuan analisis penurunan program Plaxis 2D . 73
Tabel 3.11 Parameter tanah timbunan 74
Tabel 3.12 Spesifikasi dan parameter cerucuk 74
Tabel 4.1 Rekapitulasi penurunan segera tanpa perkuatan 101
Tabel 4.2 Kedalaman z..... 102
Tabel 4.3 Rekapitulasi perhitungan σ_o' potongan 1-1 tanpa perkuatan tinjauan 2B 103
Tabel 4.4 Rekapitulasi Δσ potongan 1-1 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 2B .. 104
Tabel 4.5 Rekapitulasi perhitungan S_c potongan 1-1 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 2B 104

Tabel 4.6 Rekapitulasi Δσ potongan 2-2 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 2B .. 106
Tabel 4.7 Rekapitulasi perhitungan S_c potongan 2-2 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 2B 106
Tabel 4.8 Rekapitulasi Δσ potongan 3-3 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 2B .. 108
Tabel 4.9 Rekapitulasi perhitungan S_c potongan 3-3 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 2B 108
Tabel 4.10 Rekapitulasi σ_o' potongan 1-1 tanpa perkuatan tinjauan 36 m..... 109
Tabel 4.11 Rekapitulasi Δσ potongan 1-1 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 36 m..... 109
Tabel 4.12 Rekapitulasi perhitungan S_c potongan 1-1 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 36 m.....110
Tabel 4.13 Rekapitulasi Δσ potongan 2-2 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 36 m.....111
Tabel 4.14 Rekapitulasi perhitungan S_c potongan 2-2 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 36 m.....111
Tabel 4.15 Rekapitulasi Δσ potongan 3-3 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 36 m.....112
Tabel 4.16 Rekapitulasi perhitungan S_c potongan 3-3 kondisi tanpa perkuatan tinjauan 36 m.....113
Tabel 4.17 Rekapitulasi penurunan konsolidasi primer kondisi tanpa perkuatan 113
Tabel 4.18 Hasil perhitungan waktu penurunan *single-way drainage*.....114
Tabel 4.19 Hasil perhitungan waktu penurunan *two-way drainage*.....115
Tabel 4.20 Analisis batas kriteria penurunan kondisi tanpa perkuatan 116
Tabel 4.21 Rekapitulasi Penurunan Segera dengan perkuatan..... 120
Tabel 4.22 Kedalaman z..... 121
Tabel 4.23 Rekapitulasi σ_o' potongan 1-1 dengan perkuatan..... 122
Tabel 4.24 Rekapitulasi Δσ potongan 1-1 kondisi dengan perkuatan..... 122
Tabel 4.25 Rekapitulasi Sc potongan 1-1 kondisi dengan perkuatan..... 123
Tabel 4.26 Rekapitulasi Δσ potongan 2-2 kondisi dengan perkuatan..... 124
Tabel 4.27 Rekapitulasi Sc potongan 2-2 kondisi dengan perkuatan..... 124
Tabel 4.28 Rekapitulasi ΔP potongan 3-3 kondisi dengan perkuatan..... 126
Tabel 4.29 Rekapitulasi Sc potongan 3-3 kondisi dengan perkuatan..... 126
Tabel 4.30 Rekapitulasi σ_o' potongan 1-1 dengan perkuatan..... 127
Tabel 4.31 Rekapitulasi Δσ potongan 1-1 kondisi dengan perkuatan..... 127
Tabel 4.32 Rekapitulasi Sc potongan 1-1 kondisi dengan perkuatan..... 128
Tabel 4.33 Rekapitulasi Δσ potongan 2-2 kondisi dengan perkuatan..... 128
Tabel 4.34 Rekapitulasi perhitungan Sc potongan 2-2 kondisi dengan perkuatan..... 129
Tabel 4.35 Rekapitulasi Δσ potongan 3-3 kondisi dengan perkuatan..... 129
Tabel 4.36 Rekapitulasi Sc potongan 3-3 kondisi dengan perkuatan..... 130
Tabel 4.37 Rekapitulasi penurunan konsolidasi primer dengan perkuatan cerucuk..... 130
Tabel 4.38 Analisis batas kriteria penurunan kondisi dengan perkuatan 132
Tabel 4.39 Perbandingan metode manual dan dengan program 138
Tabel 4.40 Perbandingan hasil analisis penurunan secara manual..... 140
Tabel 4.41 Hasil analisis penurunan pada program PLAXIS 2D..... 141
Tabel 4.42 Persentase error perhitungan manual dan Plaxis 2D 141

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data Uji Laboratorium A-1
Lampiran B. Data Uji *Standart Penetration Test* (SPT) B-1
Lampiran C. Gambar Rencana (GBR) Penggantian Jembatan Air Hitam Ruas Sungai Pinyuh-Batas Kota Pontianak..... C-1
Lampiran D. *As Built Drawing* (ABD) Penggantian Jembatan Air Hitam Ruas Sungai Pinyuh-Batas Kota Pontianak..... D-1
Lampiran E. Dokumentasi Pengujian Laboratorium E-1
Lampiran F. *Output* Plaxis 2D.....F-1

GLOSARIUM

V	=	Volume tanah total
Vs	=	Volume butiran padat
Vv	=	Volume rongga (*void*)
Vw	=	Volume air dalam pori
e	=	Angka pori (*void ratio*)
e_o	=	Angka pori awal (*initial void ratio)* sebelum pembebanan
e_p	=	Angka pori setelah konsolidasi primer selesai
Δe	=	Perubahan angka pori
E	=	Modulus elastisitas/*Modulus Young*
n	=	porositas
w	=	Kadar air (*water content*)
Sr	=	Derajat kejenuhan (*degree of saturation*)
Gs	=	Berat jenis butiran (*specific gravity*)
Dr	=	Kerapatan relatif (*relative density*)
γ_{unsat}	=	Berat volume tanah tak jenuh (*unsaturated unit weight*)
γ_{dry}	=	Berat volume kering (*dry unit weight*)
γ_{wet}	=	Berat volume basah (*wet unit weight*)
γ_{sat}	=	Berat volume jenuh (*saturated unit weight*)
γ_w	=	Berat isi air = 9,81 kN/m^2
γ'	=	Berat volume efektif = $\gamma_{sat} - \gamma_w$
LL	=	*Liquid limit*/batas cair
PL	=	*Plastic limit*/batas plastis
SL	=	*Shrinkage limit*/batas susut
PI	=	*Plasticity index*/indeks plastisitas
GI	=	*Group index*
LI	=	*Liquidity index*
c	=	Kohesi tanah
c_u	=	Kohesi tanah tak terdrainase (*undrained)*
c'	=	Kohesi tanah efektif
ϕ	=	Sudut geser dalam
ψ	=	Sudut dilatansi
τ	=	Tegangan geser
k; k_x; k_y	=	Koefisien permeabilitas—k_x arah horizontal, k_y arah vertikal
υ	=	*Poisson's ratio*
υ'	=	*Poisson's ratio* efektif
υ_{ur}	=	*Poisson's ratio unload-reload*
σ'_o; P_o'	=	Tegangan overburden efektif awal
$\Delta\sigma$; ΔP	=	Tambahan tegangan akibat beban luar
σ'_c; P_c'	=	Tegangan prakonsolidasi
u	=	Tekanan air pori

C_C	=	Indeks kompresibilitas (*compression index*)
C_S; Cr	=	Indeks pengembangan/rekompresibilitas (*swelling/recompression index*)
Cα	=	Indeks kompresi sekunder (*secondary compression index*)
λ	=	Indeks kompresi yang dimodifikasi
κ	=	Indeks pengembangan yang dimodifikasi
c_v	=	Koefisien konsolidasi
m_v	=	Koefisien perubahan volume
U	=	Derajat konsolidasi
Tv	=	Faktor waktu konsolidasi
t	=	Waktu penurunan konsolidasi
t_1	=	Waktu awal perhitungan konsolidasi sekunder = waktu akhir konsolidasi primer
t_2	=	Waktu akhir tinjauan konsolidasi sekunder = umur rencana
SF; FK	=	*Safety factor*/faktor keamanan
OCR	=	Rasio prakonsolidasi (*Over Consolidation Ratio*)
N-SPT	=	Nilai pukulan uji penetrasi standar (*Standard Penetration Test*)—jumlah pukulan per 30 cm penetrasi
Si	=	Penurunan segera
Sc	=	Penurunan konsolidasi primer
Ss	=	Penurunan konsolidasi sekunder
S	=	Penurunan
S_{izin}	=	Penurunan yang diizinkan
I	=	Faktor pengaruh distribusi tegangan
$q_{surcharge}$	=	Beban tambahan
q_{tim}	=	Beban timbunan (*embankment load*)
B	=	Lebar timbunan/fondasi
H	=	Tinggi / ketebalan lapisan
H_{dr}	=	Panjang jalur drainase (*drainage path length*)
ΔH	=	Perubahan tinggi
a	=	Lebar proyeksi horizontal kaki lereng timbunan
b	=	Lebar horizontal sisi miring timbunan
qc	=	Tahanan konus (*cone resistance*)
fs	=	Hambatan selimut (*sleeve friction*)
Tf	=	*Total friction*
Rf	=	Rasio gesekan (*friction ratio*)
R	=	Jari-jari bidang gelincir
α	=	Sudut kemiringan dasar irisan terhadap horizontal
W	=	Berat irisan (*slice weight*)
Θ	=	Sudut dalam

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu prasarana sipil yang memiliki fungsi sebagai penghubung lalu lintas pada suatu lintasan yang diskontinyu. Seiring dengan perkembangan suatu wilayah, kebutuhan sarana dan prasarana transportasi semakin meningkat, hal ini mengakibatkan permintaan akan jalan dan jembatan ikut bertambah. Prasarana transportasi dirancang agar mampu mengalirkan lalu lintas dengan lancar, serta konektivitas antarwilayah dapat terhubung dengan baik (Kementrian PUPR, 2017).

Salah satu bagian penting dari jembatan yang dipengaruhi oleh kondisi tanah dasar adalah oprit jembatan. Oprit pada jembatan merupakan bagian dari sistem transisi di mana ujung jembatan terhubung dengan permukaan jalan raya. Desain oprit yang tepat memerlukan perancangan yang akurat terhadap prediksi penurunan tanah. Kesulitan memprediksi penurunan tersebut timbul akibat variasi jenis tanah, interaksi antara dinding abutmen dan timbunan di sekitarnya, serta pembangunan bertahap dari timbunan tanggul, oprit, dan lapisan perkerasan jalan. Oleh karena itu, perbedaan karakteristik antara struktur jembatan yang relatif kaku dan timbunan oprit yang bersifat *deformable* sering menimbulkan permasalahan geoteknik (Bahumdain et al., 2022).

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Daerah Kabupaten Mempawah (2017), Kabupaten Mempawah khususnya di Desa Jungkat secara geologis didominasi oleh tanah humus dan gambut, seperti tanah lempung dan organik dengan daya dukung yang relatif rendah. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan permasalahan penurunan tanah, khususnya pada konstruksi timbunan oprit jembatan yang menerima beban statis dan dinamis secara terus-menerus.

Oprit jembatan harus memberikan transisi yang aman bagi kendaraan dari jalan raya menuju ke struktur jembatan dan sebaliknya. Namun, pergerakan yang disebabkan oleh penurunan lapisan tanah biasanya menyebabkan bagian permukaan jalan melendut sehingga bagian struktur jembatan yang tidak bermasalah menjadi kehilangan penghubung yang aman karena menimbulkan celah

akibat jalan yang mengalami penurunan. Ini adalah kejadian umum terjadi di ujung jembatan dan memerlukan solusi, karena transisi tidak rata dapat menyebabkan kerusakan dan ketidaknyamanan bagi pengendara (Puppala et al., 2009).

Salah satu Jembatan yang terdapat di Kabupaten Mempawah adalah Jembatan Air Hitam. Pembangunan duplikasi Jembatan Air Hitam dimulai pada tahun 2022. Kemudian Jembatan Air Hitam (lama) ditutup sementara untuk keperluan pekerjaan konstruksi dan perbaikan jembatan sejak bulan November 2025. Maka dari itu, hanya Jembatan Air Hitam (duplikasi) yang digunakan untuk jalur lalu lintas. Berdasarkan kondisi yang ditinjau pada lokasi secara langsung, didapatkan temuan penurunan secara kasatmata pada bagian oprit jembatan.



Gambar 1.1 Dokumentasi lokasi penelitian
(Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2025)

Berdasarkan temuan di atas, maka diperlukan analisis deformasi tanah untuk mengetahui permasalahan tanah dasar pada oprit jembatan baik secara manual dan akan dibandingkan menggunakan aplikasi Plaxis 2D 2024.2 yang berbasis metode elemen hingga. Maka disusunlah penelitian dengan judul "Studi Deformasi Tanah Dasar pada Oprit Jembatan di Mempawah" dengan studi kasus di Jembatan Air Hitam, tepatnya di Sungai Nipah, Kecamatan Jongkat, Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat, seperti tampak pada Gambar 1.1, di oprit jembatan pada arah menuju Kota Pontianak sebagai titik tinjauan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan desain oprit jembatan yang lebih aman dan berkelanjutan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang sebelumnya, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik tanah dasar pada oprit jembatan?
2. Berapa besar deformasi atau penurunan tanah dasar yang terjadi pada oprit jembatan?
3. Bagaimana upaya atau rekomendasi teknis yang dapat dilakukan untuk mengurangi deformasi tanah dasar pada oprit jembatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik tanah dasar pada oprit jembatan.
2. Menganalisis besarnya deformasi atau penurunan tanah dasar yang terjadi pada oprit jembatan.
3. Memberikan rekomendasi teknis sebagai upaya penanganan atau pencegahan deformasi tanah dasar pada oprit jembatan.

1.4 Pembatasan Masalah

Agar penelitian terfokus, ditentukan batasan masalah sebagai berikut.

1. Lokasi penelitian terbatas pada di Jembatan Air Hitam tepatnya di Sungai Nipah, Kecamatan Jongkat, Kabupaten Mempawah, Kalimantan Barat dari arah Kota Pontianak STA 0+175 hingga 0+225.
2. Data sekunder yang digunakan berupa data Borlog *Standart Penetration Test* (SPT), gambar rencana Duplikasi Jembatan Ruas Sungai Pinyuh–Batas Kota Pontianak (*Layout* dan Topografi tanah), gambar *As Built Drawing* (ABD) Penggantian Jembatan Air Hitam dan Laporan Pengujian tanah timbunan Peniraman.
3. Data primer yang digunakan yaitu berupa data Laboratorium yang dilakukan uji *Hand-bore* hingga kedalaman 2,5 meter untuk didapatkan sifat fisis dan mekanis tanah.
4. Beban yang ditinjau meliputi beban timbunan pilihan dari peniraman, beban pejalan kaki, dan beban lalu lintas berdasarkan klasifikasi Jalan Kelas I berdasarkan kondisi aktual.

5. Penelitian difokuskan pada deformasi tanah dasar pada oprit jembatan.
6. Analisis penurunan tanah hanya menggunakan potongan melintang lapisan tanah pada STA 0+175, STA 0+200, dan STA 0+225 tanpa memperhitungkan potongan memanjang lapisan tanah.
7. Analisis penurunan tanah dilakukan secara manual dengan menganalisis penurunan tanah total dan akan dibandingkan dengan hasil *displacement* melalui Program Plaxis 2D 2024.2.
8. Analisis dilakukan tanpa membahas detail analisis struktur atas jembatan dan geometrik jalan raya.
9. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi secara rinci, tetapi difokuskan pada aspek teknis dan geoteknik.

1.5 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini dibuat berdasarkan dugaan sementara bahwa kondisi tanah dasar pada lokasi penelitian mengalami penurunan tanah total baik tanpa perkuatan ataupun dengan perkuatan berupa cerucuk melebihi penurunan izin yang sudah ditetapkan. Hipotesis awal (H_0) dibuat berdasarkan dugaan sementara bahwa penurunan total tanah dasar yang terjadi pada oprit jembatan di Mempawah tidak melebihi batas penurunan izin yang sudah ditetapkan, sehingga kondisi tanah dasar pada lokasi penelitian masih dalam batas toleransi deformasi yang diizinkan. Sebaliknya, hipotesis kerja (H_1) menyatakan bahwa penurunan total tanah dasar yang terjadi pada oprit jembatan di Mempawah melebihi batas penurunan izin, sehingga kondisi tanah dasar pada lokasi penelitian berpotensi menyebabkan deformasi yang tidak dapat ditoleransi pada struktur oprit jembatan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penulisan skripsi ini akan dilakukan pembahasan mengikuti sistematika sebagai berikut.

BAB I. PENDAHULUAN

Bagian pendahuluan berisi tentang latar belakang permasalahan, urgensi dan perbedaan dengan penelitian terdahulu, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, hipotesis penelitian dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bagian tinjauan pustaka berisi teori dan uraian secara umum mengenai pembahasan Tugas Akhir yang didapat dari buku literatur, buku ilmiah, serta jurnal penelitian.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian metodologi penelitian berisi tentang tahapan penelitian dan analisis yang akan dilakukan mulai dari pengumpulan data sampai pengolahan data.

BAB IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bagian analisis dan pembahasan berisi seluruh uraian tentang tinjauan maupun perhitungan analisis yang dilakukan pada Tugas akhir.

BAB V. PENUTUP

Bagian penutup berisikan rekapitulasi analisis yang telah dilakukan. Setelah itu, diberikan kesimpulan serta saran penulis.

DAFTAR RUJUKAN

Daftar rujukan berisikan kumpulan sumber informasi dan literatur yang digunakan penulis dalam penulisan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Dalam lampiran terdapat informasi yang diperlukan dalam penelitian berupa gambar kerja, data tanah serta data lainnya yang diperlukan, dan bukti dokumentasi penulis selama penyusunan Tugas Akhir yang sifatnya melengkapi penelitian.