

TUGAS AKHIR

**ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH
MENGUNAKAN MATRAS BAMBU
TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS
PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG – DEMAK SEKSI 1**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Rio Aldi Hudaya
NIM : 30201800162**

**Rizky Swanandhia
NIM : 30201800165**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH
MENGUNAKAN MATRAS BAMBU
TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS
PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG – DEMAK SEKSI 1



Rio Aldi Hudaya
NIM : 30201800162



Rizky Swanandhia
NIM : 30201800165

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 28 Juli 2022

Tim Penguji

1. **Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D**
NIDN: 0605016802
2. **Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si**
NIDN: 0620065301
3. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0610118101

Tanda Tangan






Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 15 / A.2 / SA – T / VII / 2022

Pada hari ini tanggal 28 Juli 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Rio Aldi Hudaya.
NIM : 30201800162

Rizky Swanandhia
NIM : 30201800165

Judul : ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN MATRAS BAMBU TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1

Dengan tahapan sebagai berikut :

| No | Tahapan | Tanggal | Keterangan |
|----|-----------------------------|------------|------------|
| 1 | Penunjukan dosen pembimbing | 09/03/2022 | |
| 2 | Seminar Proposal | 05/04/2022 | ACC |
| 3 | Pengumpulan data | 05/04/2022 | |
| 4 | Analisis data | 01/06/2022 | |
| 5 | Penyusunan laporan | 01/06/2022 | |
| 6 | Selesai laporan | 08/07/2022 | ACC |

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D.

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : 1. Rio Aldi Hudaya
2. Rizky Swanandhia

NIM : 1. 30201800162
2. 30201800165

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

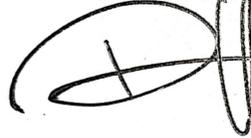
“ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN MATRAS BAMBU TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1” benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 28/Juli/2022

Yang membuat pernyataan,

Yang membuat pernyataan,



Rio Aldi Hudaya
NIM : 30201800162



Rizky Swanandhia
NIM : 30201800165

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : 1. Rio Aldi Hudaya
2. Rizky Swanandhia
NIM : 1. 30201800162
2. 30201800165
JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH
MENGUNAKAN MATRAS BAMBU TERHADAP
BEBAN STRUKTUR ATAS PADA PROYEK JALAN
TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, 28/Juli/2022
Yang membuat pernyataan, Yang membuat pernyataan,

Rio Aldi Hudaya
NIM : 30201800162



Rizky Swanandhia
NIM : 30201800165

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik” (QS. Ali Imran : 110)

وَلَوْ أَنَّ أَهْلَ الْقُرَىٰ ءَامَنُوا وَاتَّقَوْا لَفَتَحْنَا عَلَيْهِم بَرَكَاتٍ مِّنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ وَلَٰكِن كَذَّبُوا فَأَخَذْنَاهُم بِمَا كَانُوا يَكْسِبُونَ

“Jikalau sekiranya penduduk negeri-negeri beriman dan bertakwa, pastilah Kami akan melimpahkan kepada mereka berkah dari langit dan bumi, tetapi mereka mendustakan (ayat-ayat Kami) itu, maka Kami siksa mereka disebabkan perbuatannya” (QS. Al Araf : 96)

“Maka Sesungguhnya Beserta Kesulitan Ada Kemudahan” (Q.S Al Insyirah : 5)

“Hiduplah sebagaimana maumu, namun ingat! bahwasanya engkau akan mati. Dan cintailah siapa yang engkau sukai, namun ingat! engkau akan berpisah dengannya. Dan berbuatlah seperti yang engkau kehendaki, namun ingat! engkau pasti akan menerima balasannya nanti.” (Abu Hamid Muhammad bin Muhammad al Ghazali ath-Thusi asy-Syafi'i)

PERSEMBAHAN

1. Rio Aldi Hudaya

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya yang saya rasakan samapai saat ini. Dan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua saya, Bapak Suwardi dan Ibu Maryati yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat, serta dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Keluarga besar saya, Bulik Tinik, Bude Kus, Pakde Pri, Bude Muji, Alm. Pakde Ri dan Bude Nik yang juga telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a hingga dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
4. Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si., Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
5. Dosen – dosen Fakultas Teknik terutama dosen Teknik Sipil, yang telah memberikan ilmunya serta mendidik saya dengan penuh kesabaran, sehingga saya dapat mengetahui beberapa hal yang sebelumnya saya belum mengetahuinya.
6. Rizky Swanandhia (Partner TA) yang selama ini sabar tetap berjuang menyelesaikan tugas akhir ini.
7. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting.*

Rio Aldi Hudaya
NIM : 30201800162

PERSEMBAHAN

2. Rizky Swanandhia

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya yang saya rasakan samapai saat ini. Dan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua saya, Bapak Basuki dan Alm Mukti Iriani yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadiseseorang yang mulia di dunia dan akhirat, serta dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D Dosen pembimbing yang tidak pernahlelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesaitepat waktu.
3. Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si., Dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta selalu sabar memberikan arahan dan dorongan semangat agar Tugas Akhir ini dapat selesaitepat waktu.
4. Dosen – dosen Fakultas Teknik terutama dosen Teknik Sipil, yang telah memberikan ilmunya serta mendidik saya dengan penuh kesabaran, sehingga saya dapat mengetahui beberapa hal yang sebelumnya saya belum mengetahuinya.
5. Rio Aldi Hudaya (Partner TA) yang selama ini sabar tetap berjuang menyelesaikan tugas akhir ini.

Rizky Swanandhia
NIM : 30201800165

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “.ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN MATRAS BAMBUR TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG - DEMAK SEKSI 1” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Sebagai penulis saya merasa banyak kekurangan dalam menyelesaikan skripsi ini, sehingga saya mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini saya menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. H. Soedarsono, M., Si., selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

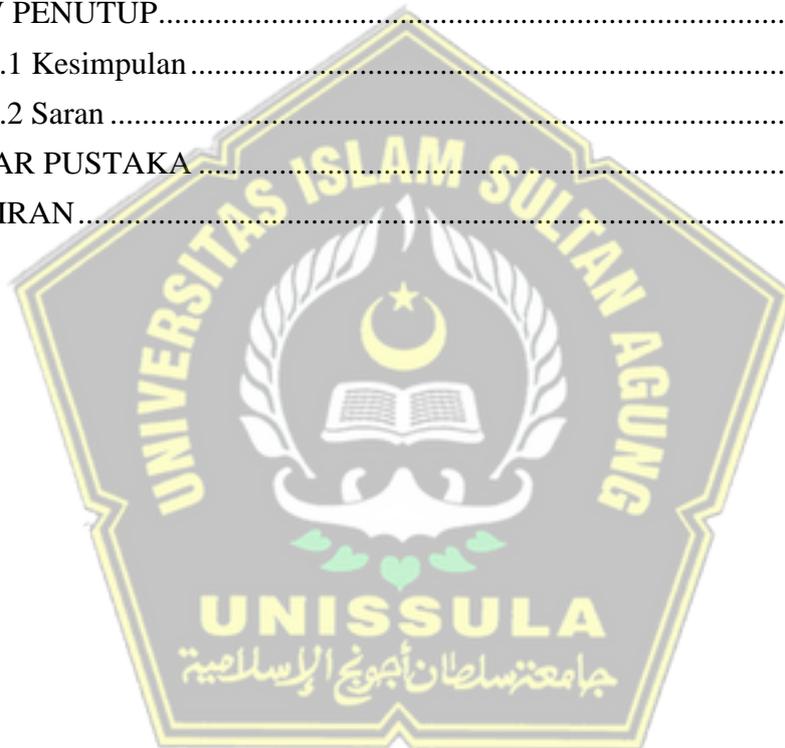
Saya selaku penulis meminta maaf sebesar – besarnya atas kekurangan pada penyusunan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi saya maupun pembaca.

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iv |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | v |
| MOTTO | vi |
| PERSEMBAHAN..... | vii |
| PERSEMBAHAN | viii |
| KATA PENGANTAR | ix |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| Abstrak..... | xviii |
| <i>Abstract</i> | xix |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penulisan | 3 |
| 1.5 Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Tanah | 5 |
| 2.2 Penurunan (<i>Settlement</i>) Tanah..... | 6 |
| 2.2.1 Penurunan Segera / <i>Immediate Settlement</i> | 7 |
| 2.2.2 Penurunan Konsolidasi / <i>Consolidation Settlement</i> | 8 |
| 2.2.3 <i>Overconsolidation Ratio (OCR)</i> | 11 |
| 2.2.4 <i>Vertical Coefficient of Consolidation from Consolidation Test, C_v</i> | 12 |
| 2.2.5 <i>Horizontal Coefficient of Consolidation from CPT, C_h</i> | 12 |
| 2.3 Bambu..... | 15 |
| 2.3.1 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Tekan Bambu... 15 | |
| 2.3.2 Pengujian Kuat Lentur dan Modulus Elastisitas Lentur Bambu . 16 | |
| 2.3.3 Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Bambu | 17 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4 Pengertian Jalan | 21 |
| 2.5 Klasifikasi Jalan..... | 21 |
| 2.5.1 Pembagian Jalan Berdasarkan Sistem | 21 |
| 2.5.2 Pembagian Jalan Berdasarkan Fungsi | 21 |
| 2.5.3 Pembagian Jalan Berdasarkan Status | 22 |
| 2.5.4 Pembagian Jalan Berdasarkan Kelas | 23 |
| 2.6 Jenis Struktur Perkerasan Jalan | 23 |
| 2.7 Perkerasan Kaku | 24 |
| 2.7.1 Lapisan Perkerasan Kaku | 30 |
| 2.8 Perkerasan Lentur | 31 |
| 2.9 Metode Desain Perkerasan Kaku..... | 32 |
| 2.9.1 Metode AASHTO..... | 33 |
| 2.9.2 Metode Bina Marga 2003 | 33 |
| 2.9.3 Metode Bina Marga 2013 | 34 |
| 2.9.4 Metode Bina Marga 2017 | 34 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... | 35 |
| 3.1 Lokasi Penelitian | 35 |
| 3.2 Bahan atau Materi Penelitian..... | 35 |
| 3.3 Metode Penelitian | 36 |
| 3.3.1 Analisis daya dukung tanah..... | 36 |
| 3.3.2 Pemeriksaan <i>Settlement</i> / Penurunan Tanah | 36 |
| 3.3.3 Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Bambu | 37 |
| 3.3.4 Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku..... | 39 |
| 3.3.5 Beban Lalu Lintas..... | 47 |
| 3.3.6 <i>Plaxis 2D</i> | 48 |
| 3.4 Langkah Penelitian | 49 |
| 3.5 Analisis Hasil..... | 50 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 51 |
| 4.1 Perhitungan Tebal Lapisan Perkerasan Kaku | 51 |
| 4.1.1 Klasifikasi Jalan..... | 51 |
| 4.1.2 Pemilihan Jenis Perkerasan Kaku pada Badan Jalan..... | 52 |
| 4.1.3 Mencari Tegangan Kerja (q_{kerja}) | 57 |
| 4.2 Data Paramater..... | 58 |
| 4.2.1 Data Paramater Tanah | 59 |
| 4.2.2 Data Paramater Bambu | 59 |
| 4.3 Analisis Tanah Sebelum Menggunakan Matras Bambu..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.1 Penginputan Tanpa Menggunakan Matras Bambu..... | 64 |
| 4.3.2 Tahap Perhitungan Sebelum Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu..... | 70 |
| 4.3.3 Hasil <i>Output Plaxis 8.6</i> Sebelum Menggunakan Matras Bambu | 75 |
| 4.4 Analisis Tanah Setelah Menggunakan Matras Bambu..... | 78 |
| 4.4.1 Penginputan Setelah Menggunakan Matras Bambu..... | 78 |
| 4.4.2 Tahap Perhitungan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 85 |
| 4.4.3 Hasil <i>Output Plaxis 8.2</i> Setelah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu..... | 92 |
| 4.5 Pembahasan | 95 |
| BAB V PENUTUP..... | 99 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 99 |
| 5.2 Saran | 99 |
| DAFTAR PUSTAKA | 101 |
| LAMPIRAN..... | 105 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Klasifikasi Lempung Berdasarkan Kuat Geser Tekan Bebas | 6 |
| Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Kadar Air | 6 |
| Tabel 2.3 <i>Mechanical properties of Bamboo</i> (PT PP Persero, 2020) | 20 |
| Tabel 3.1 Bagan Desain Perkerasan kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017) | 40 |
| Tabel 3.2 Bagan Desain Perkerasan kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah (Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)..... | 40 |
| Tabel 3.3 <i>Reliability</i> (R) disarankan..... | 41 |
| Tabel 3.4 <i>Standard normal deviation</i> (ZR)..... | 42 |
| Tabel 3.5 Perhitungan Batang Pengikat (<i>Tie Bars</i>)..... | 42 |
| Tabel 3.6 Diameter Ruji | 44 |
| Tabel 3.7 Beban Lalu Lintas untuk Analisa Stabilitas | 47 |
| Tabel 4.1 Data Paramater Matras Bambu..... | 60 |
| Tabel 4.2 Data Paramater Cerucuk Bambu | 60 |
| Tabel 4.3 Tabel Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 71 |
| Tabel 4.4 Tabel Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu | 76 |
| Tabel 4.5 Phase Perhitungan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 86 |
| Tabel 4.6 Tabel Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu | 93 |
| Tabel 4.7 Perbandingan <i>Safety Factor</i> | 96 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Hubungan pemampatan dan waktu selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan (Das, 1994) | 7 |
| Gambar 2.2 Diagram Tegangan Akibat Timbunan (Das, 1994) | 10 |
| Gambar 2.3 Diagram Tegangan Akibat Beban Persegi..... | 11 |
| Gambar 2.4 Ilustrasi Koefisien Horizontal Permeabilitas (Das, 1994) | 14 |
| Gambar 2.5 Ilustrasi Koefisien Vertikal Permeabilitas (Das, 1994) | 15 |
| Gambar 2.6 Diagram Tegangan – Regangan Tekan Bambu (Sitepu, 2013) | 16 |
| Gambar 2.7 Konversi Bidang <i>Axi - Symmetric</i> menjadi <i>Plane Strain</i> (Indraratna et al, 2005)..... | 18 |
| Gambar 2.8 Tipikal struktur perkerasan kaku pada permukaan tanah asli (Manual Desain Perkerasan, 2017)..... | 24 |
| Gambar 2.9 Tipikal struktur perkerasan kaku pada timbunan..... | 24 |
| Gambar 2.10 Tipikal struktur perkerasan kaku pada galian..... | 24 |
| Gambar 3.1 Lokasi Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak 1B | 35 |
| Gambar 3.2 Diagram Tegangan – Regangan Tekan Bambu | 38 |
| Gambar 3.3 Tipikal sambungan memanjang (Pd T-14-2003)..... | 43 |
| Gambar 3.4 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang | 43 |
| Gambar 3.5 Sambungan susut melintang tanpa ruji (Pd T-14-2003)..... | 44 |
| Gambar 3.6 Sambungan susut melintang dengan ruji (Pd T-14-2003) | 45 |
| Gambar 3.7 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur (Pd T-14-2003) | 45 |
| Gambar 3.8 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak | 46 |
| Gambar 3.9 Sambungan isolasi dengan ruji | 46 |
| Gambar 3.10 Sambungan isolasi dengan penebalan tepi (Pd T-14-2003) | 46 |
| Gambar 3.11 Sambungan isolasi tanpa ruji (Pd T-14-2003)..... | 47 |
| Gambar 4.1 Gambar Perencanaan Struktur Perkerasan | 55 |
| Gambar 4.2 Detail Perencanaan Penulangan..... | 56 |
| Gambar 4.3 Detail Perencanaan Dowel..... | 57 |
| Gambar 4.4 Layout Matras Bambu dan Cerucuk Bambu | 61 |
| Gambar 4.5 Detail Matras Bambu..... | 62 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.6 Detail Cerucuk Bambu | 63 |
| Gambar 4.7 Buka Aplikasi Plaxis 8.6 | 64 |
| Gambar 4.8 Tampilan Utama Plaxis 8.6 | 65 |
| Gambar 4.9 Tabel Pembuatan Dimensi..... | 65 |
| Gambar 4.10 Permodelan | 66 |
| Gambar 4.11 Contoh Input Material Tanah <i>Very Soft Clay</i> | 66 |
| Gambar 4.12 Contoh Input Material Tanah <i>Very Soft Clay</i> | 67 |
| Gambar 4.13 Contoh Input Material Tanah <i>Very Soft Clay</i> | 67 |
| Gambar 4.14 Contoh Input Material Timbunan | 67 |
| Gambar 4.15 Contoh Input Material Timbunan | 68 |
| Gambar 4.16 Contoh Input Beban Merata..... | 68 |
| Gambar 4.17 Penyusunan Jaringan Elemen | 68 |
| Gambar 4.18 Input Muka Air Tanah | 69 |
| Gambar 4.19 Menghitung Tekanan Air Tanah..... | 69 |
| Gambar 4.20 Penonaktifan Timbunan Tanah di Tanah Asli | 70 |
| Gambar 4.21 Menghitung Tegangan Awal | 70 |
| Gambar 4.22 <i>Input Inital Phase</i> | 71 |
| Gambar 4.23 <i>Input Phase</i> Galian Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 72 |
| Gambar 4.24 <i>Define Phase</i> Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu..... | 72 |
| Gambar 4.25 <i>Input Phase</i> Konsolidasi Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 73 |
| Gambar 4.26 <i>Input Phase Safety Factor</i> Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 73 |
| Gambar 4.27 <i>Input Phase</i> Pembebanan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 74 |
| Gambar 4.28 <i>Define Phase</i> Pembebanan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 74 |
| Gambar 4.29 <i>Safety Factor</i> Pembebanan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 75 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.30 Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu | 76 |
| Gambar 4.31 <i>Safety Factor</i> Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Matras Bambu | 77 |
| Gambar 4.32 <i>Safety Factor</i> Timbunan 2 Sebelum Menggunakan Matras Bambu | 77 |
| Gambar 4.33 <i>Safety Factor</i> Setelah Pembebanan Sebelum Menggunakan Matras Bambu | 77 |
| Gambar 4.34 Gambar Permodelan Tanpa Menggunakan Bambu..... | 78 |
| Gambar 4.35 Buka Aplikasi Plaxis 8.6 | 79 |
| Gambar 4.36 Tampilan Utama Plaxis 8.2..... | 79 |
| Gambar 4.37 Tabel Pembuatan Dimensi..... | 80 |
| Gambar 4.38 Gambar Permodelan | 80 |
| Gambar 4.39 Contoh Input Material Tanah <i>Very Soft Clay</i> | 81 |
| Gambar 4.40 Contoh Input Material Tanah <i>Very Soft Clay</i> | 81 |
| Gambar 4.41 Contoh Input Material Tanah <i>Very Soft Clay</i> | 81 |
| Gambar 4.42 Contoh Input Material Timbunan | 82 |
| Gambar 4.43 Contoh Input Material Timbunan | 82 |
| Gambar 4.44 Contoh Input Material Matras Bambu dan Cerucuk Bambu | 82 |
| Gambar 4.45 Contoh Input Beban Merata Struktur Atas dan Lalu Lintas | 83 |
| Gambar 4.46 Penyusunan Jaringan Elemen | 83 |
| Gambar 4.47 Input Muka Air Tanah | 84 |
| Gambar 4.48 Menghitung Tekanan Air Tanah..... | 84 |
| Gambar 4.49 Penonaktifan timbunan tanah yang ada di tanah asli..... | 85 |
| Gambar 4.50 Menghitung Tegangan Awal | 85 |
| Gambar 4.51 <i>Input Phase</i> Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 86 |
| Gambar 4.52 <i>Input</i> Umum Pemasangan Cerucuk dan Matras | 87 |
| Gambar 4.53 <i>Input</i> Paramater Pemasangan Cerucuk dan Matras | 87 |
| Gambar 4.54 <i>Define Phase</i> Pemasangan Cerucuk dan Matras Bambu | 88 |
| Gambar 4.55 <i>Input Phase</i> Galian Timbunan 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 88 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.56 <i>Define Phase</i> Timbunan 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 89 |
| Gambar 4.57 <i>Input Phase</i> Konsolidasi 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 89 |
| Gambar 4.58 <i>Input Phase Safety Factor</i> Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 90 |
| Gambar 4.59 <i>Input Phase</i> Pembebanan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 91 |
| Gambar 4.60 <i>Define Phase</i> Pembebanan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu | 91 |
| Gambar 4.61 <i>Input Phase Safety Factor</i> Setelah Menggunakan Matras Bambu & Cerucuk Bambu..... | 92 |
| Gambar 4.62 Perhitungan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu | 93 |
| Gambar 4.63 <i>Safety Factor</i> Timbunan 1 Setelah Menggunakan Matras Bambu | 94 |
| Gambar 4.64 <i>Safety Factor</i> Timbunan 2 Setelah Menggunakan Matras Bambu | 94 |
| Gambar 4.65 <i>Safety Factor</i> Setelah Pembebanan | 94 |
| Gambar 4.66 Permodelan Setelah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu | 95 |



ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN MATRAS BAMBU TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS PADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG – DEMAK SEKSI 1

Abstrak

Rio Aldi Hudaya¹⁾, Rizky Swanandhia¹⁾
Ir. H. Rachmad Mudiyo, MT, PhD.²⁾, Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si.²⁾

Pembangunan jalan tol Semarang – Demak menjadi pendukung dalam peningkatan konektivitas di wilayah Jawa Tengah bagian utara sekaligus menjadi penghubung kawasan strategis seperti pelabuhan, bandara, kawasan industri, dan kawasan pariwisata religi khususnya di wilayah Demak. Pada Tugas Akhir dilakukan analisa perkuatan tanah menggunakan matras bambu terhadap konstruksi di atasnya pada seksi 1.

Pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan faktor keamanan sebelum dan sesudah diberi perkuatan matras dan cerucuk bambu. Analisis pada penelitian ini menggunakan aplikasi *plaxis 8.6* pada struktur bawah dan manual desain perkerasan pada struktur atas.

Pada struktur atas menggunakan perkerasan kaku tanpa tulangan dengan tebal pelat beton 305 mm, lapis pondasi LMC 100 mm dan lapis drainase 150 mm. Tulangan yang digunakan jenis dowel dengan jarak sambungan 6 m, diameter ruji 25 mm, panjang ruji 45 cm dan jarak antar ruji 50 cm. Perhitungan analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu mengalami keruntuhan sejak timbunan 1 dengan angka *safety factor* 0,4008 pada timbunan 1, 0,4251 pada timbunan 2 dan 0,4251 pada *safety factor* setelah dilakukan pembebanan. Berdasarkan hasil perhitungan analisis tanah menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu menghasilkan *safety factor* pada timbunan 1 sebesar 2,5938, pada timbunan 2 sebesar 1,9352, setelah dilakukan pembebanan sebesar 1,7492. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan matras bambu dan cerucuk bambu ini cukup efektif untuk mendukung daya dukung tanah terhadap beban struktur di atasnya.

Kata Kunci: Bambu; Cerucuk; Matras; Perkuatan; *Plaxis 8.6*; Tanah

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

²⁾Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

**ANALYSIS OF SOIL CARRYING CAPACITY USING
BAMBOO MATS AGAINST UPPER STRUCTURAL LOAD
IN THE SEMARANG – DEMAK TOLL ROAD PROJECT SECTION 1**

Abstract

Rio Aldi Hudaya¹⁾, Rizky Swanandhia¹⁾
Ir. H. Rachmad Mudiyono, MT, PhD.²⁾, Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si.²⁾

The construction of the Semarang - Demak toll road is a supporter of increasing connectivity in the northern part of Central Java as well as being a liaison for strategic areas such as ports, airports, industrial areas, and religious tourism areas, especially in the Demak area. In this final project, soil reinforcement analysis using bamboo mats is carried out on the construction above it in section 1.

In this final project, a comparison of the safety factors was carried out before and after being given the reinforcement of the bamboo mat and bamboo cone. The analysis in this study uses the application of Plaxis 8.6 on the lower structure and the pavement design manual on the upper structure.

The superstructure uses rigid pavement without reinforcement with a thickness of 305 mm concrete slab, 100 mm LMC foundation layer and 150 mm drainage layer. The reinforcement used is dowel type with a connection distance of 6 m, diameter of spokes 25 mm, length of spokes of 45 cm and distance between spokes of 50 cm. Calculation of soil analysis before using the bamboo mat has collapsed since embankment 1 with a safety factor of 0.4008 for embankment 1, 0.4251 for embankment 2 and 0.4251 for safety factor after loading. Based on the results of soil analysis calculations using bamboo mats and bamboo culms, the safety factor for embankment 1 is 2.5938, on embankment 2 is 1.9352, after loading it is 1.7492. It can be concluded that the use of bamboo mats and bamboo cones is quite effective in supporting the soil bearing capacity against the load of the structure above it.

Keywords: *Bamboo; Cushion; Mattress; Reinforcement; Plaxis 8.6; Soil*

¹⁾ Students of the Faculty of Engineering, Civil Engineering Study Program, UNISSULA

²⁾ Lecturer of the Faculty of Engineering Civil Engineering Study Program UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mendukung peningkatan konektivitas di utara Jawa Tengah, tol Semarang – Demak juga menjadi penghubung antara pelabuhan, bandara, kawasan industri, dan *hotspot* wisata religi, khususnya di wilayah Demak. Jalan tol ini sepanjang 26,7 kilometer dan terbagi menjadi dua bagian: bagian pertama, dari Semarang/Kaligawe hingga Sayung, sepanjang 10,39 kilometer, sedangkan bagian kedua, dari Sayung hingga Demak, sepanjang 16,31 kilometer. Tanah kohesif, terutama lempung lunak yang mengembang, merupakan sumber dari sebagian besar masalah dengan tanah di daerah Semarang / Kaligawe - Demak. Saat membangun di tanah lunak, geser biasanya menjadi sumber masalahnya. Pada tanah dengan daya dukung rendah, beban berat dari tanah itu sendiri dapat memicu mekanisme hilangnya keseimbangan. Masalah umum lainnya adalah elevasi lapisan lempung dan lanau yang disebabkan oleh variasi tekanan air dan penurunan. Karena tanah yang kenyal berada di bawah tekanan yang luar biasa.

Membangun di atas tanah lunak memerlukan persiapan yang matang, seperti pemilihan pondasi yang tepat atau perbaikan tanah. Gorong-gorong biasanya terbuat dari kayu atau bambu, tetapi cerobong asap adalah jenis perkuatan tanah yang dapat meningkatkan daya dukung tanah (Purnomo, 1990). Karena kerucut merupakan tiang pendek yang tidak dapat menembus tanah padat, maka daya dukung tiang yang dihasilkan sepenuhnya bergantung pada gesekan (permukaan) antara dinding tiang dan tanah.

Daya dukung lempung dan lanau meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah lekukan, menurut penelitian Margono Purnomo (1990) dan Prasetya (2003).

Pada *subgrade* penyangga jalan tol Semarang - Demak, bambu akan digunakan sebagai sistem matras. Penggunaan bambu dalam konstruksi jalan belum pernah terjadi sebelumnya di Indonesia, dan pengujian dilakukan untuk menentukan kekuatan tarik dan fleksibilitas sistem tika bambu.

Pengujian tarik pertama sistem tikar bambu dan pengujian lentur pertama sistem tikar bambu diantisipasi untuk membuka jalan bagi solusi perkuatan tanah lunak yang murah dan efektif. Ini akan menjadi proyek pertama di Indonesia yang menguji material bambu di Jalan Tol Semarang - Demak. Konstruksi tanggul tepi pantai akan diperkuat dengan 17 lapis anyaman bambu.

Tanah di daerah Semarang/Kaligawe/Demak seringkali sangat lunak dan memiliki daya dukung yang kecil. Karena galah bambu, bahan penguat tanah yang umum tersedia, mengilhami ide untuk menggunakan bambu, mencapai tujuan ini tidak banyak kesulitan. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk memastikan seberapa banyak batang bambu membantu meningkatkan daya dukung tanah lunak.

Maka kami akan membuat penelitian “ANALISIS DAYA DUKUNG TANAH MENGGUNAKAN MATRAS BAMBU TERHADAP BEBAN STRUKTUR ATAS ADA PROYEK JALAN TOL SEMARANG – DEMAK SEKSI 1”

1.2 Rumusan Masalah

Setelah meninjau materi untuk proyek ini, maka dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merencanakan tebal perkerasan kaku yang akan digunakan pada Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1?
2. Berapa besar daya dukung tanah yang terjadi sebelum menggunakan perkuatan matras bambu terhadap beban struktur atas pada Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1?
3. Berapa besar daya dukung tanah yang terjadi setelah menggunakan perkuatan matras bambu terhadap beban struktur atas pada Jalan Tol Semarang – Demak Seksi 1?

1.3 Batasan Masalah

Dari rumusan masalah yang diberikan pada bagian sebelumnya, batasan masalah ditetapkan:

1. Program yang digunakan adalah Plaxis 2D.
2. Untuk mempelajari kekuatan likuifaksi tanah, digunakan data sekunder seperti karakteristik tanah, sifat tiang bambu sebagai alas pemodelan, dan tegangan pada struktur bangunan sipil.

1.4 Tujuan Penulisan

1. Rencanakan tebal perkerasan kaku yang akan digunakan pada Seksi 1 Jalan Tol Semarang – Demak.
2. Mengetahui besar daya dukung tanah yang terjadi sebelum menggunakan perkuatan matras bambu terhadap beban struktur atas dengan *Software Plaxis*.
3. Mengetahui besar daya dukung tanah yang terjadi setelah menggunakan perkuatan matras bambu terhadap beban struktur atas dengan *Software Plaxis*.

1.5 Sistematika Penulisan

Tujuan dari sistem penulisan ini adalah untuk mengarahkan dan menyusun penulisan laporan Tugas Akhir agar dapat memaksimalkan waktu yang tersedia. Komposisinya disusun sebagai berikut:

BAB 1: PENDAHULUAN

Bab ini membahas konteks sejarah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, dan metodologi penulisan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Gagasan ini relevan dengan ruang lingkup pembahasan tugas akhir ini karena berkaitan dengan pokok bahasan teori konsolidasi dan pendekatan pembebanan awal yang menggunakan pembebanan vertikal.

BAB III: METODOLOGI PENULISAN

Bab ini berusaha menyajikan penjelasan penelitian perbandingan, mengumpulkan data, dan menilai data yang ada sebagai persiapan untuk mengolah data yang diterima untuk dianalisis.

BAB IV: ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, Anda akan mempelajari cara menggunakan Perangkat Lunak Plaxis 2D untuk menghitung besar penurunan, waktu konsolidasi yang dibutuhkan tanah, dan dampak kemiringan alami pada timbunan di atasnya.

BAB V: PENUTUP

Menguraikan kesimpulan dari laporan yang telah dikerjakan dan dianalisis



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah adalah material yang dinilai sangat mudah serta dari segi biaya sangat ekonomis karena keberadaan tanah tersebut sudah ada sebelum dilakukannya pekerjaan konstruksi. Tanah digunakan sebagai lapisan dasar untuk berbagai proyek bangunan, termasuk jalan raya, tanggul jalan, dan bendungan. Perkerasan jalan dirancang pada tanggul yang dipadatkan atau tanah dasar setempat untuk memberikan daya dukung yang tinggi.

Tanah dasar adalah lapisan tanah di bawah sistem perkerasan yang menanggung beban berat kendaraan. Sistem permukaan jalan dibangun di atas tanah dasar yang dipadatkan ini. Tanah dasar adalah tanah asli atau material timbunan di bawah dasar konstruksi perkerasan dan merupakan dasar suatu jalan.

Tanah tempat berdirinya bangunan harus dipadatkan secara memadai sesuai dengan standar teknis yang ditetapkan untuk pemadatan timbunan. Daya dukung pelat pondasi dapat ditingkatkan dengan menambahkan lapisan pasir padat di atas tanah gambut.

Teknik perbaikan tanah yang mengandalkan perkuatan dapat meningkatkan daya dukung tanah yang buruk. Pada perkerasan jalan, nilai CBR merepresentasikan daya dukung tanah dasar. Daya dukung tanah meningkat seiring dengan meningkatnya nilai CBR. Evaluasi CBR adalah uji penetrasi yang membandingkan ketahanan material terhadap gaya.

Lempung atau lanau dengan N-SPT 4 atau tanah organik dengan kadar air alami yang sangat tinggi, seperti gambut, merupakan lapisan tanah lunak. Tanah berbutir halus, seperti lempung, memiliki ukuran partikel $<2\mu$ atau 5μ . (Mochtar 1988). Tanah yang terutama terdiri dari lempung sangat stabil dan kompak:

1. Nilai kadar air berkisar antara 30% - 50% pada kondisi air jenuh.
2. Angka pori berkisar antara 0.9 sampai 1.4 (Das, 1994).

3. Berat volume berkisar antara 0.9 t/m^3 sampai dengan 1.25 t/m^3 (Braja M. Das,1985).

4. *Spesific Gravity* rata - rata berkisar antara 2.7 – 2.9

Jika tegangan geser lempung kurang dari 25 kPa, maka lempung tersebut dianggap lempung. Menurut Tabel 2.1 mengklasifikasikan lempung berdasarkan korelasi antara konsistensi, identifikasi, dan kuat geser tekan bebas (q_u), sedangkan Braja M DAS (1994) mengklasifikasikan lempung berdasarkan jumlah relatif airnya. Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Klasifikasi Lempung Berdasarkan Kuat Geser Tekan Bebas

| Kosistensi Tanah Lempung | Identifikasi di Lapangan | q_u (kg/cm ²) |
|--------------------------|---|-----------------------------|
| Sangat Lunak | Dengan mudah ditembus beberapa inchi dengan kepalan tangan | <0.25 |
| Lunak | Dengan mudah ditembus beberapa inchi dengan ibu jari | 0.25 - 0.5 |
| Sedang | Dapat ditembus beberapa inchi pada kekuatan sedang ibu jari | 0.5 – 1.0 |
| Kaku | Melekuk bila ditekan dengan kuku ibu jari, tapi dengan kekuatan besar | 1.0 - 2.0 |
| Sangat kaku | Melekuk bila ditekan dengan kuku ibu jari | 2.0 – 0.4 |
| Keras | Dengan kesulitan | >0.4 |

(Sumber : Das, 1994)

Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah Lempung Berdasarkan Kadar Air

| Tipe Tanah Lempung | Kadar air, w (%) |
|----------------------------|------------------|
| Kaku | 21 |
| Lembek | 30 – 50 |
| Lunak | 90 – 120 |
| Batas Cair > 50% | |

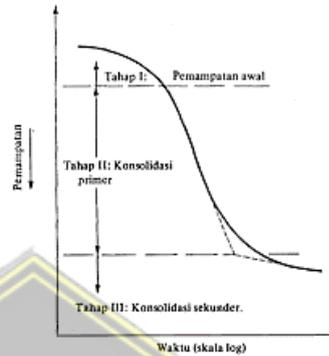
(Sumber : Das, B. M. 1994)

2.2 Penurunan (*Settlement*) Tanah

Pengendapan akan terjadi sebagai akibat dari berat struktur di atasnya pada tanah. Deformasi partikel tanah, migrasi partikel tanah, dan penguapan air dan udara dari pori-pori tanah semuanya berkontribusi pada pengurangan. Integritas Pengidentifikasi Berbasis Lapangan Tanah berbutir kasar ideal untuk membentuk lempung q_u (kg/cm²) karena sifatnya yang lunak. Ukuran pori tanah, yang dapat ditembus dengan kepalan tangan 0,47 inci seperti

pasir, memungkinkan pengendapan dan penurunan konsolidasi yang cepat secara simultan. Konsolidasi, di sisi lain, mungkin memakan waktu ratusan tahun atau bahkan ribuan tahun di tanah berbutir halus.

Langkah-langkah konsolidasi dapat diwakili oleh grafik koneksi kompresi-waktu.



Gambar 2.1 Hubungan pemampatan dan waktu selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan (Das, 1994)

Dapat diamati dari grafik bahwa ada tiga langkah berbeda yang dapat diambil, yaitu:

Tahap 1: Pengurangan awal / kompresi awal, penurunan sering dihasilkan oleh beban yang sudah beroperasi. Pengurangan ini disebabkan oleh pengusiran udara dari pori-pori.

Tahap 2 : Selama konsolidasi primer, air pada awalnya dilepaskan dari pori-pori tanah, menyebabkan tekanan air pori secara bertahap berpindah ke tegangan efektif.

Tahap 3 : Setelah tekanan air pori hilang seluruhnya, proses yang dikenal sebagai konsolidasi sekunder dapat dimulai. Respon elastis butiran tanah terhadap tegangan ini bertanggung jawab atas penurunan tersebut.

Penurunan tanah akibat beban secara kasar dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori yang berbeda:

2.2.1 Penurunan Segera / *Immediate Settlement*

Penurunan seketika terjadi ketika tanah kering, basah, atau jenuh air mengalami deformasi elastis, menyebabkannya menyusut tanpa penyusutan

volume yang sesuai. Pengurangan yang dihasilkan dari teori elastisitas sering digunakan untuk menghitung penurunan ini (Das, 1994). Persamaan ini mengambil bentuk yang ditunjukkan:

$$\rho_i = p \cdot B \frac{1-\mu^2}{E} \cdot I_p \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

ρ_i = penurunan segera (m)

p = tekanan bersih yang dibebankan (t/m²)

B = lebar timbunan (m)

μ = angka *Poisson*

E = modulus elastisitas tanah (modulus *Young*)

I_p = faktor pengaruh (*influence factor*) yang tidak mempunyai dimensi

2.2.2 Penurunan Konsolidasi / *Consolidation Settlement*

Penguapan air dari pori-pori tanah menyebabkan pengurangan yang dikenal sebagai penurunan konsolidasi. Konsolidasi tetes dapat lebih lanjut dipecah menjadi dua jenis yang berbeda:

a. Penurunan konsolidasi primer adalah hasil dari penurunan volume tanah yang disebabkan oleh penguapan air dari tanah lembab. Saat air pori menguap, tegangan efektif naik dan tekanan air pori turun dalam kompresi ini. Lapisan tanah kohesif di bawah tekanan timbunan sering mengalami kompresi konsolidasi dasar ini. Ada dua jenis konsolidasi, dibedakan berdasarkan regangan yang ditimbulkannya.:

1. Terkonsolidasi Normal bila tekanan efektif *overburden* pada saat itu adalah tekanan maksimum tanah.
2. Tanah dikatakan terkonsolidasi berlebihan ketika tekanan efektif *overburden* saat ini lebih kecil dari yang semula dihadapi tanah. Tekanan prakonsolidasi mengacu pada tekanan *overburden* efektif terukur terbesar.

Tanah disebut sebagai *Normally Consolidated* atau *Over Consolidated* tergantung dari nilai *Over Consolidated Ratio* (OCR), OCR untuk suatu tanah dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$OCR = \frac{P_{ci}}{P_{oi}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

P_c' (*Effective past overburden pressure*) : $P_c' = P_o' + \Delta P_f$

P_o' (*Effective overburden pressure*) : $P_o' = (h_1 \cdot \gamma'1) + (Z_2 \cdot \gamma'2)$

Tanah terkonsolidasi normal memiliki harga OCR = 1 sedangkan tanah terlalu terkonsolidasi memiliki harga OCR > 1. Menghitung kompresi pada tanah lempung menggunakan teori Terzaghi (1925):

1. Tanah terkonsolidasi secara normal (*Normaly Consolidation*)

$$S_c = C_c \frac{H_0}{1+e_0} \log \frac{p'_{o+\Delta P}}{p'_{o}} \dots\dots\dots (2.3)$$

2. Tanah terlalu terkonsolidasi (*Over Consolidation*)

a) Bila $P_o' + \Delta P \leq P_c'$, maka

$$S_c = \left[\frac{C_s \times H_0}{1+e_0} \log \frac{p'_{o+\Delta P}}{p'_{o}} \right] \dots\dots\dots (2.4)$$

b) Bila $P_o' + \Delta P > P_c'$, maka

$$S_c = \left[\frac{C_s \times H_0}{1+e_0} \log \frac{p'_c}{p'_{o}} \log \frac{p'_{o+\Delta P}}{p'_c} \right] \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

S_c : pemampatan akibat proses konsolidasi (m)

C_c : indeks kompresi tanah

C_s : indeks pemuaiian

P_o' : Tegangan *Overburden* efektif (t/m²)

P_c' : Tegangan Prakonsolidasi efektif (t/m²)

e_o : angka pori

H : tebal lapisan tanah sub-lapisan (m)

ΔP : Penambahan tegangann vertikal (t/m²)

Sehingga besar pemampatan total ialah

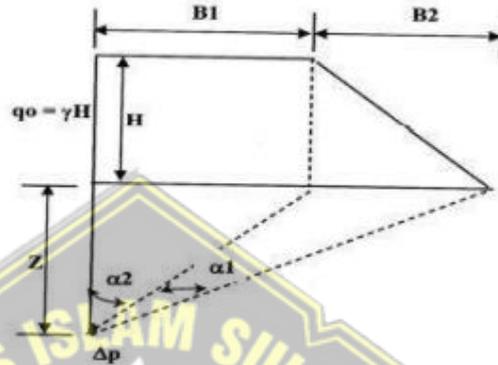
$$S_c = \sum_{i=1}^n S_{ci}$$

Dengan:

N : jumlah lapisan tanah yang akan dihitung besar pemampatan konsolidasi

Sci : besar pemampatan untuk lapisan ke-i

ΔP ialah tambahan tegangan akibat pengaruh beban timbunan yang ditinjau pada tengah-tengah lapisan. Menurut Das (1986) pada bukunya “*Principles Foundation Engineering, Second Edition*” diagram tegangan tanah akibat timbunan adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Diagram Tegangan Akibat Timbunan (Das, 1994)

Berikut cara mencari nilai ΔP :

$$\Delta P = \left(\frac{q_0}{180}\right) \times \left(\left(\frac{B_1+B_2}{B_2}\right) \times (\alpha_1 + \alpha_2)\right) - \left(\left(\frac{B_1}{B_2}\right) \times \alpha_2\right) \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

ΔP : besarnya tegangan akibat pengaruh beban timbunan di tengah - tengah lapisan (t/m²)

q_0 : beban timbunan (t/m²) yang didapat dari $\gamma_{timb} \times h_{timb}$

α_1 : $\tan^{-1} \{(B_1 + B_2)/z\} - \tan^{-1} (B_1/z)$

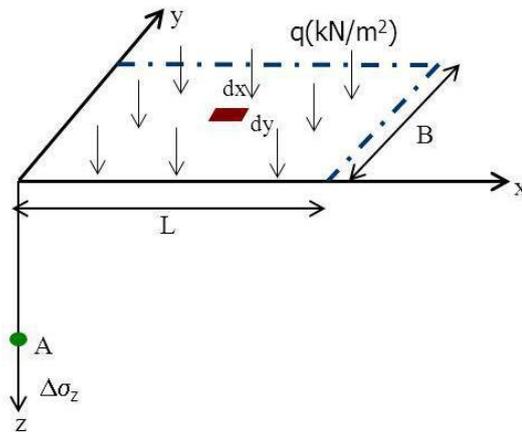
α_2 : $\tan^{-1} (B_1/z)$ B1: 1/2 x lebar timbunan

B2 : panjang proyeksi horizontal kemiringan

Persamaan di atas hanya memperhitungkan tanggul, oleh karena itu untuk tanggul total simetris, nilainya harus dikalikan dua,

$$\Delta P_{total} = 2 \times \Delta P$$

Untuk perhitungan tegangan tanah akibat beban perkerasan menggunakan persamaan sebagai berikut :



Gambar 2.3 Diagram Tegangan Akibat Beban Persegi
(Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah, 2012)

$$m = B/z$$

$$n = L/z$$

$$I = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{2mn(\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2} \cdot \frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} + \tan^{-1} \left(\pi - \frac{2mn(\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2} \right) \right) \dots (2.7)$$

Karena perhitungan hanya dilakukan pada setengah timbunan, maka untuk penambahan tegangan perkerasan dikalikan 2.

$$\Delta p = 2 \times q \times I$$

b. Konsolidasi sekunder (*consolidation secondary settlement/Scs*) adalah penurunan tanah yang diakibatkan oleh penyesuaian plastis butir-butir tanah. Dapat dijelaskan dengan berlalunya waktu di lapisan tanah liat.

2.2.3 Overconsolidation Ratio (OCR)

Nilai dari *Overconsolidation Ratio* (OCR) terhadap lapisan tanah dapat di hitung dengan rumus:

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'}$$

Keterangan:

σ'_c : Tekanan setelah terjadi konsolidasi (kN/m²)

σ' : Tekanan efektif lapisan penutup sebelum konsolidasi (kN/m²)

Nilai *Overconsolidation Ratio* (OCR) dapat di tentukan dengan beberapa metode pengujian:

1. Uji Konsolidasi
2. *Cone Penetrometer Test* (CPT)

Menurut Teori Kulhawy dan Wayne (1990) hasil pengujian CPT pada tekanan setelah terjadi konsolidasi dengan rumus:

$$OCR = k \left(\frac{q_t - \sigma'}{\sigma'} \right)$$

Keterangan:

σ' : Tekanan efektif *overbudeng* (kN/m²)

q_t : Resistensi penetrasi kerucut terkoreksi (kN/m²)

k : 0.2 – 0.5

2.2.4 *Vertical Coefficient of Consolidation from Consolidation Test, C_v*

Vertical Coefficient of Consolidation (C_v) adalah tes konsolidasi yang khusus dilakukan pada kondisi tanah lempung. Pengujian ini menggunakan metode *Square-Root-of-Time* dengan rumus:

$$C_v = \frac{0.848 H_{dr}^2}{t_{90}}$$

Keterangan:

C_v : Koefisien konsolidasi vertikal (cm²/s)

H_{dr} : Panjang benda uji (cm)

t_{90} : Waktu yang diperlukan untuk mencapai 90% konsolidasi (90%)

2.2.5 *Horizontal Coefficient of Consolidation from CPT, C_h*

Menurut Hously and The's (1988) pada tanah lempung dapat menentukan *Horizontal Coefficient of Consolidation* (C_h) dengan rumus:

$$c_h = \frac{T \times r^2 \times I_r^{0.5}}{t_{50}}$$

$$G = \frac{\gamma}{g} \times V_s^2$$

$$V_s = \left[\frac{\alpha_{vs}(q_t - \sigma_v)}{P_a} \right]^{0.5}$$

$$\alpha_{vs} = 10^{0.55I_c + 1.68}$$

Keterangan:

T = Faktor waktu

R = Jari – jari *piezocone*

I_r = Indeks kekakuan (G/su)

T₅₀ = Waktu yang sesuai dengan konsolidasi 50%

G = Modulus geser (kN/m²)

P_a = Tekanan atmosfer (1 atm = 100 Pa)

σ_v = Tegangan lapisan penutup (kN/m²)

I_c = Indeks jenis perilaku tanah

q_t = Tahanan kerucut terkoreksi (kN/m²)

σ_v = Tegangan lapisan penutup (kN/m²)

N_{kt} = Faktor empiris

2.2.5.1 Corrected Coefficient of Consolidation

Pada umumnya hasil C_h yang diperoleh secara langsung hasilnya jauh lebih besar daripada C_h yang dihitung dari lapangan dan diperoleh dari uji laboratorium. Menurut Baliqh dan Levadoux (1986) C_h dapat diperoleh dengan rumus:

$$c_h(\text{NC}) = \frac{RR}{CR} c_h(\text{CPTU})$$

$$RR = \frac{C_r}{1 + e_0}$$

$$CR = \frac{C_c}{1 + e_0}$$

C_c : Indeks Kompresi

C_h : Indeks Rekomposisi

e_0 : Rasio Kekosongan Awal

2.2.5.2 Vertical Coefficient of Permeability from Permeability Test

Berikut adalah rumus untuk menghitung koefisien permeabilitas vertikal:

$$k = \frac{Q \cdot L}{A \cdot h \cdot t}$$

Keterangan:

Q = Volume air yang terkumpul (cm^3)

L = Panjang benda uji (cm)

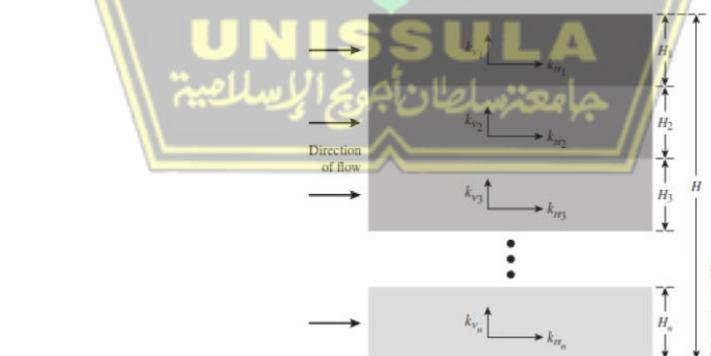
A = Luas penampang benda uji (cm^2)

h = Kepala (cm)

t = Durasi pengumpulan air (s)

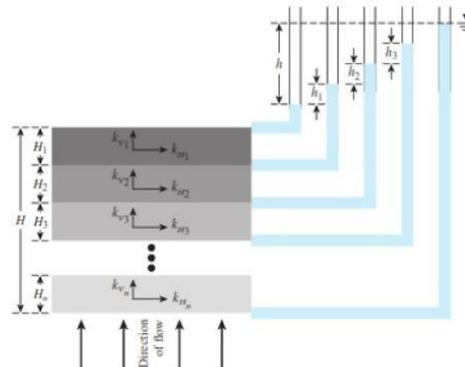
Dalam analisis ini diperlukan nilai permeabilitas yang mewakili semua lapisan. Setiap koefisien permeabilitas vertikal dan horizontal mengacu pada rumus dibawah ini:

$$k_{h(eq)} = \frac{(k_{H1}H_1 + k_{H2}H_2 + \dots + k_{Hn}H_n)}{H}$$



Gambar 2.4 Ilustrasi Koefisien Horizontal Permeabilitas (Das, 1994)

$$k_{v(eq)} = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_{v1}}\right) + \left(\frac{H_2}{k_{v2}}\right) + \dots + \left(\frac{H_n}{k_{vn}}\right)}$$



Gambar 2.5 Ilustrasi Koefisien Vertikal Permeabilitas (Das, 1994)

2.3 Bambu

Bambu merupakan salah satu tanaman yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal, antara lain sebagai bahan konstruksi, antara lain sebagai rangka atap, dinding, dan sebagai pengganti tulangan. Selain mudah didapat dan murah, bambu juga memiliki keunggulan dalam hal kekuatan tariknya. Kekuatan tarik bambu dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kadar airnya, penampang melintangnya, dan ada tidaknya simpul atau simpul.

Bambu jenis ini memiliki kekuatan tarik dan tekan yang lebih kuat dibandingkan kayu. Kuat tarik bambu dua kali lipat dari kayu, dan kuat tekannya kira-kira 10% lebih besar. Membandingkan kekuatan tarik baja dengan bambu, bambu memiliki kekuatan tarik per unit yaitu tiga sampai empat kali lipat dari baja. Dari segi ketahanan, bambu sangat rentan terhadap serangan jamur dan serangga. Cuaca dan lingkungan sangat mempengaruhi daya tahan bambu. Bambu yang telah mengalami proses pengawetan akan hidup lebih lama dibandingkan bambu konvensional.

2.3.1 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Tekan Bambu

Uji kuat tekan bambu dilakukan sesuai dengan ISO 22 157-2004 untuk mengevaluasi kemampuan material menahan tekan tegak lurus arah pertumbuhan serat. Bambu yang digunakan memiliki tinggi 1 cm dan diameter 0,5 mm. Rumus untuk menghitung kuat tekan bambu:

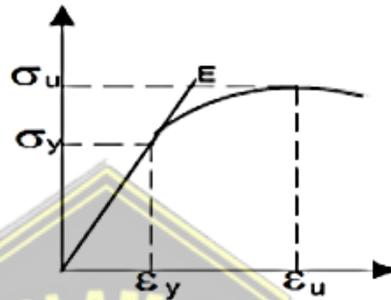
$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} = \frac{P_{max}}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

Dimana;

σ = tegangan tekan maksimum (MPa)

P_{max} = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang tekan (mm²)



Gambar 2.6 Diagram Tegangan – Regangan Tekan Bambu (Sitepu, 2013)

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung modulus elastisitas tekan bambu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana;

ε = regangan (%)

ΔL = perpendekan spesimen akibat beban tekan (mm)

L = panjang awal spesimen (mm)

E = modulus elastisitas tekan bambu (MPa)

2.3.2 Pengujian Kuat Lentur dan Modulus Elastisitas Lentur Bambu

Bambu ayah memiliki panjang 16 cm dan diameter 0,5 cm. Penilaian dilakukan dengan menggunakan skema pembebanan tiga titik. Bagi yang tertarik dengan kekuatan lentur bambu, rumusnya adalah sebagai berikut:

$$q = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times y \text{ bambu}$$

$$Mu = \frac{1}{8} x q x l^2 + \frac{1}{4} x p x l$$

$$I = \frac{\pi}{64} x (d_1^4 - d_2^4)$$

$$Z = \frac{\pi}{32d} x (d_1^4 - d_2^4)$$

$$\sigma = \frac{Mu}{Z}$$

Dimana;

q = beban merata bambu (kN/mm)

d = diameter bambu (mm)

X Bambu = berat jenis bambu (kN/mm³)

Mu = momen ultimit bambu (kN.mm)

l = panjang bambu (mm)

I = momen inersia bambu (mm⁴)

Z = modulus penampang (mm³)

σ = kuat lentur bambu (MPa)

Modulus elastisitas lentur adalah kemiringan kurva tegangan-regangan dalam batas proporsional, yang diukur dalam uji lentur bambu. Modulus elastisitas bambu dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$E_{lentur} = \frac{P x l^3}{48 x \Delta x I}$$

Dimana; جامعنا سلطان أبو جوح الإسلامية

E_{lentur} = modulus elastisitas lentur (MPa)

P = total beban lentur proporsional (N)

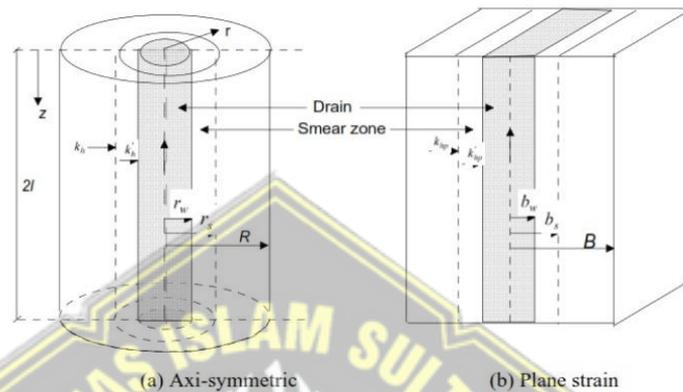
Δ = lendutan proporsional pada tengah bentang (mm)

2.3.3 Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Bambu

Adapun perhitungan perencanaan perkuatan tanah dengan bambu adalah berikut ini :

2.3.3.1 Modeling the Horizontal Permeability in Plane Strain Model

Pada penelitian ini digunakan *Pre Fabricated Vertical Drains* untuk membantu konsolidasi (PVD). *Pre Fabricated Vertical Drain* (PVD) adalah perangkat drainase buatan yang dibangun secara vertikal di tanah lunak. Penelitian PVD ini menggunakan elemen Plaxis 2D dengan kondisi regangan planar.



Gambar 2.7 Konversi Bidang *Axi - Symmetric* menjadi *Plane Strain*
(Indraratna et al, 2005)

Mengabaikan efek jarak PVD dan ketahanan tanah, permeabilitas tanah di arah horizontal dapat diubah menjadi bidang regangan dengan menggunakan rumus :

$$\frac{k_{hp}}{k_h} = \frac{0.67}{\left[\ln \left(\frac{D}{d_w} \right) - 0.75 \right]}$$

Keterangan :

K_{hp} = permeabilitas horizontal pada kondisi regangan bidang

K_h = permeabilitas horizontal pada kondisi sumbu simetris (dari hasil uji laboratorium)

D = diameter pengaruh ekivalen PVD

d_w = diameter ekivalen PVD

2.3.3.2 *Base Reinforcement Modeling*

Tanggul pada tanah lunak sering diperkuat dengan geosintetik berupa geotekstil, *geogrid* dan matras *geocell*, disediakan di bagian bawah untuk meningkatkan faktor keamanan terhadap kegagalan (Rowe dan Li 2005). Tulangan dasar meningkatkan stabilitas tanggul dengan memobilisasi gaya tarik pada tulangan dan juga memberikan kekangan pada timbunan timbunan dan tanah pondasi yang berdekatan dengan tulangan. Namun demikian, dalam hal tanggul tinggi pada tanah yang sangat lunak, penggunaan geotekstil memiliki beberapa keterbatasan kapasitas tarik maksimum dan tidak ada kekuatan lentur. Untuk mencapai peningkatan substansial pada perilaku tanggul, tulangan yang lebih kaku dan kuat harus digunakan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dalam proyek ini, bambu diusulkan sebagai tulangan dasar untuk mencegah lunak keruntuhan tanah pada tahap pembebanan timbunan awal dan untuk memastikan faktor keamanan minimum selama konstruksi yang dinyatakan dalam kriteria desain terpenuhi. Dalam analisis *PLAXIS 2D*, matras bambu dimodelkan sebagai elemen pelat / balok dengan mempertimbangkan kekakuan lentur. Momen inersia bambu dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_m = \sum I + \sum A \cdot d^2$$

A adalah luas penampang bambu dan d adalah jarak antara elemen bambu dan titik referensi dari sistem matras bambu. Bahan matras bambu juga dimodelkan memiliki sifat elastoplastik yaitu lentur kekuatan dan kekakuan tergantung pada sifat mekanik bambu. Menurut “Laporan Akhir Pengujian Skala Penuh Perkuatan Timbunan Badan Jalan Dengan Cerucuk Matras Bambu Tambak Oso-Surabaya” (PT Utama Karya, Persero, PT Citra Marga Nusapahala Persada, Tbk, LPPM Institut Teknologi Bandung), secara mekanik sifat – sifat bambu dapat dilihat pada sebagai berikut :

Tabel 2.3 *Mechanical properties of Bamboo* (PT PP Persero, 2020)

| Sifat | Kisaran |
|-------------------------|---------------------------------|
| 1. Kuat Tarik | 1180-2750 kg/cm ² |
| 2. Kuat Lentur | 785-1960 kg/cm ² |
| 3. Kuat Tekan | 499-588 kg/cm ² |
| 4. E Tarik | 87280-313810 kg/cm ² |
| 5. E Tekan | 55900-211820 kg/cm ² |
| 6. Batas Regangan Tarik | 0.0037-0.244 |
| 7. Berat Jenis | 0.67-0.72 kg/cm ² |
| 8. Kadar Lemas | 10.04-10.81 % |

2.3.3.3 Slope Stability Analysis Under Seismic Condition

Menggunakan pendekatan *Limit Equilibrium* (LEM), stabilitas lereng di bawah tekanan seismik dipelajari. Pendekatan ini didasarkan pada gagasan keseimbangan gaya dan momen normal yang bekerja pada setiap bagian bidang keruntuhan lereng. Dengan cara ini, rumus disederhanakan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser dan gaya normal (E):

$$P = \frac{[W_n - (x_R - x_L) - \frac{1}{F}(c'(\sin \alpha - u \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot \tan \varphi'))]}{\cos \alpha \left(l + \tan \alpha \frac{\tan \varphi'}{E} \right)}$$

Keterangan:

P = gaya normal (m/s²)

W_n = berat tanah (g/cm³)

X, X_L = gaya geser antar irisan (kN)

C' = kohesi (g/cm³)

α = kemiringan dasar irisan (°)

φ' = sudut geser dalam tanah (°)

Faktor persamaan keamanan terhadap kesetimbangan momen adalah :

$$F_m = \frac{\sum(c'l + (P - ul) \tan \varphi')}{\sum W \sin \alpha}$$

Faktor persamaan keamanan terhadap keseimbangan gaya adalah :

$$F_f = \frac{\sum(c'l + (P - ul) \tan \varphi') \cos \alpha}{\sum P \sin \alpha}$$

Selama kondisi seismik, analisis stabilitas harus dipertimbangkan pada gaya lateral tambahan akibat gempa yang diubah menjadi koefisien $k_h = a/g$, dimana:

K_h = koefisien horizontal seismik (kN/m^2)

a = percepatan permukaan puncak (m/s)

g = gravitasi (N)

2.4 Pengertian Jalan

Untuk keperluan angkutan umum, semua daerah di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, dan di atas permukaan air, kecuali rel dan *cablway*, dianggap sebagai jalan raya menurut UU 22 Tahun 2009.

2.5 Klasifikasi Jalan

Jalan umum di Indonesia dikategorikan menurut sistem jaringan jalan, fungsi jalan, status jalan, dan kelas jalan sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan.

2.5.1 Pembagian Jalan Berdasarkan Sistem

Menurut metodologinya, jalan diklasifikasikan menjadi:

1. Sistem Jaringan Jalan Primer Sistem jaringan jalan primer adalah jaringan jalan yang menghubungkan semua simpul pelayanan distribusi berupa pusat-pusat kegiatan untuk memperlancar distribusi barang dan jasa di seluruh tanah air sehingga berkontribusi terhadap pertumbuhan semua daerah.
2. Sistem jalan sekunder Distribusi barang dan jasa kepada penduduk perkotaan difasilitasi oleh sistem jaringan jalan sekunder.

2.5.2 Pembagian Jalan Berdasarkan Fungsi

Berdasarkan fungsi, jalan dibedakan atas:

1. Jalan Raya Utama

Jalan raya utama untuk lalu lintas jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan pembatasan efektif pada jumlah jalan akses merupakan ciri-ciri jalan arteri, kategori khusus jalan raya umum.

2. Jalan Kolektor

Jalan kolektor adalah jalan raya umum yang menghubungkan dua atau lebih jalan kolektor atau pembagi, dan memungkinkan untuk perjalanan jarak sedang dengan kecepatan rata-rata sedang ke sejumlah kecil jalan di dalam dan di luar jalan.

3. Jalan Lokal

Jarak pendek, kecepatan rata-rata lambat, dan tanpa batasan titik masuk, jalan lokal adalah jalan umum yang melayani angkutan lokal.

4. Jalan Lingkungan

Jalan umum yang dirancang untuk mobilitas lingkungan disebut jalan lingkungan, dan sering kali memiliki kecepatan rata-rata yang rendah dan hanya digunakan untuk perjalanan jarak pendek.

2.5.3 Pembagian Jalan Berdasarkan Status

Berdasarkan status, jalan dibedakan atas:

1. Jalan Raya Nasional Jalan arteri dan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan ibu kota provinsi termasuk dalam jalan raya nasional, demikian pula jalur strategis nasional dan jalan tol.
2. Jalan Raya di Provinsi Menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten/kota, atau ibu kota kabupaten/kota dengan jalur utama provinsi, adalah jalan kolektor yang dikenal sebagai jalan raya provinsi.
3. Jalan Kabupaten No. 3 Tanpa adanya jalan raya nasional atau provinsi, sistem jaringan jalan utama tidak lengkap; di sinilah jalan kabupaten masuk. Mereka menghubungkan kota-kota besar satu sama lain, antara kota-kota besar, kota-kota besar dengan pusat-pusat kegiatan lokal, dan pusat-pusat kegiatan utama satu sama lain.
4. Jalan kota Jalan umum di kota adalah bagian dari jaringan jalan sekunder yang menghubungkan simpul komersial ke lingkungan perumahan dan kawasan bisnis.

5. Jalan Lokal Jalan desa disebut juga jalan lingkungan adalah jalan umum di dalam desa yang menghubungkan masyarakat dengan lokasi lain di dalam desa.

2.5.4 Pembagian Jalan Berdasarkan Kelas

Kelas jalan ditentukan oleh tingkat pelayanan yang disediakan oleh jaringan jalan:

1. Jalan bebas hambatan Jalan bebas hambatan memiliki kontrol jalan masuk, tidak ada perlintasan sebidang, dinding jalan, median, minimal dua lajur pada setiap arah, dan lebar lajur minimal 3,5 meter.
2. Jalan raya adalah jalan umum yang memiliki median dengan sedikitnya dua lajur pada setiap arah dan lebar lajur sekurang-kurangnya 3,5 meter untuk mengakomodasi lalu lintas yang konstan dengan sedikit pengaturan akses.
3. Jalan sedang adalah jalan umum yang memiliki akses tidak terbatas, paling sedikit dua lajur pada setiap arah, dan lebar minimal 7 meter yang dirancang untuk perjalanan jarak menengah.
4. Jalan Raya Kecil Jalan kecil melayani lokal adalah jalan umum yang masing-masing arahnya memiliki dua lajur atau lebih sedikit dan lebar lajur 5,5 meter atau kurang.

2.6 Jenis Struktur Perkerasan Jalan

Struktur perkerasan baru dibagi menjadi tiga jenis sesuai dengan Manual Desain Perkerasan 2017:

1. Perkerasan di permukaan alami bumi
2. Mengaspal lereng
3. Menutupi lokasi penggalian

Untuk konstruksi perkerasan kaku pada umumnya, lihat ilustrasi di bawah ini:

1. Perkerasan Kaku pada Permukaan Tanah Asli



Gambar 2.8 Tipikal struktur perkerasan kaku pada permukaan tanah asli
(Manual Desain Perkerasan, 2017)

2. Perkerasan Kaku pada Timbunan



Gambar 2.9 Tipikal struktur perkerasan kaku pada timbunan
(Manual Desain Perkerasan, 2017)

3. Perkerasan Kaku pada Galian



Gambar 2.10 Tipikal struktur perkerasan kaku pada galian
(Manual Desain Perkerasan, 2017)

2.7 Perkerasan Kaku

Perkerasan padat, juga dikenal sebagai perkerasan beton semen, terdiri dari pelat beton semen sebagai lapisan dasar dan lapisan pondasi bawah di atas tanah dasar. Oleh karena itu, pelat beton terkadang dianggap sebagai lapisan pondasi dalam konstruksi perkerasan kaku, meskipun lapisan beton aspal masih dapat berfungsi sebagai lapisan permukaan. Karena daya dukung struktur perkerasan sebagian besar tergantung pada pelat beton itu sendiri,

perkerasan beton yang kaku dan sangat elastis diperlukan untuk mendistribusikan beban ke tanah dasar. Bandingkan dengan perkerasan lentur, di mana kekuatan perkerasan didasarkan pada kedalaman lapisan pondasi, pondasi bawah, dan permukaannya. Mengingat pentingnya mengetahui kemampuan menahan beban suatu bangunan, pertimbangan pertama dalam menentukan ketebalan perkerasan beton semen adalah kekuatan materialnya. Perbedaan kekuatan tanah dasar atau pondasi memiliki pengaruh yang dapat diabaikan terhadap daya dukung perkerasan. Perkerasan kaku datang dalam varietas berikut:

1. Perkerasan Beton Semen

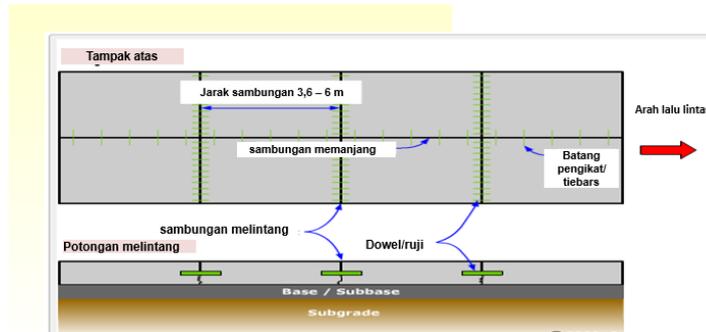
Yang dimaksud dengan perkerasan beton semen adalah jalan yang memiliki pondasi beton *Portland Cement* (PC). Lima jenis perkerasan kaku yang berbeda diakui oleh NAASRA:

a. Perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan

Perkerasan kaku terus menerus tanpa tulangan adalah jenis yang paling umum karena harganya yang murah dan kemudahan pemasangannya. Namun, meskipun tidak adanya tulangan memecahkan masalah korosi tulangan di tempat-tempat seperti itu, tiang tetap rentan terhadap korosi.

Ekspansi dan kontraksi perkerasan dapat diakomodasi dengan sambungan. Sambungan susut standar ditempatkan setiap 3,6 sampai 6 meter (di Indonesia umumnya antara 4,5 m sampai 5 m). Dalam kebanyakan kasus, sambungan-sambungan ini sangat rapat sehingga keretakan pada perkerasan tertunda sampai akhir masa pakainya.

Satu-satunya tulangan pada pelat perkerasan ini berasal dari pasak yang digunakan pada sambungan susut dan batang pengikat yang digunakan pada sambungan memanjang. *Dowels* dipasang di setiap sambungan melintang untuk bertindak sebagai mekanisme distribusi beban, memastikan bahwa pelat yang bersebelahan dapat bekerja bersama tanpa perbedaan besar dalam pengendapan. Sedangkan *tie bar* dipasang pada sambungan memanjang dengan tujuan mencegah pergerakan horizontal pelat.

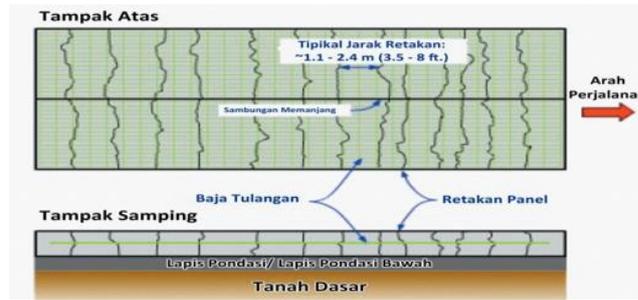


Gambar 2.11 Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan
(Modul Konsep Dasar Perkerasan Kaku Kementerian PUPR, 2017)

b. Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan

Perkerasan kaku yang telah diperkuat dibangun dengan pelat yang lebih besar dan tulangan tambahan. Dalam kebanyakan kasus, jangkauan koneksi akan berkisar antara 7,50 m dan 12 m. Merupakan praktek umum untuk tulangan longitudinal untuk memperhitungkan antara 0,1% dan 0,2% dari luas penampang pelat beton, sedangkan tulangan transversal menyumbang persentase yang jauh lebih kecil. Tulangan dalam bentuk perkerasan ini tidak dimaksudkan untuk menopang beban struktur, melainkan untuk menahan geser sepanjang bidang patahan dengan menjaga agar retakan tetap rapat.

Dowels masih digunakan untuk menghubungkan perkerasan kaku dengan tulangan menggunakan *dowels*. Karena panjang pelat bertambah tetapi jarak antar patahan tetap sama, kemungkinan pelat mengandung satu atau dua retakan. Perkerasan kaku konstan dengan tulangan memiliki keuntungan dari sambungan yang lebih sedikit, tetapi lebih mahal karena tulangan, kinerja sambungan di bawah standar, dan retak pelat.



Gambar 2.12 Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan

(Sumber : Modul Konsep Dasar Perkerasan Kaku Kementerian PUPR)

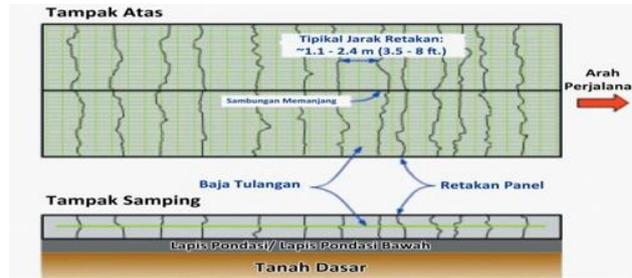
c. Perkerasan beton semen menerus dengan tulangan

Sebuah pelat dengan dukungan yang cukup dan tidak ada jahitan untuk susut disebut perkerasan kaku terus menerus. Biasanya tulangan memanjang antara 0,6% dan 0,8% dari luas penampang beton, sedangkan tulangan melintang lebih kecil dari tulangan memanjang. Kemungkinan kerusakan akibat ledakan meningkat jika jumlah tulangan kurang dari 0,6%.

Kerusakan rambut pada perkerasan semacam ini bukanlah masalah kinerja, meskipun mungkin saja. Berbagai retakan dengan panjang mulai dari 0,6 hingga 2,4 meter merupakan indikasi fitur retakan. Tulangan yang ada membuat ruang-ruang ini tetap terbuka, yang diperlukan agar agregat tetap terkunci dan agar gaya geser dapat diteruskan secara terus menerus. Kerusakan akibat tusukan, yang dikenal sebagai “*punch out*”, sering terjadi pada perkerasan bertulang kaku yang terus menerus jika *interlocking* geser agregat tidak dipertahankan. Untuk mencegah agar margin tidak menyusut karena susut dan untuk meningkatkan perambatan retak yang benar, jenis perkerasan ini membutuhkan angkur di awal dan akhir.

Karena lebih rata dan bertahan lebih lama dari jenis perkerasan lainnya, perkerasan kaku yang diperkuat terus menerus lebih disukai untuk kenyamanan berkendara. Biaya produksi yang tinggi merupakan akibat langsung dari banyaknya tulangan yang digunakan, yang tidak

terdapat pada perkerasan menerus. Karena kinerja jangka panjangnya yang lebih besar, bagaimanapun, ini lebih hemat biaya untuk jalan dengan lalu lintas tinggi daripada jenis perkerasan kaku lainnya.



Gambar 2.13 Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan
(Modul Konsep Dasar Perkerasan Kaku Kementrian PUPR, 2017)

d. Perkerasan beton semen pratekan

Penggunaan material yang lebih baik, sambungan yang lebih sedikit, dan kemungkinan retak yang lebih kecil adalah semua manfaat potensial dari perkerasan kaku prategang, yang mengarah pada biaya perawatan yang lebih murah dan umur perkerasan yang lebih lama.

Kuat tarik lentur beton mengontrol ketebalan tipikal perkerasan kaku sehingga tegangan akibat beban roda tidak melebihi batasnya. Penggunaan bahan bangunan ini menjadi tidak efisien karena beton antara serat atas dan bawah pelat tidak dapat menahan tegangan akibat beban roda.

Kuat tarik lentur beton tidak lagi menjadi faktor pembatas pada perkerasan beton prategang karena telah diperkuat melalui penerapan tegangan tekan. Jadi, ketebalan perkerasan kaku yang biasa akan menjadi 40-50% lebih kecil dari yang dibutuhkan untuk beban tertentu.

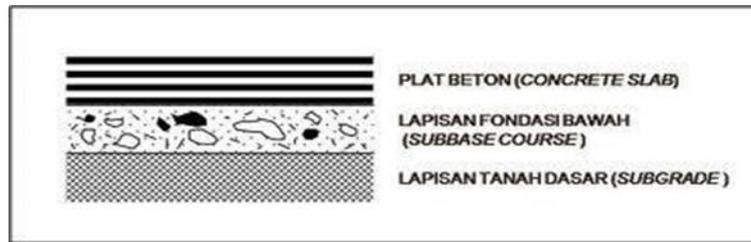
2. Perkerasan kaku dengan permukaan aspal

Perkerasan aspal kaku dengan permukaan aspal tipe komposit.

Menghitung tebal rencana perkerasan jalan:

- a. Hitung seberapa tebal jalan semen-beton yang aneh ini sebenarnya.
- b. Ketebalan beton berkurang 10 mm untuk setiap 25 mm permukaan

aspal.



Gambar 2.14 Lapisan Perkerasan Kaku

Pada perkerasan beton semen, pelat beton memberikan sebagian besar daya dukung. Daya tahan dan kekuatan perkerasan beton semen dipengaruhi secara signifikan oleh komposisi tanah dasar, daya dukung, dan homogenitas. Kadar air pemadatan, densitas, dan variasi kadar air selama durasi layanan harus diperhitungkan. Lapisan *subbase* dari perkerasan beton semen bukanlah komponen penahan beban utama, tetapi berfungsi sebagai berikut:

- Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, celah, dan tepi pelat.
- Mengontrol efek pembengkakan dan penyusutan tanah dasar.
- Memberikan dukungan yang konsisten dan kokoh untuk pelat.
- Sebagai permukaan paving yang berfungsi selama konstruksi.

Dalam hal mendistribusikan beban di wilayah yang luas, pelat beton semen umumnya kuat dan dapat melakukannya sambil hanya menghasilkan tegangan sedang pada lapisan di bawahnya. Dimungkinkan untuk menambahkan lapisan campuran aspal ke permukaan perkerasan beton semen setebal 5 cm jika diperlukan tingkat kenyamanan yang tinggi. Perkerasan kaku memiliki aspek positif dan negatif. Perkerasan kaku memiliki banyak keuntungan:

- Kecuali untuk tempat-tempat tanah lunak, struktur perkerasan lebih tipis.
- Memfasilitasi pelaksanaan konstruksi dan pengendalian mutu.
- Menurunkan biaya perawatan jika kualitas implementasinya tinggi.
- Pembuatan campuran lebih mudah.

Sedangkan kerugiannya antara lain:

- Jalan dengan lalu lintas rendah memiliki biaya pembangunan yang lebih tinggi.
- Rawan retak jika dibangun di atas tanah lunak, jika daya dukungnya tidak memadai, atau jika konstruksinya tidak dilakukan dengan benar (kualitas pelaksanaannya rendah).
- Secara umum, mengemudi tidak terlalu menghibur.

2.7.1 Lapisan Perkerasan Kaku

Lapisan perkerasan kaku terdiri dari tiga komponen:

1. Lapisan Tanah Dasar (*Subgrade*)

Subgrade adalah lapisan di bawah perkerasan. Tugas lapisan tanah dasar adalah menopang perkerasan pada lapisan di atasnya. Di jalan raya, tanah dasar mungkin terdiri dari tanah lokal yang dipadatkan atau urugan jalan yang dipadatkan (jika jalan berada di elevasi). Lapisan ini jarang homogen karena terjadi secara alami. Oleh karena itu, diperlukan studi menyeluruh di beberapa lokasi untuk mengevaluasi kekuatan tanah dasar.

2. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Beton campuran tanpa lemak, agregat, pasir, dan pengikat termasuk semen, kapur, dan abu terbang yang dihancurkan semuanya dapat digunakan untuk lapisan *sub-base*. Lapisan *sub-base* berfungsi untuk membentuk lapisan yang seragam dan stabil, mengurangi kemungkinan retak pada pelat beton, dan menghentikan pemompaan, yang merupakan pelepasan partikel tanah halus bersama air ke dalam sambungan, retakan, atau tepi beton.

3. Lapisan Pelat Beton (*Concrete Slab*)

Dari kombinasi semen, air, agregat, dan aditif, dihasilkan lapisan pelat beton. Bahan yang digunakan dalam konstruksi beton harus menjalani pengujian dan bebas dari zat yang berpotensi berbahaya (lumpur, minyak, bahan organik, dll.)

2.8 Perkerasan Lentur

Dibandingkan dengan perkerasan kaku, perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang paling sering digunakan. Untuk konstruksi jalan dan landasan pacu, struktur perkerasan lentur dikembangkan. Berikut adalah tujuan dari trotoar:

1. Memungkinkan jalan melewati struktur beraspal setiap saat. Karena tanah dasar rentan terhadap perubahan kadar air, perkerasan harus kedap air untuk melindunginya.
2. Bubarkan beban terkonsentrasi sedemikian rupa sehingga tekanan pada tanah dasar diminimalkan. Artinya modulus elastisitas (atau kekakuan) lapisan konstruksi perkerasan jalan harus lebih tinggi dari pada lapisan di bawahnya.
3. Fleksibel, yang sangat bagus untuk menjaga orang tetap aman. Jadi, permukaan perkerasan harus kasar agar roda memiliki koefisien gesekan yang tinggi.
4. Desain empat koma empat menyediakan tempat istirahat yang rata. Karena ini adalah permukaan jalan, permukaannya harus rata dengan sempurna untuk memastikan stabilitas pengguna.

Jenis - jenis lapisan pada perkerasan Lentur:

1. Lapis tanah dasar (*subgrade*)

Karakteristik dan kemampuan menahan beban tanah dasar memiliki dampak besar pada kekuatan dan umur panjang konstruksi perkerasan jalan. Biasanya, tantangan yang terkait dengan tanah dasar meliputi:

- a. Deformasi permanen jenis tanah tertentu akibat beban
- b. Sifat mengembang dan menyusut tanah tertentu akibat perubahan kadar air
- c. Daya dukung tanah tidak merata dan sulit diprediksi
- d. Lendutan dan lendutan balik selama dan setelah pembebanan lalu lintas dari jenis tanah tertentu
- e. Pemadatan tambahan karena beban lalu lintas dan penurunan berikutnya.

Banyak faktor, termasuk daya dukung yang tepat dan stabilitas tanah, komposisi dan gradasi butir tanah, pembengkakan dan penyusutan tanah, dan kemudahan penggunaan, harus diperhitungkan saat memilih jenis tanah untuk digunakan sebagai tanah dasar yang menopang badan jalan.

1. Lapis pondasi bawah (*sub base course*)

Mendukung beban dan mendistribusikan tegangan ke lapisan tanah dasar di bawahnya; itu adalah lapisan perkerasan jalan antara tanah dasar dan permukaan. Tanah dasar berfungsi sebagai pondasi untuk lapisan pondasi bawah, yang digunakan sendiri sebagai:

- a. Sebagai bagian dari bangunan perkerasan untuk menopang dan menyalurkan beban roda.
- b. Pertahankan efisiensi penggunaan bahan yang relatif terjangkau untuk menurunkan ketebalan lapisan yang tersisa.
- c. Mencegah tanah dasar menembus lapisan pondasi
- d. Sebagai lapisan awal untuk memastikan implementasi yang mulus.

3. Lapis pondasi atas (*Base course*)

Mendukung lapisan permukaan dan beban roda yang bekerja di atasnya, dan mendistribusikan tegangan yang timbul pada lapisan *sub-base* dan, pada akhirnya, lapisan tanah di bawah jalan. basis.

Fungsi tutup pondasi dijelaskan di bawah ini:

- a. Sebagai lokasi terhadap lapisan permukaan
- b. Mentransmisikan aliran gaya lalu lintas ke *subbase*

Bahan untuk lapisan atas pondasi biasanya harus cukup kuat untuk menopang beban roda.

4. Lapis permukaan

Di antara fungsi lapisan permukaan adalah:

1. Sebagai bahan perkerasan jalan yang dapat menahan beban roda

2.9 Metode Desain Perkerasan Kaku

Hasil studi yang lebih bermanfaat dapat diharapkan setelah membandingkan berbagai metode studi. Ketika membandingkan hasil pendekatan yang berbeda untuk menghitung ketebalan pelat beton perkerasan,

kita dapat melihat bagaimana variasi parameter input untuk perencanaan ketebalan perkerasan berkontribusi pada hasil yang dihitung:

2.9.1 Metode AASHTO

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) adalah badan penetapan standar yang menerbitkan spesifikasi, protokol pengujian, dan pedoman yang digunakan dalam desain dan konstruksi jalan raya di seluruh Amerika Serikat. Terlepas dari namanya, asosiasi tersebut tidak hanya mewakili jalan raya tetapi juga transportasi udara, kereta api, air, dan umum.

Meskipun AASHTO menetapkan standar dan kebijakan transportasi untuk Amerika Serikat secara keseluruhan, AASHTO bukanlah badan pemerintah federal. melainkan sebuah organisasi dari negara - negara itu sendiri. Kebijakan AASHTO bukanlah undang - undang atau kebijakan federal, tetapi lebih merupakan cara untuk mengoordinasikan undang-undang dan kebijakan negara bagian di bidang transportasi.

Untuk metode AASHTO 1993, umur rencana, lalu lintas, keandalan, kemudahan servis, simpangan baku keseluruhan, modulus respons tanah dasar, modulus elastisitas beton, koefisien drainase, dan koefisien distribusi beban merupakan parameter masukan untuk perencanaan tebal perkerasan. Karakteristik lalu lintas selama umur rencana meliputi jenis kendaraan, volume LHR, peningkatan lalu lintas, faktor distribusi arah, faktor distribusi lajur, dan *Equivalent Single-Axle Load* (ESAL).

2.9.2 Metode Bina Marga 2003

AUSTROADS, Desain Perkerasan, dan Pedoman Desain Struktur Perkerasan adalah contoh pedoman perencanaan perkerasan beton semen (1992). Perencanaan tebal perkerasan memerlukan input seperti parameter distribusi sumbu kendaraan, sub-base, CBR efektif, dan perhitungan tebal pelat beton. Perkiraan ketebalan pelat beton dibagi dua menggunakan faktor erosi untuk setiap jenis sumbu dan faktor tegangan yang sesuai untuk setiap jenis sumbu.

2.9.3 Metode Bina Marga 2013

Cara ini merupakan pengganti sementara Bina Marga dari tahun 2003; bila direvisi, DJBM 2013 sudah tidak relevan lagi. Umur rencana, lalu lintas, tanah dasar, pondasi bawah, pondasi bawah material granular, dan kekuatan beton adalah beberapa parameter input teknis Jalan Raya 2013 untuk perencanaan tebal perkerasan. Jalur yang direncanakan dan koefisien distribusi, pertumbuhan lalu lintas, desain lalu lintas, dan keselamatan beban adalah semua faktor yang digunakan untuk menggambarkan lalu lintas.

2.9.4 Metode Bina Marga 2017

Metode ini lebih unggul dari pendekatan Bina Marga 2013 yang digunakan untuk mengukur tebal perkerasan selama tahun-tahun transisi dari metode Bina Marga 2003 ke Jalan Tol 2017. Jalur yang direncanakan dan koefisien distribusi, pertumbuhan lalu lintas, desain lalu lintas, dan keselamatan beban adalah semua faktor yang digunakan untuk menggambarkan lalu lintas.

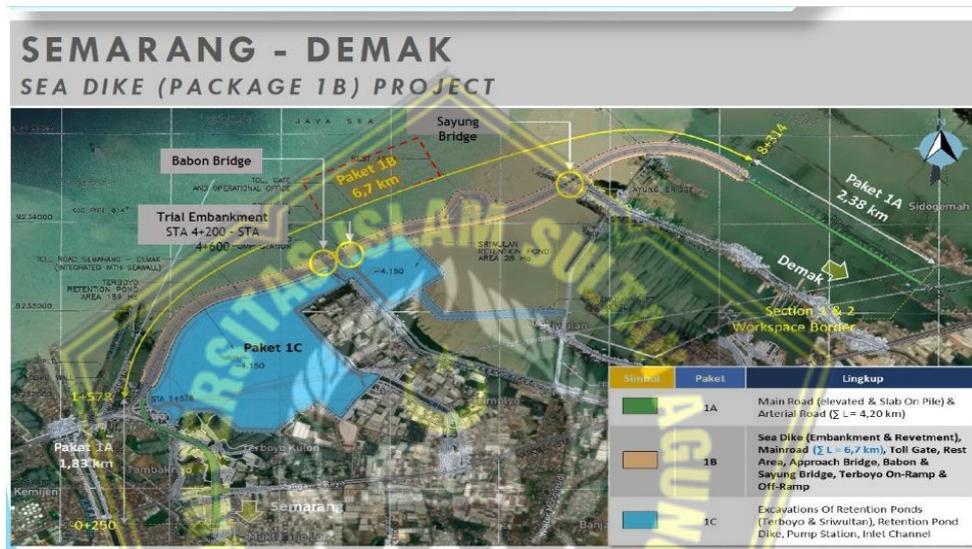


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Kajian ini berfokus pada pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak 1B yang menjadi tanggung jawab Satker Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak, Pusat Jalan Nasional Jawa Tengah – DIY, dan Kementerian Perumahan Rakyat.



Gambar 3.1 Lokasi Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak 1B
(Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – DIY, 2022)

3.2 Bahan atau Materi Penelitian

Penelitian ini didukung oleh data primer dan data sekunder yaitu:

1. Data Primer

Data primer terdiri dari informasi yang diekstraksi langsung dari item data. Data inti penelitian ini dikumpulkan melalui observasi langsung dan wawancara dengan staf proyek.

2. Data Sekunder

Data primer yang ada didukung oleh data sekunder. Data primer yang ada dilengkapi dengan data sekunder yaitu hasil laboratorium dari Unit Pengembangan Jalan Tol Semarang – Demak, Pusat Jalan Nasional Jawa

Tengah – DIY, Kementerian Perumahan Rakyat, dan Dinas Perumahan Rakyat.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, termasuk perhitungan manual pada PC atau laptop yang menjalankan program Software 2D Plaxis.

3.3.1 Analisis daya dukung tanah

Analisis daya dukung formula Terzaghi:

$$q_{all} = (c.N_c + q.N_q + 0.5.\gamma.B.N_\gamma) / FK$$

Dimana:

q_{all} : Daya dukung ijin, kN/m^2

c : Kohesi, kN/m^2

q : *Overburden pressure*, kN/m^2

γ : Berat isi tanah, kN/m^3

B : Lebar pondasi atau timbunan, m

N_c, N_q, N_γ : Faktor daya dukung Terzaghi

FK : Faktor keamanan

3.3.2 Pemeriksaan *Settlement* / Penurunan Tanah

Penurunan Konsolidasi

Teori Terzaghi (1925) untuk perhitungan kompresi di tanah lempung digunakan di sini:

1. Tanah terkonsolidasi secara normal (*Normally Consolidation*)

$$S_c = C_c \frac{H_0}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta P}{p'_0}$$

2. Tanah terlalu terkonsolidasi (*Over Consolidation*)

a) Bila $Po' + \Delta P \leq Pc'$, maka

$$S_c = \left[\frac{C_s \times H_0}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta P}{p'_0} \right]$$

b) Bila $Po' + \Delta P > Pc'$, maka

$$S_c = \left[\frac{C_s \times H_0}{1 + e_0} \log \frac{p'_c}{p'_0} \log \frac{p'_0 + \Delta P}{p_c'} \right]$$

Dimana:

S_c : pemampatan akibat proses konsolidasi (m)

C_c : indeks kompresi tanah

C_s : indeks pemuai

Po' : Tegangan *Overburden* efektif (t/m²)

Pc' : Tegangan Prakonsolidasi efektif (t/m²)

e_0 : angka pori

H : tebal lapisan tanah sub-lapisan (m)

ΔP : Penambahan tegangan vertikal (t/m²)

3.3.3 Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Bambu

3.3.3.1 Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Tekan Bambu

Pengujian kuat tekan bambu sesuai dengan ISO 22 157-2004 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan material menahan tekan tegak lurus arah pertumbuhan serat. Bambu yang digunakan memiliki tinggi 1 cm dan diameter 0,5 mm. Rumus untuk menghitung kuat tekan bambu:

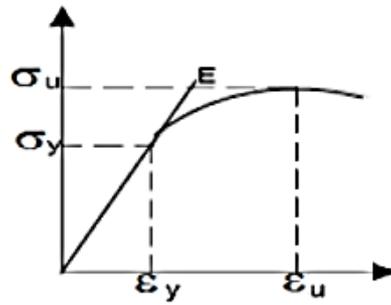
$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} = \frac{P_{max}}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

Dimana;

σ = tegangan tekan maksimum (MPa)

P_{max} = beban tekan maksimum (N)

A = luas penampang tekan (mm²)



Gambar 3.2 Diagram Tegangan – Regangan Tekan Bambu
(Sitepu, 2013)

Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung modulus elastisitas tekan bambu:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana;

ε = regangan (%)

ΔL = perpendekan spesimen akibat beban tekan (mm)

L = panjang awal spesimen (mm)

E = modulus elastisitas tekan bambu (MPa)

3.3.3.2 Pengujian Kuat Lentur dan Modulus Elastisitas Lentur Bambu

Bambu ayah memiliki panjang 16 cm dan diameter 0,5 cm. Penilaian dilakukan dengan menggunakan skema pembebanan tiga titik.

Rumus kuat lentur bambu adalah sebagai berikut:

$$q = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times y \text{ bambu}$$

$$Mu = \frac{1}{8} \times q \times l^2 + \frac{1}{4} \times p \times l$$

$$I = \frac{\pi}{64} \times (d_1^4 - d_2^4)$$

$$Z = \frac{\pi}{32d} \times (d_1^4 - d_2^4)$$

$$\sigma = \frac{Mu}{Z}$$

Dimana;

q = beban merata bambu (kN/mm)

d = diameter bambu (mm)

γ_{Bambu} = berat jenis bambu (kN/mm³)

Mu = momen ultimit bambu (kN.mm)

l = panjang bambu (mm)

I = momen inersia bambu (mm⁴)

Z = modulus penampang (mm³)

σ = kuat lentur bambu (MPa)

Pada pengujian lentur bambu, modulus elastisitas lentur adalah kemiringan kurva tegangan-regangan terhadap batas proporsional. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung modulus elastisitas bambu:

$$E_{\text{lentur}} = \frac{P \times l^3}{48 \times \Delta \times I}$$

Dimana;

E_{lentur} = modulus elastisitas lentur (MPa)

P = total beban lentur proporsional (N)

Δ = lendutan proporsional pada tengah bentang (mm)

3.3.4 Perhitungan Tebal Perkerasan Kaku

Rencana perkerasan kaku ditentukan oleh volume lalu lintas yang diharapkan, sebagaimana tercantum dalam Manual Desain Perkerasan 2017. Ada periode lalu lintas yang padat dan sedikit. Tabel 4.1 menampilkan grafik desain perkerasan jalan untuk lalu lintas volume tinggi, dan tabel 4.2 menampilkan data yang sama untuk volume lalu lintas rendah, keduanya diambil dari Manual Desain Perkerasan Jalan 2017.

Tabel 3.1 Bagan Desain Perkerasan kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

| Struktur Perkerasan | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|--|-------|-------|--------|------|------|
| Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) (10E6) | < 4,3 | < 8,6 | < 25,8 | < 43 | < 86 |
| Dowel dan bahu beton | YA | | | | |
| Struktur Perkerasan (mm) | | | | | |
| Tebal pelat beton | 265 | 275 | 285 | 295 | 305 |
| Lapis fondasi LMC | 100 | | | | |
| Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik) | 150 | | | | |

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

Tabel 3.2 Bagan Desain Perkerasan kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Rendah

| | Tanah Dasar | | | |
|---|-----------------------------------|-------|--|-------|
| | Tanah Lunak dengan Lapis Penopang | | Dipadatkan Normal | |
| Bahu pelat beton (<i>tied shoulder</i>) | Ya | Tidak | Ya | Tidak |
| Tebal Pelat Beton (mm) | | | | |
| Akses terbatas hanya mobil penumpang dan motor | 160 | 175 | 135 | 150 |
| Dapat diakses oleh truk | 180 | 200 | 160 | 175 |
| Tulangan distribusi retak | Ya | | Ya, jika daya dukung fondasi tidak seragam | |
| Dowel | Tidak dibutuhkan | | | |
| LMC | Tidak dibutuhkan | | | |
| Lapis Fondasi Kelas A (ukuran butir nominal maksimum 30 mm) | 125 mm | | | |
| Jarak sambungan mclintang | 4 m | | | |

(Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

3.3.4.1 Reability

Keandalan adalah kemungkinan bahwa permukaan beraspal akan terus memadai selama masa pakainya. Menurut AASHTO, penentuan angka Dependability dari 50% menjadi 99,99% merupakan tingkat keandalan desain yang harus diatasi, mengakomodasi risiko kehilangan kuantitas desain. Semakin banyak ketergantungan yang digunakan, semakin besar jumlah penghindaran penyimpangan desain. Ini terhubung dengan skala desain berikut:

- Memprediksi kinerja perkerasan jalan.
- Prediksi lalu lintas.
- Perkiraan tekanan gandar.

- Pelaksanaan konstruksi.

1. Kemudahan Servis Awal $p_o = 4,5$ dan Kemudahan Servis Terminal $p_t = 2,5$ (untuk jalan raya utama) atau $p_t = 2,0$ (untuk rute lalu lintas rendah) digunakan untuk mengantisipasi kinerja perkerasan. Dimungkinkan untuk melihat rentang nilai (0-5).
2. Peramalan lalu lintas membutuhkan penelitian independen, bukan hanya perhitungan empiris. Tingkat ketergantungan secara signifikan lebih tinggi daripada ketika menggunakan data empiris, linier, atau sekunder.
3. Perkiraan tekanan gandar yang diperoleh sebagian besar dari survei WIM secara signifikan lebih dapat diandalkan daripada data sekunder.
4. Selama pelaksanaan konstruksi, spesifikasi telah membatasi tingkat/persyaratan sehingga perkerasan memenuhi (atau melebihi) kriteria desain. Persyaratan menetapkan bahwa desain itu sendiri adalah persyaratan minimum.

Meninjau keempat parameter di atas, penilaian besaran desain benar-benar menghasilkan variasi layak terkecil. Namun tidak ada kepastian mengenai deviasi keempat kriteria tersebut.

| Klasifikasi jalan | Reliability : R (%) | |
|-------------------|---------------------|-----------|
| | Urban | Rural |
| Jalan tol | 85 – 99,9 | 80 – 99,9 |
| Arteri | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Kolektor | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Lokal | 50 – 80 | 50 – 80 |

Tabel 3.3 Reliability (R) disarankan

| R (%) | Z_R | R (%) | Z_R |
|-------|---------|-------|---------|
| 50 | - 0,000 | 93 | - 1,476 |
| 60 | - 0,253 | 94 | - 1,555 |
| 75 | - 0,674 | 96 | - 1,751 |
| 80 | - 0,841 | 97 | - 1,881 |
| 85 | - 1,037 | 98 | - 2,054 |
| 90 | - 1,282 | 99 | - 2,327 |
| 91 | - 1,340 | 99,9 | - 3,090 |
| 92 | - 1,405 | 99,99 | - 3,750 |

Tabel 3.4 *Standard normal deviation (ZR).*

3.3.4.2 Jenis – Jenis Sambungan Perkerasan Kaku

Menurut Pd T-14-2003, ada beberapa jenis sambungan yang berbeda pada perkerasan beton semen, termasuk yang tercantum di bawah ini:

- Keterkaitan memanjang
- Sambungan melintang
- Sambungan isolasi kecuali sambungan isolasi yang harus diisi terlebih dahulu dengan pengisi sambungan, semua sambungan harus dilapisi dengan sealant sambungan.

3.3.4.3 Sambungan Memanjang dengan Batang Pengikat (*tie bars*)

Tujuan pemasangan sambungan memanjang adalah untuk mencegah timbulnya retakan memanjang. Jarak antar sambungan sekitar 3-4 meter. Kualitas minimum batang berulir yang digunakan pada sambungan memanjang harus BJT-U24, dan diameternya harus 16 mm. Ukuran *tie rod* ditentukan oleh persamaan berikut dari tabel 3.5:

| |
|-------------------------------|
| $A_t = 204 \times b \times h$ |
| $I = (38,3 \times \Phi) + 75$ |

Tabel 3.5 Perhitungan Batang Pengikat (*Tie Bars*)

Dimana :

A_t : Luas penampang tulangan per meter panjang sambungan (mm²)

B : Jarak terkecil antar sambungan atau jarak sambungan dengan tepi perkerasan (m).

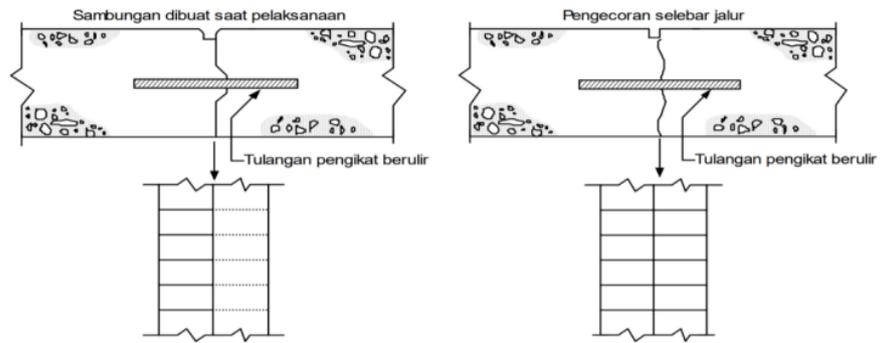
h :Tebal pelat (m).

I : Panjang batang pengikat (mm).

Φ : Diameter batang pengikat yang dipilih (mm).

Jarak batang pengikat yang digunakan adalah 75 cm.

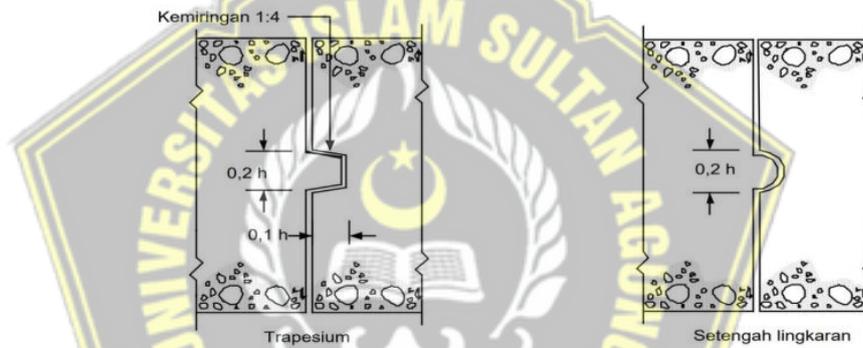
Tipikal sambungan memanjang diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Tipikal sambungan memanjang (Pd T-14-2003)

3.3.4.4 Sambungan Pelaksanaan Memanjang

Umumnya, sambungan eksekusi longitudinal dieksekusi dengan mengunci. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.6, bentuk dan ukuran kunci dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran.



Gambar 3.4 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang (Pd T-14-2003)

Untuk mencegah beton lama dan baru menyatu, aspal atau kapur harus diaplikasikan pada sambungan konstruksi sebelum pelat beton tetangga dipasang.

3.3.4.5 Sambungan Susut Memanjang

Untuk membuat sambungan susut memanjang, gergaji atau bentuk beton dengan kedalaman yang sama dengan sepertiga tebal pelat saat masih plastis.

3.3.4.6 Sambungan Susut dan Sambungan Pelaksanaan Memanjang

Ujung-ujung sambungan tersebut harus tegak lurus terhadap sumbu longitudinal jalan dan perkerasan. Sambungan silang harus dipasang pada kemiringan 1:10 searah jarum jam untuk mengurangi tegangan dinamis.

3.3.4.7 Sambungan Susut Melintang

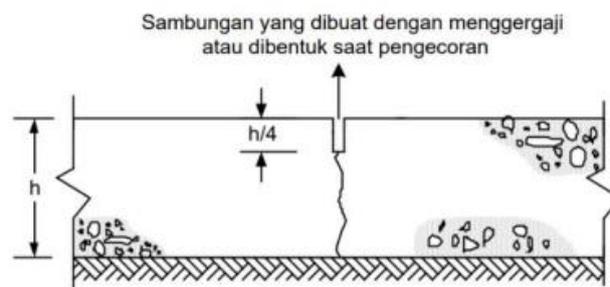
Untuk perkerasan dengan lapisan pondasi granular, seperti terlihat pada gambar di bawah, kedalaman sambungan kira-kira seperempat dari tebal pelat, sedangkan untuk perkerasan dengan lapisan pondasi yang distabilisasi semen, kira-kira sepertiga dari tebal pelat. Perkerasan beton kontinu tanpa tulangan biasanya memiliki sambungan susut melintang yang berjarak setiap 4 hingga 5 meter, sedangkan perkerasan bertulang biasanya memiliki jarak setiap 8 hingga 15 meter untuk memaksimalkan kemampuan kinerja sambungan antara segmen perkerasan. Jari-jari 45 sentimeter dan jarak jari-jari 30 sentimeter diperlukan untuk artikulasi ini. Saat pelat beton berkontraksi, jari-jari harus lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang dapat menghambat gerakan. Cat atau lapisan non-perekat harus diterapkan sepanjang setengah dari radius polos untuk mencegahnya menempel pada beton. Menurut tabel 2.1, ukuran jari-jari ditentukan oleh kedalaman pelat beton.

Tabel 3.6 Diameter Ruji

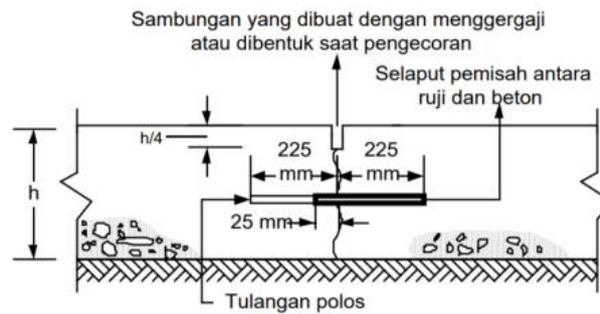
| No. | Tebal pelat beton, h (mm) | Diameter ruji (mm) |
|-----|-----------------------------|--------------------|
| 1 | $125 < h \leq 140$ | 20 |
| 2 | $140 < h \leq 160$ | 24 |
| 3 | $160 < h \leq 190$ | 28 |
| 4 | $190 < h \leq 220$ | 33 |
| 5 | $220 < h \leq 250$ | 36 |

(Sumber : Pd T-14-2003)

Sambungan susut silang tanpa jari-jari dan sambungan susut silang dengan jari-jari masing-masing terlihat pada Gambar 3.5 dan 3.6.



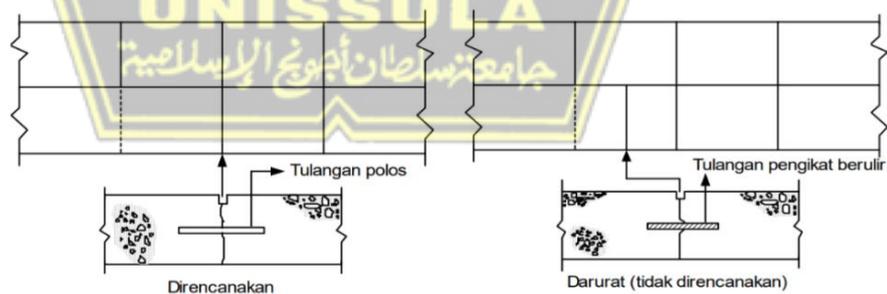
Gambar 3.5 Sambungan susut melintang tanpa ruji (Pd T-14-2003)



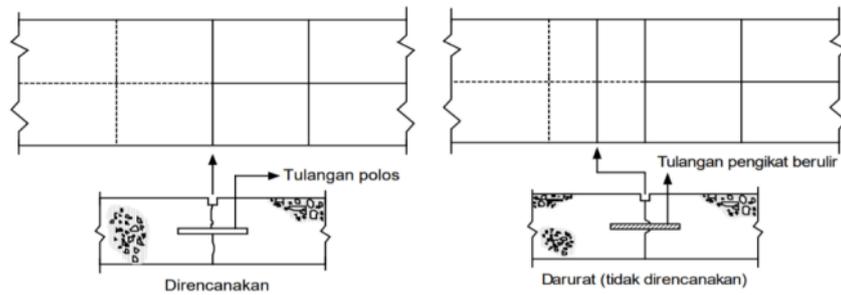
Gambar 3.6 Sambungan susut melintang dengan ruji (Pd T-14-2003)

3.3.4.7.1 Sambungan Pelaksanaan Melintang

Sambungan konstruksi melintang yang direncanakan memerlukan batang tulangan polos yang ditempatkan di tengah ketebalan pelat, sedangkan sambungan yang tidak direncanakan (darurat) memerlukan batang pengikat berulir. Lihat contoh sambungan eksekusi silang yang ditunjukkan pada diagram di bawah ini. Setiap sambungan pelaksanaan tersebut di atas harus sudah terpasang *tie rod*, dengan tebal pelat maksimal 17 cm membutuhkan tie rod dengan diameter 16 mm, panjang 69 cm, dan jarak antar sambungan 60 cm. Diameter tie rod adalah 20 mm, panjang 84 cm, dan jarak tanam 60 cm untuk ketebalan lebih dari 17 cm. Gambar 2.9 dan 2.10 menggambarkan hubungan sebab akibat antara kedua tahap implementasi.



Gambar 3.7 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur (Pd T-14-2003)



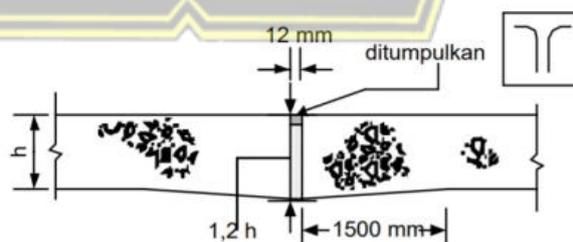
Gambar 3.8 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran seluruh lebar perkerasan (Pd T-14-2003)

3.3.4.7.2 Sambungan Isolasi

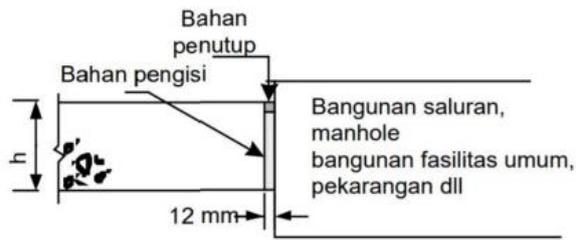
Perkerasan di sekitar lubang got, jembatan, saluran listrik, jalan tua, dan persimpangan, antara lain, dipisahkan dari fitur-fitur ini dengan sambungan isolasi. Sealer sambungan dengan ketebalan 5-7 mm dan pengisi sambungan untuk ruang yang tersisa diperlukan untuk sambungan isolasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11-2.13.



Gambar 3.9 Sambungan isolasi dengan ruji
(Sumber : Pd T-14-2003)



Gambar 3.10 Sambungan isolasi dengan penebalan tepi (Pd T-14-2003)



Gambar 3.11 Sambungan isolasi tanpa ruji (Pd T-14-2003)

3.3.4.7.3 Penutup Sambungan

Tujuan dari *joint cover* adalah untuk mencegah masuknya kotoran dan air ke dalam *joint* perkerasan. Benjolan beton atau pelat gosok adalah dua contoh lebih lanjut dari hal-hal yang dapat menyebabkan cedera jika mereka menemukan jalan mereka di dalam sendi (meledak). Model kerusakan perkerasan beton dan model kerusakan perkerasan aspal menjadi dasar metode desain perkerasan beton semen:

- 1) Kelelahan (*fatigue*) retak pada slab tegangan lentur
- 2) Erosi pada *sub base* atau *subgrade* yang diakibatkan oleh defleksi yang sering terjadi pada sambungan dan celah yang dimaksudkan

Dengan menggunakan metode ini, kita dapat menentukan apakah sambungan dan bahu beton memiliki jari-jari atau tidak. Perkerasan beton dan semen bertulang adalah contoh perkerasan berkisi menerus.

3.3.5 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas diterapkan pada seluruh lebar permukaan jalan, dengan besaran tergantung pada klasifikasi jalan pada Tabel 3.7. Beban lalu lintas untuk studi stabilitas (DPU, 2001) dan beban off-road ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Beban Lalu Lintas untuk Analisa Stabilitas

| Kelas Jalan | Beban lalu lintas (kPa) | Beban di luar jalan (*) (kPa) |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|
| I | 15 | 10 |
| II | 12 | 10 |
| III | 12 | 10 |

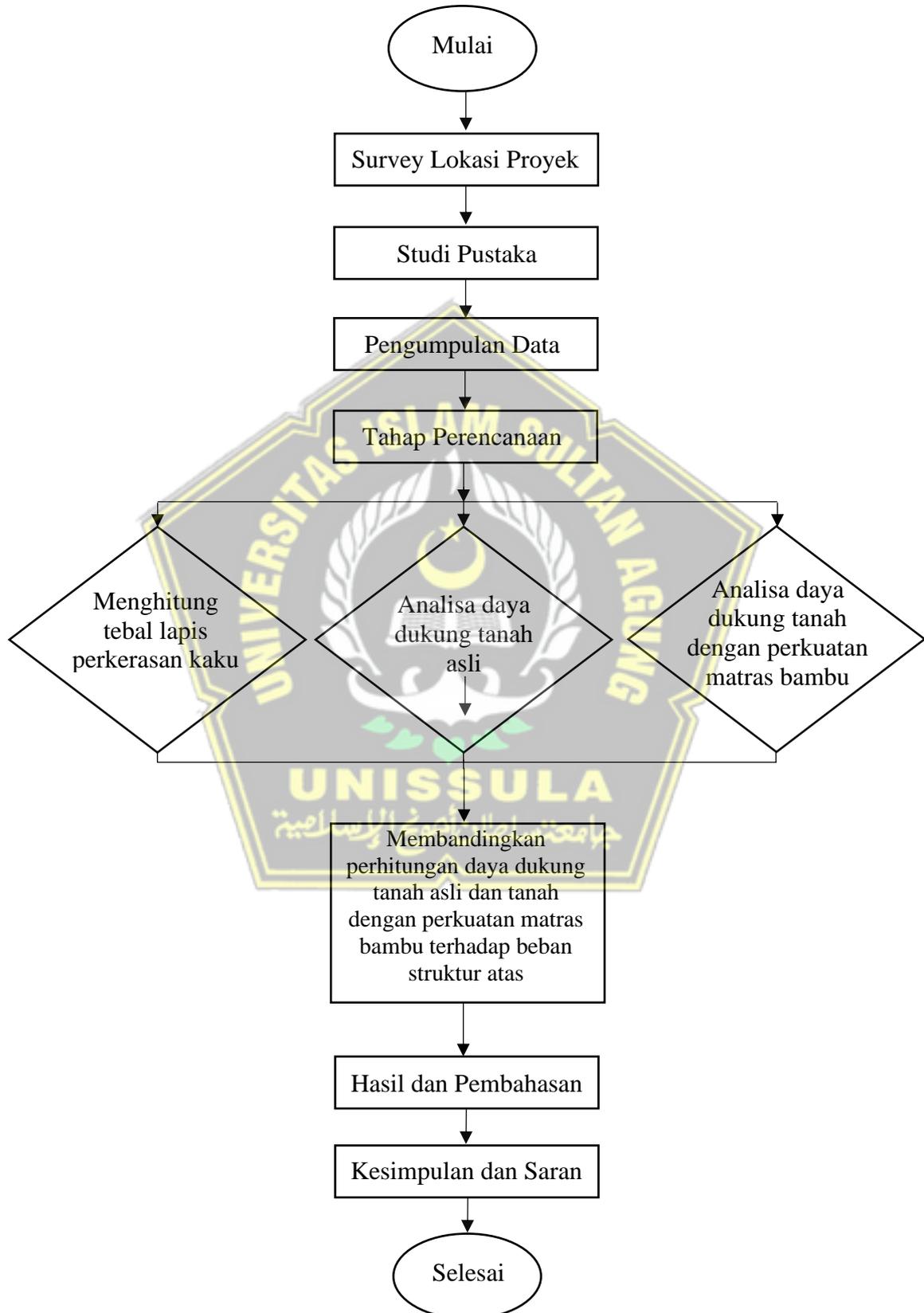
(Sumber : SNI 8460 – 2017)

3.3.6 *Plaxis 2D*

Sebelum menjalankan perhitungan *Plaxis 2D*, harus ditentukan tinggi beban timbunan, atau dalam hal ini tinggi timbunan berdasarkan data sekunder. Berikut adalah langkah-langkah yang harus diambil di *Plaxis 2D* untuk menghitung pengurangan beban:

1. Luncurkan program *Plaxis 2D*, lalu pilih *New and General Settings*. Untuk pengaturannya, komponen 15-simpul digunakan, dan proporsi geometri diubah untuk mengakomodasi pemodelan skala laboratorium dan skala penuh.
2. Kemudian, buat area tinjauan menggunakan garis geometri, masukkan material dan data tanah yang dikumpulkan di tanah dan antarmuka, dan seret material ke area peninjauan. Agar area dapat diestimasi, *fixities standar* ditetapkan ke *area review*.
3. Masukkan material sebagai *geogrid* dan berikan beban terdistribusi untuk pemeriksaan tikar bambu.
4. Selanjutnya, buat mesh dengan kekasaran global dan distribusi elemen yang sangat halus > hasilkan > perbarui. Selanjutnya, buat *mesh* dengan kekasaran global dan distribusi elemen yang sangat halus, lalu produksi, lalu perbarui.
5. Selanjutnya melakukan perhitungan dengan menggunakan banyak tahapan tahapan perhitungan, mulai dari pemasangan anyaman bambu, pembebanan, dan asumsi keadaan pada muka air tanah tertentu.
6. Lakukan prosedur keluaran terakhir. Untuk mempertanggungjawabkan hasil keluaran, hasil harus dikelola sesuai dengan peraturan atau referensi yang ada.

3.4 Langkah Penelitian



3.5 Analisis Hasil

Teknik analisis hasil adalah langkah proses penelitian ketika data yang diperoleh ditangani untuk diproses. Pengolahan data ini dilakukan agar data lebih mudah dipahami, dan kemudian informasi diperoleh dari sampel data yang dibuat. Pengujian daya dukung tanah menggunakan anyaman bambu terhadap beban bangunan atas pada ruas proyek jalan tol Semarang – Demak dilakukan secara fisik dan dengan perangkat lunak.

- a. Menghitung tebal lapis perkerasan kaku pada Jalan Tol Semarang Demak
- b. Menghitung besar daya dukung tanah asli sebelum menggunakan perkuatan matras bambu
- c. Menghitung besar daya dukung tanah yang terjadi setelah menggunakan perkuatan matras bambu



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Tebal Lapisan Perkerasan Kaku

Ketebalan lapisan perkerasan kaku ini ditentukan oleh spesifikasi yang diberikan dalam Manual Desain Perkerasan 2017. Manual Desain Perkerasan 2017 ditulis oleh Divisi Jalan Raya Kementerian Konstruksi dan Perumahan Rakyat. Berikut adalah cara menghitung kedalaman perkerasan keras.

4.1.1 Klasifikasi Jalan

Berdasarkan PP No. 43 Tahun 1993 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan, dibedakan kelas jalan sebagai berikut.

Tabel 4.1 Klasifikasi Jalan

| Dimensi | Kelas I | Kelas II | Kelas III A | Kelas III B | Kelas III C |
|---------------------|----------|----------|----------------------|-------------|----------------|
| Fungsi | Arteri | Arteri | Arteri / Kolektor | Kolektor | Kolektor |
| Lebar | < 2.5 m | < 2,5 m | < 2,5 m | < 2,5 m | < 2,1 m |
| Panjang | < 18 m | < 18 m | < 18 m | < 12 m | < 9 m |
| Jarak antar roda | < 6 m | < 6 m | < 6 m | < 5 m | < 3 m |
| Bobot | > 10 ton | < 10 ton | < 8 ton | < 8 ton | < 8 ton |

(Sumber : Bina Marga – 2010)

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 dan Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006 tentang status/kewenangan jalan, jalan tol merupakan bagian dari kelompok Jalan Nasional yang disamakan dengan jalan raya arteri kelas I.

4.1.2 Pemilihan Jenis Perkerasan Kaku pada Badan Jalan

Perkerasan kaku yang digunakan pada badan jalan adalah perkerasan kaku tanpa perkuatan. Berdasarkan klasifikasi jalan pada tabel 4.1, jalan tol termasuk kelas I. Maka perhitungan perencanaan perkerasan kaku adalah sebagai berikut.

$$\text{Jarak Sambungan / Jarak Setiap Segmen} = \text{Jarak Antar Roda Kendaraan} \\ = 6 \text{ meter}$$

Tebal Perkerasan Kaku dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Tebal Perkerasan Kaku} = 0,5 \times \text{Jarak Sambungan / Jarak Setiap Segmen} \\ = 0,5 \times 6 \\ = 3 \text{ meter}$$

Penggunaan jalan tol berkaitan dengan kebutuhan perkerasan kaku. Sesuai dengan aturan Manual Desain Perkerasan 2017, ketergantungan yang diterapkan adalah 90%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Reliability (R) disarankan

| Klasifikasi jalan | Reliability : R (%) | |
|-------------------|---------------------|-----------|
| | Urban | Rural |
| Jalan tol | 85 – 99,9 | 80 – 99,9 |
| Arteri | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Kolektor | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Lokal | 50 – 80 | 50 – 80 |

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

Tabel 4.3 Standard normal deviation (Z_R)

| R (%) | Z _R | R (%) | Z _R |
|-------|----------------|-------|----------------|
| 50 | -0,000 | 93 | -1,476 |
| 60 | -0,253 | 94 | -1,555 |
| 75 | -0,674 | 96 | -1,751 |
| 80 | -0,841 | 97 | -1,881 |
| 85 | -1,037 | 98 | -2,054 |
| 90 | -1,282 | 99 | -2,327 |
| 91 | -1,340 | 99,9 | -3,090 |
| 92 | -1,405 | 99,99 | -3,750 |

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

Berdasarkan perhitungan jarak sambungan/jarak tiap segmen, tebal perkerasan kaku, dan karakteristik keandalan pada tabel 4.1, disimpulkan bahwa 90% perencanaan jalan tol dikategorikan R5 pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Bagan Desain Perkerasan kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat

| Struktur Perkerasan | R1 | R2 | R3 | R4 | R5 |
|--|-------|-------|--------|------|------|
| Kelompok sumbu kendaraan berat (overloaded) (10E6) | < 4,3 | < 8,6 | < 25,8 | < 43 | < 86 |
| Dowel dan bahu beton | YA | | | | |
| Struktur Perkerasan (mm) | | | | | |
| Tebal pelat beton | 265 | 275 | 285 | 295 | 305 |
| Lapis fondasi LMC | 100 | | | | |
| Lapis Drainase (dapat mengalir dengan baik) | 150 | | | | |

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017)

Berdasarkan faktor perhitungan untuk ketebalan pelat, ditentukan nilai 90%, yang menurut tabel 4.4 dikategorikan sebagai R5. Struktur perkerasan jalan yang diusulkan adalah sebagai berikut:

Tebal Pelat Beton = 305 mm

Lapis Pondasi LMC = 100 mm

Lapis Drainase = 150 mm

Untuk material pondasi bawah, beton *lean-mix* (*Lean-Mix Concrete*) harus memiliki kuat tekan minimal 5 MPa (50 kg/cm²) tanpa fly ash dan 7 MPa (70 kg/cm²) dengan fly ash, sesuai dengan Pd T-14-2003.

Kuat tekan beton semen umumnya diberikan sebagai kuat lentur pada umur 28 hari, yaitu antara 3 sampai 5 MPa (30 sampai 50 kg/cm²).

Diusulkan untuk membangun perkerasan kaku tanpa tulangan menerus, menggunakan pasak sebagai susut melintang dan sambungan implementasi. Berikut adalah perhitungan untuk sambungan dowel.

$$\begin{aligned}
 \text{diameter dowel} &= 1/12 \times \text{tebal perkerasan} \\
 &= 1/12 \times 305 \\
 &= 25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar dowel} &= 2 \times \text{tebal perkerasan} \\ &= 2 \times 3 \text{ m} \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak antar ruji} &= 1/12 \times \text{panjang segmen} \\ &= 1/12 \times 6 \\ &= 0,5 \text{ m atau } 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang dowel

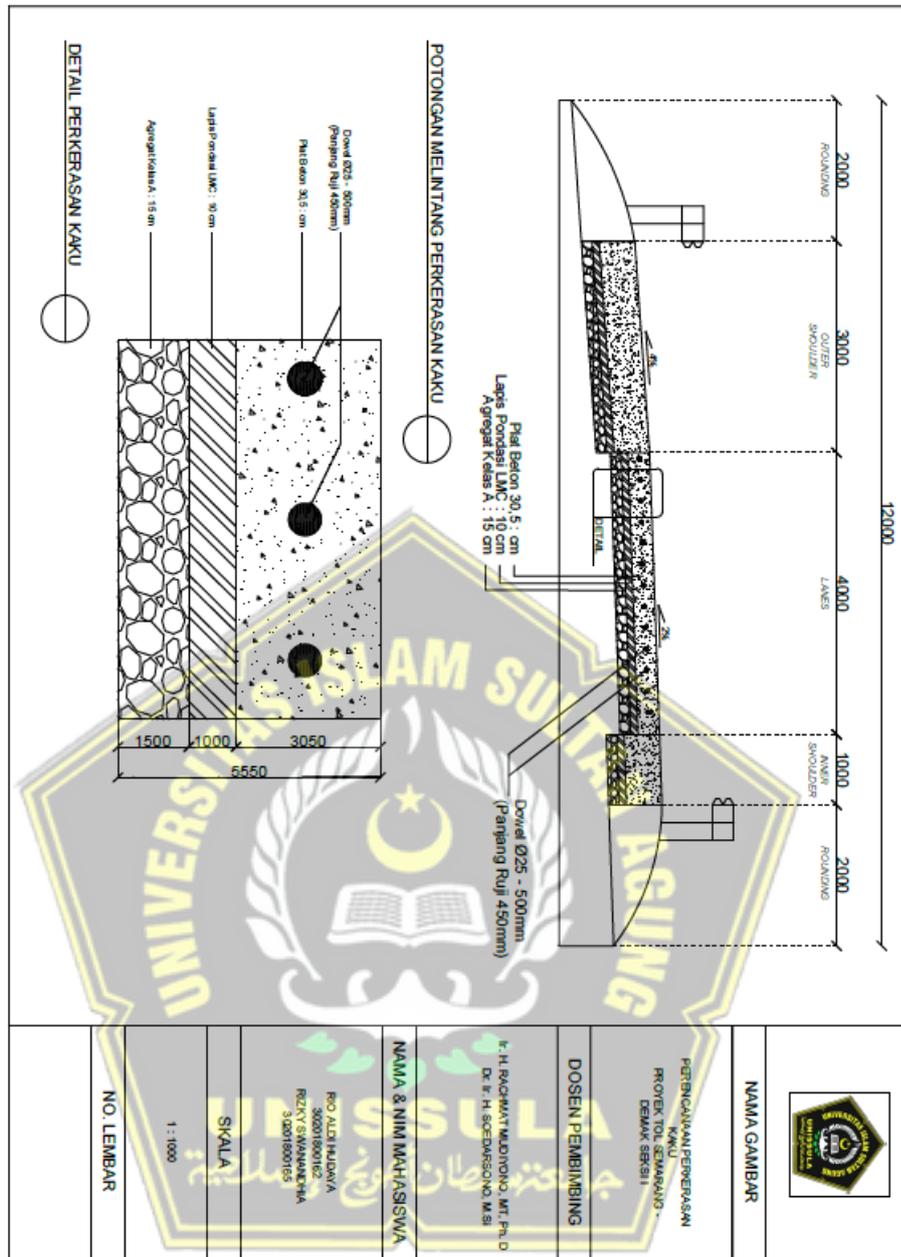
Panjang dowel yang memenuhi standar Direktorat Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat berdasarkan perhitungan diameter dowel di atas dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Panjang Dowel

| Tebal pelat | | Diameter | | Panjang | | Jarak | |
|-------------|-----|----------------|----|---------|-----|-------|-----|
| inci | mm | inci | mm | inci | mm | inci | mm |
| 6 | 150 | $\frac{3}{4}$ | 19 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 7 | 175 | 1 | 25 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 8 | 200 | 1 | 25 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 9 | 225 | $1\frac{1}{4}$ | 32 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 10 | 250 | $1\frac{1}{4}$ | 32 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 11 | 275 | $1\frac{1}{4}$ | 32 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 12 | 300 | $1\frac{1}{2}$ | 38 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 13 | 325 | $1\frac{1}{2}$ | 38 | 18 | 450 | 12 | 300 |
| 14 | 350 | $1\frac{1}{2}$ | 38 | 18 | 450 | 12 | 300 |

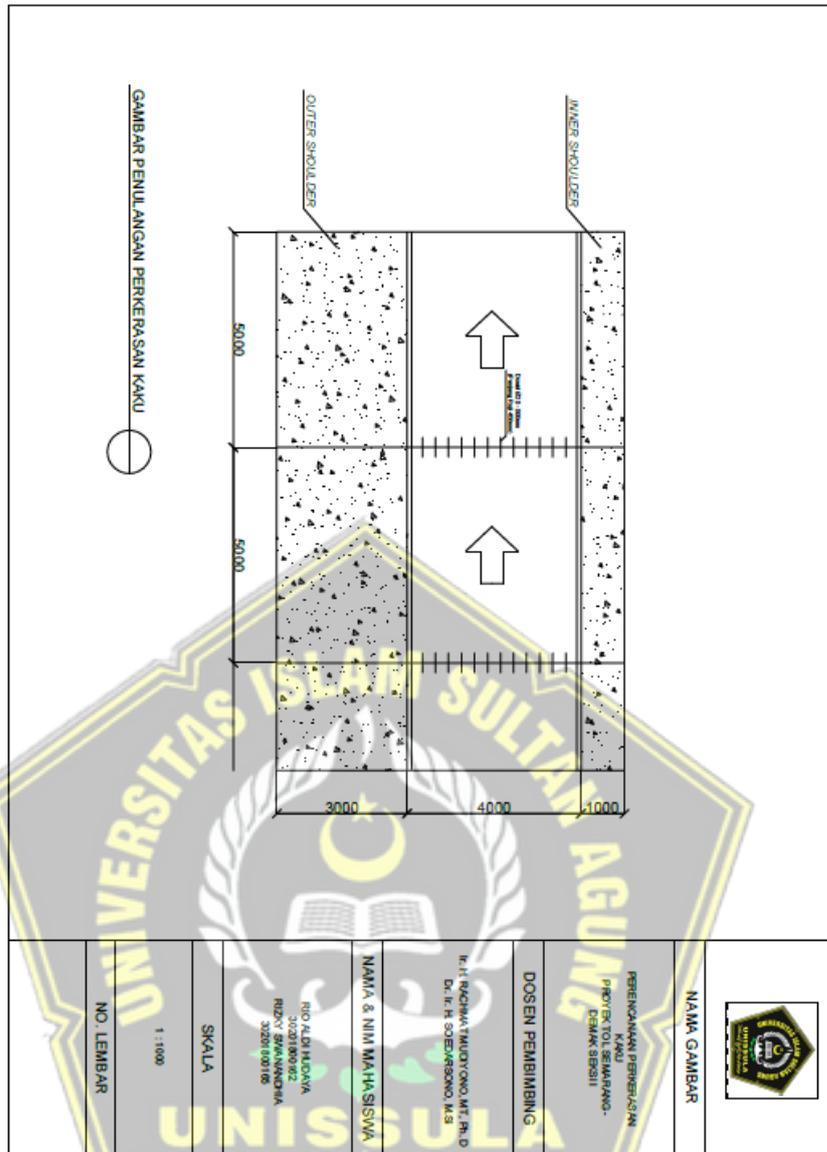
(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017)

Sehubungan dengan perhitungan struktur perkerasan dan sambungan yang dibahas di atas, desain struktur perkerasan yang direncanakan dapat dicirikan sebagai berikut.

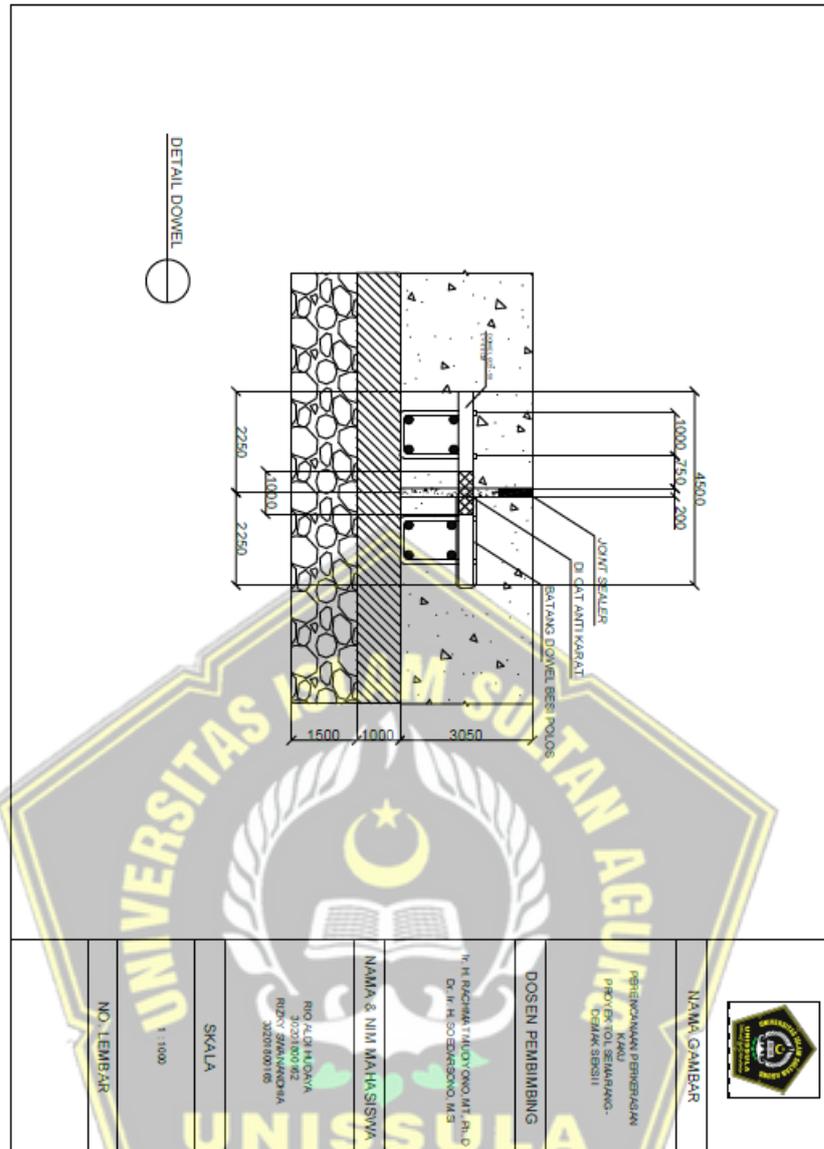


Gambar 4.1 Gambar Perencanaan Struktur Perkerasan

Jenis tulangan yang digunakan dalam desain ini untuk perkerasan kaku adalah pasak. Diameter pasak 36 milimeter, jarak antar pasak 30 sentimeter, dan panjang pasak 45 sentimeter, berdasarkan perhitungan tulangan di atas. Detail sketsa desain tulangan sebagai berikut.



Gambar 4.2 Detail Perencanaan Penulangan



Gambar 4.3 Detail Perencanaan Dowel

4.1.3 Mencari Tegangan Kerja (q_{kerja})

Di atas tanah dasar akan dikenakan beban tanah timbunan, beban perkerasan, dan beban lalu lintas.

1. Timbunan

- Beban timbunan

$$(q) = H_{\text{timbunan}} \times \gamma_{\text{sat timbunan}} = 14,3 \times 19 = 271,7 \text{ kN/m}^2$$

2. Beban Lalu Lintas

Berdasarkan rekomendasi Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 untuk SNI 8460 – 2017 di bawah ini, beban lalu lintas.

Tabel 4.6 Beban Lalu Lintas Untuk Analisa Stabilitas

| Kelas Jalan | Beban lalu lintas (kPa) | Beban di luar jalan (*) (kPa) |
|-------------|-------------------------|-------------------------------|
| I | 15 | 10 |
| II | 12 | 10 |
| III | 12 | 10 |

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017)

3. Beban perkerasan

Perhitungan beban perkerasan ini menggunakan pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dibawah ini.

Tabel 4.7 Beban Perkerasan

| No | Jenis Perkerasan | Tebal (m) | Berat Jenis (kN/m ²) | Berat Perkerasan (kN/m ²) |
|----|----------------------|-----------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Perkerasan Beton | 0,305 | 24 | 7,32 |
| 2. | <i>Lean Concrete</i> | 0,1 | 24 | 2,4 |
| 3. | Agregat Kelas A | 0,15 | 19 | 2,85 |

(Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan 2017)

Dengan total tebal perkerasan 0,555 m, maka q total perkerasan adalah 12,57 kN/m²

$$\begin{aligned}
 & \Sigma \text{ Total Beban yang Bekerja} \\
 & = q_{\text{Lalu Lintas}} + q_{\text{Perkerasan}} \\
 & = 15 + 12,57 \\
 & = 27,57 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.2 Data Paramater

Langkah awal sebelum melakukan analisa dan penginputan pada aplikasi Plaxis 8.2 adalah memiliki data paramater proyek yang dijadikan bahan analisis. Data paramater pada proyek jalan tol Semarang – Demak Seksi 1 Terboyo A adalah sebagai berikut.

4.2.1 Data Paramater Tanah

Proyek Jalan Tol Semarang - Demak Sesi 1 Terboyo Data parameter tanah diperoleh dari Pusat Jalan Nasional Jawa Tengah - D I Yogyakarta. Data paramater tanah ini sudah dilakukan pengujian laboratium. Tujuan dari data paramater tanah ini berfungsi sebagai penginputan permodelan data material pada aplikasi Plaxis 8.2. Berikut ini data paramater tanah pada proyek jalan tol Semarang – Demak Seksi 1 Terboyo.

Tabel 4.8 Data Paramater Tanah

| Parameter | Name | Very Soft Clay (A) | Very Soft Clay (B) | Stiff to Very Stiff Clay | Very Stiff to Hard Clay | Embankment | Unit |
|---|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| General | | | | | | | |
| Depth | - | 0-15 | 15-36 | 36-51 | 51-80 | - | m |
| Material model | Model | Soft-Soil Creep | Soft-Soil Creep | Mohr Coulomb | Mohr Coulomb | Hardening Soil | - |
| Type of material behaviour | Type | Undrained (A) | Undrained (A) | Undrained (A) | Undrained (A) | Drained | - |
| Soil unit weight above phreatic level | γ_{sat} | 16.30 | 15.40 | 17.50 | 18.00 | 18.50 | kN/m ³ |
| Soil unit weight below phreatic level | γ_{sat} | 17.00 | 16.00 | 18.00 | 19.00 | 19.00 | kN/m ³ |
| Initial void ratio | $e_{initial}$ | 2.00 | 2.50 | - | - | 0.50 | - |
| Parameters | | | | | | | |
| Compression Index | C_c | 0.50 | 0.75 | - | - | 0.01 | - |
| Swelling index | C_s | 0.05 | 0.08 | - | - | 4.14×10^{-1} | - |
| Creep Index | C_{α} | 0.013 | 0.013 | - | - | - | - |
| Modified compression index | λ^* | 0.07246 | 0.09317 | - | - | - | - |
| Modified swelling index | κ^* | 0.01449 | 0.01863 | - | - | - | - |
| Modified creep index | μ^* | 1.88×10^{-1} | 1.62×10^{-1} | - | - | - | - |
| Young's modulus at reference level | E' | - | - | 15000 | 26000 | - | kN/m ² |
| Secant stiffness instandard drained triaxial test | E_{50}^{ref} | - | - | - | - | 2.5×10^4 | kN/m ² |
| Tanget stiffness for primary oedometer loading | E_{oed}^{ref} | - | - | - | - | 2.5×10^4 | kN/m ² |
| Unloading / Reloading stiffness | E_{ur}^{ref} | - | - | - | - | 7.5×10^4 | kN/m ² |
| Power for stress-level dependency of stiffness | m | - | - | - | - | 0.5 | - |
| Cohesion (constant) | c_{ref}' | 0.4 | 0.4 | 15 | 25 | 1 | kN/m ² |
| Friction angle | φ' | 19 | 19 | 25 | 30 | 30 | ° |
| Dilatancy angle | ψ' | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ° |
| Poisson ratio | ν_{ur}' / ν' | 0.15 | 0.15 | 0.3 | 0.25 | 0.3 | - |
| K_0 -value for normal consolidation | K_0^{TC} | 0.6744 | 0.6744 | 0.5774 | 0.5 | 0.4264 | - |
| Groundwater | | | | | | | |
| Data Set | - | User-Defined | User-Defined | USDA | USDA | USDA | - |
| Drainage Type / Model | - | Saturated | Saturated | Van Genuchten | Van Genuchten | Van Genuchten | - |
| Permeability in horizontal direction | k_x | 1.24×10^{-5} | 1.24×10^{-5} | 4.751×10^{-1} | 4.751×10^{-1} | 7.128 | m/day |
| Permeability in vertical direction | k_y | 6.19×10^{-6} | 6.19×10^{-6} | 4.751×10^{-1} | 4.751×10^{-1} | 7.128 | m/day |
| Change of Permeability | c_k | 1 | 1.25 | - | - | - | m/day |
| Interfaces | | | | | | | |
| Interface strength | - | Rigid | Rigid | Rigid | Rigid | Rigid | - |
| Strength reduction factor inter | R_{inter} | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| Initial void ratio | | | | | | | |
| K_0 - determination | - | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | Automatic | - |
| Over-consolidation ratio | OCR | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| Pre-overburden pressure | POP | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | kN/m ² |

(Sumber : Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta 2022)

4.2.2 Data Paramater Bambu

Informasi parameter bambu untuk proyek jalan tol Semarang - Demak Sesi 1 Terboyo A dikumpulkan dari Pusat Jalan Nasional Jawa Tengah - D I

Yogyakarta, tempat dilakukan pengujian laboratorium.. Terdapat dua jenis data paramter bambu yaitu data paramater matras bambu dan cerucuk bambu. Tujuan dari data paramater tanah ini berfungsi sebagai penginputan permodelan mtras bambu dan cerucuk bambu data material pada aplikasi Plaxis 8.2. Berikut ini data paramater tanah pada proyek jalan tol Semarang – Demak Seksi 1 Terboyo A.

Tabel 4.1 Data Paramater Matras Bambu

| Parameter | Name | Value | Unit |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------------|
| Material Type | Type | Elastoplastic, Isotropic | - |
| Prevent Punching | - | Yes | - |
| Normal Stiffness | EA_1 & EA_2 | 4.24×10^5 | kN/m |
| Flexural rigidity | EI | 7.27×10^4 | kNm ² /m |
| Weight | w | 0.382 | kN/m/m |
| Poisson's Ratio | ν | 0.25 | - |
| Maximum Bending Moment | M_p | 568 | kNm/m |
| Maximum Force | $N_{p,1}$ & $N_{p,2}$ | 450 | kN/m |

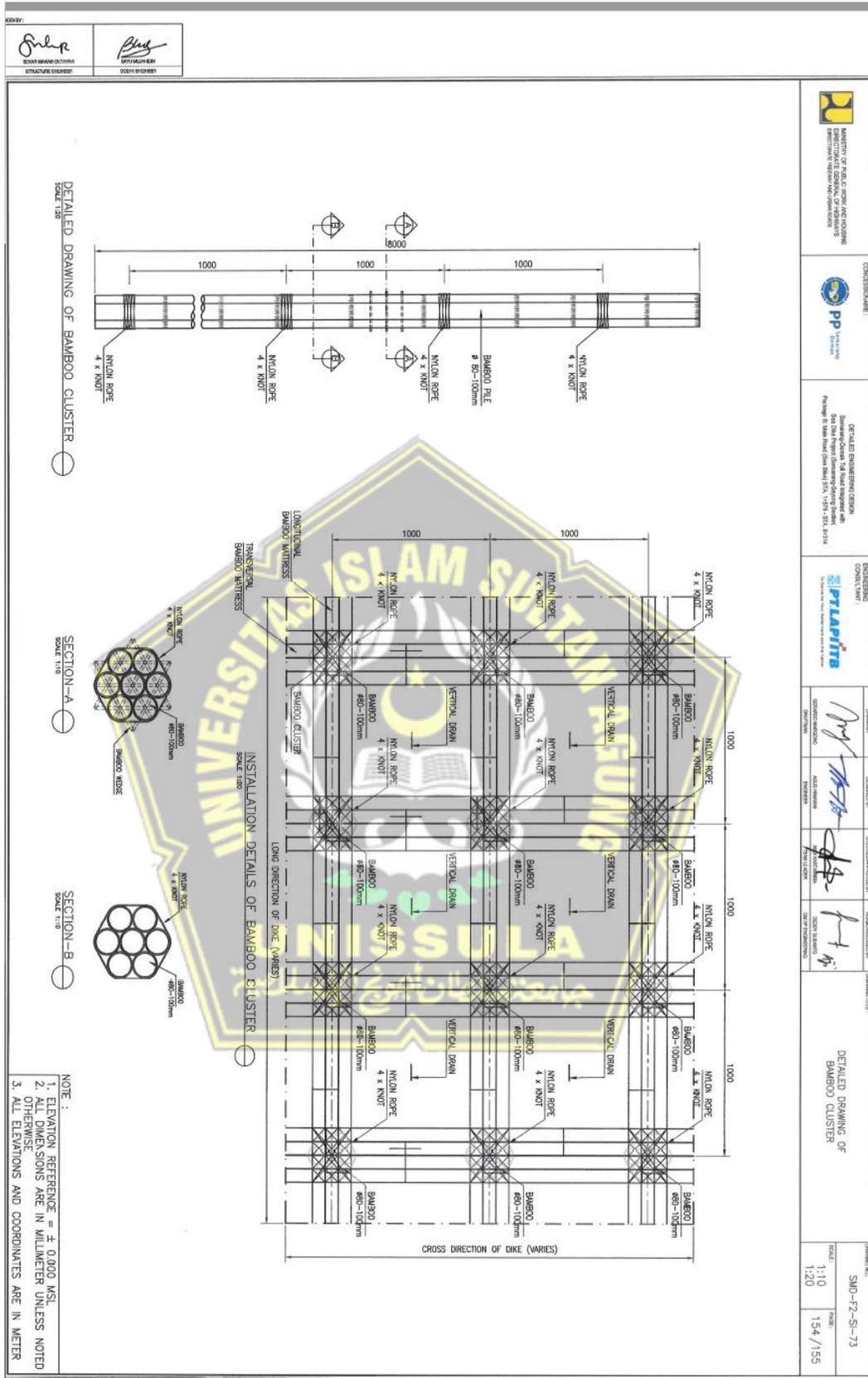
(Sumber : Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta 2022)

Tabel 4.2 Data Paramater Cerucuk Bambu

| Parameter | Name | Value | Unit |
|---------------------------|----------------|--------------------|------|
| Material Type | Type | Elastoplastic | - |
| Normal Stiffness | EA | 3.05×10^4 | kN |
| Spacing out-of-plane | $L_{spacing}$ | 1 | m |
| Maximum tension force | $F_{max,Tens}$ | 15.27 | kN |
| Maximum compression force | $F_{max,Tens}$ | 30.53 | kN |

(Sumber : Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta 2022)

Penggunaan matras bambu dan cerucuk bambu ini tidak dapat didesain sendiri karena harus mengikuti pengujian laboratium. Berkaitan dengan ini, maka gambar perencanaan bambu juga mengikuti dari data *Detail Engineering Design* yang didapatkan dari Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta. *Detail Engineering Design* matras bambu dan cerucuk bambu sebagai berikut.



Gambar 4.6 Detail Cerucuk Bambu

4.3 Analisis Tanah Sebelum Menggunakan Matras Bambu

Plaxis adalah perangkat lunak aplikasi yang menggunakan teori konsolidasi biot untuk menghitung konsolidasi. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, yang digunakan terutama untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk aplikasi geoteknik yang diturunkan dari pemodelan lapangan dan aksiometri. Aplikasi ini dapat mengimplementasikan antarmuka pengguna grafis yang intuitif sehingga pengguna dapat membangun dan memeriksa konsep pemodelan dengan cepat. Program ini terdiri dari empat sub-program: input, komputasi, dan output. Sebelum menggunakan tigar bambu, tanah harus dianalisis seperti diuraikan di bawah ini:

4.3.1 Penginputan Tanpa Menggunakan Matras Bambu

a) Pilih menu *Plaxis* Input

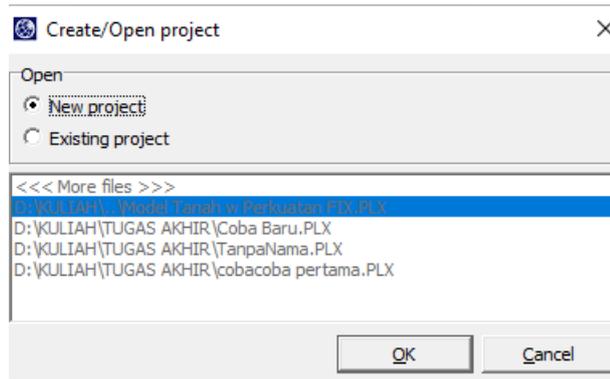
Langkah awal untuk memulai penginputan *plaxis* adalah membuka aplikasi *plaxis* yang tersedia pada laptop atau pc



Gambar 4.7 Buka Aplikasi *Plaxis* 8.6

b) Pilih proyek baru

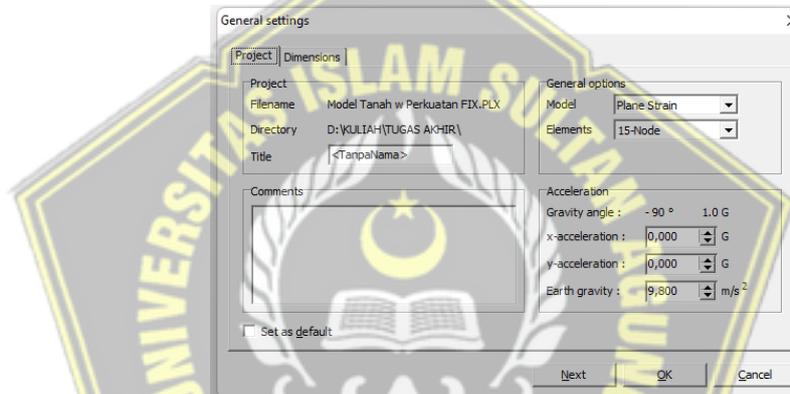
Setelah membuka aplikasi *plaxis* akan muncul 2 opsi pilihan yaitu *new project* dan *existing project*. Pilih menu *new project* untuk membuka lembaran kerja baru.



Gambar 4.8 Tampilan Utama Plaxis 8.6

c) Atur nama dan dimensi sesuai kebutuhan

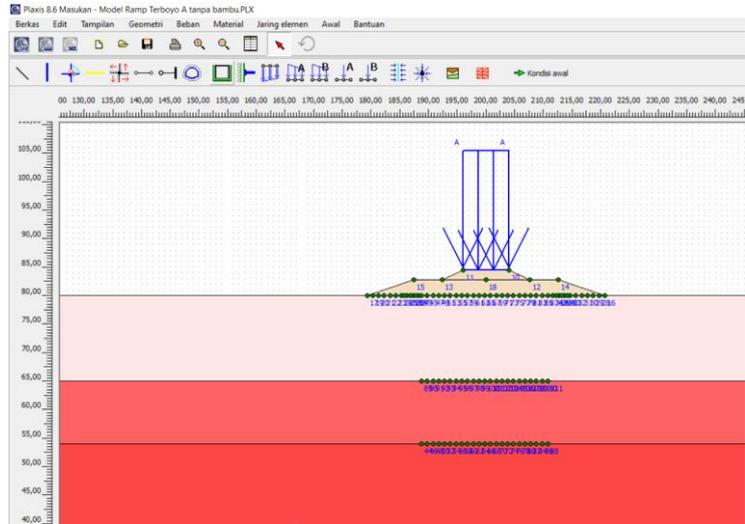
Nama dan ukuran proyek ditentukan oleh spesifikasi Anda dan persyaratan Plaxis.



Gambar 4.9 Tabel Pembuatan Dimensi

d) Gambar permodelan

Model digambar secara bertahap sesuai dengan persyaratan tanah asli, timbunan, dan beban seragam, dengan mempertimbangkan ukuran setiap elemen.



Gambar 4.10 Permodelan

e) Input data material

Pilih opsi material untuk memasukkan data (materi) sesuai dengan data yang diterima. Cara memasukkan tanah dengan memilih *creep* tanah lunak atau *morh-coloumb*. Masukkan kerapatan volume tanah, permeabilitas horizontal, kohesi, sudut geser, permeabilitas vertikal, modulus elastisitas, *rasio Poisson*, dan sudut dilatasi.

Penambahan material bawah permukaan sesuai dengan informasi yang dikumpulkan dari Seksi 1 proyek pembangunan jalan tol Semarang Demak. Pilih lapisan tanah yang akan menerima amandemen tanah liat yang sangat lunak. Jumlah material tanah lempung yang sangat lunak ini berdasarkan tabel 4.6 dari laporan proyek.

Gambar 4.11 Contoh Input Material Tanah *Very Soft Clay*

Mohr-Coulomb - Very Stiff Clay

Umum | Parameter | Antarmuka

Kekakuan

E_{ref} : 2,600E+04 kN/m²

ν (nu) : 0,250

Kekuatan

c_{ref} : 25,000 kN/m²

ϕ (phi) : 30,000 °

ψ (psi) : 0,000 °

Alternatif

G_{ref} : 1,040E+04 kN/m²

E_{sed} : 3,120E+04 kN/m²

Kecepatan

V_s : 75,250 m/dtk

V_p : 130,300 m/dtk

Tingkat lanjut...

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.12 Contoh Input Material Tanah *Very Soft Clay*

Kekakuan

Kaku
 Manual

R_{inter} : 1,000

Tebal antarmuka sebenarnya

δ_{inter} : 0,000

SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.13 Contoh Input Material Tanah *Very Soft Clay*

Umum | Parameter | Antarmuka

Kumpulan material

Identifikasi: Embankment

Model material: Model Hardening Soil

Jenis material: Terdrainase

Sifat umum

γ_{unsat} : 18,500 kN/m³

γ_{sat} : 19,000 kN/m³

Permeabilitas

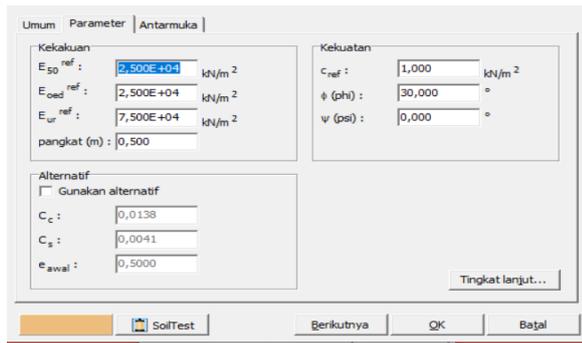
k_x : 7,128 m/hari

k_y : 7,128 m/hari

Tingkat lanjut...

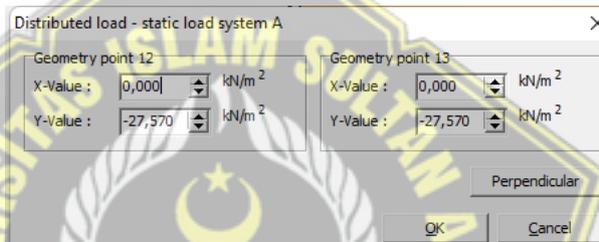
SoilTest Berikutnya OK Batal

Gambar 4.14 Contoh Input Material Timbunan



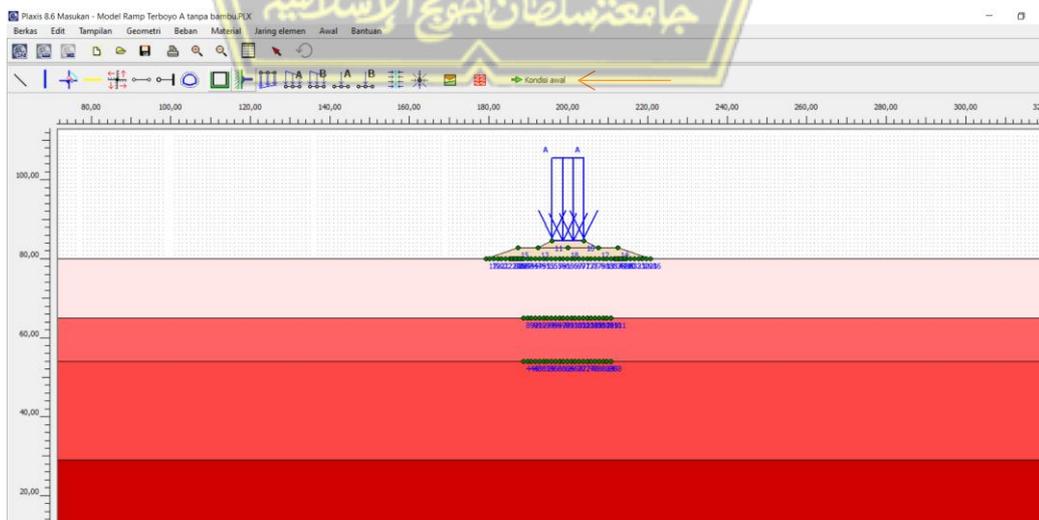
Gambar 4.15 Contoh Input Material Timbunan

Pilih lapisan beban merata pada gambar permodelan 4.12 yang akan dilakukan penginputan beban merata struktur atas dan lalu lintas. Penginputan beban merata ini berdasarkan perhitungan struktur atas pada halaman 55.



Gambar 4.16 Contoh Input Beban Merata

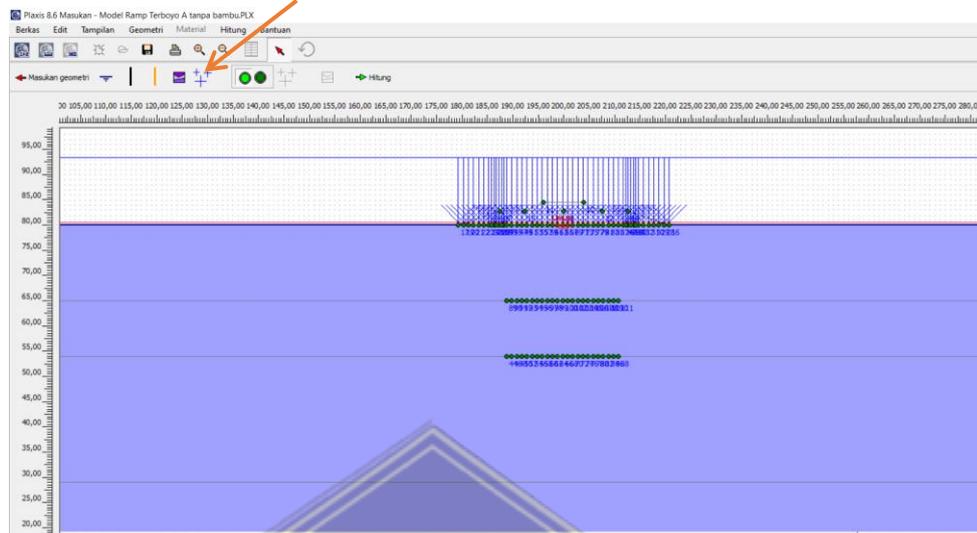
- f) Penyusunan jaringan elemen, lalu pilih kondisi awal
Setelah memasukkan data untuk setiap lapisan, langkah selanjutnya adalah mengatur jaring elemen dan kemudian memilih menu kondisi awal.



Gambar 4.17 Penyusunan Jaringan Elemen

g) Input muka air tanah

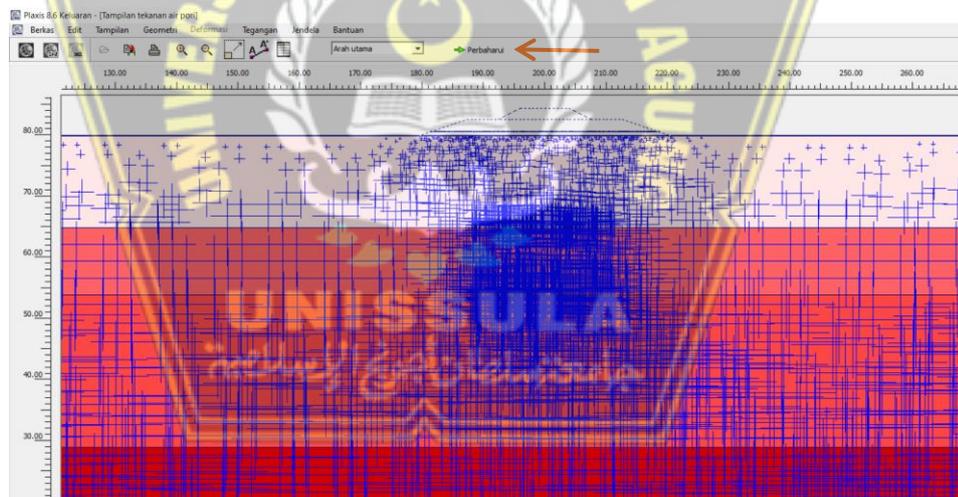
Setelah jaringan elemen dikompilasi, pilih opsi input level air tanah.



Gambar 4.18 Input Muka Air Tanah

h) Menghitung tekanan air tanah

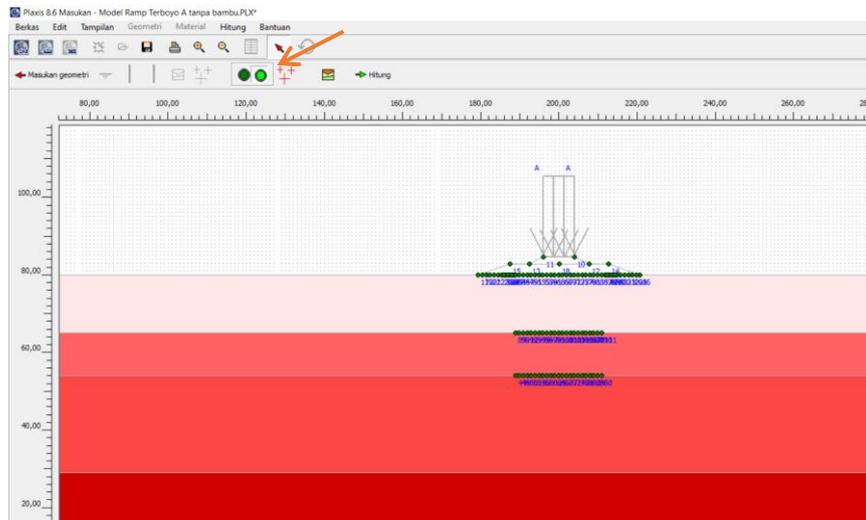
Pilih menu menghitung tekanan air tanah lalu tekan perbaharui.



Gambar 4.19 Menghitung Tekanan Air Tanah

i) Penonaktifan timbunan tanah yang ada di tanah asli

Langkah selanjutnya adalah melakukan penonaktifan seluruh lapisan yang berada tanah asli seperti timbunan, beban merata, cerucuk bambu dan matras bambu. Warna putih pada lapisan diatas tanah asli mengartikan penonaktifan setiap lapisan yang dipilih.



Gambar 4.20 Penonaktifan Timbunan Tanah di Tanah Asli

- j) Menghitung tegangan awal, lalu hitung
Setelah melakukan tegangan awal lalu dilakukan perhitungan untuk menentukan tegangan awal dengan cara tekan perbaharui.



Gambar 4.21 Menghitung Tegangan Awal

4.3.2 Tahap Perhitungan Sebelum Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu

Perhitungan yang dilakukan meliputi lapisan setiap timbunan sebelum menggunakan cerucuk bambu dan matras bambu terhadap beban struktur atas. Perhitungan ini dilakukan beberapa tahap dari timbunan, konsolidasi hingga konstruksi. Tahap timbunan dilakukan selama 7 hari dan tahap

konsolidasi dilakukan selama 25 hari. Berikut ini merupakan tabel tahapan perhitungan sebelum menggunakan cerucuk bambu dan matras bambu.

Tabel 4.3 Tabel Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

| Identifikasi | No. tahap | Mulai dari | Perhitungan | Masukan pembebanan | Waktu |
|---------------|-----------|------------|---------------------|----------------------------|-------|
| Initial phase | 0 | N/A | N/A | N/A | 0,00 |
| timb 1 | 1 | 0 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 |
| konsolidasi | 2 | 1 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,00 |
| sf | 3 | 2 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 |
| timb 2 | 4 | 2 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 |
| konsolidasi | 5 | 4 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,00 |
| sf | 6 | 5 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 |
| pembebanan | 7 | 5 | Analisa plastis | Tahapan konstruksi | 1,00 |
| sf | 8 | 7 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 |

- a) *Phase 0* : Tahap Awal (*Initial phase*) adalah *default* dari program (*Phase 0*)

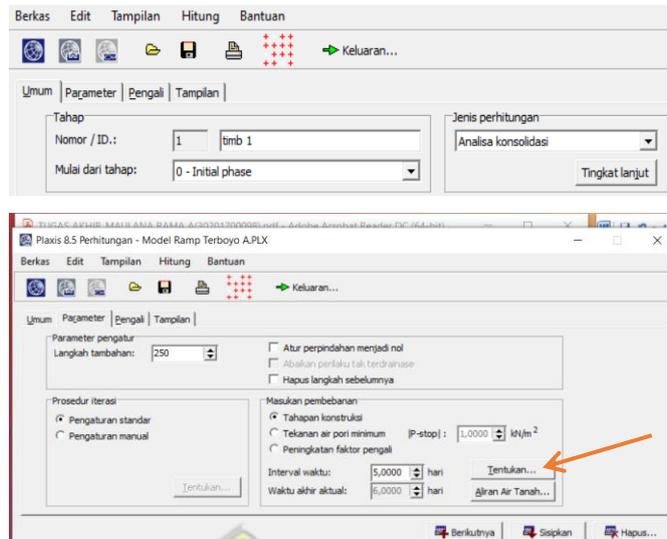
Langkah awal pada perhitungan *phase 0* dengan memberi judul *phase* pada bagian nomor / id, pada bagian kolom mulai dari tahap di isi dengan 0 – Initial phase seperti gambar 4.32



Gambar 4.22 Input *Initial Phase*

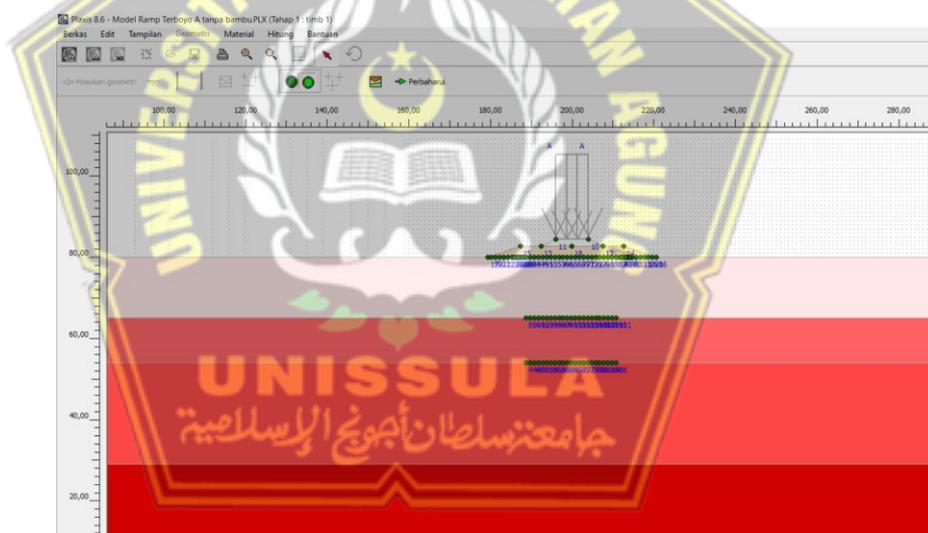
- b) Timbunan 1

Langkah berikutnya adalah penginputan timbunan 1 dengan cara tekan selanjutnya. Lalu beri judul dengan timbunan 1 dan pada kolom mulai dari tahap pilih 0 – *Initial Phase*. Pada kolom jenis perhitungan pilih analisa konsolidasi. Kemudian klik kolom parameter dengan interval waktu 5 hari lalu klik kolom tentukan untuk memilih area yang timbunan 1 yang akan diaktifkan.



Gambar 4.23 *Input Phase* Galian Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

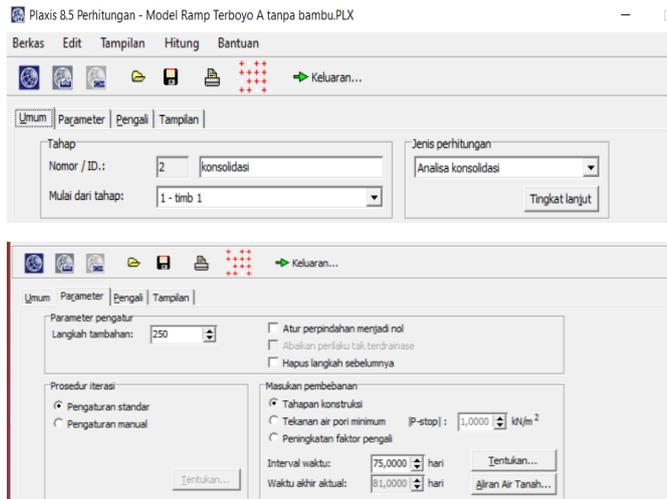
Selanjutnya klik area timbunan 1 untuk dilakukan pengaktifan dengan cara double tap kemudian klik perbaharui



Gambar 4.24 *Define Phase* Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

c) Konsolidasi

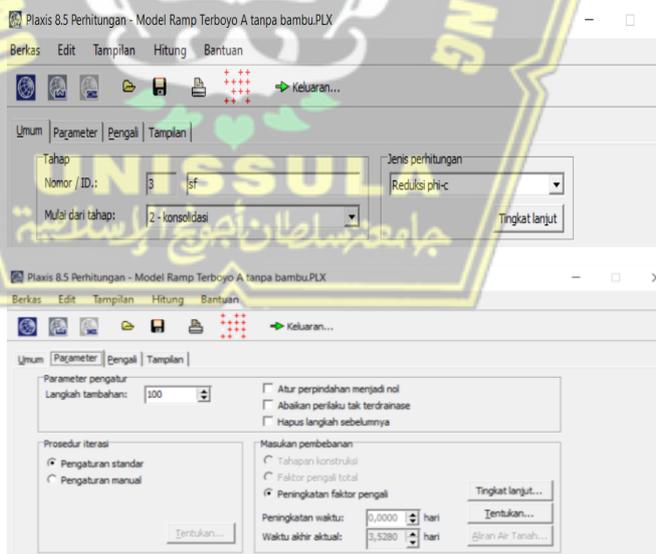
Setelah berhasil melakukan perhitungan pada timbunan 1 kemudian klik selanjutnya untuk membuat *input phase* konsolidasi. Beri judul dengan konsolidasi kemudian pada kolom jenis perhitungan pilih analisa konsolidasi. Kemudian klik parameter pada kolom interval waktu pilih 75 hari.



Gambar 4.25 *Input Phase* Konsolidasi Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

d) *Safety Factor*

Pada tahap sebelumnya seperti perhitungan timbunan dan konsolidasi setelah berhasil dilakukan perhitungan *safety factor* setiap lapisannya. Klik pada kolom selanjutnya kemudian beri judul sf lalu pada kolom jenis perhitungan pilih reduksi $\phi - c$. Kemudian klik parameter pada kolom masukan pembebanan pilih peningkatan faktor pengali.



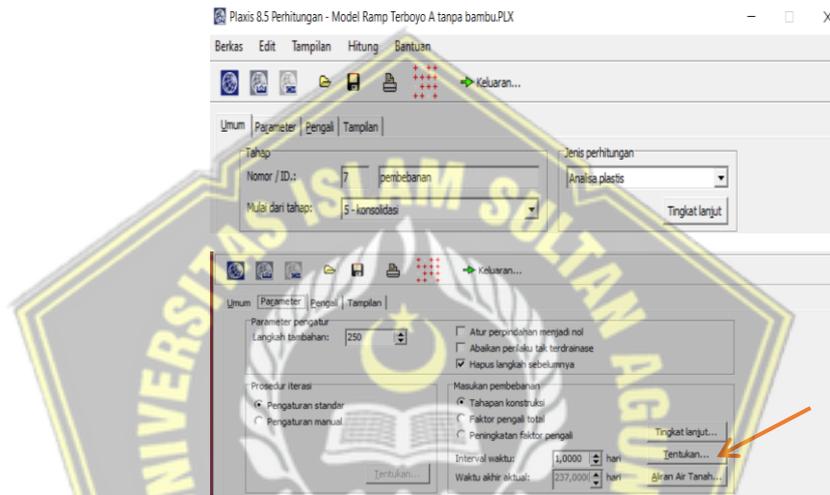
Gambar 4.26 *Input Phase Safety Factor* Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

e) Timbunan 2, Konsolidasi 2 dan *Safety Factor*

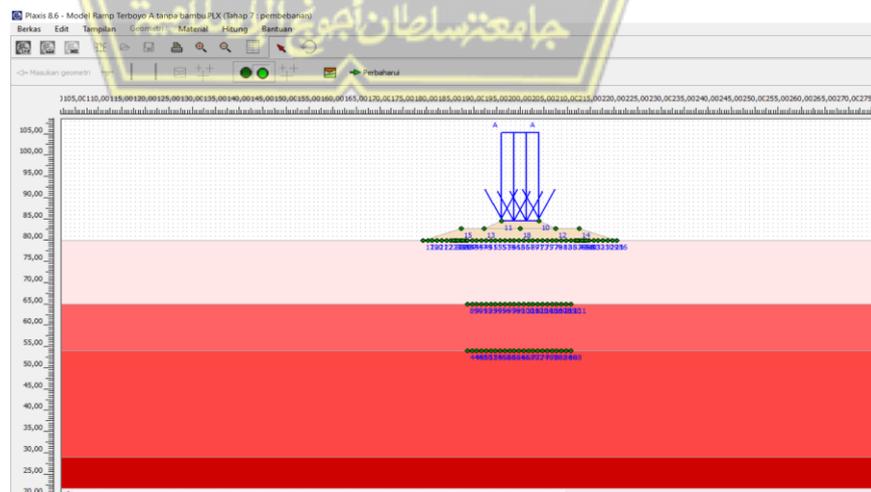
Pada tahap timbunan 2, konsolidasi 2 dan *safety factor* sama seperti tahap pada timbunan 1 dan konsolidasi 1. Hanya yang membedakan interval waktu pada konsolidasi 2 ini selama 150 hari.

f) Pembebanan

Langkah selanjutnya adalah klik selanjutnya lalu beri judul pembebanan dan pada kolom jenis perhitungan pilih analisis plastis. Kemudian klik parameter. Pada kolom masukan pembebanan pilih tahapan konstruksi dengan interval waktu 1 hari lalu klik tentukan.



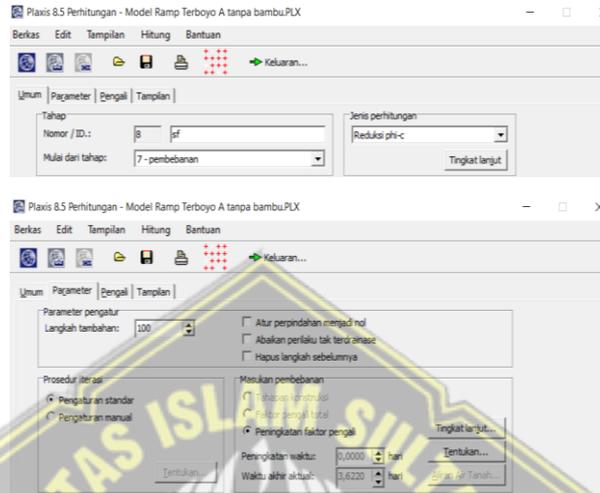
Gambar 4.27 *Input Phase* Pembebanan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu
Pastikan semua area sudah diaktifkan lalu klik perbaharui



Gambar 4.28 *Define Phase* Pembebanan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

g) *Safety Factor* Pembebanan

Beri judul pada nomer / *id* dengan sf beban lalu pada kolom jenis perhitungan pilih reduksi ϕ – *c* kemudian klik parameter. Pada kolom langkah tambahan pilih 400 dan klik pada peningkatan faktor pengali lalu hitung.



Gambar 4.29 *Safety Factor* Pembebanan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

4.3.3 Hasil Output Plaxis 8.6 Sebelum Menggunakan Matras Bambu

Perhitungan analisis daya dukung tanah menggunakan matras bambu terhadap beban struktur atas pada proyek tol Semarang – Demak seksi 1 di jalur ramp terboyo A ini menggunakan aplikasi *plaxis* dengan permodelan *Morh Coulumb*. Setelah melakukan tahapan penginputan, permodelan dan perhitungan menggunakan aplikasi *plaxis 8.6* mendapat hasil analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu dengan hasil pada tabel 4.8 dan gambar 4.32 dibawah ini.

Tabel 4.4 Tabel Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu

| Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|--|----------------------|--|--|
| Deskripsi proyek : <NoName> | | | | | | | Tanggal : 24/06/2022 | | |
| Nama pengguna : Koxhiyoki Kabuto, Japan | | | | | | | | | |
| Nama proyek : Model Ramp Terboyo A tanpa bambu.PLX | | | | | | | | | |
| Keluaran : Daftar perhitungan | | | | | | | Halaman : 1 | | |

| Identifikasi | No. tahap | Mulai dari | Perhitungan | Masukan pembebanan | Waktu | Air | Pertama | Terakhir | Informasi perhitungan |
|---------------|-----------|------------|---------------------|----------------------------|-------|-----|---------|----------|-----------------------|
| Initial phase | 0 | N/A | N/A | N/A | 0,00 | 0 | | | N/A |
| timb 1 | 1 | 0 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 | 1 | 1 | 250 | Gagal. |
| konsolidasi | 2 | 1 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,00 | 1 | 251 | 500 | Gagal. |
| sf | 3 | 2 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 | 1 | 501 | 600 | Tidak ada kesalahan. |
| timb 2 | 4 | 2 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 | 4 | 601 | 850 | Gagal. |
| konsolidasi | 5 | 4 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,00 | 5 | 851 | 1100 | Gagal. |
| sf | 6 | 5 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 | 5 | 1101 | 1200 | Tidak ada kesalahan. |
| pembebanan | 7 | 5 | Analisa plastis | Tahapan konstruksi | 1,00 | 7 | 1201 | 1450 | Gagal. |
| sf | 8 | 7 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 | 7 | 1451 | 1550 | Tidak ada kesalahan. |

| Identifikasi | No. tahap | Mulai dari | Perhitungan | Masukan pembebanan | Waktu | Air | Per... | Ter... | |
|---------------|-----------|------------|---------------------|--------------------------|----------|-----|--------|--------|--|
| X timb 1 | 1 | 0 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 ... | 1 | 1 | 250 | |
| X konsolidasi | 2 | 1 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,0... | 1 | 251 | 500 | |
| ✓ sf | 3 | 2 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pe... | 0,00 ... | 1 | 501 | 600 | |
| X timb 2 | 4 | 2 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 ... | 4 | 601 | 850 | |
| X konsolidasi | 5 | 4 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,0... | 5 | 851 | 1100 | |
| ✓ sf | 6 | 5 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pe... | 0,00 ... | 5 | 1101 | 1200 | |
| X pembebanan | 7 | 5 | Analisa plastis | Tahapan konstruksi | 1,00 ... | 7 | 1201 | 1450 | |
| ✓ sf | 8 | 7 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pe... | 0,00 ... | 7 | 1451 | 1550 | |

Gambar 4.30 Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu

1. Safety Factor Sebelum Menggunakan Matras Bambu

a) Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Matras Bambu

Angka faktor keamanan pada timbunan 1 sebelum menggunakan matras bambu adalah 0,4008

| Faktor pengali total | |
|----------------------|--------|
| Σ -Mdisp: | 1,0000 |
| Σ -MloadA: | 1,0000 |
| Σ -MloadB: | 1,0000 |
| Σ -Mweight: | 1,0000 |
| Σ -Maccel: | 0,0000 |
| Σ -Msf: | 0,4008 |

Gambar 4.31 *Safety Factor* Timbunan 1 Sebelum Menggunakan Matras Bambu

b) Timbunan 2 Sebelum Menggunakan Matras Bambu

Angka faktor keamanan pada timbunan 2 sebelum menggunakan matras bambu adalah 0,4261

| Faktor pengali total | |
|----------------------|--------|
| Σ -Mdisp: | 1,0000 |
| Σ -MloadA: | 1,0000 |
| Σ -MloadB: | 1,0000 |
| Σ -Mweight: | 1,0000 |
| Σ -Maccel: | 0,0000 |
| Σ -Msf: | 0,4261 |

Gambar 4.32 *Safety Factor* Timbunan 2 Sebelum Menggunakan Matras Bambu

c) *Safety Factor* Setelah Pembebanan Tanpa Menggunakan Matras Bambu

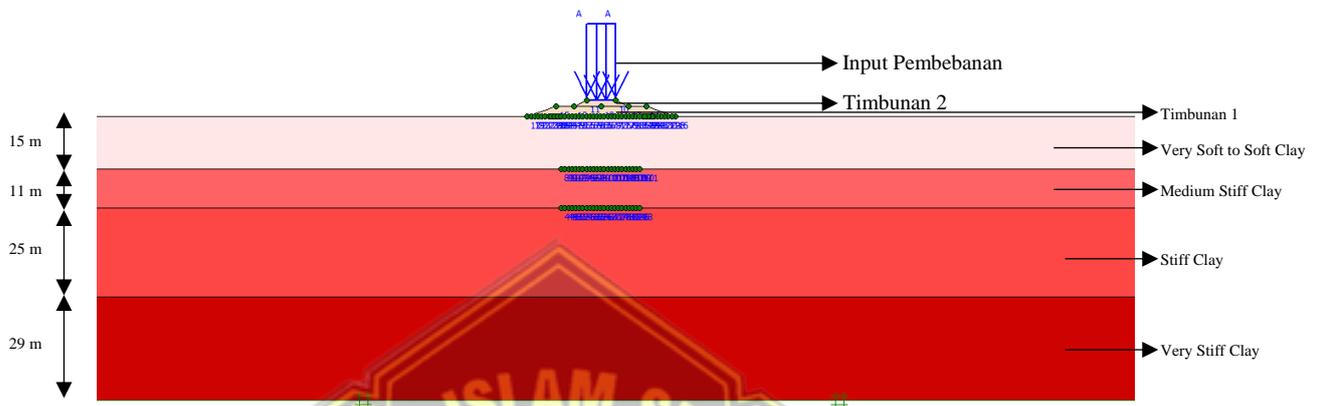
Angka faktor keamanan setelah pembebanan sebelum menggunakan matras bambu adalah 0,4251

| Faktor pengali total | |
|----------------------|--------|
| Σ -Mdisp: | 1,0000 |
| Σ -MloadA: | 1,0000 |
| Σ -MloadB: | 1,0000 |
| Σ -Mweight: | 1,0000 |
| Σ -Maccel: | 0,0000 |
| Σ -Msf: | 0,4251 |

Gambar 4.33 *Safety Factor* Setelah Pembebanan Sebelum Menggunakan Matras Bambu

2. Gambar Desain Tanah Sebelum Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu

Setelah dilakukan permodelan, penginputan dan penghitungan maka dapat menghasilkan desain perencanaan tanah sebelum menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu sebagai berikut.



Gambar 4.34 Gambar Permodelan Tanpa Menggunakan Bambu

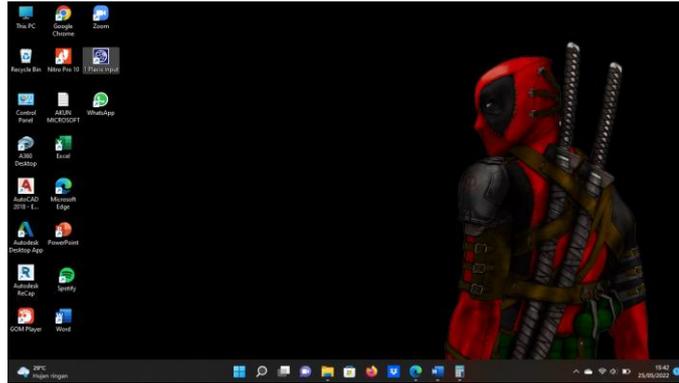
4.4 Analisis Tanah Setelah Menggunakan Matras Bambu

Plaxis adalah perangkat lunak aplikasi yang menggunakan teori konsolidasi biot untuk menghitung konsolidasi. Program ini melakukan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga, yang digunakan terutama untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas untuk aplikasi geoteknik yang diturunkan dari pemodelan lapangan dan aksiometri. Aplikasi ini dapat mengimplementasikan antarmuka pengguna grafis yang intuitif sehingga pengguna dapat membangun dan memeriksa konsep pemodelan dengan cepat. Program ini terdiri dari empat sub-program: input, komputasi, dan output. Berikut tahapan analisis tanah setelah penggunaan anyaman bambu:

4.4.1 Penginputan Setelah Menggunakan Matras Bambu

a) Pilih menu *Plaxis Input*

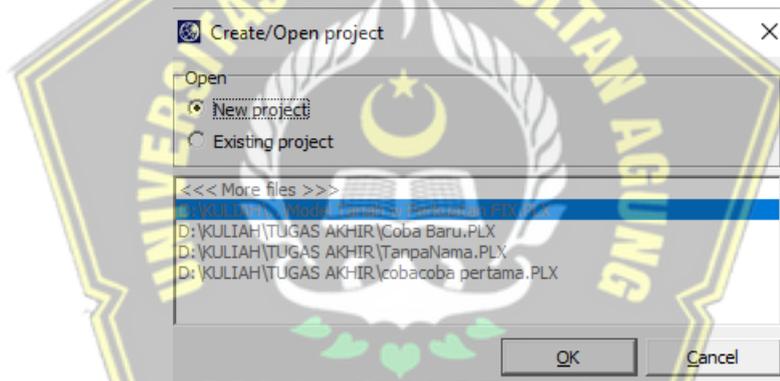
Langkah awal untuk memulai penginputan plaxis adalah membuka aplikasi plaxis yang tersedia pada laptop atau pc.



Gambar 4.35 Buka Aplikasi Plaxis 8.6

b) Pilih proyek baru

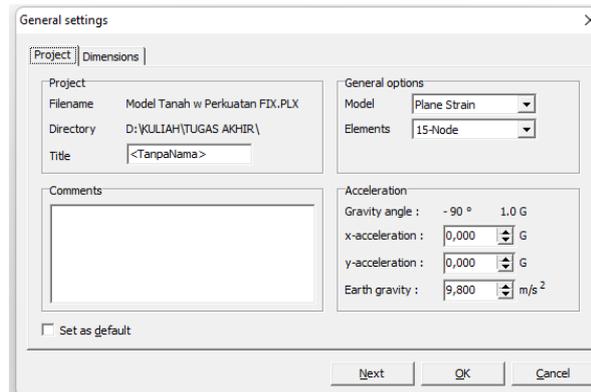
Setelah membuka aplikasi plaxis akan muncul 2 opsi pilihan yaitu *new project* dan *existing project*. Pilih menu *new project* untuk membuka lembaran kerja baru.



Gambar 4.36 Tampilan Utama Plaxis 8.2

c) Atur nama dan dimensi sesuai kebutuhan

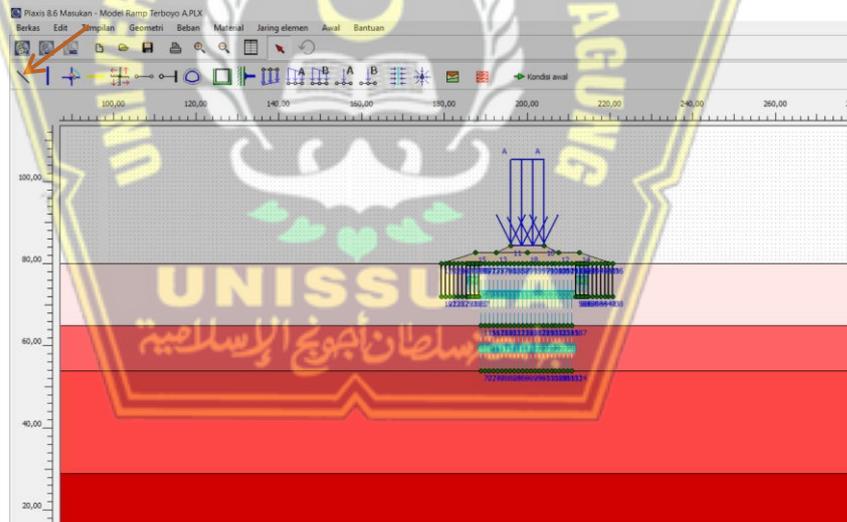
Nama dan ukuran proyek ditentukan oleh spesifikasi Anda dan persyaratan *Plaxis*.



Gambar 4.37 Tabel Pembuatan Dimensi

d) Gambar permodelan

Penggambaran permodelan dilakukan secara bertahap sesuai kebutuhan dari tanah asli, timbunan, beban merata, cerucuk bambu hingga matras bambu dengan memperhatikan ukuran masing – masing. Permodelan menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu dengan cara tekan menu pelat lalu letakkan posisi matras bambu dan cerucuk bambu beserta jarak sesuai kebutuhan.



Gambar 4.38 Gambar Permodelan

e) *Input* data material

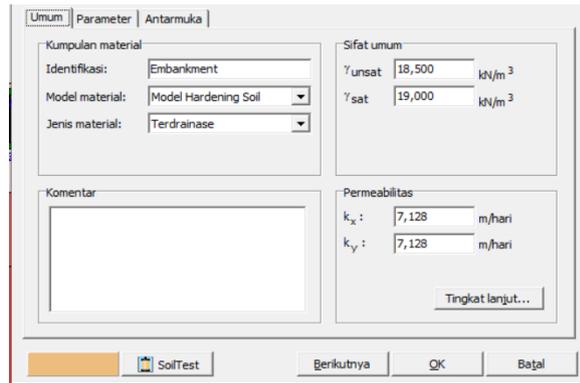
Pilih opsi material untuk memasukkan data (materi) sesuai dengan data yang diterima. Cara memasukkan tanah dengan memilih *creep* tanah lunak atau morh-coloumb. Masukkan kerapatan volume tanah, permeabilitas horizontal, kohesi, sudut geser, permeabilitas vertikal, modulus elastisitas, rasio *Poisson*, dan sudut dilatasi. Penambahan material bawah permukaan

sesuai dengan informasi yang dikumpulkan dari Seksi 1 proyek pembangunan jalan tol Semarang Demak. Pilih lapisan tanah yang akan menerima amandemen tanah liat yang sangat lunak. Jumlah material tanah lempung yang sangat lunak ini berdasarkan tabel 4.6 dari laporan proyek.

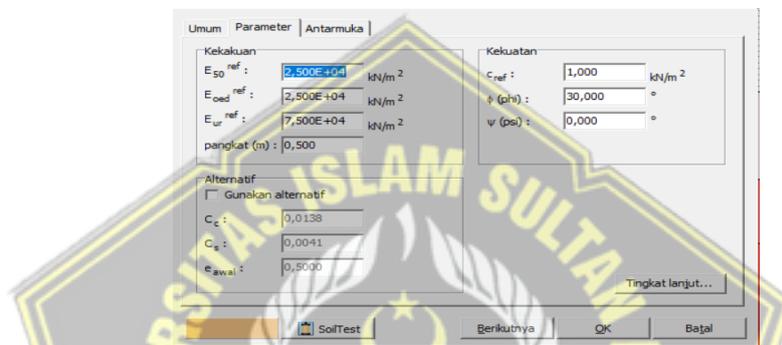
Gambar 4.39 Contoh Input Material Tanah *Very Soft Clay*

Gambar 4.40 Contoh Input Material Tanah *Very Soft Clay*

Gambar 4.41 Contoh Input Material Tanah *Very Soft Clay*

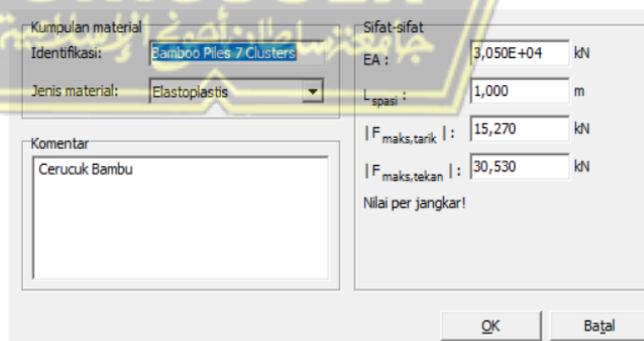


Gambar 4.42 Contoh Input Material Timbunan



Gambar 4.43 Contoh Input Material Timbunan

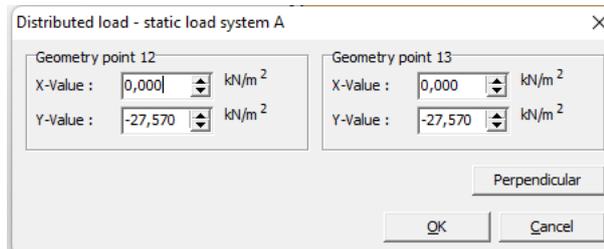
Pilih lapisan matras bambu dan cerucuk bambu yang akan dilakukan penginputan data material. Penginputan data material matras bambu dan cerucuk bambu ini berdasarkan data proyek pada tabel 4.7 dan 4.8



Gambar 4.44 Contoh Input Material Matras Bambu dan Cerucuk Bambu

Pilih lapisan beban merata pada gambar permodelan 4.40 yang akan dilakukan penginputan beban merata struktur atas dan lalu lintas.

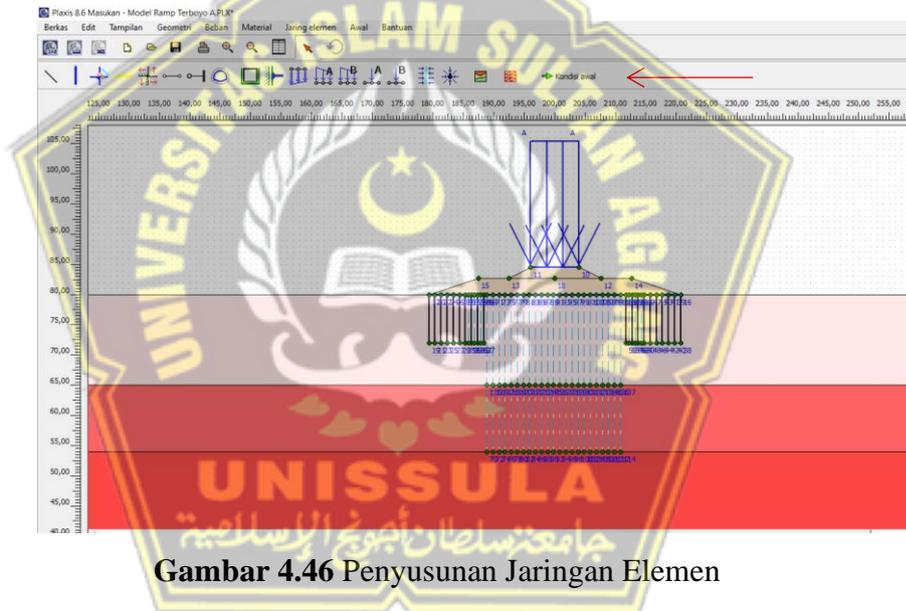
Penginputan beban merata ini berdasarkan perhitungan struktur atas pada halaman 55.



Gambar 4.45 Contoh Input Beban Merata Struktur Atas dan Lalu Lintas

f) Penyusunan jaringan elemen, lalu pilih kondisi awal

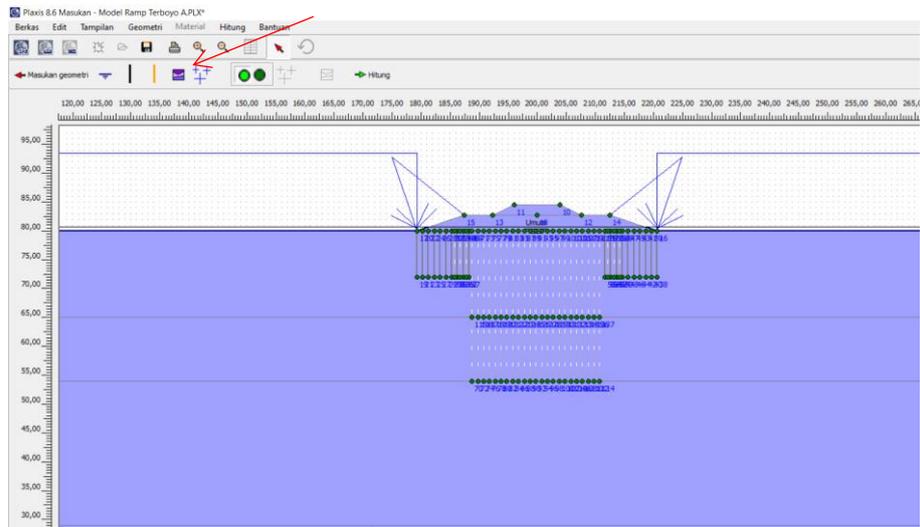
Langkah berikutnya setelah dilakukan penginputan data tiap lapisan dilakukan penyusunan jarring elemen lalu pilih menu kondisi awal.



Gambar 4.46 Penyusunan Jaringan Elemen

g) Input muka air tanah

Setelah dilakukan penyusunan jaringan elemen pilih menu input muka air tanah.



Gambar 4.47 Input Muka Air Tanah

h) Menghitung tekanan air tanah

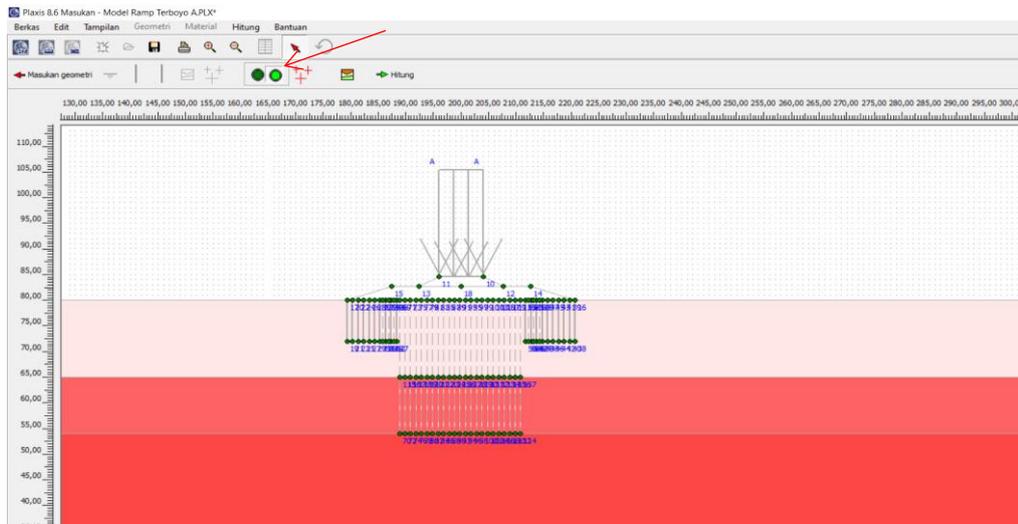
Pilih menu menghitung tekanan air tanah lalu tekan perbaharui.



Gambar 4.48 Menghitung Tekanan Air Tanah

i) Penonaktifan timbunan tanah yang ada di tanah asli

Langkah selanjutnya adalah melakukan penonaktifan seluruh lapisan yang berada tanah asli seperti timbunan, beban merata, cerucuk bambu dan matras bambu. Warna putih pada lapisan diatas tanah asli mengartikan penonaktifan setiap lapisan yang dipilih.



Gambar 4.49 Penonaktifan timbunan tanah yang ada di tanah asli

- j) Menghitung tegangan awal, lalu hitung
Setelah melakukan tegangan awal lalu dilakukan perhitungan untuk menentukan tegangan awal dengan cara klik perbaharui.



Gambar 4.50 Menghitung Tegangan Awal

4.4.2 Tahap Perhitungan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

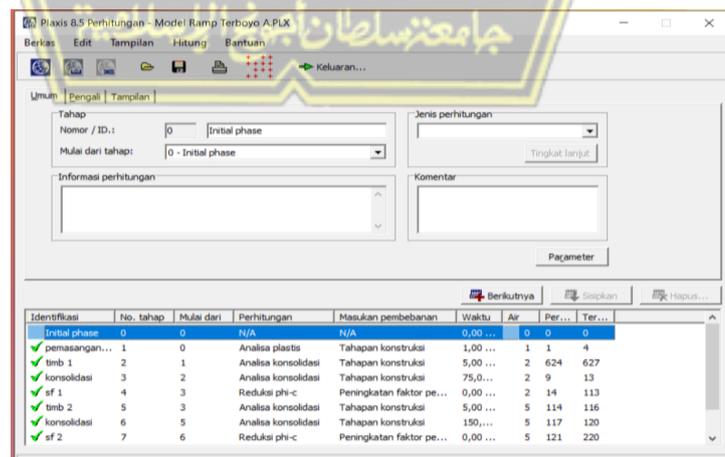
Perhitungan yang dilakukan meliputi lapisan setiap timbunan setelah menggunakan cerucuk bambu dan matras bambu terhadap beban struktur atas. Perhitungan ini dilakukan beberapa tahap dari timbunan, konsolidasi

hingga konstruksi. Tahap timbunan dilakukan selama 7 hari dan tahap konsolidasi dilakukan selama 25 hari. Berikut ini merupakan tabel tahapan perhitungan setelah menggunakan cerucuk bambu dan matras bambu.

Tabel 4.5 Phase Perhitungan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

| Identifikasi | No Tahap | Mulai dari | Perhitungan | Masukan Pembebanan | Waktu |
|------------------|----------|------------|---------------------|----------------------------|-------|
| Initial Phase | 0 | 0 | N/A | N/A | 0 |
| Pemasangan Bambu | 1 | 0 | Analisa Plastis | Tahapan Konstruksi | 1 |
| Timbunan 1 | 2 | 1 | Analisa Konsolidasi | Tahapan Konstruksi | 5 |
| Konsolidasi 1 | 3 | 2 | Analisa Konsolidasi | Tahapan Konstruksi | 75 |
| SF 1 | 4 | 3 | Reduksi phi-c | Peningkatan Faktor Pengali | 0 |
| Timbunan 2 | 5 | 4 | Analisa Konsolidasi | Tahapan Konstruksi | 5 |
| Konsolidasi 2 | 6 | 5 | Analisa Konsolidasi | Tahapan Konstruksi | 150 |
| SF 2 | 7 | 6 | Reduksi phi-c | Peningkatan Faktor Pengali | 0 |
| Pembebanan | 8 | 7 | Analisa Plastis | Tahapan Konstruksi | 1 |
| SF Beban | 9 | 8 | Reduksi phi-c | Peningkatan Faktor Pengali | 0 |

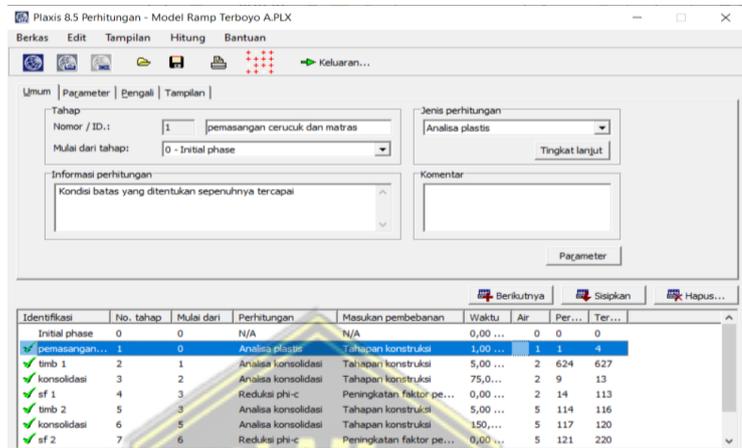
- a) *Phase 0* : Tahap Awal (*Initial phase*) adalah *default* dari program (*Phase 0*)
Langkah awal pada perhitungan *phase 0* dengan memberi judul *phase* pada bagian nomor / *id*, pada bagian kolom mulai dari tahap di isi dengan 0 – *Initial phase* seperti gambar 4.52



Gambar 4.51 Input Phase Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

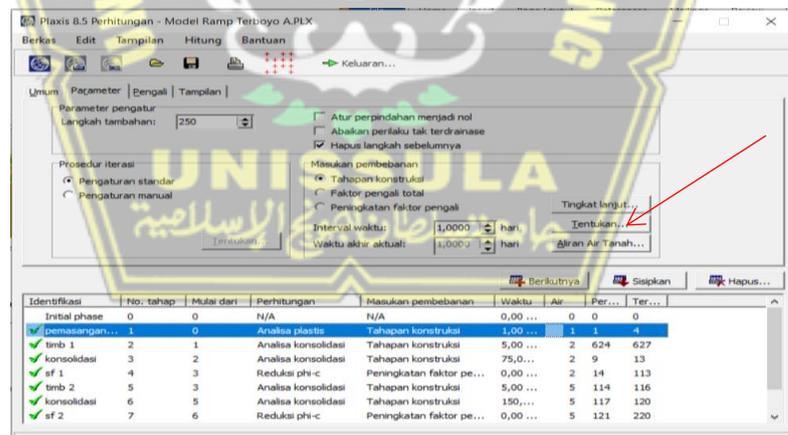
- b) Pemasangan Cerucuk dan Matras Bambu

Langkah berikutnya perhitungan cerucuk dan matras bambu. Klik tombol berikutnya lalu pada nomor / id diisi dengan judul pemasangan cerucuk dan matras. Pada kolom mulai dari tahap pilih 0 – *Initial phase* dan pada kolom jenis perhitungan pilih analisis plastis.



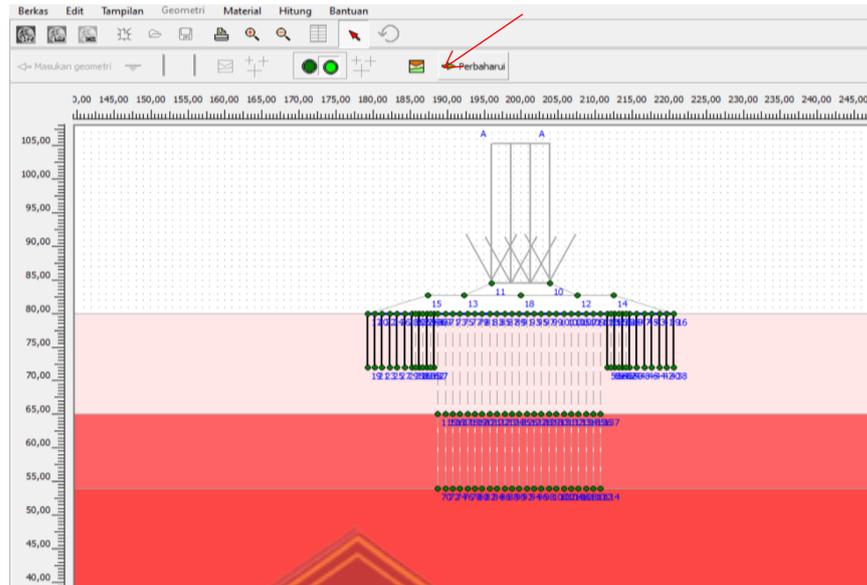
Gambar 4.52 Input Umum Pemasangan Cerucuk dan Matras

Klik kolom parameter lalu pada kolom langkah tambahan pilih angka 250 setelah itu klik pada kolom pengaturan standar, hapus langkah sebelumnya, tahapan konstruksi dengan interval waktu 1 hari. Kemudian klik kolom tentukan pada panah merah



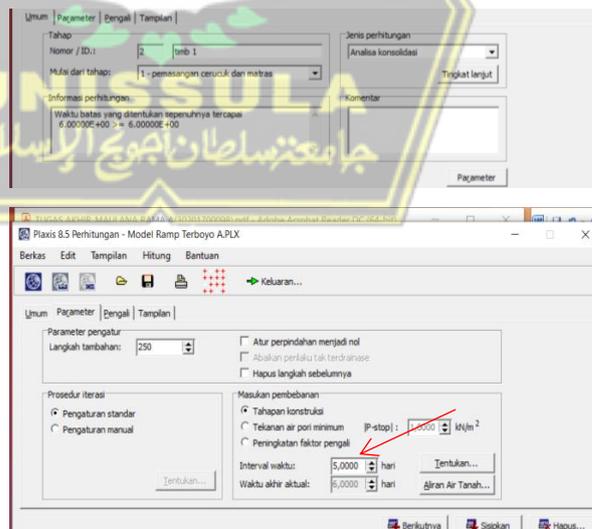
Gambar 4.53 Input Parameter Pemasangan Cerucuk dan Matras

Setelah diklik tentukan pilih area cerucuk bambu dan matras bambu yang akan diaktifkan dengan melakukan *double tap* pada area tersebut lalu klik perbarui seperti gambar 4.55 dibawah ini



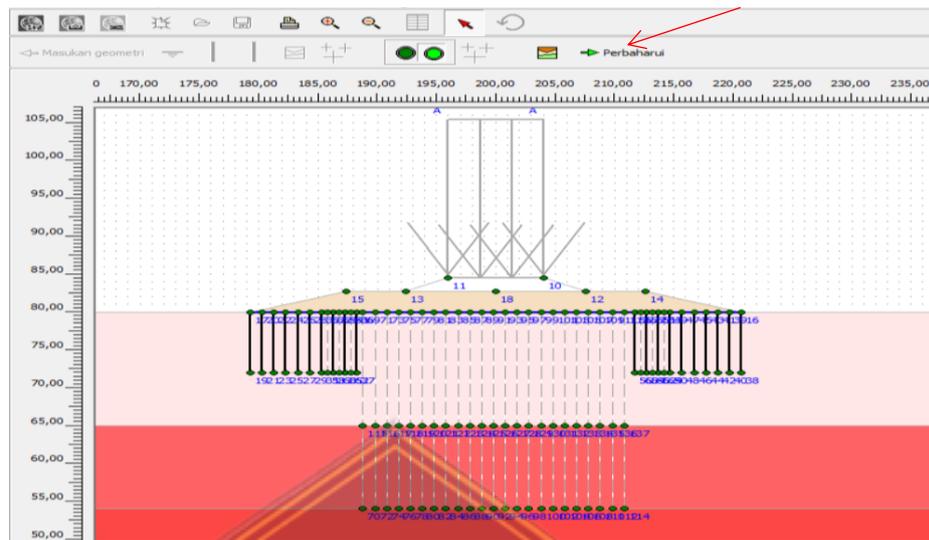
Gambar 4.54 Define Phase Pemasangan Cerucuk dan Matras Bambu

- c) Timbunan 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu
- Setelah berhasil melakukan perhitungan cerucuk dan matras bambu tekan kolom berikutnya. Lalu beri judul dengan timbunan 1 dan pada kolom mulai dari tahap pilih 1 – pemasangan cerucuk dan matras. Pada kolom jenis perhitungan pilih analisa konsolidasi. Kemudian klik kolom parameter dengan interval waktu 5 hari lalu klik kolom tentukan untuk memilih area yang timbunan 1 yang akan diaktifkan.



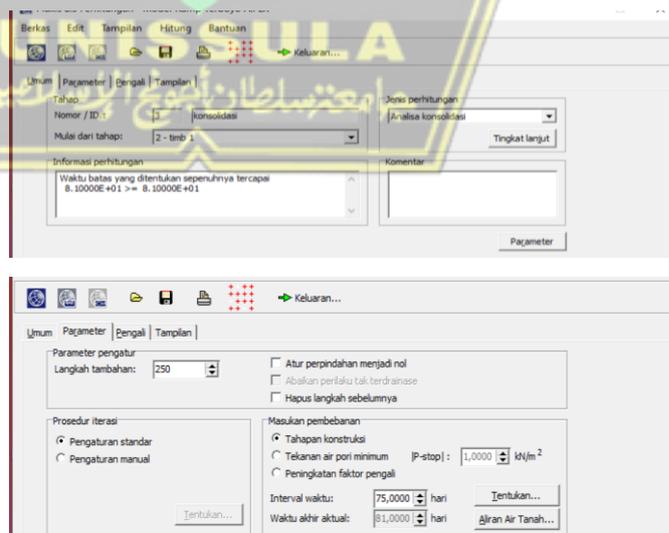
Gambar 4.55 Input Phase Galian Timbunan 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

Selanjutnya klik area timbunan 1 untuk dilakukan pengaktifan dengan cara double tap kemudian klik perbarui



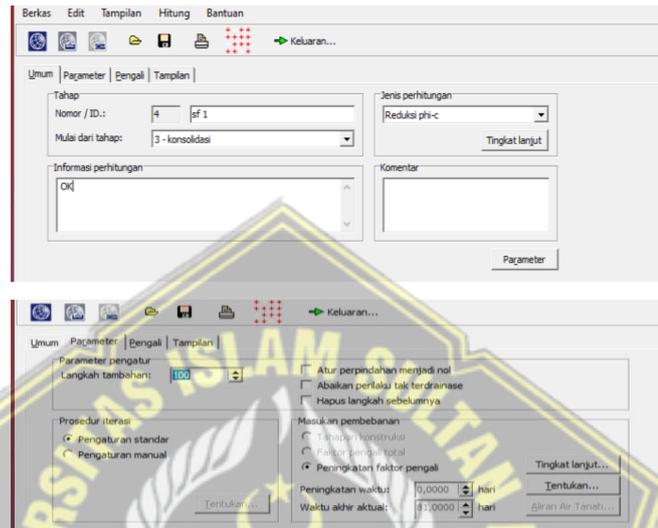
Gambar 4.56 Define Phase Timbunan 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

d) Konsolidasi Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu
 Setelah berhasil melakukan perhitungan pada timbunan 1 kemudian klik selanjutnya untuk membuat *input phase* konsolidasi. Beri judul dengan konsolidasi kemudian pada kolom jenis perhitungan pilih analisa konsolidasi. Kemudian klik parameter pada kolom interval waktu pilih 75 hari.



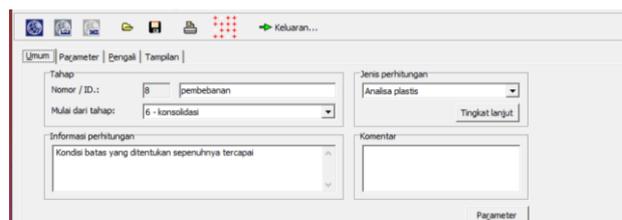
Gambar 4.57 Input Phase Konsolidasi 1 Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

- e) *Safety Factor* Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu
 Pada tahap sebelumnya seperti perhitungan timbunan dan konsolidasi setelah berhasil dilakukan perhitungan *safety factor* setiap lapisannya. Klik pada kolom selanjutnya kemudian beri judul sf 1 lalu pada kolom jenis perhitungan pilih reduksi $\phi - c$. Kemudian klik parameter pada kolom masukan pembebanan pilih peningkatan faktor pengali.



Gambar 4.58 *Input Phase Safety Factor* Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu & Matras Bambu

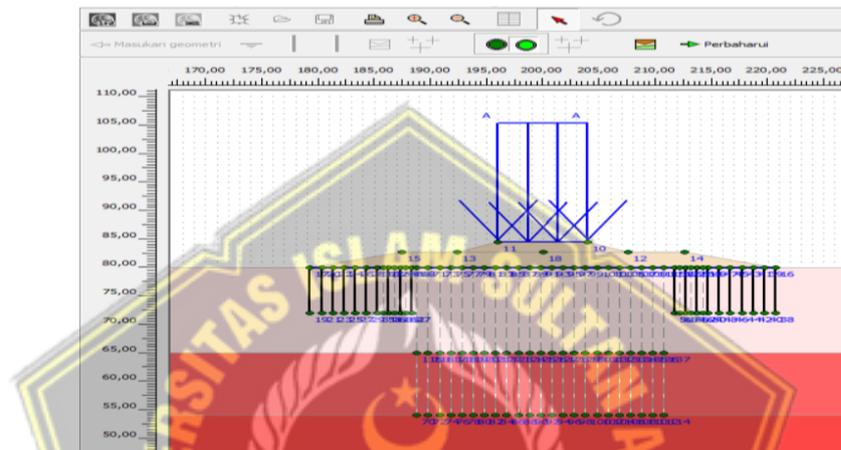
- f) Timbunan 2, Konsolidasi 2 dan *Safety Factor*
 Pada tahap timbunan 2, konsolidasi 2 dan *safety factor* sama seperti tahap pada timbunan 1 dan konsolidasi 1. Hanya yang membedakan interval waktu pada konsolidasi 2 ini selama 150 hari.
- g) Pembebanan
 Langkah selanjutnya adalah klik selanjutnya lalu beri judul pembebanan dan pada kolom jenis perhitungan pilih analisis plastis. Kemudian klik parameter. Pada kolom masukan pembebanan pilih tahapan konstruksi dengan interval waktu 1 hari lalu klik tentukan.





Gambar 4.59 *Input Phase* Pembebanan Setelah Menggunakan Cerucuk
Bambu & Matras Bambu

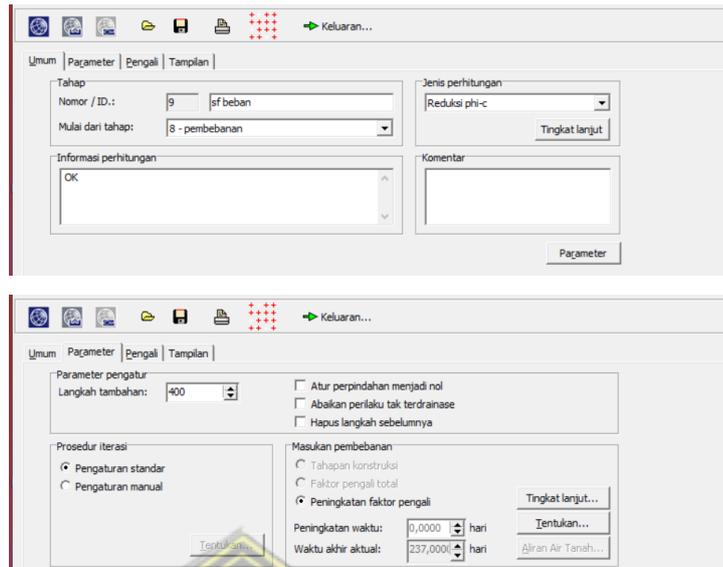
Pastikan semua area sudah diaktifkan lagu klik perbaharui



Gambar 4.60 *Define Phase* Pembebanan Setelah Menggunakan Cerucuk
Bambu & Matras Bambu

g) *Safety Factor* Pembebanan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu &
Matras Bambu

Beri judul pada nomer / *id* dengan sf beban lalu pada kolom jenis perhitungan pilih reduksi $\phi - c$ kemudian klik parameter. Pada kolom langkah tambahan pilih 400 dan klik pada peningkatan faktor pengali lalu hitung.



Gambar 4.61 *Input Phase Safety Factor* Setelah Menggunakan Matras Bambu & Cerucuk Bambu

4.4.3 Hasil *Output* Plaxis 8.2 Setelah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu

Perhitungan analisis daya dukung tanah menggunakan matras bambu terhadap beban struktur atas pada proyek tol Semarang – Demak seksi 1 di jalur *ramp* terboyo A ini menggunakan aplikasi *plaxis* dengan permodelan *Morh Coulumb*. Setelah melakukan tahapan penginputan, permodelan dan perhitungan menggunakan aplikasi *plaxis* 8.2 mendapat hasil analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu dengan hasil pada tabel 4.10 dan gambar 4.63 dibawah ini.

Tabel 4.6 Tabel Perhitungan Sebelum Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu

| Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|---------------------|----------------------------|--------|----------------------|---------|----------|
| Deskripsi proyek : perhotunganfbox | | | | | | Tanggal : 07/07/2022 | | |
| Nama pengguna : Koxhiyoki Kabuto, Japan | | | | | | | | |
| Nama proyek : Model Ramp Terboyo A.PLX | | | | | | | | |
| Keluaran : Daftar perhitungan | | | | | | Halaman : 1 | | |
| Identifikasi | No. tahap | Mulai dari | Perhitungan | Masukan pembebanan | Waktu | Air | Pertama | Terakhir |
| Initial phase | 0 | N/A | N/A | N/A | 0,00 | 0 | | |
| pemasangan cerucuk dan matras | 1 | 0 | Analisa plastis | Tahapan konstruksi | 1,00 | 1 | 1 | 4 |
| timb 1 | 2 | 1 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 | 2 | 5 | 8 |
| konsolidasi | 3 | 2 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,00 | 2 | 9 | 13 |
| sf 1 | 4 | 3 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 | 2 | 14 | 113 |
| timb 2 | 5 | 3 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 | 5 | 114 | 116 |
| konsolidasi | 6 | 5 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 150,00 | 5 | 117 | 120 |
| sf 2 | 7 | 6 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 | 5 | 121 | 220 |
| pembebanan | 8 | 6 | Analisa plastis | Tahapan konstruksi | 1,00 | 8 | 221 | 223 |
| sf beban | 9 | 8 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pengali | 0,00 | 8 | 224 | 623 |

| Identifikasi | No. tahap | Mulai dari | Perhitungan | Masukan pembebanan | Waktu | Air | Per... | Ter... |
|---------------|-----------|------------|---------------------|--------------------------|----------|-----|--------|--------|
| ✓ timb 1 | 2 | 1 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 ... | 2 | 5 | 8 |
| ✓ konsolidasi | 3 | 2 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 75,0... | 2 | 9 | 13 |
| ✓ sf 1 | 4 | 3 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pe... | 0,00 ... | 2 | 14 | 113 |
| ✓ timb 2 | 5 | 3 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 5,00 ... | 5 | 114 | 116 |
| ✓ konsolidasi | 6 | 5 | Analisa konsolidasi | Tahapan konstruksi | 150,... | 5 | 117 | 120 |
| ✓ sf 2 | 7 | 6 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pe... | 0,00 ... | 5 | 121 | 220 |
| ✓ pembebanan | 8 | 6 | Analisa plastis | Tahapan konstruksi | 1,00 ... | 8 | 221 | 223 |
| ✓ sf beban | 9 | 8 | Reduksi phi-c | Peningkatan faktor pe... | 0,00 ... | 8 | 224 | 623 |

Gambar 4.62 Perhitungan Setelah Menggunakan Cerucuk Bambu dan Matras Bambu

1. Safety Factor Setelah Menggunakan Matras Bambu

a) Timbunan 1 Setelah Menggunakan Matras Bambu

Angka faktor keamanan pada timbunan 1 adalah 2,5938

| Faktor pengali total | |
|----------------------|--------|
| Σ -Mdisp: | 1,0000 |
| Σ -MloadA: | 1,0000 |
| Σ -MloadB: | 1,0000 |
| Σ -Mweight: | 1,0000 |
| Σ -Maccel: | 0,0000 |
| Σ -Msf: | 2,5938 |

Gambar 4.63 *Safety Factor* Timbunan 1 Setelah Menggunakan Matras Bambu

b) Timbunan 2 Setelah Menggunakan Matras Bambu

Angka faktor keamanan pada timbunan 2 adalah 1,9352

| Faktor pengali total | |
|----------------------|--------|
| Σ -Mdisp: | 1,0000 |
| Σ -MloadA: | 1,0000 |
| Σ -MloadB: | 1,0000 |
| Σ -Mweight: | 1,0000 |
| Σ -Maccel: | 0,0000 |
| Σ -Msf: | 1,9352 |

Gambar 4.64 *Safety Factor* Timbunan 2 Setelah Menggunakan Matras Bambu

3. *Safety Factor* Setelah Pembebanan

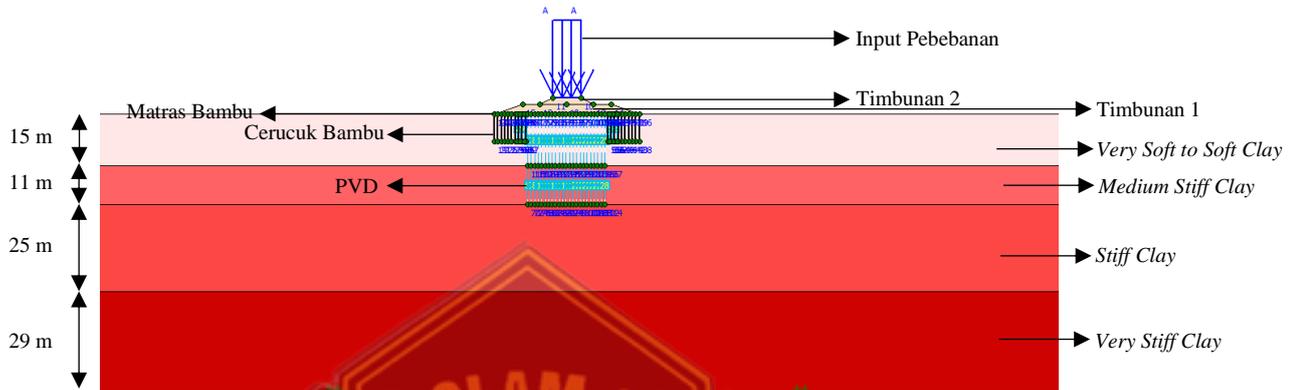
Angka faktor keamanan setelah pembebanan adalah 1,7492

| Faktor pengali total | |
|----------------------|--------|
| Σ -Mdisp: | 1,0000 |
| Σ -MloadA: | 1,0000 |
| Σ -MloadB: | 1,0000 |
| Σ -Mweight: | 1,0000 |
| Σ -Maccel: | 0,0000 |
| Σ -Msf: | 1,7492 |

Gambar 4.65 *Safety Factor* Setelah Pembebanan

2, Gambar Desain Tanah Setelah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu

Gambar detail aplikasi *plaxis 8.2* menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu setelah dilakukan penginputan, permodelan dan perhitungan adalah sebagai berikut.



Gambar 4.66 Permodelan Setelah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu

4.5 Pembahasan

Perbedaan dari analisis ini dengan milik Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta adalah pada tinggi timbunan yang berbeda dan tidak adanya geotekstil pada antara timbunan 1 dengan timbunan 2. Tinggi timbunan dibedakan karena sebagai pengganti tidak adanya geotekstil maka pada analisis ini tinggi timbunan lebih tinggi dari perencanaan milik Balai Besar Jalan Nasional Jawa Tengah – D I Yogyakarta agar mendapatkan *safety factor* yang maksimal. Tidak adanya geotekstil pada analisis ini adalah karena aplikasi *plaxis 8.6* tidak dapat menghitung kuat daya dukung pada geotekstil. Dapat dilihat hasil perhitungan sebelum menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu dengan aplikasi *Plaxis 8.6* memiliki banyak perbedaan. Analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu membuktikan terjadinya kegagalan dari perhitungan timbunan 1 (table 4.6). Apabila pada timbunan 1 massa tanah akan runtuh maka pada timbunan di atasnya seperti timbunan 2 hingga pembebanan struktur atas maka massa tanah akan juga runtuh. Berbeda dengan analisa tanah menggunakan matras bambu dan cerucuk

bambu mengalami keberhasilan dengan dibuktikannya mengalami keberhasilan. Sejak perhitungan pada timbunan 1 (gambar 4.62) hingga pembebanan massa tanah tidak mengalami keruntuhan karena dibantu oleh adanya pemasangan matras bambu dan cerucuk bambu.

Perhitungan faktor keamanan (*safety factor*) juga dilakukan dengan penggunaan aplikasi *plaxis 8.6*. Perhitungan faktor keamanan (*safety factor*) ini menggunakan berdasarkan hasil *morh coulomb*. Tujuan dilakukannya perhitungan faktor keamanan (*safety factor*) adalah agar dapat mengevaluasi keamanan perencanaan setiap lapisannya sesuai dengan dimensi minimum. Perhitungan ini dilakukan setiap lapisan timbunan sejak timbunan 1 setelah dilakukannya konsolidasi hingga setelah dilakukan pembebanan terhadap struktur atasnya. Setiap perhitungan analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu atau setelah menggunakan matras bambu dan cerucuk dapat menghasilkan 3 angka *safety factor*. Perbedaan hasil *safety factor* setiap lapisan timbunan hingga pembebanan baik sebelum menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu atau sesudah menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4.7 Perbandingan *Safety Factor*

| No | Tahap Pelaksanaan | <i>Safety Factor</i> Sebelum Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu | <i>Safety Factor</i> Sesudah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu |
|----|-------------------|---|---|
| 1 | Timbunan 1 | 0,4008 | 2,5938 |
| 2 | Timbunan 2 | 0,4261 | 1,9352 |
| 3 | Pembebanan | 0,4251 | 1,7492 |
| 4. | Rata - Rata | 0,4173 | 2,0927 |

Dapat dilihat pada tabel 4.13 diatas bahwa rata - rata *safety factor* pada analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu dari timbunan 1 hingga pembebanan adalah 0,4173. Rata – rata *safety factor* ini tidak memenuhi syarat aman karena dibawah 1,5. Berbeda dengan rata – rata *safety factor* analisis tanah setelah menggunakan matras bambu dan cerucuk

bambu dari timbunan 1 hingga pembebanan adalah 2,0927. Rata – rata *safety factor* ini sudah memenuhi syarat aman karena berada diatas 1,5.

4.5.1 Analisa Peningkatan Daya Dukung Tanah

Peningkatan daya dukung dari tanah lempung lunak dengan perkuatan geosintetik dapat dilihat dari 3 parameter. Parameter tersebut adalah deformasi vertikal, besar tegangan total dan nilai dari faktor keamanan. Berikut ini adalah hasil pemodelan keseluruhan dari model yang telah ditentukan.

Tabel 4.14 Perbandingan Daya Dukung Tana0068

| No | Tahap Pelaksanaan | Sebelum Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu | | | Sesudah Menggunakan Matras Bambu dan Cerucuk Bambu | | |
|----|-------------------|--|---------------------------------------|--------|--|---------------------------------------|--------|
| | | Uy (m) | σ_{total} (kN/m ²) | SF | Uy (m) | σ_{total} (kN/m ²) | SF |
| 1 | Timbunan 1 | <i>Collapse</i> | <i>collapse</i> | 0,4008 | 0,155 | 1430 | 2,5938 |
| 2 | Timbunan 2 | <i>Collapse</i> | <i>collapse</i> | 0,4261 | 0,176 | 1440 | 1,9352 |
| 3 | Pembebanan | <i>Collapse</i> | <i>collapse</i> | 0,4251 | 0,014 | 1440 | 1,7492 |

Berdasarkan hasil pengolahan data dari model yang ada, di dapat tabel perbandingan di atas (tabel 4.14). Tabel tersebut menunjukkan parameter-parameter dari daya dukung tanah lempung lunak dan variasi-variasi yang mempengaruhi berubahnya nilai parameter-parameter tersebut. Model-model timbunan divariasikan terhadap penggunaan matras dan cerucuk bambu

Penggunaan matras dan cerucuk bambu sebagai perkuatan dari tanah lunak sangat berfungsi. Tanah lempung lunak yang memiliki kemampuan rendah menahan beban (*bearing capacity*) dapat di perbaiki dengan penggunaan matras dan cerucuk bambu. Jika dilihat dari kenaikan nilai faktor keamanan sebelum dan sesudah penggunaan matras dan cerucuk bambu, terlihat jelas bahwa matras dan cerucuk bambu terbukti dapat meningkatkan daya dukung dari tanah lempung lunak (*bearing capacity*). Mekanisme dari cerucuk bambu sendiri dalam meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak adalah dengan mentransfer beban yang ada diatas permukaan tanah ke lapisan tanah yang lebih dalam. Sedangkan mekanisme dari matras bambu sendiri dalam

meningkatkan daya dukung tanah lempung lunak adalah dengan menahan beban vertikal dari timbunan dan merubahnya menjadi tegangan lateral yang akan ditahan oleh kuat tarik dari matras bambu tersebut. Hal ini mengakibatkan perubahan bentuk keruntuhan dari timbunan dari *bearing failure*, menjadi tidak ada. Namun meskipun demikian, tetap akan terjadi penurunan vertikal yang terjadi.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dibuat pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Struktur atas dihitung dengan tebal pelat beton 305 mm, lapisan pondasi LMC 100 mm, dan lapisan drainase 150 mm, berdasarkan temuan perencanaan. Jenis perkerasan yang digunakan adalah perkerasan kaku tanpa tulangan dengan jarak sambungan 6 meter, diameter ruji 25 mm, panjang ruji 45 cm, dan jarak ruji 50 cm. 27,57 kN/m² adalah beban total yang beroperasi pada struktur atas ini.
2. Perhitungan analisis tanah sebelum menggunakan matras bambu mengalami keruntuhan sejak timbunan 1. *Safety Factor* yang dihasilkan sangat kecil berada dibawah 1. Hasil *safety factor* pada timbunan 1 sebesar 0,4008, pada timbunan 2 sebesar 0,4251 dan pada *safety factor* setelah dilakukan pembebanan sebesar 0,4251
3. Berdasarkan hasil perhitungan analisis tanah menggunakan matras bambu dan cerucuk bambu menghasilkan *safety factor* pada timbunan 1 sebesar 2,5938, pada timbunan 2 *safety factor* sebesar 1,9352, *safety factor* setelah dilakukan pembebanan sebesar 1,7492. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan matras bambu dan cerucuk bambu ini cukup efektif untuk mendukung daya dukung tanah terhadap beban struktur diatasnya.

5.2 Saran

Dari karya yang telah selesai ini, penulis dapat memberikan ide dan masukan, seperti:

1. Penggunaan aplikasi plaxis 8.2 ini diharapkan akan mengalami pengupdatean bertahap terutama mengenai masalah sistem perhitungan diharapkan agar lebih cepat sehingga tidak usah menunggu hasil perhitungan ber jam jam bahkan berhari – hari. Serta diharapkan dilakukan penambahan fiitur untuk membantu pengguna agar lebih mudah.

2. Pastikan sebelum melakukan analisis diharapkan pengguna terlebih dahulu memiliki data – data yang sudah lengkap sehingga tidak menyulitkan bila melakukan penginputan data kedepannya.
3. Ketelitian dan harus berhati – hati saat memasukan data pada *Software Plaxis* 8.2 ini. Apabila salah melakukan data paramater maka hasil output yang dihasilkan akan berbeda.
4. Media pembelajaran mengenai aplikasi *Software Plaxis* ini diharapkan kedepannya sangat banyak terutama pada media video karena untuk saat ini sangat minimnya pembelajaran mengenai penggunaan aplikasi *Software Plaxis*.



DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Guide For Design of Pavement Structures*. USA : Washington DC
- Afrizal, E. (2014). *Analisa Pengaruh Muatan Berlebih Terhadap Umur Rencana Perkerasan Jalan*. Universitas Bung Hatta. Padang.
- Apriyadi, Fiky. (1984). *Pengaruh Beban Berlebih Kendaraan Berat Terhadap Umur Rencana Perkerasan Kaku Pada Jalan Diponegoro*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia
- Austroroads. (1992). *A Guide to The Visual Assesment of Pavement Condition*. Austrarlia.
- Bahri, Tri Sutrisno. (2021). *Analisis Pengujian Perkuatan Matras Cerucuk Bambu Untuk Timbunan Badan Jalan Di Atas Tanah Lunak*. Universitas Narotama
- Bowles, Joseph. (1984). *Sifat – Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanik Tanah)*. Unsimar.
- Das, Braja M. (1993). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. (1994). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M. (2011). *Principles of Foundation Engineering 7th Edition*. Cengage Learning, Stamford
- Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan*.

Direktorat Bina Marga. (1987). *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan raya dengan Metode Analisa Komponen*.

FHWA. (2006). *Geotechnical Aspect of Pavement*. Washington DC.

Fitriana, R. (2014). *Studi Komparasi Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Jalan Tol Menggunakan Metode Bina Marga 2002 dan AASHTO 1993 (Studi Kasus Jalan Tol Solo-Kertosono)*. Jurnal Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta.

Fwa dan Wei. (2006). *Design of Rigid Pavement, Hand Book of Highway Engineering, 2nd Ed. London*.

Hardiyatmo, H.C. (2011). *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. UGM Press. Yogyakarta.

Hardiyatmo, H.C. (2013). *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya (Perancangan Dan Aplikasi), 2nd Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta*.

Hardiyatmo, H.C. (2014). *Mekanika Tanah 2, 5th Ed. Gadjah Mada University Press. Daerah Istimewa Yogyakarta*.

Mitchell, J.K., And Villet, Willem C.B. (1987). *Reinforcement Of Earth Slopes And Embankments National Corporation Highway Research Program. Transportation Research Board. Washington, D.C*

Koerner, R.M. (2005). *Designing with Geosynthetics 5th Edition. Pearson Education, Inc. United Stated America*.

- Melle, Didiet Adhitya & Jatmiko, Popo. (1999). *Pemakaian Geotekstil Sebagai Perkuatan Tanah Lunak Pada Jalan*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Mitchell, J.K., And Villet, Willem C.B. (1987). *Reinforcement Of Earth Slopes And Embankments. National Corporation Highway Research Program. Transportation Research Board*. Washington, D.C
- Nadjam, Achmad & dkk. (2017). *Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku Dengan Menggunakan Metode Pd – T – 14 – 2003 dan AASHTO 93 Pada Jalan Kartini Depok*. Jakarta : Politeknik Negeri Jakarta.
- Prasetya, A. I. (2003). *Pengaruh Ukuran Pondasi terhadap Daya Dukung Tanah Pasir dengan Pembebanan Eksentris*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Prawira, Zaky. (2016). *ANALISIS PERBANDINGAN PERKUATAN TANAH ANTARA CERUCUK BAMBU DENGAN MATRAS BAMBU*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Purnomo, Margono. (1990). *Studi Hubungan Beban vs Lendutan Pondasi yang Diperkuat dengan Cerucuk, Proceeding Konferensi Geoteknik Indonesia IV*. Bandung.
- Ready, B. (2020). *Kestabilan Lereng Timbunan di Atas Tanah Lunak Dengan Pemodelan Hardening Soil Dan Perkuatan Matras Bambu Akibat Beban Dinamis (Studi Kasus: Double Track Jombang – Kertosono)*. Universitas Jember.
- Sulistyo, Dwi & Kusumaningrum, Jenni. (2013). *Analisis Perbandingan Perencanaan Perkerasan Kaku Dengan Menggunakan Metode Bina Marga dan Metode AASHTO Serta Merencanakan Saluran Permukaan Pada Ruas Jalan Abdul Wahab, Sawangan*. Jakarta : Universitas Gunadarma.

Terzaghi, K. (1925). *Theoretical Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers*.
Granda : London

Triwibowo, Agung. (2019). *Analisis Daya Dukung Tanah Menggunakan Cerucuk dan Matras Bambu Sebagai Alternatif Perkuatan Tanah*. Universitas Pendidikan Indonesia.

Wibowo, Dian Eksana & dkk. (2021). *Usaha Peningkatan Daya Dukung Tanah Lempung Menggunakan Layer Krikil, Anyaman Bambu dan Kombinasi Kolom – Layer Pasir*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta

