



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

PROPOSAL TUGAS AKHIR - VC 181711

**EVALUASI PERKUATAN TANAH DASAR MENGGUNAKAN  
*CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC)* PADA  
PROYEK PERPANJANGAN RUNWAY BANDARA  
INTERNASIONAL BANYUWANGI**

AHMAD QOIDUNNAS

NRP: 10111610013031

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.

NIP. 19501011 198203 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA



**PROPOSAL TUGAS AKHIR - VC 181711**

**EVALUASI PERKUATAN TANAH DASAR MENGGUNAKAN  
*CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC)* PADA  
PROYEK PERPANJANGAN RUNWAY BANDARA  
INTERNASIONAL BANYUWANGI**

AHMAD QOIDUNNAS

NRP: 10111610013031

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.

NIP. 19501011 198203 1 002

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

FAKULTAS VOKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA



**FINAL PROJECT - VC 181711**

**EVALUATION OF SUBGRADE SOIL IMPROVEMENT USING  
CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC) FOR RUNWAY  
EXTENSION PROJECT OF BANYUWANGI  
INTERNATIONAL AIRPORT**

**AHMAD QOIDUNNAS**  
NRP: 10111610013031

**SUPERVISOR LECTURER**  
Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.  
NIP. 19501011 198203 1 002

**DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING  
VOCATIONAL FACULTY  
SEPULUH NOVEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EVALUASI PERKUATAN TANAH DASAR  
MENGUNAKAN *CONTROLLED MODULUS COLUMNS*  
(*CMC*) PADA PROYEK PERPANJANGAN RUNWAY  
BANDARA INTERNASIONAL BANYUWANGI**

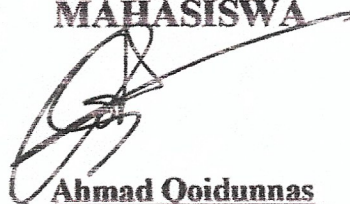
**PROYEK AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains Terapan  
pada  
Program Sarjana Terapan  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Surabaya, 22 Agustus 2020

Oleh:

**MAHASISWA**



**Ahmad Ooidunnas**  
NRP. 10111610013031

Disetujui Oleh:

**DOSEN PEMBIMBING**



**Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.**

NIP. 19501011 198203 1 002



## Berita Acara Sidang Proyek Akhir

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi ITS  
Semester Genap 2019-2020

Nomor BA :

Nomor Jadwal : **77**

Program Studi : D4 Teknik Sipil (TRPPBS)

Diinout oleh : Fitria Wahyuni, ST., MT

Bahwa pada hari ini : Kamis, 13-Agt-2020

Pukul : 10:00 s/d 12:00

Di tempat : Online Meeting

Telah dilaksanakan sidang Proposal Tugas Akhir dengan judul:

EVALUASI PERKUATAN TANAH DASAR MENGGUNAKAN CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC)  
PADA PROYEK PERPANJANGAN RUNWAY BANDARA INTERNASIONAL BANYUWANGI

Yang dihadiri dan dipresentasikan oleh mahasiswa :

( Hadir / Tidak Hadir)

10111610013031 AHMAD QOIDUNNAS

Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Pembimbing:

( Hadir / Tidak Hadir)

1 Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.

Hadir

2

Hadir

Yang dihadiri oleh dosen Penguii:

( Hadir / Tidak Hadir)

1 Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D.

Hadir

2 Deris Faisa ST, MT

Hadir

3 Fitria Wahyuni, ST., MT

Hadir

Bahwasanya musvawarah pembimbing dan penguii pada sidang provek akhir ini memutuskan:

10111610013031 AHMAD QOIDUNNAS

**LULUS, DENGAN REVISI MINOR**

Catatan / revisi / masukan :

Mohamad Khoiri, ST., MT., Ph.D.

a Prinsip dasar CMC

b Persyaratan penggunaan CMC

c Negative skin friction pada CMC

d

e

f

Deris Faisa ST, MT

- a Metode Penelitian/ Diagram Alir
- b Layout pemancangan CMC
- c Analisis Data SPT diperjelas didapat darimana sumbernya
- d Abstrak nya diperbaiki/ disummary
- e
- f

Fitria Wahyuni, ST., MT

- a Pengaruh Tebal LTP pada CMC
- b
- c
- d
- e
- f

### Tindak lanjut :

Mahasiswa memperbaiki/merevisi Proyek Akhir sesuai dengan masukan di atas.

### Penutup :

Demikian Berita Acara Sidang Proyek Akhir ini dibuat sebagai panduan revisi oleh Mahasiswa.

### Lampiran :

Tempelkan screen capture peserta meeting online disini.



**EVALUASI PERKUATAN TANAH DASAR  
MENGUNAKAN *CONTROLLED MODULUS COLUMNS*  
(CMC) PADA PROYEK PERPANJANGAN RUNWAY  
BANDARA INTERNASIONAL BANYUWANGI**

Mahasiswa : Ahmad Qoidunnas  
NRP : 10111610013031  
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil FV - ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.  
NIP : 19501011 198203 1 002

**URAIAN SINGKAT**

Bandara Internasional Banyuwangi dikategorikan sebagai bandara berkembang yang diproyeksikan akan menjadi bandara besar seiring dengan berkembangnya wisata di Banyuwangi. Di sini pihak pengembang Bandara Internasional Banyuwangi yaitu PT. Angkasa Pura II berupaya melengkapi fasilitas maupun sarana prasarana yang ada. Pada tahap ini PT. Angkasa Pura II berupaya menambah luasan runway sehingga Bandara Internasional Banyuwangi mampu menampung pesawat Boeing-747 untuk berlandas. Banyuwangi didominasi oleh tanah lunak yang berupa tanah lanau berpasir yang umumnya permasalahan yang timbul pada konstruksi di atas tanah lunak adalah besarnya penurunan dan kapasitas dukung yang rendah. Oleh karena itu dibutuhkan kekuatan tanah dasar yang lebih baik dari kekuatan tanah dasar eksisting di lokasi proyek. Controlled Modulus Columns (CMC) dipilih oleh pihak pengelola sebagai teknik perbaikan tanah dasar untuk proyek tersebut.

Tahapan metode diawali dengan mengumpulkan studi literatur dan data tanah serta parameter untuk kebutuhan input data ke Plaxis. Tahap selanjutnya adalah menganalisa beban yang bekerja pada tanah dan didapatkan hasil beban merata sebesar 111.783 kN/m<sup>2</sup>. Beban merata tersebut merupakan beban total yang terdiri dari beban mati sebesar 22.6 kN/m<sup>2</sup> dan beban pesawat

dianggap sebesar 89.18 kN/m<sup>2</sup>. Kemudian dilakukan pemodelan tanah eksisting tanpa perkuatan menggunakan software Plaxis untuk mengetahui kekuatan tanah eksisting apakah benar-benar membutuhkan perkuatan. Selanjutnya dilakukan pemodelan tiang tunggal CMC menggunakan prescribed maupun tanpa prescribed untuk mengetahui kapasitas satu tiang CMC. Setelah itu dilakukan pemodelan tiang kelompok menggunakan prescribed maupun tanpa prescribed bertujuan untuk mengetahui penurunan yang terjadi akibat beban yang bekerja dengan tanah yang sudah dilakukan perkuatan.

Hasil analisa pada pemodelan tiang tunggal tanpa prescribed mendapat nilai  $p_{max}$  114.44 kN/m<sup>2</sup>. Kemudian hasil analisa pada pemodelan tiang tunggal dengan prescribed (line displacement) mendapat nilai  $p_{max}$  104.43 kN/m<sup>2</sup>. Kemudian untuk hasil pemodelan tiang kelompok didapatkan total displacement (penurunan) tanah. Pada Plaxis 2D embedded beam row tanpa prescribed sebesar 0.01995m, sedangkan embedded beam row dengan line displacement sebesar 0.00949m. Pemodelan stabilisasi dengan menerapkan CMC kelompok menggunakan prescribed memberikan nilai penurunan yang lebih rendah dibanding dengan pemodelan tiang tanpa prescribed. Dari analisa menunjukkan bahwa CMC dengan prescribed bisa diaplikasikan dan dapat memperkecil penurunan. Hal yang perlu diperhatikan bahwa pemodelan yang dilakukan merupakan suatu trial sebagai pendekatan terhadap pelaksanaan dilapangan.

Kata kunci : perbaikan tanah, *Controlled Modulus Columns*, Plaxis, tanah dasar.



**EVALUATION OF SUBGRADE SOIL IMPROVEMENT  
USING CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC)  
FOR RUNWAY EXTENSION PROJECT OF  
BANYUWANGI INTERNATIONAL AIRPORT**

Student Name : Ahmad Qoidunnas  
NRP : 10111610013031  
Departement : Civil Infrastructure Engineering  
Final Project Advisor : Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.  
NIP : 19501011 198203 1 002

**ABSTRACT**

Banyuwangi International Airport is categorized as a developing airport which is projected to become a large airport along with the development of tourism in Banyuwangi. Here the developer of Banyuwangi International Airport, namely PT. Angkasa Pura II seeks to complement existing facilities and infrastructure. At this stage PT. Angkasa Pura II is trying to increase the runway area so that Banyuwangi International Airport can accommodate Boeing-747 aircraft to land. Banyuwangi is dominated by soft soil in the form of sandy silt soils, generally the problems that arise in construction on soft soils are the amount of settlement and low bearing capacity. Therefore, a subgrade strength that is better than the existing subgrade strength is required at the project site. Controlled Modulus Columns (CMC) was chosen by the management as the subgrade improvement technique for the project.

The method stage begins with collecting literature studies and soil data and parameters for data input needs to the Plaxis. The next step is to analyze the load acting on the soil and the results are evenly distributed of 111,783 kN/m<sup>2</sup>. The distributed load is the total load consisting of dead load of 22.6 kN/m<sup>2</sup> and the aircraft load is assumed to be 89.18 kN/m<sup>2</sup>. Then, modeling the existing soil without reinforcement using Plaxis software to determine the

strength of the existing soil whether it really needs reinforcement. Furthermore, single pole modeling of CMC is carried out using the prescribed or not prescribed to determine the capacity of one CMC pole. After that, the modeling of group poles is carried out using the prescribed or non-prescribed aims to determine the decline that occurs due to loads working with the soil which has been reinforced.

The analysis results on single pile modeling without prescribed received  $p_{max}$  value of 114.44 kN/m<sup>2</sup>. Then the analysis results on the modeling of a single pole with a prescribed (line displacement) got a  $p_{max}$  value of 104.43 kN/m<sup>2</sup>. Then for the pile modeling results obtained the total soil displacement (decrease). In Plaxis 2D the embedded beam row without prescribed is 0.01995m, while the embedded beam row with a line displacement is 0.00949m. Stabilization modeling by applying the prescribed group CMC gives a lower drop value than the no prescribed pile modeling. The analysis shows that the prescribed CMC can be applied and can reduce the decline. It should be noted that the modeling carried out is a trial as an approach to field implementation.

**Keywords:** soil improvement, Controlled Modulus Columns, Plaxis, subgrade.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas akhir terapan. Proposal tugas akhir terapan ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan karya tulis ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan perhatian berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Rasulullah SAW.
2. Ibu, Bapak beserta keluarga penulis yang selalu memberikan motivasi serta doa yang tak pernah putus demi kesuksesan buah hatinya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan bimbingan selama proses pembuatan proposal.
4. Bapak-Ibu dosen Teknik Infrastruktur Sipil yang telah
5. Teman-teman Teknik Infrastruktur Sipil yang selalu mendukung dan memberikan semangat dalam penyelesaian proposal tugas akhir terapan ini.
6. Seluruh pihak yang secara langsung ataupun tidak langsung telah membantu kami dalam menyelesaikan proyek akhir kami, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan proposal tugas akhir terapan ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan penulis agar dimasa datang menjadi lebih baik. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan yang ada dalam proposal tugas akhir terapan ini.

Surabaya, 10 Desember 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>URAIAN SINGKAT.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>5</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>7</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>11</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>13</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>15</b>
1.1    Latar Belakang .....	15
1.2    Rumusan Masalah.....	17
1.3    Batasan Masalah .....	18
1.4    Tujuan .....	18
1.5    Manfaat .....	19
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>20</b>
2.1    Runway .....	20
2.1.1.    Pengertian Runway .....	20
2.1.2.    Struktur Perkerasan Runway.....	20
2.2    Tanah .....	22
2.2.1.    Tanah Pasir.....	22
2.2.2.    Tanah Timbunan .....	22
2.3    Korelasi Parameter.....	23
2.3.1    Korelasi N-SPT terhadap nilai konsistensi tanah.	23
2.3.2    Korelasi N-SPT terhadap nilai $C_U$ .....	25

2.3.3	Korelasi N-SPT terhadap nilai $\phi$ .....	26
2.3.4	Korelasi terhadap nilai modulus elastisitas tanah.	27
2.3.5	Korelasi N-SPT terhadap nilai overconsolidated ratio, OCR .....	28
2.3.6	Korelasi N-SPT terhadap nilai <i>Adhesion Factor</i> ..	29
2.3.7	Korelasi N-SPT terhadap Permeabilitas.....	29
2.4.	Faktor Keamanan .....	30
2.5.	Pembebanan .....	31
2.6.	Penurunan .....	35
2.6.1.	Penurunan Tanah.....	35
2.6.2.	Batas Kontrol Penurunan .....	36
2.7.	Stabilitas dan Perbaikan Tanah .....	37
2.7.1.	Stabilitas Tanah.....	37
2.7.2.	Perkuatan Tanah Timbunan .....	38
2.8.	CMC ( <i>Controlled Modulus Columns</i> ) .....	40
2.8.1.	Metode Pelaksanaan.....	43
2.8.2.	Keseimbangan Gaya pada CMC .....	45
2.8.3.	Load Transfer Platform (LTP) .....	47
2.8.4.	CMC dengan Perkuatan .....	50
2.8.5.	Kelebihan dan Kekurangan Metode <i>Controlled Modulus Columns</i> (CMC).....	52
2.9.	Permodelan pada Plaxis 2D .....	53
<b>3.</b>	<b>BAB III METODOLOGI .....</b>	<b>55</b>
3.1.	Bagan Alir Metode.....	55
3.2.	Studi Literatur .....	57
3.3.	Pengumpulan Data dan Analisa Data Tanah.....	57

3.4.	Analisa Korelasi Parameter Tanah.....	57
3.5.	Analisa Pembebanan.....	58
3.6.	Permodelan Tanah Timbunan tanpa Perkuatan menggunakan Plaxis .....	58
3.7.	Perencanaan dan Permodelan Perkuatan dengan CMC menggunakan Plaxis 2D .....	58
3.8.	Kontrol Penurunan Tanah sesuai RKS .....	59
3.9.	Analisa Hasil.....	59
3.10.	Kesimpulan dan Saran .....	60
<b>4.</b>	<b>BAB IV DATA DAN ANALISA TANAH.....</b>	<b>61</b>
4.1.	Data Tanah.....	61
4.2.	Analisa Parameter Tanah .....	61
4.2.1.	Parameter Tanah Titik Bor Log .....	61
4.2.2.	Parameter Timbunan Tanah Pasir .....	65
4.2.3.	Parameter Perkerasan.....	66
4.3.	Data Beban.....	67
4.3.1.	Konsep Beban Pesawat .....	67
<b>5.</b>	<b>BAB V .....</b>	<b>75</b>
5.1.	Pemodelan Penurunan Konsolidasi.....	75
5.1.1.	Pemodelan Tanpa Stabilisasi dengan Plaxis 2D... ..	76
5.1.2.	Analisa Hasil Pemodelan Tanpa Stabilisasi dengan Plaxis 2D.....	78
5.2.	Pemodelan Tiang Tiang Tunggal dengan <i>Plaxis 2D</i> ... ..	79
5.2.1.	Geometri Simulasi Tiang Tunggal .....	79
5.2.2.	Input Parameter Tanah Tiang Tunggal pada <i>Plaxis</i> <i>2D</i> .....	80

5.2.3.	Simulasi Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D.....	83
5.2.4.	Analisa Hasil Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D dengan beban $P_{max}$ .....	90
5.3.	Pemodelan Tiang Kelompok tanpa <i>Plaxis 2D Embedded Beam Row</i> tanpa <i>prescribed</i> .....	91
5.4.	Pemodelan Tiang Kelompok dengan <i>Plaxis 2D Embedded Beam Row</i> dengan <i>prescribed</i> .....	92
5.5.	Analisa Pemodelan Tiang Kelompok ( <i>Embedded Beam Row</i> ).....	94
<b>BAB VI</b>	.....	<b>96</b>
6.1.	Kesimpulan .....	96
6.2.	Saran .....	97
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>98</b>
<b>BIODATA PENULIS</b>	.....	<b>100</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN</b>	.....	<b>101</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Bandara Udara Internasional Banyuwangi (Google Earth).....	15
Gambar 1.2 Bandara Udara Internasional Banyuwangi. (kemenpar) .....	16
Gambar 2.1 Penampang Perkerasan Lentur .....	21
Gambar 2.2 Grafik Nilai Adhesion Factor, su .....	29
Gambar 2.3 Konfigurasi Roda Pendaratan untuk Boeing 747-400.....	34
Gambar 2.4 Jenis tanah yang bisa diplikasikan CMC.....	41
Gambar 2.5 Pelaksanaan CMC pada Bandara .....	41
Gambar 2.6 Perbandingan Mekanisme Transfer Beban antara Pile (kiri) dan CMC (kanan).....	42
Gambar 2.7 Metode Pelaksanaan Controlled Modulus Columns (CMC).....	45
Gambar 2.8 Mekanisme Transfer Beban.....	46
Gambar 2.9 Keseimbangan Gaya CMC .....	46
Gambar 2.10 Negative skin friction .....	47
Gambar 2.11 Tipikal Penampang dari sistem CMC .....	48
Gambar 2.12 Mekanisme Distribusi Beban dengan LTP... ..	49
Gambar 2.13 efek lengkung tanah dalam uji pintu perangkap, Terzaghi (1943) .....	49
Gambar 2.14 Konstruksi platform pemindahan beban tergantung pada ketebalan lapisan dan aplikasi beban.....	50
Gambar 2.15 Ilustrasi Jarak Eksentrisitas Beban .....	51
Gambar 2.16 Model Regangan Datar.....	54
Gambar 2.17 Model Regangan Axi-simetri .....	54
Gambar 2.18 Grafik Metodologi I.....	55
Gambar 2.19 Grafik Metodologi II .....	56

Gambar 4.1 Konfigurasi Roda Pendaratan untuk Boeing 747-400.....	70
Gambar 5.1 Lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi ..	76
Gambar 5.2 Tahap Generate Mesh.....	77
Gambar 5.3 Tahap Closed Consolidation Boundary.....	77
Gambar 5.4 Tahap Stage Construction .....	78
Gambar 5.5 (a) Pemodelan lapisan tanah pada tahap soil (b) Pemodelan tiang tunggal pada tahap strusture .....	84
Gambar 5.6 Tahap Staged Construction .....	86
Gambar 5.7 (a) Pemodelan lapisan tanah pada tahap soil (b) Pemodelan tiang tunggal pada tahap strusture .....	87
Gambar 5.8 Tahap Staged Construction .....	89
Gambar 5.9 Pemodelan Embedded Beam Row tanpa Prescribed .....	91
Gambar 5.10 Tahap Staged Constraction.....	92
Gambar 5.11 Pemodelan Embedded Beam Row dengan Prescribed .....	93
Gambar 5.12 Tahap Staged Construction .....	94

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Korelasi N-SPT terhadap nilai konsistensi tanah	24
Tabel 2.2 Konsistensi Tanah untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung.....	25
Tabel 2.3 Pedoman Prakiraan Harga $\phi$ dari harga N-SPT .	26
Tabel 2.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah .....	27
Tabel 2.5 Tabel Poisson's Ratio.....	28
Tabel 2.6 Harga Koefisien Permeabilitas.....	30
Tabel 2.7 Data Asumsi Beban Perkerasan .....	31
Tabel 2.8 Daftar Beban Pesawat .....	33
Tabel 2.9 Konfigurasi Roda Pesawat .....	34
Tabel 2.10 Batas Kontrol Penurunan .....	37
Tabel 4.1 Parameter Tanah BH-03.....	63
Tabel 4.2 Sifat fisik tanah pasir timbunan.....	65
Tabel 4.3 Sifat fisik perkerasan.....	66
Tabel 4.4 Data Beban .....	67
Tabel 4.5 Daftar Beban Pesawat .....	69
Tabel 4.6 Konfigurasi Roda Pesawat .....	71
Tabel 5.1 Profil tanah dan parameter tanah BH-07 pada Tiang Tunggal PLAXIS 2D .....	81
Tabel 5.2 Perbandingan Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D ver 2012 .....	90
Tabel 5.3 Perbandingan Penurunan Pemodelan Tiang Kelompok pada Plaxis 2D.....	95
Tabel 6.1 Perbandingan Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D .....	96
Tabel 6.2 Perbandingan Penurunan Pemodelan Tiang Kelompok pada Plaxis 2D.....	97

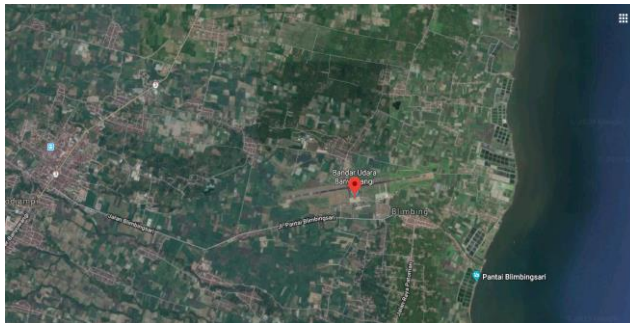


# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Bandar udara, disingkat dengan bandara adalah tempat atau fasilitas untuk menaikkan dan menurunkan penumpang, barang, pos yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan penerbangan dan berfungsi sebagai perpindahan antar moda transportasi. Saat ini Indonesia tercatat memiliki lebih dari 200 bandara yang tersebar di seluruh pelosok negeri. Meliputi bandara internasional, maupun bandara domestik.

Proyek Pelebaran dan Perpanjangan Runway Bandar Udara Internasional Banyuwangi terletak di dalam wilayah Bandar Udara Internasional Banyuwangi yang dinaungi oleh Angkasa Pura II terletak di Desa Blimbingsari, Kecamatan Blimbingsari, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur.



**Gambar 1.1 Peta Bandara Udara Internasional Banyuwangi  
(Google Earth)**



**Gambar 1.2 Bandara Udara Internasional Banyuwangi.**  
(kemenpar)

Bandara Internasional Banyuwangi memiliki 2 bangunan terminal utama, yaitu Terminal Domestik dan Terminal Internasional. Dengan meningkatnya jumlah penumpang dan pergerakan pesawat udara saat ini, kondisi fasilitas tersebut sudah terasa kurang memadai dan perlu ditambah baik jumlah maupun luasnya. Untuk itu, manajemen PT Angkasa Pura II sebagai pengelola Bandara Internasional Banyuwangi sudah merencanakan untuk menambah dan meningkatkan kondisi prasarana yang ada agar Level of Services (LoS) terhadap pengguna jasa penerbangan terpenuhi. Peningkatan jumlah penumpang membuat pihak bandara untuk menambah jenis armadanya dengan pesawat *Boeing*. Akan tetapi spesifikasi runway belum sesuai dengan spesifikasi yang diijinkan untuk pesawat *Boeing*. Untuk melayani peningkatan jumlah penumpang pada Bandara Internasional Banyuwangi dan menyesuaikan spesifikasi bandara maka dilakukan pelebaran dan perpanjangan pada *runway* yang dimulai pada tahun 2018 dan direncanakan selesai pada tahun 2019.

Pada proyek perpanjangan *runway* 08 ini didominasi tanah lunak yang berupa tanah lanau berpasir, terutama daerah pantai di Desa Blimbingsari. Umumnya permasalahan yang timbul pada konstruksi di atas tanah lunak adalah besarnya penurunan dan kapasitas dukung yang rendah yang diakibatkan dari beban berat tanah itu sendiri. Oleh sebab itu untuk meningkatkan daya dukung tanah yang akan menopang perkerasan untuk perpanjangan *runway* tersebut dengan tambahan beban pesawat, dibutuhkan kekuatan tanah dasar yang lebih baik dari kekuatan tanah dasar eksisting di lokasi proyek. *Controlled Modulus Columns (CMC)* dipilih menjadi solusi perkuatan daya dukung tanah karena dinilai efektif untuk diterapkan pada tanah eksisting. Pada dasarnya perkuatan tanah menggunakan metode CMC bisa digunakan pada berbagai kondisi tanah eksisting mulai dari tanah lempung sampai pasir.

Dikembangkan dan diterapkan oleh perusahaan yang berasal dari Perancis, BUT Menard Geosystems. Prinsip dari teknik CMC tersebut adalah untuk menciptakan massa komposit yang terdiri dari tanah asli dan kolom grout (semi-rigid). CMC sendiri adalah kolom beton yang ditempatkan di jaringan yang disesuaikan dengan beban dan kriteria penyelesaian, dikombinasikan dengan lapisan granular.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang terdapat pada penyusunan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Berapa penurunan yang disyaratkan dalam *runway*?
2. Bagaimana pemodelan perhitungan tanpa CMC dengan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D?

3. Bagaimana kapasitas tiang CMC yang digunakan pada *runway*?
4. Berapa diameter, kedalaman dan jarak antar tiang dengan kondisi tanah eksisting dengan CMC?
5. Bagaimana pemodelan perhitungan dengan CMC menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D?
6. Apakah metode CMC bisa diaplikasikan untuk peningkatan daya dukung tanah dan mengurangi penurunan di *runway*?

### **1.3 Batasan Masalah**

Pada penulisan Tugas Akhir ini, permasalahan dibatasi pada pokok-pokok pembahasan sebagai berikut :

1. Lokasi yang ditinjau adalah STA 0+100 – STA 0+150.
2. Analisa penurunan tanah karena beban yang bekerja pada tanah dasar, tidak termasuk analisa perkerasan *runway*.
3. Metode analisis yang digunakan adalah analisis numeris dengan *software* Plaxis 2D.

### **1.4 Tujuan**

Dari permasalahan diatas, adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Mengetahui penurunan yang disyaratkan dalam *runway*
2. Mengetahui pemodelan perhitungan tanpa CMC dengan menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D.



3. Menghitung kapasitas tiang tunggal CMC pada *runway*.
4. Mendapatkan diameter, kedalaman dan jarak antar tiang dengan kondisi tanah eksisting dengan CMC.
5. Mengetahui pemodelan perhitungan dengan CMC menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D.
6. Mengetahui metode CMC bisa diaplikasikan untuk peningkatan daya dukung tanah dan mengurangi penurunan di *runway*.

## **1.5 Manfaat**

Manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk memberikan suatu gambaran pengaplikasian stabilisasi tanah dengan CMC pada *runway* yang tepat dilakukan supaya sesuai dengan syarat penurunan runway yang telah ditetapkan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Runway**

##### **2.1.1. Pengertian Runway**

Menurut SKEP/77/VI/2005 Tentang Persyaratan Teknis Pengoperasian Fasilitas Teknik Bandar Udara, *runway* adalah fasilitas berupa suatu perkerasan yang disiapkan untuk pesawat melakukan kegiatan pendaratan dan tinggal landas. Elemen dasar runway meliputi perkerasan yang secara struktural cukup untuk mendukung beban pesawat yang dilayaninya, bahu runway, runway strip, landas pacu buangan panas mesin (blast pad), runway end safety area (RESA) stopway, clearway.

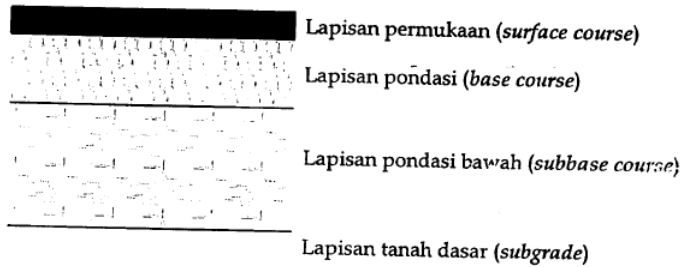
##### **2.1.2. Struktur Perkerasan Runway**

Menurut SKEP/003/I/2005 Tentang Pedoman Teknis Perancangan Rinci Konstruksi Landas Pacu (Runway), Landas Hubung (Taxiway), dan Landar Parkir (Apron) pada Bandar Udara di Indonesia. Struktur untuk perkerasan runway dan apron menggunakan flexible pavement.

Struktur Perkerasan Lentur (flexible) Struktur perkerasan lentur terdiri dari:

- Lapisan pondasi bawah (subbase course)
- Lapisan pondasi (subbase)
- Lapisan permukaan (surface)

Yang digelar diatas tanah dasar (subgrade) seperti ditunjukkan dalam gambar berikut.



**Gambar 2.1 Penampang Perkerasan Lentur**

*Sumber: SKEP/003/I/2005*

Menurut RKS (Rencana Kerja dan Syarat-syarat) yang diterapkan pada Bandara Internasional Banyuwangi. Setelah dilakukan pekerjaan perbaikan struktur tanah sesuai RKS (Rencana Kerja dan Syarat-syarat) yang diterapkan di Proyek Perpanjangan Runway Bandara Internasional Banyuwangi, kemudian dilakukan pekerjaan dengan tahapan :

- Lapisan Pondasi Bawah berupa timbunan
- Lapis Pondasi Agregat
- Cement Treatment Base
- Prime Coat dan Aspal AC-BC
- Tack Coat dan pekerjaan Aspal AC-WC

## **2.2 Tanah**

### **2.2.1. Tanah Pasir**

Definisi pasir menurut Wesley (1977), merupakan agregat yang butirannya hampir selalu terdiri dari satu macam zat mineral, terutama kwarza. Pasir sering kali di kenal sebagai tanah tidak kohesif dan berbutir kasar. Pasir memiliki batas ukuran butiran antara 0.06 mm sampai 2 mm.

Menurut Bouwles (1983), pasir merupakan partikel tambang yang lebih kecil dari kerikil dengan ukuran butir antara 0.05 mm sampai 0.074 mm. pasir adalah bahan yang tak berkohesi, tetapi jika pasir, tersebut lembab maka tegangan permukaan memberikan kohesi yang nyata, yang akan menghilang bila bahan mengering. ASTM menyebutkan bahwa pasir merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragma-fragma dengan bentuk sub-rounded, rounded, sub-angular, angular, dengan partikel berukuran 0.075 mm samapi 2 mm. Menurut Terzaghi (1987), pasir merupakan agregat tak berkohesi yang tersusun dari fragmen dengan bentuk angular dan sub-angular, berasal dari batuan dengan ukuran partikel dibawah 1/8 inchi.

### **2.2.2. Tanah Timbunan**

Dalam suatu perencanaan konstruksi dalam bidang teknik sipil tidak jarang ditemukan kondisi tanah asli yang kurang stabil sehingga daya dukung yang rendah dan tidak memungkinkan untuk menahan suatu sistem pembebanan di atasnya. Hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan timbunan tanah di atas lapisan tanah asli/tanah dasar dengan tanah yang memiliki potensi daya dukung memadai. Jenis tanah inilah yang dinamakan tanah timbunan. Dalam menentukannya, diperlukan suatu

penelitian pada suatu daerah atau lokasi untuk mengetahui sifat – sifat fisik dan mekanis dari suatu jenis tanah timbunan sebagai parameter penentuan daya dukung. Berdasarkan hasil uji tersebut dapat diketahui potensi dan pemanfaatan material tanah timbunan sesuai kebutuhan untuk Konstruksi yang sedang dijalankan, tentunya dengan memperhatikan dampak lingkungan dari penggalian pada lokasi material tanah timbunan tersebut.

## **2.3 Korelasi Parameter**

Dalam memperoleh data Korelasi Parameter dibutuhkan data tanah yang diperoleh dari Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi terdapat data Bor Log dari tanah dasar. Tujuan dilakukannya korelasi parameter ini adalah untuk membandingkan antara data yang diperoleh dari uji lab dengan pendekatan dari data Bor Log sesuai referensi yang sudah ada.

Ada beberapa parameter yang belum ditentukan nilai korelasi sesuai data NSPT maka dari itu dicari nilai korelasi untuk mengetahui nilai yang belum ditentukan sebagai pembanding dengan uji lab tanah proyek yang kemudian menjadi penunjang input data tanah pada pemodelan tersebut.

### **2.3.1 Korelasi N-SPT terhadap nilai konsistensi tanah**

Nilai SPT dapat digunakan untuk menghitung sifat *friction angle* ( $\phi$ ), *relative density* ( $D_r$ ). Di sisi lain, uji SPT yang sebenarnya dikembangkan untuk tanah berbutir kasar telah diaplikasikan untuk pada tanah berbutir halus, untuk memperkirakan *undrained compressive strength* ( $q_u$ ) dan *undrained shear strength* ( $S_u$ ) yang selanjutnya hasil korelasi akan digunakan untuk penunjang input data

tanah pada pemodelan. Perkiraan nilai-nilai tersebut seperti pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1 Korelasi N-SPT terhadap nilai konsistensi tanah**

Uraian	Tanah Tidak Kohesif				
	N	0-10	11-30	31-50	>50
Berat isi, kN/m <sup>3</sup>	12-16	14-18	16-20	18-23	
Sudut geser, $\phi$	25-35	28-36	30-40	>35	
Keadaan	Lepas	Sedang	Padat	Sangat Padat	
<b>Tanah Kohesif</b>					
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Berat isi, kN/m <sup>3</sup>	14-18	16-18	16-18	16-18	>20
qu, kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Konsistensi	Sangat lunak	Lunak	Sedang	Kenyal ( <i>Stiff</i> )	Keras

*Sumber : Bowles & Hainim, 2004*

### 2.3.2 Korelasi N-SPT terhadap nilai $C_u$

Korelasi nilai  $C_u$  dengan N-SPT dan sondir menurut Mochtar, 2006 seperti pada Tabel 2.2. Yang selanjutnya hasil dari korelasi digunakan untuk kebutuhan input data pada pemodelan.

**Tabel 2.2 Konsistensi Tanah untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung**

Konsistensi tanah	Taksiran kekuatan geser undrained, $C_u$		Taksiran harga SPT, harga N
	kPa	ton/m <sup>2</sup>	
Sangat lunak (very soft)	0-12.5	0-1.25	0-2.5
Lunak (soft)	12.5-25	1.25-2.5	2.5-5
Menengah (medium)	25-50	2.5-5.0	5-10
Kaku (stiff)	50-100	5.0-10	10-20
Sangat kaku (very stiff)	100-200	10-20	20-40
Keras (hard)	>200	>20	>40

*Sumber : Braja M. Das, 1988*

### 2.3.3 Korelasi N-SPT terhadap nilai $\phi$

Korelasi nilai  $\phi$  dengan N-SPT dan sondir seperti pada Tabel 2.3 yang selanjutnya hasil dari korelasi digunakan untuk kebutuhan input data pada pemodelan.

**Tabel 2.3 Pedoman Prakiraan Harga  $\phi$  dari harga N-SPT**

Kondisi kepadatan	Kepadatan relatif, $R_d$ (%)	Perkiraan Harga NSPT	Perkiraan harga, $\phi$ (°)	Perkiraan berat volume jenuh, $\gamma_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )
Very loose (sangat renggang)	0 s/d 15	0 s/d 4	0 s/d 28	< 1.60
Loose (renggang)	15 s/d 35	4 s/d 10	28 s/d 30	1.50 – 2.0
Medium (menengah)	35 s/d 65	10 s/d 30	30 s/d 36	1.75 – 2.10
Dense (rapat)	65 s/d 85	30 s/d 50	36 s/d 41	1.75 – 2.25
Very dense (sangat rapat)	85 s/d 100	>50	41*	

Sumber : Braja M. Das, 1988



### 2.3.4 Korelasi terhadap nilai modulus elastisitas tanah

Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Triaxial Test*. Nilai Modulus elastisitas ( $E_s$ ) secara empiris dapat ditentukan dari jenis tanah dan data sondir seperti pada Tabel 2.4. Kemudian hasil korelasi ini digunakan untuk data pendukung input kedalam pemodelan.

**Tabel 2.4 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah**

Jenis Tanah	$E_s$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Lempung	
Sangat lunak	3 – 30
Lunak	20 – 40
Sedang	45 – 90
Keras	70 – 200
Berpasir	300 – 425
Pasir	
Berlanau	50 – 200
Tidak padat	100 – 250
Padat	500 – 1000
Pasir dan Kerikil	
Padat	800 – 2000
Tidak padat	500 – 1400
Lanau	20 – 200
Loses	150 – 600
Cadas	1400 – 14000

*Sumber : Bowles, 1997*

### 2.3.5 Korelasi N-SPT terhadap nilai overconsolidated ratio, OCR

$$OCR = 0.193 \left( \frac{N}{\sigma'_v} \right)^{0.689} \quad (2.1)$$

Dengan :

$\sigma'_v$  = effective vertical stress (MN/m<sup>2</sup>)

Poisson Ratio didefinisikan sebagai perbandingan antara regangan lateral dan longitudinal. Tabel 2.5 dibawah ini merupakan *Poisson's Ratio* untuk beberapa material. Selanjutnya hasil korelasi Poisson Ratio digunakan untuk input data pada pemodelan.

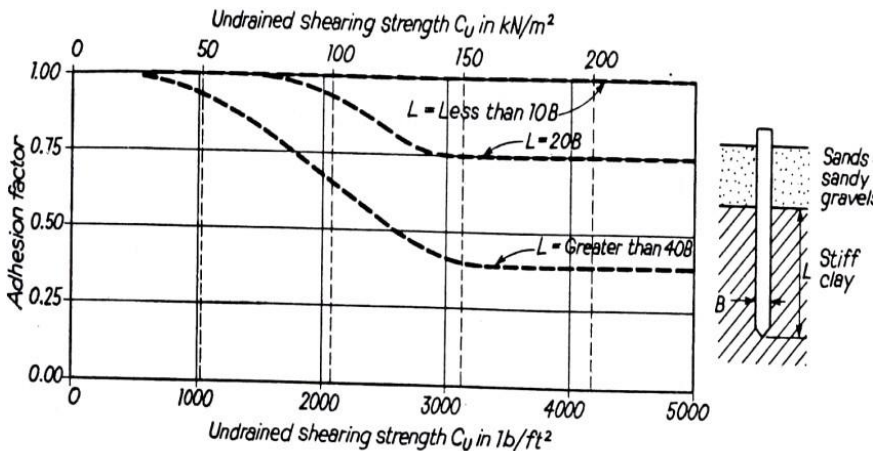
**Tabel 2.5 Tabel Poisson's Ratio**

Material	Poisson's ratio $\nu$
Lempung jenuh	0.4 – 0.5
Lempung tak jenuh	0.1 – 0.3
Lempung berpasir	0.2 – 0.3
Lanau	0.3 – 0.35
Pasir padat	0.1 – 1.00
Pasir berkerikil	0.3 – 0.4
Batuan (Rock)	0.1 0.4 (agak bergantung jenis batuan)
Tanah lus	0.1 – 0.3
Es	0.36
Beton	0.15 – 0.25

Sumber : Bowles, 1988

### 2.3.6 Korelasi N-SPT terhadap nilai Adhesion Factor

Korelasi nilai *Adhesion Factor* seperti pada Gambar 2.2 yang selanjutnya hasil dari korelasi digunakan untuk kebutuhan input data pada pemodelan.



Gambar 2.2 Grafik Nilai Adhesion Factor, su  
Sumber : Tomlison, 1977

### 2.3.7 Korelasi N-SPT terhadap Permeabilitas

Untuk mengetahui kemampuan permeabilitas tanah maka perlu mengetahui terlebih dahulu jenis tanah yang akan digunakan. Untuk nilai koefisien permeabilitas mempunyai harga berbeda sesuai dengan jenis dan kepadatan tanah. Selanjutnya hasil ini akan digunakan untuk input data pemodelan tanah pada Plaxis.

Tabel 2.6 Harga Koefisien Permeabilitas

Jenis Tanah	Koefisien k (cm/dtk)
Kerikil Bersih	1,0 – 100
Pasir Kasar	1,0 – 0,01
Pasir Halus	0,01 – 0,001
Lanau	0,001 – 0,00001
Lempung	< 0,000001

*Sumber : Braja M. Das, 1995, Mekanika Tanah Jilid I*

## 2.4. Faktor Keamanan

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka diperlukan untuk membagi kapasitas ultimit dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud :

- Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.
- Untuk memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser dan kompresibilitas tanah.
- Untuk menyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- Untuk menyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok masih tetap dalam batas-batas toleransi.
- Untuk menyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas toleransi.

Sehubungan dengan alasan butir (d), dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban bekerja

(working load) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Tomlison, 1977).

Besarnya beban bekerja (working load) atau kapasitas tiang ijin ( $Q_a$ ) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit ( $Q_u$ ) dibagi dengan faktor aman (SF) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk pemancangan pondasi tiang pancang, sebagai berikut :

## 2.5. Pembebanan

Beban yang akan diterima tanah adalah beban perkerasan *Runway* itu sendiri. Mulai dari lapisan pondasi sampai lapisan aspal yang kemudian di kalkulasikan dan di masukkan ke dalam perhitungan perangkat lunak. Berikut adalah data ketebalan lapisan-lapisan sesuai RKS Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi :

- Lapisan Pondasi Bawah berupa timbunan (CBR 6%), ketebalan 35 cm
- Lapis Pondasi Agregat (CBR 80%), ketebalan 35 cm
- Cement Treatment Base (CBR 100%), ketebalan 20 cm
- Prime Coat dan Aspal AC-BC, ketebalan 5 cm
- Tack Coat dan pekerjaan Aspal AC-WC, ketebalan 5 cm

Setelah didapatkan lapisan-lapisan perkerasan maka dapat dianalisa beban total dari tabel beban perkerasan berikut :

**Tabel 2.7 Data Asumsi Beban Perkerasan**

Lapis	Tebal	Berat isi
	(m)	( $\text{kN/m}^3$ )
AC-WC	0.05	24.00
AC-BC	0.05	24.00

CTB	0.2	24.00
LPA	0.35	22.00
LPB	0.35	22.00

(Sumber : Data Proyek Perpanjangan Runway Bandara Internasional Banyuwangi)

Selain beban perkerasan ada beban pesawat yang digunakan dalam pembebanan pada *runway* merupakan pesawat paling besar yang bertujuan untuk sebagai acuan data asumsi pembebanan perkerasan *runway*. Pesawat yang digunakan adalah pesawat *Aircraft type B-747-400* untuk mengetahui distribusi tegangan merata.

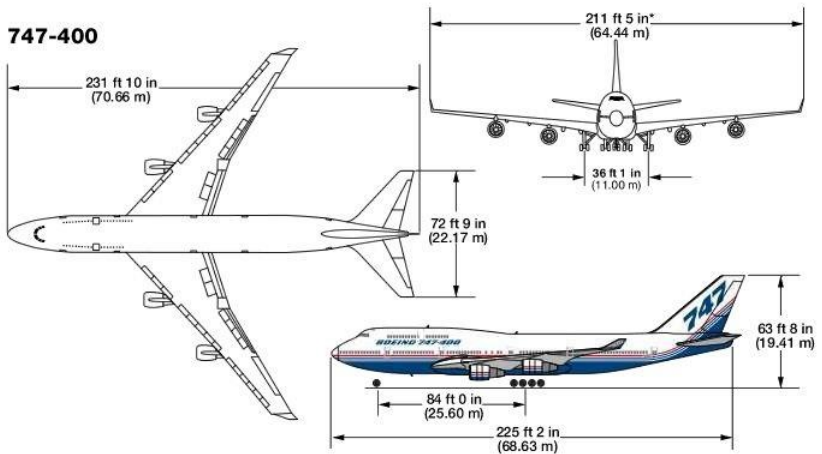
**Tabel 2.8 Daftar Beban Pesawat**

<i>Aircraft</i>	<i>Manufactur</i>	<i>Wingspan</i>	<i>Length</i>	<i>Wheel Base</i>	<i>MSTOW (lb)</i>	<i>MLW (lb)</i>	<i>Runway Length (ft)</i>
<i>B-727-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>108'00"</i>	<i>153'02"</i>	<i>63'03"</i>	<i>184800</i>	<i>150000</i>	<i>8600</i>
<i>B-737-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>93'00"</i>	<i>100'02"</i>	<i>37'04"</i>	<i>100000</i>	<i>95000</i>	<i>5600</i>
<i>B-737-300</i>	<i>Boeing</i>	<i>94'09"</i>	<i>109'07"</i>	<i>40'10"</i>	<i>140000</i>	<i>114000</i>	<i>6300</i>
<i>B-737-400</i>	<i>Boeing</i>	<i>94'09"</i>	<i>109'07"</i>	<i>46'10"</i>	<i>138500</i>	<i>121000</i>	<i>7300</i>
<i>B-737-500</i>	<i>Boeing</i>	<i>94'09"</i>	<i>101'09"</i>	<i>36'04"</i>	<i>115500</i>	<i>110000</i>	<i>5100</i>
<i>B-747-100</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>710000</i>	<i>564000</i>	<i>9500</i>
<i>B-747-200B</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>775000</i>	<i>564000</i>	<i>12200</i>
<i>B-747-300</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>710000</i>	<i>564000</i>	<i>7700</i>
<i>B-747-400</i>	<i>Boeing</i>	<i>213'00"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>877000</i>	<i>574000</i>	<i>5800</i>
<i>B-747SP</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>184'09"</i>	<i>67'04"</i>	<i>630000</i>	<i>450000</i>	<i>6000</i>
<i>B-757-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>124'10"</i>	<i>155'03"</i>	<i>60'00"</i>	<i>220000</i>	<i>198000</i>	<i>8000</i>
<i>B-767-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>156'01"</i>	<i>159'02"</i>	<i>67'04"</i>	<i>315000</i>	<i>272000</i>	<i>8700</i>
<i>B-767-300</i>	<i>Boeing</i>	<i>156'01"</i>	<i>180'03"</i>	<i>74'08"</i>	<i>345000</i>	<i>300000</i>	<i>10000</i>

(sumber : *Planning and Design Airports, Robert Horonjeft, Francis*)



\* *MSTOW = Maximum Structural Take Off Weight, MLW = Maximum Landing Weight*

Untuk konfigurasi roda pesawat diilustrasikan dalam gambar 2.3 dan Tabel 2.9 untuk mengetahui area kontak pesawat dan *runway*. Setiap pesawat memiliki konfigurasi roda yang berbeda, maka dari itu area kontakanya juga berbeda, hal ini berpengaruh pada analisa beban pesawat.

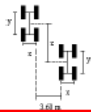


**Gambar 2.3 Konfigurasi Roda Pendaratan untuk Boeing 747-400**

**Tabel 2.9 Konfigurasi Roda Pesawat**

No.	Konfigurasi Roda Pendarat Utama	Distribusi Beban pada masing-masing roda pendarat utama	Tipe Pesawat terbang rencana	Ukuran (m)		
				x	y	z
1.	Single Wheel Gear 	47,5%	DC-9 B-737 B-727	0,64 0,78 0,86		
2.	Dual Wheel Gear 	47,5%	DC-8 DC-10 B-720B B-707-120B B-707-320B A-300B	0,80 1,40 0,80 0,86 0,86 0,89	1,40 1,62 1,24 1,40 1,40 1,40	



3.	Tandem Dual Wheel 	23,75%	B-747-300 B-747-400 B-747-SP Airbus A-380	1,10 1,10 1,10 1,10	1,47 1,47 1,47 1,47	3,00 3,00 3,00 3,00
----	--	--------	--	------------------------------	------------------------------	------------------------------

(Sumber : Buku Merancang, Merencana Lapangan Terbang, Ir.Heru Basuki)

Dari tabel data beban pesawat diatas dapat disimpulkan bahwa beban pesawat Boeing 747-400 dalam kondisi *Take Off (MSTOW)* adalah 877000 lb atau setara 397.8 T dan beban pesawat pada kondisi *Landing (MLW)* adalah 574000 lb atau setara dengan 260.36 T. Dan selanjutnya dihitung luas area kontak roda dengan runway sehingga bisa dianalisa beban pesawat dalam keadaan *Take Off* maupun *Landing*.

## 2.6. Penurunan

### 2.6.1. Penurunan Tanah

Penurunan tanah adalah hal utama yang harus diperhatikan dalam perencanaan runway di atas tanah lunak, dikarenakan hal tersebut berpengaruh terhadap kuatnya suatu konstruksi bangunan yang akan dibangun diatasnya, salah satu yang menjadikan permasalahan dalam melakukan pekerjaan pembangunan di atas tanah lunak yaitu penurunan tanah yang sangat besar. Penurunan yang besar tersebut disebabkan oleh penurunan konsolidasi pada tanah. Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab – sebab lain. (Braja M. Das, 1988)

Beberapa faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan. Secara umum, penurunan (*Settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh

pembebanan dapat dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu :

1. **Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)**, yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air. Perhitungan penurunan segera umumnya didasarkan pada penurunan yang diturunkan dari teori elastisitas.
2. **Penurunan Konsolidasi (*Consolidation Settlement*)**, yang merupakan hasil dari perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori – pori tanah
3. **Penurunan Sekunder (*Creep/Secondary Settlement*)**, yang merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi. Penurunan ini terjadi seiring dengan waktu berlalu dan biasanya terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja, di mana partikel tanah mengalami *creep*. Penurunan ini terjadi saat semua tegangan air pori berlebih di dalam tanah telah terdisipasi dan saat tegangan efektif yang terjadi berada dalam keadaan konstan.

### 2.6.2. Batas Kontrol Penurunan

Kontrol penurunan dianalisa menggunakan pengukuran data yang dikumpulkan dari pembangunan bandara sebelumnya. Batas kontrol penurunan dalam tahap konstruksi ditentukan dari pengurangan residual prediksi penurunan yang sebelumnya sudah dianalisa dan diambil penurunan maksimum yang diijinkan (Kim, Choi, & Ahm, 2014). Dengan akumulasi data analisa sebagai berikut :

**Tabel 2.10 Batas Kontrol Penurunan**

Zona	Maksimum penurunan yang diijinkan	Residual penurunan	Batas Kontrol
Runway	25 mm	5.9 mm	19.1 mm
Taxiway	50 mm	2.7 mm	47.3 mm
Apron	50 mm	7.3 mm	42.7 mm

Menurut Panduan Geoteknik 4 Tentang Desain dan Kontruksi Timbunan Jalan pada Tanah Lunak, syarat penurunan (settlement) yang disyaratkan selama masa kontruksi >90% pada kelas jalan I dapat disyaratkan kecepatan penurunan setelah konsolidasi <20 mm/tahun.

Kemudian dari Rencana Kerja dan Syarat-Syarat (RKS) Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi mensyaratkan penurunan sebesar 100 mm/tahun. Batas ini didapat berdasarkan analisa dari berbagai referensi dan juga dari analisa data pembangunan bandara sebelumnya.

## **2.7. Stabilitas dan Perbaikan Tanah**

### **2.7.1. Stabilitas Tanah**

Stabilisasi timbunan adalah alternatif yang dapat diambil untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada. Pada prinsipnya stabilisasi timbunan ini merupakan suatu penyusunan kembali butir-butir tanah agar lebih rapat dan saling mengunci. Tanah dibuat stabil agar jika ada beban yang lewat, tidak terjadi penurunan (settlement). Stabilisasi tanah adalah usaha untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah. Menurut *Bowles* (1984) apabila (ASIRI NATIONAL PROJECT , 2012) (Rahmat, Utomo, & Abuhuroyroh, 2018) tanah yang terdapat di lapangan

bersifat sangat lepas atau sangat mudah tertekan, atau apabila mempunyai indeks konsistensi yang tidak sesuai, permeabilitasnya terlalu tinggi, atau sifat lain yang tidak diinginkan sehingga tidak sesuai untuk suatu proyek pembangunan, maka tanah tersebut harus distabilisasikan

### **2.7.2. Perkuatan Tanah Timbunan**

Menurut Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Udara SKEP/003/I/2005 Tentang Pedoman Teknis Perancangan Rinci Konstruksi Landas Pacu (*Runway*), Landas Hubung (*Taxiway*), dan Landas Parkir (*Apron*) Pada Bandar Udara Di Indonesia.

- Perbaiki tanah lunak dengan metode stabilisasi

Stabilisasi tanah lunak pada lapisan yang dangkal dapat dilakukan dengan metode pemadatan atau dengan menambahkan bahan stabilisasi.

- a) Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan pemadatan tanah adalah :
  - Menghamparkan bahan secara merata dan tipis.
  - Mengatur kadar air bahan secara tepat.
  - Memilih mesin pemadat yang cocok untuk mendapatkan hasil pemadatan yang baik.
  - Menghindarkan lapangan pekerjaan dari penggenangan atau infiltrasi air hujan.
- b) Bahan stabilisasi yang biasa digunakan untuk perbaikan tanah adalah semen, aspal dan kapus/lime

- c) Penentuan bahan stabilisasi untuk beberapa jenis tanah dapat mengacu pada ketentuan perbaikan tanah *Expansive*.
- Perbaikan tanah lunak dan kohesif dengan metode tiang

Untuk tanah lunak dan kohesif dengan ketebalan tidak melebihi 12 m dapat diperbaiki dengan metode tiang pasir padat, tiang kapur atau tiang bambu dan kayu (cerucuk).

- a) Pemasangan struktur tiang ke dalam tanah lunak dan kohesif akan meningkatkan daya dukung tanah.
  - b) Kadar air tanah kohesif mengalami penurunan karena diserap oleh tiang kapur.
- Perbaikan tanah dengan metode perpindahan tanah yang baik

Lapisan tanah yang lunak digantikan dengan bahan tanah yang baik untuk memperbaiki daya dukung tanah dan mengurangi besarnya penurunan akibat konsolidasi.

- Perbaikan tanah dengan metode pembebanan

Metode ini diterapkan untuk mengusahakan konsolidasi lapisan yang lunak dan memperbesar gaya geser tanah. Untuk mendapatkan kedua hal tersebut, pra pembebanan secara statik atau dinamik harus ditempatkan sebelum konstruksi utama dilaksanakan.

- Perbaikan tanah dengan metode drainase vertikal

Kadar air tanah dikurangi dengan sistem drainase melalui kolom vertikal, sehingga tanah dengan cepat pada terkonsolidasi.

- Perbaiki tanah permukaan

Tanah permukaan dapat diperbaiki dengan metode drainase permukaan, metode alas pasir dan metode bahan lembaran tipis.

## 2.8. CMC (*Controlled Modulus Columns*)

*Controlled Modulus Columns (CMC)* merupakan *semi-rigid inclusions* yang terdiri dari *grout* dan atau beton dipasang secara vertikal di tanah untuk membentuk massa inklusi semi kaku kolom itu sendiri. Massa komposit antara CMC dan tanah memiliki kekakuan dan kekuatan yang lebih besar dari pada tanah eksisting yang tidak diberi perkuatan jika dibandingkan dalam segi deformabilitas secara global. Metode ini berbeda dengan tiang pancang yang lain karena pada CMC ada pembagian beban antara CMC dan tanah sekitarnya. Dalam mentransfer beban secara langsung, CMC menggunakan sirtu dengan gradasi sesuai rencana yang dipadatkan yang berfungsi sebagai *Load Transfer Platform (LTP)*. CMC dapat digunakan pada jenis tanah sebagai berikut :

## APPLICABILITY OF CMCS

### Treatable Soil Types

- soft clays & silts
- controlled & uncontrolled fill material (including landfills)
- contaminated sites & Brownfields
- peat & other organics
- loose sand & gravel

### Suitable Construction

- industrial, residential, commercial and retail buildings
- bulk storage tanks
- **embankments & MSE Walls**
- utilities and pipelines
- large storage slabs
- roadways, culverts and bridge abutments
- wind turbines

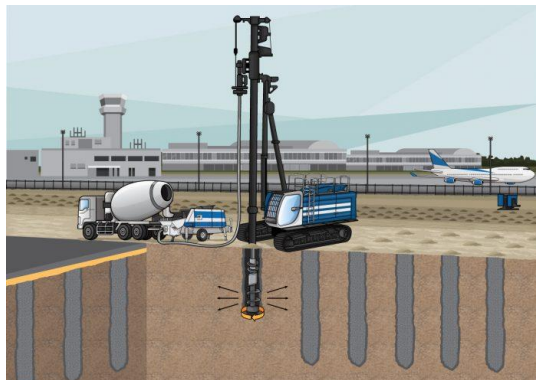


STGEC – Baton Rouge 2013

A SUBSIDIARY OF VOLTAIRCHE FREEMET

**Gambar 2.4 Jenis tanah yang bisa diplikasikan CMC**  
(sumber : Menard, 2013)

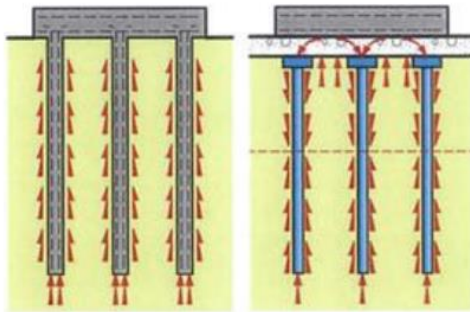
Adapun dimensi CMC yang digunakan berkisar diameter 300 mm – 500 cm dengan jarak antar tiang berkisar 1 m hingga 2 m. Untuk kedalaman tiang sendiri kisaran 10 m – 30 m. (Plomteux & Lazacedieu, 2007).



**Gambar 2.5 Pelaksanaan CMC pada Bandara**

(sumber : PT. Rekakarya)

Dalam mentransfer beban secara langsung, CMC menggunakan sirtu dengan gradasi sesuai rencana yang dipadatkan dengan ketebalan antara 0.4 m sampai 1.0 m yang berfungsi sebagai Load Transfer Platform (LTP). Pada gambar 2.4 mengilustrasikan mekanisme transfer beban tanah menggunakan CMC sebagai inklusi semi kaku dibandingkan dengan sistem tiang pancang.



**Gambar 2.6 Perbandingan Mekanisme Transfer Beban antara Pile (kiri) dan CMC (kanan)**

(sumber : Asiri National Project, 2012)

Dalam penerapannya, CMC memiliki teknologi sebagai pembanding diantara metode perkuatan yang lain sebagai berikut :

- Instalasi dilakukan menggunakan auger. Dengan cara ini, instalasi mengeluarkan polusi suara jauh lebih kecil dibandingkan dengan instalasi pile dan juga bebas getaran.
- Modulus elastisitas elemen CMC biasanya 50-3.000 kali lipat lebih baik dari tanah eksisting.



- Platform transfer beban dari granular *fill* (LTP) umumnya ditempatkan di atas tanah yang diperkuat CMC.

### 2.8.1. Metode Pelaksanaan

Pada Pelaksanaan metode *Controlled Modulus Columns* (CMC) sekilas seperti pelaksanaan bore pile akan tetapi ada alat khusus yang menjadi pembeda antara bore pile dengan CMC.

Instalasi pada CMC menggunakan auger yang dirancang khusus. Berbeda dengan auger konvensional yang menggali material tanah eksisting dan menghasilkan tanah buangan dari tanah eksisting yang diambil saat pengeboran. Auger khusus ini menggeser dan menekan tanah secara lateral juga mengeraskan tanah disekitarnya, meningkatkan daya dukung tanah secara *massive* dan meminimalisir buangan tanah pada saat instalasi.

*Auger* pada pengeboran tanah eksisting memiliki dua arah mata bor yaitu arah bawah dan atas. Hal ini bertujuan untuk menekan tanah di sekitar *auger* ke samping dan mencegah tanah disampingnya runtuh ataupun terangkat keatas.

Pada saat pengeboran ke bawah seperti layaknya pengeboran seperti biasa, akan tetapi pada pengangkatan ujung, *auger* memompa beton cair dan mengisi lubang bekas auger secara langsung. Saat *auger* mencapai kedalaman sesuai perencanaan, *grout* beton dipompa melalui pipa dari *auger* ke dalam lubang tanah, sementara itu *auger* ditarik dengan kalibrasi yang telah ditentukan sebelumnya untuk menghindari *necking*.

Sambil *auger* diangkat keatas dengan mata bor yang sisi atas mencegah runtuhnya tanah disekitar dan

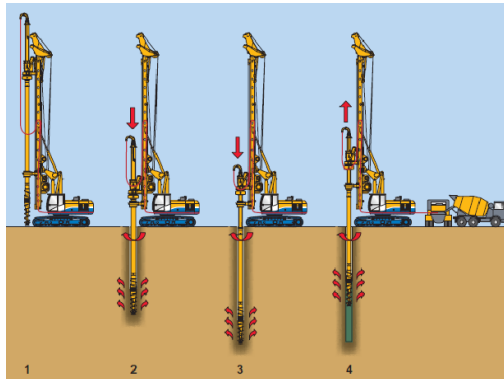
ujung *auger* menyemprotkan beton dan mengisi lubang. Beton yang digunakan pun memiliki kuat tekan tinggi, kedap air, tidak keropos/porous dan memungkinkan pengecoran dapat dilakukan dengan merata dan terjaga homogenitas campuran beton yang biasa disebut dengan *self compacting concrete (SCC)*. *Quality control* CMC dilakukan dengan memperhatikan parameter instalasi sebagai berikut :

- Kecepatan rotasi
- Tingkat penetrasi
- Torsi
- Kedalaman CMC
- Waktu pemasangan
- Tekanan *grout* beton
- Volume campuran semen dengan fungsi kedalaman

Beton memadat mandiri atau SCC, adalah campuran beton yang mampu memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat atau mesin penggetar (*vibrator*). Campuran SCC segar ini lebih cair daripada campuran beton konvensional. Campuran ini dapat mengalir dan memadat ke setiap sudut struktur bangunan yang sulit dijangkau oleh pekerja dan mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami *bleeding*. Selain itu campuran ini mampu mengalir melalui celah-celah antar besi tulangan tanpa terjadi segregasi atau pemisahan materialnya. (As'ad, 2012)

Walaupun sifatnya lebih cair dari pada beton konvensional, porositas SCC cenderung lebih kecil daripada beton konvensional pada umumnya karena SCC menggunakan bahan tambah (*admixture*) berupa *superplasticizer*. Fungsi bahan tambah ini adalah

menambah tingkat workability campuran beton tanpa harus menambah nilai faktor air semen (fas) campuran beton. Nilai fas ini mempengaruhi porositas beton, semakin kecil nilai fas maka tingkat porositas beton akan cenderung semakin kecil. Tingkat porositas beton inilah yang mempengaruhi nilai kuat tekan dan permeabilitas beton. (As'ad, 2012)

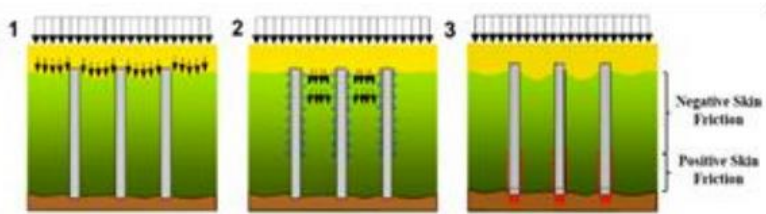


**Gambar 2.7 Metode Pelaksanaan Controlled Modulus Columns (CMC)**

(sumber : PT. Rekakarya)

### 2.8.2. Keseimbangan Gaya pada CMC

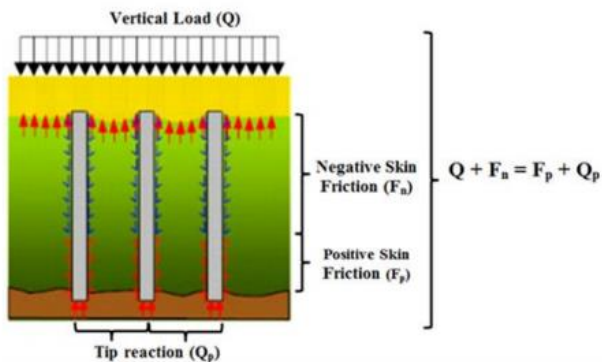
CMC memiliki mekanisme transfer beban yang berbeda dibandingkan dengan tiang pancang pada umumnya. Metode ini tidak mentransfer beban langsung ke struktur tetapi menggunakan beberapa material granular yang dipadatkan sebagai platform transfer beban. Penentuan dimensi, jarak, dan bahan CMC berdasarkan pengembangan kombinasi dari elemen-elemen yang optimal. Untuk detail penjelasan tentang mekanisme transfer beban CMC karena beban struktural bisa dikonsepsikan seperti di bawah ini (Combarieu, 1988):



**Gambar 2.8 Mekanisme Transfer Beban**  
(sumber : SEAGC, 2018)

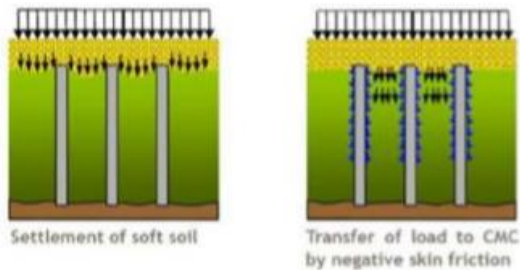
Konsep desain CMC harus memenuhi prinsip suatu keadaan keseimbangan dengan distribusi beban sepanjang inklusi CMC dengan komponen utama dari gaya yang bekerja :

1. Beban vertikal ( $Q$ ) di bagian atas CMC.
2. Gesekan lapisan negatif ( $F_n$ ) yang bekerja pada zona atas CMC.
3. Gesekan lapisan positif ( $F_p$ ) yang bekerja pada zona bawah CMC.
4. Reaksi vertikal di ujung CMC ( $Q_p$ ).



**Gambar 2.9 Keseimbangan Gaya CMC**  
(sumber : SEAGC, 2018)

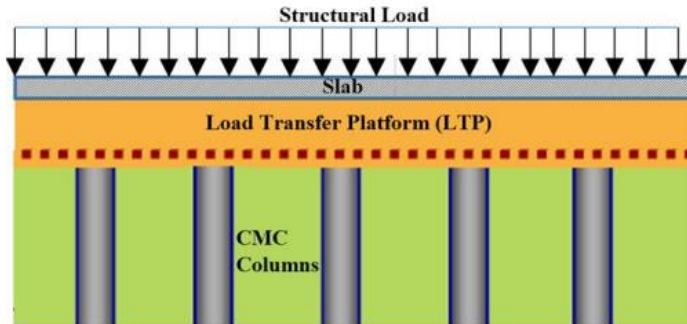
Negative skin friction terjadi akibat beban yang tersalurkan pada tanah disekitar tiang dibawah LTP. Pada lapisan bawah LTP akan mengalami perbedaan penurunan dan terbentuk *arching* yang berfungsi sebagai penyalur beban menuju kepala CMC. Tekanan *arching* yang dihasilkan dari dasar LTP pada sela CMC inilah yang membuat beban pada tanah sehingga terjadi negative skin friction pada selimut CMC. Besar dan kedalaman negative skin friction yang bekerja dipengaruhi oleh seberapa besar beban yang diterima dan kemudian disalurkan oleh LTP. Adapun faktor lain yang mempengaruhi seperti dimensi tiang, ketebalan CMC, jarak antar CMC dan jenis tanah eksisting.



**Gambar 2.10** *Negative skin friction*  
(Larisch, 2014)

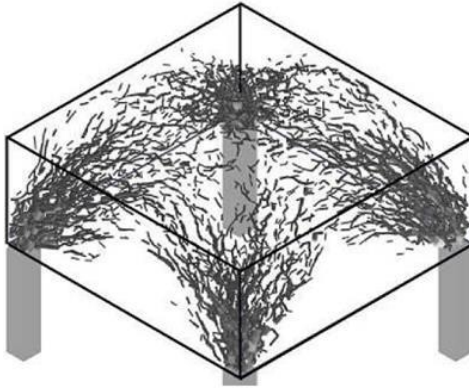
### 2.8.3. Load Transfer Platform (LTP)

Load Transfer Platform (LTP) adalah butiran granular dengan gradasi yang disyaratakan kemudian dipadatkan dengan baik dan ditempatkan di atas kolom CMC untuk mendistribusikan beban dari beban struktural ke kolom CMC. Tujuan lain adalah untuk menyediakan platform selayaknya lantai kerja yang stabil untuk pergerakan *rig* selama instalasi CMC. Gambar 2.8 mengilustrasikan tipikal penampang dari sistem CMC.



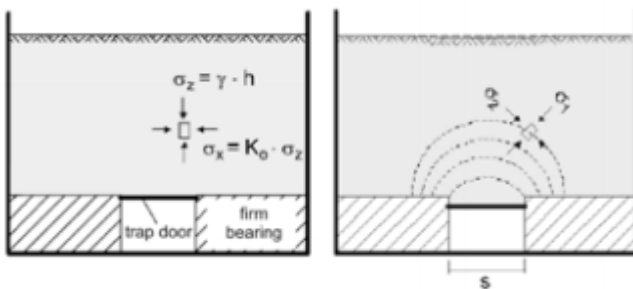
**Gambar 2.11** Tipikal Penampang dari sistem CMC  
*(sumber : SEAGC, 2018)*

Ketebalan LTP harus direncanakan untuk mentransfer beban dengan efisien. Efisiensi transfer beban akan meningkat dengan *massive* jika ketebalan dari LTP sampai pada ketebalan yang optimal. Jika ketebalan optimal terlampaui, maka LTP yang melebihi batas optimal akan menjadi beban tambahan pada struktur kolom CMC. Efisiensi juga dipengaruhi oleh jarak antara CMC dan kekuatan geser karakteristik bahan LTP (modulus elastis dan sudut geser). Ketebalan LTP umumnya berkisar antara 0,3 m hingga 1,0 m. Gambar 7 menggambarkan mekanisme distribusi beban dalam LTP.



**Gambar 2.12 Mekanisme Distribusi Beban dengan LTP**  
*(sumber : Asiri National Project, 2012)*

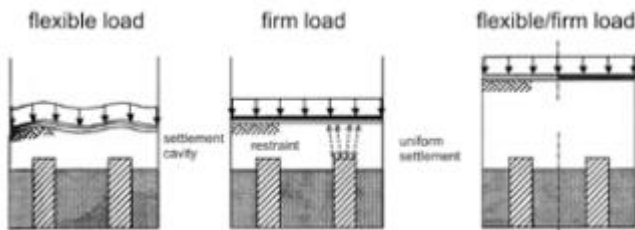
Untuk mengevaluasi efek arching dilakukan tes batas lapisan tanah misalnya oleh Terzaghi (1943) (gambar 3). Tes ini menunjukkan bahwa efek arching pada LTP tergantung pada ketebalan lapisan dan kerapatan tanah.



**Gambar 2.13 efek lengkung tanah dalam uji pintu perangkap, Terzaghi (1943)**  
*(sumber : Tietjen, K., & Kirstein, J. F. 2009)*

Dengan penurunan ketebalan lapisan di atas tiang CMC dan penurunan kepadatan tanah antara vertikal

elemen. Dalam hal ini metode konstruksi tambahan diperlukan untuk memobilisasi perpindahan beban dari tanah lunak ke elemen vertikal (gambar 4).



**Gambar 2.14 Konstruksi platform pemindahan beban tergantung pada ketebalan lapisan dan aplikasi beban**  
(sumber : Tietjen, K., & Kirstein, J. F. 2009)

#### 2.8.4. CMC dengan Perkuatan

Dalam kasus di mana gaya cukup besar dibandingkan dengan kemampuan perkuatan kolom CMC untuk gaya lateral, tulangan perlu ditambahkan ke kolom CMC. Gaya lateral biasanya ditemukan di CMC dekat dengan ujung lereng tanggul.

Analisis perhitungan kemampuan resistensi Kolom CMC pada beban lateral dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut mengacu pada BS EN 1992-1-1:2004 12:

1. Hitung beban desain aksial dan momen desain yang bekerja dengannya persamaan berikut :

$$N_{ed} = N_{plaxis} \times spasi \times \gamma_G$$

$$M_{ed} = M_{plaxis} \times spasi \times \gamma_G$$

Dimana :

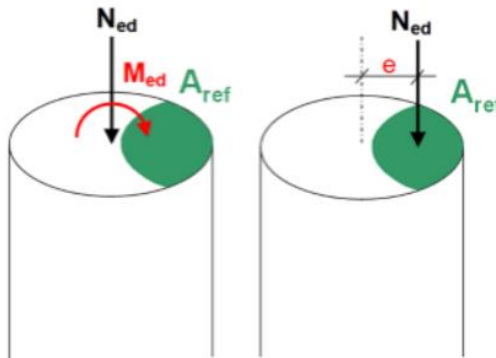
$N_{ed}, M_{ed}$

: aksial dan momen yang bekerja pada CMC



$N_{plaxis}$ ,  $M_{plaxis}$   
 : aksial dan momen diperoleh dari Plaxis  
 Spasi : jarak antar CMC  
 $\gamma_G$  : faktort keamanan; 1.2 – 1.4

2. Hitung resistansi CMC ( $N_{rd}$ ):
  - a. Eksentrisitas ( $e$ ) dengan persamaan berikut  $e = \frac{N_{ed}}{M_{ed}}$ , diilustrasikan sebagai berikut:



**Gambar 2.15 Ilustrasi Jarak Eksentrisitas Beban**  
 (sumber : SEAGC, 2018)

- b. Hitung area resistansi ( $A_{ref}$ ) dengan persamaan berikut:

$$A_{ref} = R^2 \cdot (2\theta - \sin 2\theta)$$

$$\theta = \arccos. (e/R)$$

Dimana :

$e$  : eksentrisitas beban (m)  
 $R$  : radius kolom CMC (m)

- c. Hitung area resistansi ( $A_{ref}$ ) dengan persamaan berikut:

$$N_{rd} = A_{ref} \times f_{cd}$$

Dimana :

$A_{ref}$  : area resistansi ( $m^2$ )

$f_{cd}$  : kekuatan beton (MPA)

3. Cek resistansi CMC ( $N_{rd}$ ) :
- Jika  $N_{rd} > N_{ed}$  , perkuatan tidak diperlukan
  - Jika  $N_{rd} < N_{ed}$  , perkuatan diperlukan
4. Jika diperlukan penguatan, maka penguatan CMC perlu dirancang menggunakan  $M_{ed}$

### 2.8.5. Kelebihan dan Kekurangan Metode *Controlled Modulus Columns* (CMC)

- Kelebihan
  - Menghasilkan daya dukung yang optimum, karena pada tiang kolom terdorong oleh *auger* akan kembali menjepit tiang dan memberikan daya dukung tambahan (friksi tanah terhadap tiang akan semakin besar).
  - Output pekerjaan/ produktifitas kerjanya lebih baik
  - Tidak menimbulkan getaran disekeliling sehingga aman buat bangunan di dekatnya
  - Tidak menghasilkan suara bising seperti pada hammer

- **Kekurangan**

Tidak maksimal pengerjaannya jika terjadi hujan karena terdapat pekerjaan pengecoran

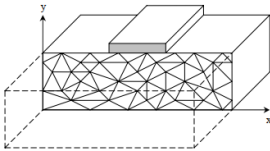
- Spesifikasi alat berat khusus yang masih kurang di Indonesia
- Biaya yang cukup mahal

## **2.9. Permodelan pada Plaxis 2D**

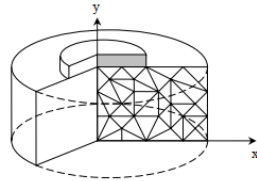
Permodelan merupakan tahap dimana sebuah keadaan eksisting dilapangan di representasikan ke dalam sebuah perangkat lunak yang sudah di program untuk menghitung suatu keadaan yang diinginkan oleh penggunanya. Dalam tahap ini pun ada beberapa data lapangan yang perlu di *input* ke dalam perangkat lunak supaya perhitungan dapat dijalankan. Pada perangkat lunak ini juga dapat melakukan simulasi pekerjaan di lapangan dengan melakukan pendekatan perhitungan yang terprogram. Dalam geoteknik ada beberapa perangkat lunak yang bisa dipakai sebagai alat bantu untuk mempermudah perhitungan dan simulasi seperti Plaxis 2D.

Program yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah program PLAXIS 2D. Program PLAXIS adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa hingga mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisa memungkinkan untuk diinput dan diteliti. Program ini menyediakan berbagai analisa seperti penurunan, tegangan – tegangan yang terjadi pada tanah, angka keamanan, pola keruntuhan, dan lain lain. Parameter-parameter tanah yang digunakan dalam aplikasi program ini adalah *type*

*behaviour*, berat isi kering / *dry soil weight* ( $\gamma$  dry), berat isi basah / *wet soil weight* ( $\gamma$  wet), *horizontal permeability* ( $k_x$ ), *vertical permeability* ( $k_y$ ), *young's modulus* ( $E_{ref}$ ), *poisson's ratio* ( $\nu$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser / *friction angle* ( $\phi$ ), sudut dilatasi / *dilatancy angle* ( $\psi$ ), *interface reduction factor* ( $R_{inter}$ ).



**Gambar 2.16 Model Regangan Datar**

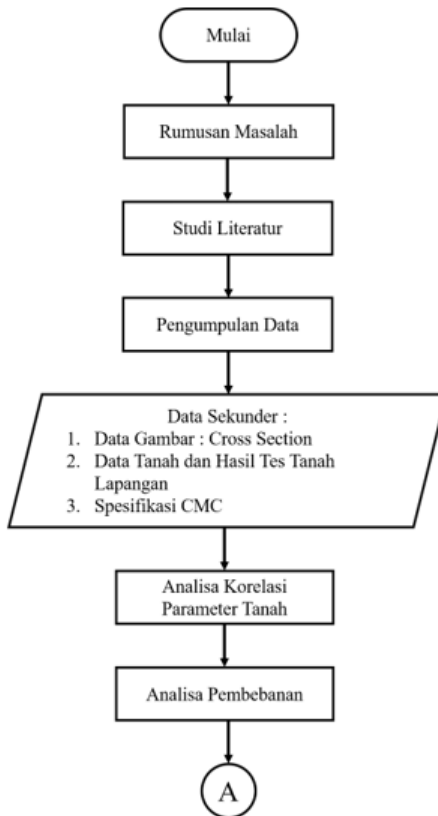


**Gambar 2.17 Model Regangan Axi-simetri**

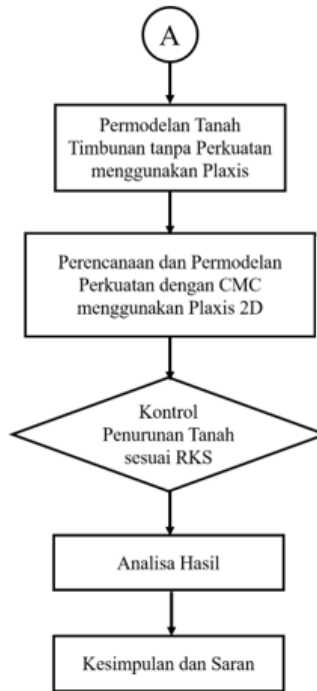
*Sumber : Manual Plaxis 2D*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Bagan Alir Metode



Gambar 2.18 Grafik Metodologi I



**Gambar 2.19 Grafik Metodologi II**

### **3.2. Studi Literatur**

Studi Literatur yang dimaksud adalah mengumpulkan bahan – bahan yang menjadi acuan untuk perkuatan tersebut. Bahan studi yang akan digunakan adalah :

1. Teori Perencanaan *Runway* Bandara
2. Teori Perencanaan CMC
3. Referensi Permodelan pada Plaxis

### **3.3. Pengumpulan Data dan Analisa Data Tanah**

Data – data yang digunakan dalam perencanaan ini adalah data sekunder yang diperoleh dari instansi terkait. Beberapa data yang dibutuhkan dalam proses perencanaan dan perhitungan adalah sebagai berikut :

1. Data Gambar : Cross Section
2. Data Tanah Borlog dan Data Hasil Tes Tanah Lapangan
3. Spesifikasi CMC

Untuk Analisa data tanah menggunakan analisis dan parameter tanah yang berasal dari penyelidikan tanah dilaboratorium, dengan hasil analisis tersebut maka diperoleh data uji tanah yang digunakan untuk perhitungan pada tugas akhir.

### **3.4. Analisa Korelasi Parameter Tanah**

Data tanah yang diperoleh dari Proyek Perpanjangan *Runway* Bandar Udara Internasional Banyuwangi terdapat data Bor Log dari tanah dasar dan hasil tes tanah dasar di lapangan. Ada beberapa parameter yang belum ditentukan nilai korelasi sesuai data N-SPT maka dari itu dicari nilai korelasi untuk mengetahui nilai yang belum ditentukan dan selanjutnya di analisa dengan

data tanah yang sudah ada sebagai penunjang input data tanah pada pemodelan tersebut.

### **3.5. Analisa Pembebanan**

Beban yang bekerja untuk perkuatan tanah yaitu beban perkerasan dan beban pesawat. Kemudian dilakukan perhitungan mengenai distribusi beban merata yang bekerja mulai dari beban perkerasan dari ketebalan dan berat isi lapisan-lapisan perkerasan. Kemudian beban pesawat rencana yaitu pesawat *Aircraft type B-747-400* dengan spesifikasi beban sesuai *Standart Aircraft* dihitung sehingga mendapatkan distribusi beban merata yang bekerja pada perkuatan dibawahnya.

### **3.6. Permodelan Tanah Timbunan tanpa Perkuatan menggunakan Plaxis**

Setelah melakukan korelasi parameter dan menghasilkan nilai parameter yang dibutuhkan serta mengetahui beban yang bekerja diatas perkuatan tanah. Selanjutnya dilakukan permodelan tanah timbunan tanpa perkuatan untuk mengetahui penurunan tanah yang terjadi dengan beban sesuai dengan pembebanan pesawat rencana, sehingga nantinya dapat dibandingkan dengan adanya perkuatan dengan CMC. Permodelan dilakukan pada software Plaxis 2D.

### **3.7. Perencanaan dan Permodelan Perkuatan dengan CMC menggunakan Plaxis 2D**

Perencanaan metode perkuatan CMC (*Controlled Moudulus Column*) digunakan sebagai metode yang dijadikan solusi dalam perkuatan tanah pada *Runway*. Prinsip dari teknik CMC tersebut adalah untuk menciptakan massa komposit yang terdiri dari tanah asli dan kolom grout (semi-rigid) berupa tiang dalam tanah. Perencanaan CMC sendiri meliputi dimensi dari kolom



grout yang terbuat dari beton khusus dan jarak antar tiang. Selanjutnya hasil perencanaan akan di modelkan ke Plaxis 2D dengan data-data yang sudah tersedia lainnya.

Permodelan perkuatan CMC bertujuan untuk mensimulasikan kondisi eksisting lapangan dengan model pada software sehingga bisa dilakukan perhitungan. Pada permodelan ini akan dilakukan *input* data yang sudah dianalisa sehingga hasil akhirnya akan didapat penurunan tanah dengan perkuatan CMC.

### **3.8. Kontrol Penurunan Tanah sesuai RKS**

Hasil dari permodelan akan didapat penurunan tanah akibat beban yang bekerja. Kemudian akan dibandingkan kesesuaian dengan Rencana Kerja dan Syarat-Syarat. Penurunan yang disyaratkan pada Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi adalah 10mm/tahun.

Syarat ini juga mengaju pada SKEP/78/VI/2005 tentang Petunjuk Pelaksanaan Pemeliharaan Konstruksi Landas Pacu (*Runway*), Landas Hubung (*Taxiway*), Dan Landas Parkir (*Apron*) Serta Fasilitas Penunjang Di Bandar Udara yaitu penurunan tidak boleh lebih dari 1cm.

### **3.9. Analisa Hasil**

Dari kedua program bantu dari Plaxis 2D didapatkan hasil perhitungan yaitu penurunan tanah akibat beban yang bekerja. Dengan membandingkan penurunan hasil perhitungan program bantu dengan syarat penurunan RKS maka dapat dianalisa kesesuaian perkuatan tanah menggunakan CMC pada Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi.

### **3.10. Kesimpulan dan Saran**

Dengan perencanaan dan permodelan yang telah dilakukan, maka akan dilakukan kontrol penurunan tanah tersebut berupa suatu hasil analisa dan pembahasan. Setelah itu akan ditarik kesimpulan yang bisa menjadi rekomendasi dalam metode perkuata.

## **BAB IV DATA DAN ANALISA TANAH**

### **4.1. Data Tanah**

Data tanah yang digunakan dalam Tugas Akhir Terapan ini didapatkan dari Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi. Data tanah yang diambil berjumlah dua titik data pengeboran, diantaranya berada di STA 0+100 – STA 0+150 dan STA 0+250 – STA 0+300.

### **4.2. Analisa Parameter Tanah**

#### **4.2.1. Parameter Tanah Titik Bor Log**

Analisa parameter tanah dilakukan dengan mendapatkan data Bor Log pada kedua titik yang sudah ditentukan. Pada titik DB-03 terdapat data tes Bor Log akan tetapi ada beberapa data yang belum diketahui untuk selanjutnya sebagai *input* data pada Plaxis, oleh sebab itu dilakukan analisa parameter korelasi nilai SPT. Titik DB-03 dengan kedalaman 20m yang terdiri dari 3 lapisan tanah dengan nilai SPT rata-rata yang berbeda. Pada kedalaman 0m – 6m merupakan jenis tanah lanau berpasir dengan nilai SPT rata-rata 1,33. Kemudian rata-rata nilai SPT tersebut dikorelasikan dengan tabel korelasi parameter tanah sesuai dengan nilai yang akan dicari atau diketahui pada sub-bab 2.3.

Pada tahap korelasi parameter yang menjadi acuan adalah data N-SPT dari data tanah yang sudah dilakukan oleh pihak kontraktor, dalam perhitungan Tugas Akhir ini data tanah yang dipakai adalah titik DB-03. Pada data tanah DB-03 terdapat 3 jenis lapisan tanah yang pertama sandy silt, sand fine gravel 1 dan sand fine gravel 2. Pada pemodelan Plaxis lapisan tanah dimodelkan juga sesuai

dengan lapisan tanah yang sudah disajikan pada data tanah. Pada setiap lapisan tanah diwakili dengan 1 data N-SPT yang didapatkan dari rata-rata data N-SPT yang terdapat di dalam satu lapisan tanah. Prinsip ini digunakan sebagai pendekatan bahwa satu lapisan tanah memiliki sifat yang hampir sama sehingga digunakan rata-rata N-SPT pada satu lapisan tanah.

Kemudian dalam mencari nilai  $\gamma_{sat}$  dan  $\gamma_{unsat}$  dapat menggunakan tabel 2.1. Untuk mencari nilai E (modulus elastisitas tanah) melalui tabel 2.4 sesuai dengan jenis tanah yang diketahui. Selanjutnya nilai  $v'$  didapatkan dari korelasi tabel 2.5 dan untuk nilai c didapat dari korelasi tabel 2.2. Terakhir untuk mendapatkan nilai  $\phi$  (sudut geser) dari korelasi tabel 2.3.

Dalam *input* korelasi parameter tanah pada program *Plaxis 2D*, ditinjau dahulu jenis tanah yang akan dimasukkan. Untuk jenis tanah kohesif digunakan tipe material *drained* dan model material *Mohr-Coulomb*. Selanjutnya dalam tahap penentuan parameter tanah berikutnya dilakukan sesuai dengan tahap yang telah dijelaskan.

Analisa korelasi parameter tanah dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah yang belum diketahui untuk selanjutnya digunakan untuk perencanaan. Dari hasil analisa korelasi parameter tanah DB-03 disajikan pada tabel 4.1 dan DB-05 disajikan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Parameter Tanah BH-03**

Parameter	Satuan	Layer 1	Layer 2	Layer 3
<b>Umum</b>				
Kedalaman	m	0-(-6)	(-6)-(-10)	(-10)-(-20)
Tebal	m	6	4	10
USCS Classification	-	ML	SW	SW
Jenis Tanah	-	Sandy Silt	Sand fine gravel (1)	Sand fine gravel (2)
Drainage Type	-	Undrained B	Drained	Drained
N-SPT	-	1.33	23.50	31.40
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	11.84	16	18
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	17.4	18	20
<b>Parameter</b>				
Modulus Young (E')	(kN/m <sup>2</sup> )	10000	160000	200000
Kohesi ( $c'$ <i>ref</i> )	(kN/m <sup>2</sup> )	-	0	0
Kuat Geser Undrained ( $su'$ <i>ref</i> )	(kN/m <sup>2</sup> )	282	-	-
Sudut Geser Tanah ( $\phi'$ )	°	13.49	38.00	40

Sudut Dilatasi (y)	°	0	0	0
Angka poisson's (v)	-	0.25	0.3	0.3
<b>Groundwater</b>				
Data set	-	Standart	Standart	Standart
Tipe	-	Medium	Coarse	Coarse
< 2mm	%	19	10	10
2 mm - 50 mm	%	41	13	13
50 mm - 2 mm	%	40	77	77
Use defaults	-	From data set	From data set	From data set

#### 4.2.2. Parameter Timbunan Tanah Pasir

Analisa parameter tanah pasir dilakukan untuk mendapatkan hasil analisa yang akan digunakan sebagai timbunan LTP sebelum pengerjaan perkerasan.

- Sifat fisik tanah pasir timbunan

**Tabel 4.2 Sifat fisik tanah pasir timbunan**

Parameter	Satuan	Timbunan Pasir
<b>Umum</b>		
Material Model	-	Mohr-Coulomb
Drainage Type	-	Drained
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	16
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	18
<b>Parameter</b>		
Modulus Young (E')	(kN/m <sup>2</sup> )	175000
Kohesi ( <i>c'</i> <sub>ref</sub> )	(kN/m <sup>2</sup> )	5
Sudut Geser Tanah ( $\phi'$ )	°	35
Sudut Dilatasi ( $\psi$ )	°	0
Angka poisson's ( $\nu$ )	-	0.3
<b>Groundwater</b>		
Data set	-	Standart
Type	-	Coarse
< 2mm	%	10
2 mm - 50 mm	%	13
50 mm - 2 mm	%	77
Use defaults	-	From data set

- **Geometri Timbunan**

Tinggi tanah timbunan direncanakan 1 m dengan panjang area timbunan 50 m setelah proses instalasi CMC dilakukan.

#### 4.2.3. Parameter Perkerasan

Analisa parameter perkerasan dilakukan untuk mendapatkan hasil analisa yang akan digunakan sebagai pekerjaan perkerasan pada *runway*.

- **Sifat fisik perkerasan**

**Tabel 4.3 Sifat fisik perkerasan**

Parameter	Satuan	Timbunan Pasir
<b>Umum</b>		
Material Model	-	Linear elastic
Drainage Type	-	Non-porous
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	23
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	23
<b>Parameter</b>		
Modulus Young (E')	(kN/m <sup>2</sup> )	3x10 <sup>7</sup>
Kohesi ( <i>c'</i> <sub>ref</sub> )	(kN/m <sup>2</sup> )	-
Sudut Geser Tanah ( $\phi'$ )	°	-
Sudut Dilatasi ( $\psi$ )	°	0
Angka poisson's ( $\nu$ )	-	0.15
<b>Groundwater</b>		
Data set	-	-
Tipe	-	-
< 2mm	%	-
2 mm - 50 mm	%	-



50 mm - 2 mm	%	-
Use defaults	-	-

- **Geometri Timbunan**

Tebal perkerasan *runway* direncanakan 1 m dengan panjang area 50 m setelah pekerjaan timbunan LTP.

#### 4.3. Data Beban

*Runway* akan dibebani dengan beban pesawat dan beban perkerasan. Untuk beban total sebesar 11.18 t/m<sup>2</sup> yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4 Data Beban**

Lapis	Tebal	Berat isi	Tegangan	Tegangan
	(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(ton/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
AC-WC	0.050	24.00	0.12	1.2
AC-BC	0.050	24.00	0.12	1.2
CTB	0.200	24.00	0.48	4.8
LPA	0.350	22.00	0.77	7.7
LPB	0.350	22.00	0.77	7.7
Beban mati			2.26	22.6
Beban pesawat			8.918	89.18
<b>Total</b>			<b>11.178</b>	111.783

(Sumber : Data Proyek Perpanjangan Runway Bandara Internasional Banyuwangi)

#### 4.3.1. Konsep Beban Pesawat

Beban pesawat yang digunakan dalam pembebanan pada *runway* merupakan pesawat paling besar yang bertujuan untuk sebagai acuan data asumsi pembebanan perkerasan *runway*. Pesawat yang digunakan

adalah pesawat *Aircraft type* **B-747-400** untuk mengetahui distribusi tegangan merata.

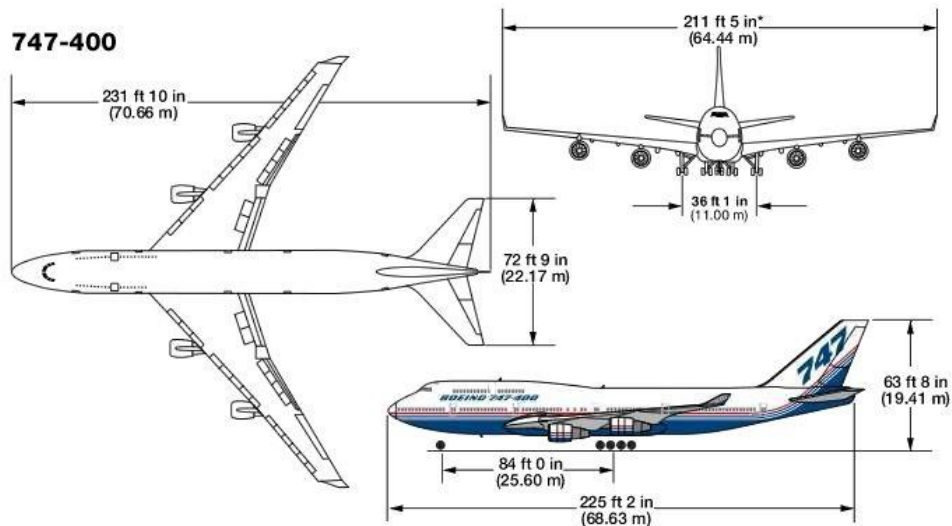
**Tabel 4.5 Daftar Beban Pesawat**

<i>Aircraft</i>	<i>Manufactur</i>	<i>Wingspan</i>	<i>Length</i>	<i>Wheel Base</i>	<i>MSTOW (lb)</i>	<i>MLW (lb)</i>	<i>Runway Length (ft)</i>
<i>B-727-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>108'00"</i>	<i>153'02"</i>	<i>63'03"</i>	<i>184800</i>	<i>150000</i>	<i>8600</i>
<i>B-737-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>93'00"</i>	<i>100'02"</i>	<i>37'04"</i>	<i>100000</i>	<i>95000</i>	<i>5600</i>
<i>B-737-300</i>	<i>Boeing</i>	<i>94'09"</i>	<i>109'07"</i>	<i>40'10"</i>	<i>140000</i>	<i>114000</i>	<i>6300</i>
<i>B-737-400</i>	<i>Boeing</i>	<i>94'09"</i>	<i>109'07"</i>	<i>46'10"</i>	<i>138500</i>	<i>121000</i>	<i>7300</i>
<i>B-737-500</i>	<i>Boeing</i>	<i>94'09"</i>	<i>101'09"</i>	<i>36'04"</i>	<i>115500</i>	<i>110000</i>	<i>5100</i>
<i>B-747-100</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>710000</i>	<i>564000</i>	<i>9500</i>
<i>B-747-200B</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>775000</i>	<i>564000</i>	<i>12200</i>
<i>B-747-300</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>710000</i>	<i>564000</i>	<i>7700</i>
<i>B-747-400</i>	<i>Boeing</i>	<i>213'00"</i>	<i>231'10"</i>	<i>84'00"</i>	<i>877000</i>	<i>574000</i>	<i>5800</i>
<i>B-747SP</i>	<i>Boeing</i>	<i>195'08"</i>	<i>184'09"</i>	<i>67'04"</i>	<i>630000</i>	<i>450000</i>	<i>6000</i>
<i>B-757-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>124'10"</i>	<i>155'03"</i>	<i>60'00"</i>	<i>220000</i>	<i>198000</i>	<i>8000</i>
<i>B-767-200</i>	<i>Boeing</i>	<i>156'01"</i>	<i>159'02"</i>	<i>67'04"</i>	<i>315000</i>	<i>272000</i>	<i>8700</i>
<i>B-767-300</i>	<i>Boeing</i>	<i>156'01"</i>	<i>180'03"</i>	<i>74'08"</i>	<i>345000</i>	<i>300000</i>	<i>10000</i>

(sumber : *Planning and Design Airports, Robert Horonjeft, Francis*)


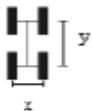
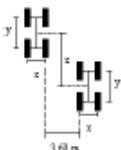
\* *MSTOW = Maximum Structural Take Off Weight, MLW = Maximum Landing Weight*

Untuk konfigurasi roda pesawat diilustrasikan dalam gambar 4.1 dan tabel 2.9 untuk mengetahui area kontak pesawat dan *runway*. Setiap pesawat memiliki konfigurasi roda yang berbeda, maka dari itu area kontak juga berbeda, hal ini berpengaruh pada analisa beban pesawat.



**Gambar 4.1 Konfigurasi Roda Pendaratan untuk Boeing 747-400**

**Tabel 4.6 Konfigurasi Roda Pesawat**

No.	Konfigurasi Roda Pendarat Utama	Distribusi Beban pada masing-masing roda pendarat utama	Tipe Pesawat terbang rencana	Ukuran (m)		
				x	y	z
1.	Single Wheel Gear 	47,5%	DC-9 B-737 B-727	0,64 0,78 0,86		
2.	Dual Wheel Gear 	47,5%	DC-8 DC-10 B-720B B-707-120B B-707-320B A-300B	0,80 1,40 0,80 0,86 0,86 0,89	1,40 1,62 1,24 1,40 1,40 1,40	
3.	Tandem Dual Wheel 	23,75%	B-747-300 B-747-400 B-747-SP Airbus A-380	1,10 1,10 1,10 1,10	1,47 1,47 1,47 1,47	3,00 3,00 3,00 3,00

*(Sumber : Buku Merancang, Merencana Lapangan Terbang, Ir.Heru Basuki)*

- **Perhitungan Beban Pesawat**

Tipe Pesawat	=	B-747-400
Konfigurasi roda	=	Sumbu Tandem Roda Ganda (Dual Tandem)
MSTOW	=	877000 lb = 398.158 ton
MLW	=	574000 lb = 260.598 ton

Karakteristik pada pesawat B-747-400 dapat dilihat pada tabel 4.5 serta pada konfigurasi roda dapat dilihat pada gambar 4.1 dan tabel 4.6.

$$\begin{aligned} P_1 &= 95\% \times 398.158 \text{ T} \\ &= 378.25 \text{ T (Kondisi } \textit{Take Off}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= 95\% \times 260.598 \text{ T} \\ &= 247.57 \text{ T (Kondisi } \textit{Landing}) \end{aligned}$$

**Luas area pendaratan roda utama**

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 37 \text{ ft} \\ &= 11.28 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lebar} &= 10 \text{ ft } 28 \text{ in} \\ &= 3.76 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 11.28 \text{ m} \times 3.76 \text{ m} \\ &= 42.41 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

### Beban yang terjadi dari pesawat

$$q_1 = \frac{W_{MSTOW}}{A} = \frac{378.2501 \text{ ton}}{42.4128 \text{ m}^2} = 8.918301 \text{ ton/m}^2 \quad (\text{Kondisi } Take \text{ Off})$$

$$q_2 = \frac{W_{MLW}}{A} = \frac{247.5681 \text{ ton}}{42.4128 \text{ m}^2} = 5.837108 \text{ ton/m}^2 \quad (\text{Kondisi } Landing)$$

Kesimpulan dari konsep perhitungan beban pesawat diatas yang telah dihitung menunjukkan hasil 8.91 ton/m<sup>2</sup> dengan pesawat B-747-400 pada kondisi *Take Off* (diambil beban terberat) sesuai dengan data asumsi beban pesawat pada Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi yaitu 89,18 kN/m<sup>2</sup>.



## **BAB V**

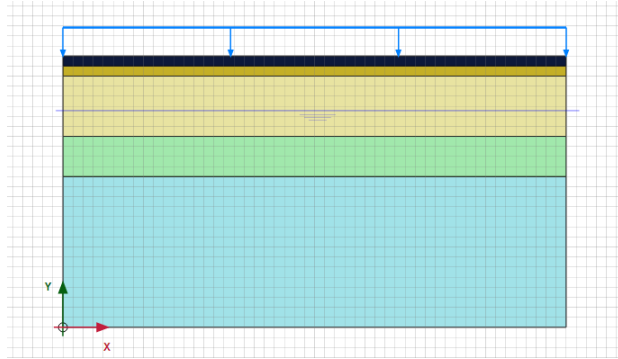
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1. Pemodelan Penurunan Konsolidasi**

Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi pada *Plaxis 2D* dengan menggunakan data parameter tanah yang telah ditentukan melalui korelasi N-SPT. Nilai penurunan konsolidasi tersebut untuk mengetahui hasil penurunan konsolidasi. Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dimodelkan dengan model tanah *Plane Strain*.

Geometri lapisan tanah merupakan pemodelan dari geometri *runway* Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi. Kemudian diatas lapisan tanah untuk *runway*, diberi timbunan tanah pasir 1 m. Setelah itu diberikan perkerasan pada atas lapisan tanah pasir. Diatas perkerasan, diberikan beban merata sebesar 111.783 kN/m<sup>2</sup>. Beban merata tersebut merupakan beban total yang terdiri dari beban mati sebesar 22.6 kN/m<sup>2</sup> dan beban pesawat dianggap sebesar 89.18 kN/m<sup>2</sup>. Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi disajikan pada gambar 5.1 sebagai berikut.

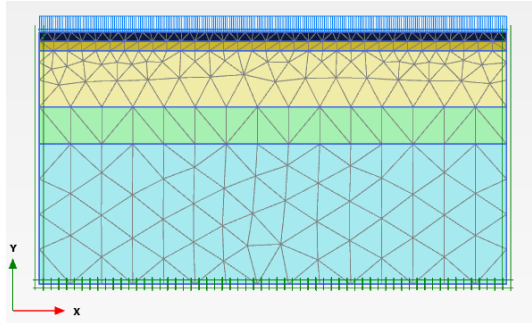
### 5.1.1. Pemodelan Tanpa Stabilisasi dengan Plaxis 2D



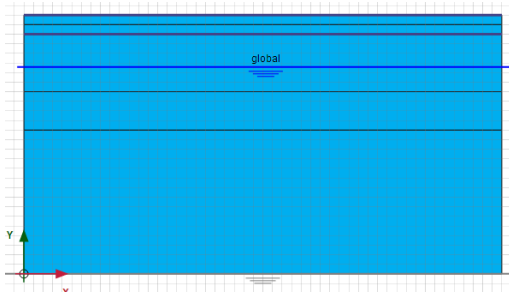
**Gambar 5.1 Lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi**

Pertama, tahap pemodelan lapisan tanah kemudian dilanjutkan dengan tahap generate mesh untuk menyusun jaringan elemen hingga untuk diikutsertakan di dalam perhitungan, seperti pada gambar 5.2 dibawah ini. Selanjutnya dilanjutkan pada tahap closed consolidation boundary. Kondisi boundary pada Plaxis 2D bertujuan untuk tegangan pori  $u$  pada boundary adalah 0 atau dengan kata lain air perintah Closed Consolidation Boundary, boundary ditutup sehingga air tidak dapat mengalir keluar.

Kondisi ini biasa digunakan untuk pemodelan struktur yang simetris (pada struktur simetris, pemodelan cukup dilakukan Y. nya saja. Batas boundary pemodlean simetri idak boleh dianggap bahwa air mengalir bebas ( $u = 0$ ) sehingga harus diberi closed consolidation boundary). Input groundwater  $h$  yang berbeda masih dapat dilakukan pada perintah closed consolidation boundary. Tahap flow conditions disajikan pada gambar 5.3 berikut.



**Gambar 5.2 Tahap *Generate Mesh***

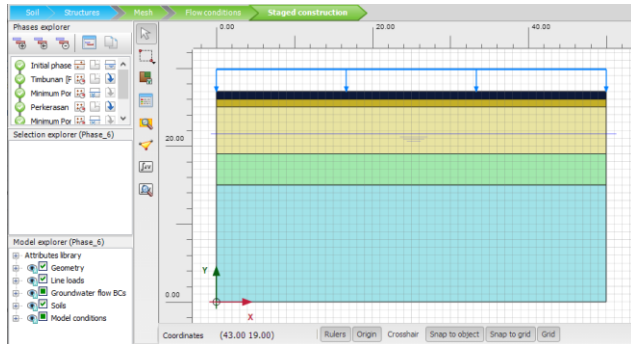


**Gambar 5.3 Tahap *Closed Consolidation Boundary***

Pada tahap staged construction, untuk calculation type dipilih consolidation analysis. Analisis konsolidasi yang menganalisis disipasi eksese tegangan pori sebagai fungsi dari waktu. Variasi perhitungan hanya ada satu, yaitu Automatic time stepping.

Terdapat 4 (empat) fase, yakni fase timbunan tanah pasir adalah dimana lapisan tanah asli diberi timbunan tanah pasir dengan tinggi 1 m, fase perkerasan adalah dimana dilakukan konstruksi perkerasan setebal 1 m dan yang terakhir adalah fase loading dengan beban total yakni 111.783 kN/m<sup>2</sup>. Pada sela-sela keempat fase diatas,

terdapat fase minimum pore pressure, yakni step perhitungan dihentikan setelah tegangan pori minimum yang diinputkan tercapai. Tahap calculations terdapat pada gambar 5.4 berikut dibawah ini.



**Gambar 5.4 Tahap *Stage Construction***

Hasil dari pemodelan tersebut untuk penurunan konsolidasi didapat total displacements sebesar  $239 \times 10^{-3}$  m. Dan didapat grafik time interval selama 22.516 day atau 23 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa penurunan konsolidasi terjadi selama  $\pm 23$  hari. Dengan perhitungan bahwa 23 hari merupakan 0.063 tahun, terdapat penurunan sebesar 23.9 cm. Maka penurunan yang terjadi dalam setahun adalah  $239\text{mm}/0.063 = 3.793,65$  mm. Hasil pemodelan penurunan konsolidasi dapat dilihat lebih jelas pada lampiran Konsolidasi (tanpa stabilisasi).

### **5.1.2. Analisa Hasil Pemodelan Tanpa Stabilisasi dengan Plaxis 2D**

Dari hasil pemodelan untuk penurunan konsolidasi pada Plaxis 2D ver 2012 diatas jika lapisan tanah tanpa stabilisasi diberi beban sebesar 111.783 kN/m<sup>2</sup>, terjadi penurunan yang sangat besar. Penurunan

tanah saat konsolidasi pada *Plaxis 2D* adalah sebesar 3.793,65mm/tahun. Hal tersebut tidak memenuhi syarat yang ditentukan pada penurunan *runway* Bandara Internasional Banyuwangi. Oleh sebab itu, lapisan tanah pada *runway* Bandara Internasional Banyuwangi perlu dilakukan stabilisasi dengan perkuatan tiang.

## **5.2. Pemodelan Tiang Tiang Tunggal dengan *Plaxis 2D***

Pemodelan tiang tunggal digambarkan pada lapisan tanah yang mewakili lapisan tanah dengan data tanah pada titik DB-03. Pemodelan tiang tunggal dilakukan dengan 2 tipe, yakni tipe pertama simulasi tiang tunggal menggunakan *prescribed* dan tiang tunggal dengan menggunakan *prescribed*.

*Prescribed* digunakan untuk mensimulasikan perpindahan horizontal yang terjadi selama pemasangan *CMC*. Nilai yang ditetapkan untuk *prescribed* adalah 0.057mm, sesuai dengan jurnal yang telah dicantumkan pada tinjauan pustaka.

Model tanah *axisymmetry* digunakan untuk struktur melingkar dengan (lebih atau kurang) penampang radial seragam dan skema pemuatan di sekitar sumbu pusat, dimana deformasi dan status tegangan diasumsikan sama di segala arah.

### **5.2.1. Geometri Simulasi Tiang Tunggal**

Pemodelan tiang tunggal pada lapisan tanah, dimodelkan dengan model tanah *axisymmetry*. Model *axisymmetry* digunakan untuk struktur melingkar dengan (lebih atau kurang) penampang radial seragam dan skema pemuatan di sekitar sumbu pusat, dimana deformasi dan status tegangan diasumsikan sama di segala arah. Lapisan

tanah dengan pengukuran penampang sepanjang 5m ke arah sumbu x positif, cukup dengan menggambarkan setengah dari diameter *CMC*.

### **5.2.2. Input Parameter Tanah Tiang Tunggal pada *Plaxis 2D***

Pada proyek terdapat penyelidikan tanah diantaranya adalah uji Bor Log berdasarkan sampel tanah yang diambil pada titik DB-03. Parameter tanah yang belum diketahui ditentukan dengan korelasi nilai SPT rata-rata dari uji Bor Log. Oleh karena itu data tanah pada tabel dipilih sebagai parameter tanah dalam simulasi sub-bab ini, dengan mendapatkan korelasi. Selanjutnya dilakukan pemodelan dengan ketentuan model tanah *axisymmetry* pada kedalaman tanah 25 meter.

Pada saat pemodelan tiang tunggal pada *Plaxis 2D* type model yang digunakan *axisymmetry* dengan elements 15-Noded. Material profil tanah dan perkerasan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Profil tanah dan parameter tanah BH-07 pada Tiang Tunggal PLAXIS 2D**

Parameter	Satuan	Layer 1	Layer 2	Layer 3
<b>Umum</b>				
Kedalaman	m	0-(-6)	(-6)-(-10)	(-10)-(-20)
Tebal	m	6	4	10
USCS Classification	-	ML	SW	SW
Jenis Tanah	-	Sandy Silt	Sand fine gravel (1)	Sand fine gravel (2)
Drainage Type	-	Undrained B	Drained	Drained
N-SPT	-	1.33	23.50	31.40
$\gamma$ unsat	kN/m <sup>3</sup>	11.84	16	18
$\gamma$ sat	kN/m <sup>3</sup>	17.4	18	20
<b>Parameter</b>				
Modulus Young (E')	(kN/m <sup>2</sup> )	10000	160000	200000
Kohesi ( $c'_{ref}$ )	(kN/m <sup>2</sup> )	-	0	0
Kuat Geser Undrained ( $su'_{ref}$ )	(kN/m <sup>2</sup> )	282	-	-
Sudut Geser Tanah ( $\phi'$ )	°	13.49	38.00	40

Sudut Dilatasi (y)	°	0	0	0
Angka poisson's (v)	-	0.25	0.3	0.3
<b>Groundwater</b>				
Data set	-	Standart	Standart	Standart
Tipe	-	Medium	Coarse	Coarse
< 2mm	%	19	10	10
2 mm - 50 mm	%	41	13	13
50 mm - 2 mm	%	40	77	77
Use defaults	-	From data set	From data set	From data set

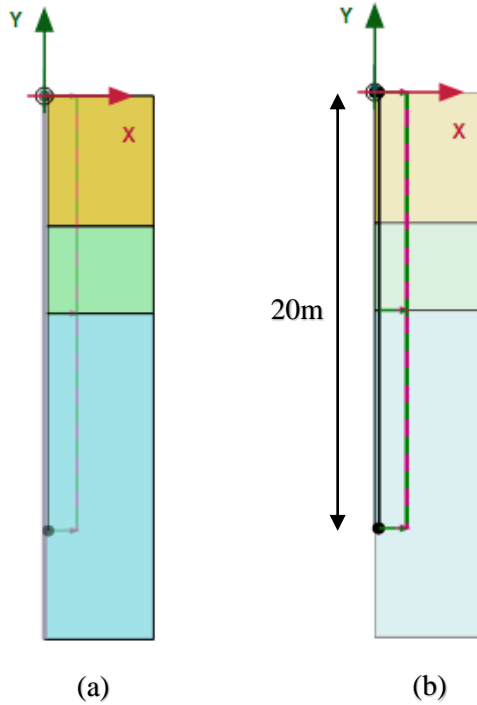


### 5.2.3. Simulasi Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D

Pemodelan tiang tunggal ini dilakukan dengan model tanah *axisymmetry*. Dengan dimensi geometri 5m ke arah sumbu x positif dan 25m ke arah sumbu y negatif. Ukuran dimensi geometri didapat dari perumpamaan adanya satu tiang tunggal di lapisan tanah dengan kedalaman 25m. Sesuai dengan data tes BorLog. Pemodelan tiang tunggal berdasarkan data CMC pada titik DB-03. Diameter CMC adalah sebesar 0.4m dan kedalaman CMC sebesar 20m.

Penggambaran tiang tunggal CMC dilakukan dengan mengambil setengah dari diameter CMC, yaitu 0.2m. dengan lapisan tanah selebar 5m dan sedalam 25m, tiang tunggal CMC digambarkan pada sisi bagian kiri lapisan tanah. Dan point load pada tengah diameter tiang tunggal CMC. Kemudian pada tahap flow condition, terdapat muka air tanah sedalam 3.44m.

a. Tanpa *Prescribed*

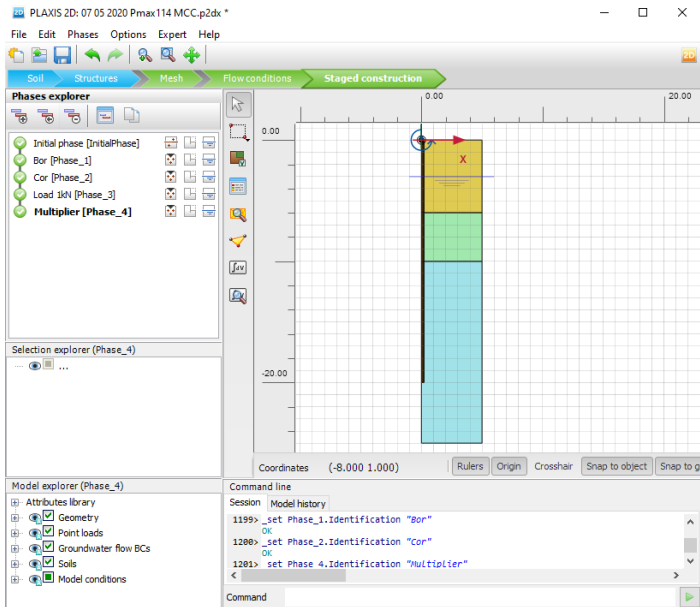


**Gambar 5.5 (a) Pemodelan lapisan tanah pada tahap *soil* (b) Pemodelan tiang tunggal pada tahap *structure***

Pada tahap ini, terdapat 5 (lima) fase untuk mengetahui kapasitas maksimum dari tiang tunggal yang dimodelkan. Fase-fase tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Fase inisial
- b. Fase bor : *deactive* material tanah yang ada dalam *line*.
- c. Fase cor : mengganti material tanah yang ada dalam *line* dengan material beton, kemudian diaktifkan
- d. Fase load 1 kN : mengaktifkan *point load* yang telah ditempatkan kemudian mengisi besaran beban sebesar -1 kN/m pada arah y.
- e. Fase *multiplier* : mengaktifkan beban M yang ada pada *sub point load*, dan mengisi sebesar 1000. Beban *multiplier* adalah untuk mengetahui kapasitas maksimum dari tiang tunggal tersebut. Yang nanti akan dapat diketahui dari grafik *pmax*.

Setelah kelima fase diatas diterapkan, kemudian meng-*calculate* nya. Dari *calculate*, akan mendapatkan hasil (*output data*). Tahap *calculations* disajikan dalam gambar 5.6 berikut.

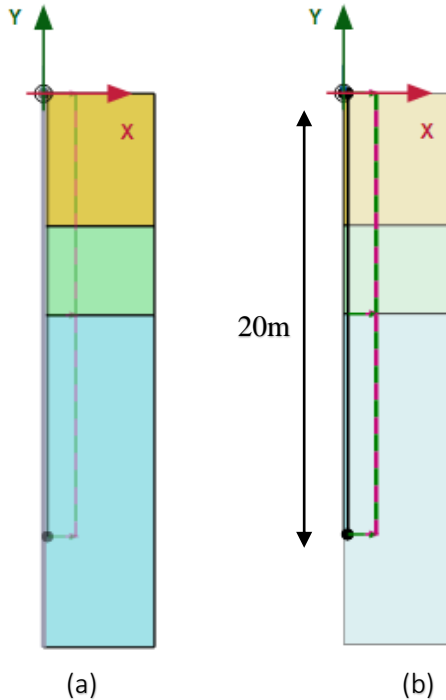


**Gambar 5.6 Tahap Staged Construction**

Pemodelan dan perhitungan numerik dari program *Plaxis 2D ver 2012* akan menghasilkan (*output data*). Hasil dari perhitungan yang akan dianalisa adalah kapasitas maksimum tiang tunggal tanpa *prescribed*. *Output data* yang akan ditinjau pertama kali adalah grafik *pmax*. Yang disajikan dalam lampiran.

**b. Dengan *Prescribed (Line Displacement)***

Pemodelan tiang tunggal pada gambar 5.7 berikut sama seperti pemodelan tiang tunggal pada gambar 5.6. Namun, yang membedakan adalah pada sisi luar tiang diberi line displacement sepanjang kedalaman tiang, yakni sedalam 20m.

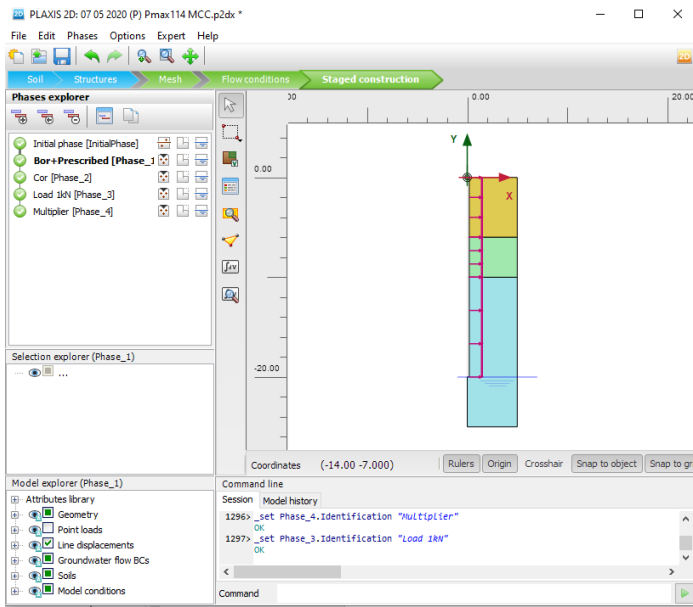


**Gambar 5.7 (a) Pemodelan lapisan tanah pada tahap soil (b) Pemodelan tiang tunggal pada tahap structure**

Pada tahap ini, terdapat 5 (lima) fase untuk mengetahui kapasitas maksimum dari tiang tunggal yang dimodelkan. Fase-fase tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Fase inisial
- b. Fase bor + *prescribed* : *deactive* material tanah yang ada dalam *line*. Kemudian mengaktifkan line displacement dengan memasukkan besaran ke arah sumbu x positif sebesar 0.00006m.
- c. Fase cor : mengganti material tanah yang ada dalam *line* dengan material beton, kemudian diaktifkan.
- d. Fase load 1 kN : mengaktifkan *point load* yang telah ditempatkan kemudian mengisi besaran beban sebesar -1 kN/m pada arah y.
- e. Fase *multiplier* : mengaktifkan beban M yang ada pada *sub point load*, dan mengisi sebesar 1000. Beban *multiplier* adalah untuk mengetahui kapasitas maksimum dari tiang tunggal tersebut. Yang nanti akan dapat diketahui dari grafik *pmax*.

Setelah kelima fase diatas diterapkan, kemudian meng-*calculate* nya. Dari *calculate*, akan mendapatkan hasil (*output data*). Tahap *calculations* disajikan dalam gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5.8 Tahap *Staged Construction***

Pemodelan dan perhitungan numerik dari program *Plaxis 2D ver 2012* akan menghasilkan (*output data*). Hasil dari perhitungan yang akan dianalisa adalah kapasitas maksimum tiang tunggal dengan *prescribed*. *Output data* yang akan ditinjau pertama kali adalah grafik *pmax*. Yang disajikan dalam lampiran.

Dari hasil kedua pemodelan diatas, nilai *pmax* paling besar didapatkan dari pemodelan tiang tunggal dengan *line displacement* yaitu  $114 \text{ kN/m}^2$ . Maka dari grafik nilai *pmax* tersebut merupakan kapasitas maksimum untuk tiang tunggal. Selanjutnya, nilai *pmax* tersebut dijadikan beban *pmax* pada pemodelan berikut untuk mengetahui *total displacement* yang sebenarnya.

#### 5.2.4. Analisa Hasil Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D dengan beban $P_{max}$

Pemodelan tiang tunggal dengan load  $p_{max}$  seperti dengan pemodelan pada sub-bab 5.2.3. Yang membedakan adalah load 1 kN diganti dengan load  $p_{max}$  sebesar 114 kN/m<sup>2</sup>. Pemodelan tiang tunggal dengan load  $p_{max}$  akan disajikan pada lampiran.

Hasil penurunan pada pemodelan tiang tunggal tanpa *prescribed* adalah sebesar 8.125 mm. Kemudian hasil penurunan pada pemodelan tiang tunggal dengan *prescribed (line displacement)* adalah sebesar 5.322 mm. Dari kedua hasil penurunan tersebut, terdapat selisih penurunan dan membuktikan bahwa adanya *prescribed (line displacement)* dapat memperkecil nilai penurunan.

Pemodelan tiang tunggal dengan 2 (dua) tipe yang telah dilakukan, yakni tanpa *prescribed* dan dengan *prescribed*. Hasil yang didapatkan dari pemodelan dan perhitungan numerik oleh *Plaxis 2D ver 2012*, membuktikan bahwa dengan *prescribed (line displacement)* bekerja dan berpengaruh pada saat penurunan tanah. hal itu ditunjukkan dengan adanya selisih angka penurunan antara pemodelan tanpa *prescribed* dan dengan *prescribed (line displacement)*.

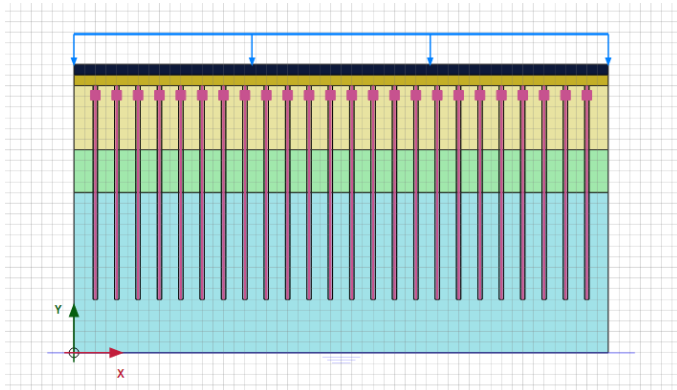
**Tabel 5.2 Perbandingan Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D ver 2012**

Pemodelan Tiang Tunggal	$P_{max}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Penurunan (mm)
Tanpa <i>prescribed</i>	114.44	8.125
Dengan <i>prescribed</i>	104.43	5.322



### 5.3. Pemodelan Tiang Kelompok tanpa *Plaxis 2D Embedded Beam Row* tanpa *prescribed*

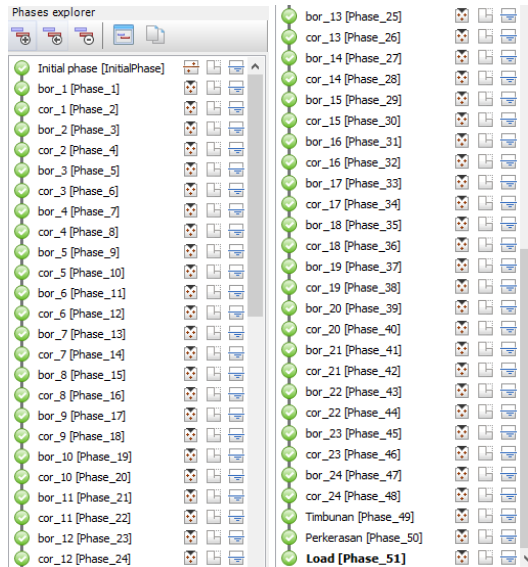
Penggambaran *embedded beam row* diibaratkan sama dengan *CMC* pada tahap *structure* adalah dengan memberi jarak 2m antar pile. Kemudian di sisi kanan dan kiri *pile*, diberi garis berjarak 0.2m (setengah diameter *CMC*). Dengan jarak 2m dan penampang lapisan tanah sepanjang 50m, didapat jumlah *pile* sebanyak 24 buah. Pemodelan *embedded beam row* tanpa *prescribed* disajikan dalam gambar 5.9 berikut.



**Gambar 5.9** Pemodelan *Embedded Beam Row* tanpa *Prescribed*

Tahap *staged construction* dalam gambar 5.10 berikut ini sama dengan tahap *staged construction* pada tiang tunggal sebelumnya. Yang membedakan adalah jumlah pengeboran dan pengecoran sebanyak 24 buah hingga *pile* terakhir. Kemudian setelah tahap pengeboran dan pengecoran terdapat tahap timbunan tanah pasir setinggi 1m. Selanjutnya, diatas tanah pasir diberi

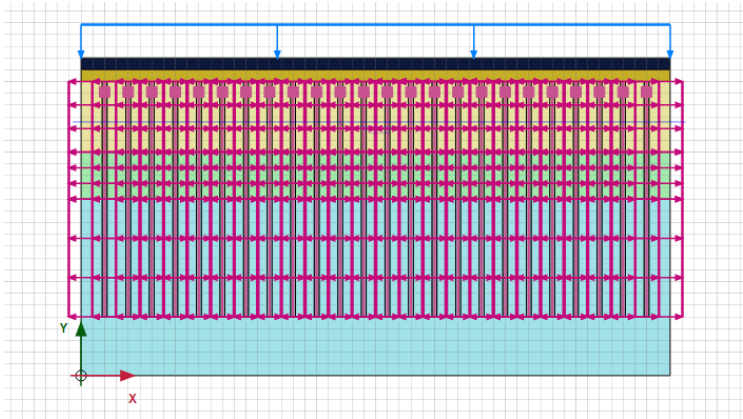
perkerasan setinggi 1m. Setelah itu, untuk fase *loading* diisi beban sebesar 111.783 kN/m<sup>2</sup>.



**Gambar 5.10 Tahap Staged Construction**

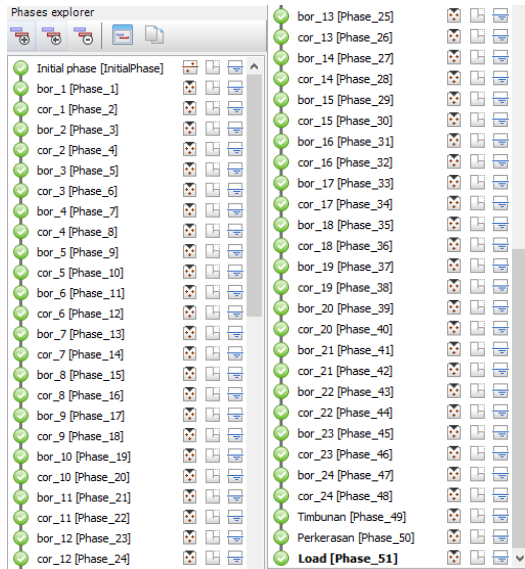
#### **5.4. Pemodelan Tiang Kelompok dengan *Plaxis 2D Embedded Beam Row* dengan *prescribed***

Penggambaran *embedded beam row* pada gambar 5.11 berikut ini sama seperti dengan penggambaran *embedded beam row* pada gambar 5.9. Namun, yang membedakan adalah pada garis kanan dan kiri *embedded beam row* diberi *prescribed (line displacement)*.



**Gambar 5.11** Pemodelan *Embedded Beam Row* dengan *Prescribed*

Tahap *stage construction* pada gambar 5.12 berikut ini juga sama dengan tahap *staged construction* pada gambar 5.10. Namun, yang membedakan adalah saat pengeboran, diaktifkan pula *line displacement* kiri sebesar 0.00006m ke arah x negatif dan *line displacement* kanan sebesar 0.00006m ke arah x positif. Fase itu diterapkan hingga pile ke 24. Untuk fase selanjutnya, mengulang seperti pada gambar 5.10.



**Gambar 5.12 Tahap Staged Construction**

### 5.5. Analisa Pemodelan Tiang Kelompok (*Embedded Beam Row*)

Pemodelan tiang kelompok dengan menggunakan pendekatan *embedded beam row* pada *Plaxis 2D versi 2012* dilakukan pada lapisan tanah dengan lebar penampang 50m dan kedalaman tanah 25m. Sedangkan kedalaman *embedded beam row* sendiri sama dengan kedalaman *CMC* yaitu 20m dengan diameter *CMC* yaitu 0.4m. Pemodelan pada masing-masing *plaxis* sendiri dilakukan 2 (dua) jenis pemodelan, yaitu pemodelan *embedded beam row* tanpa *prescribed* dan pemodelan *embedded beam row* dengan *prescribed*.

Setelah dilakukan *calculation* pada masing-masing *plaxis*, didapatkan *total displacement* (penurunan)

tanah. Pada *Plaxis 2D* versi 2012 *embedded beam row* tanpa *prescribed* sebesar 0.01995m, sedangkan *embedded beam row* dengan *line displacement* sebesar 0.00949m.

Dari pemodelan pada kedua versi *plaxis* tersebut, terdapat perbedaan penurunan antara pemodelan *embedded beam row* tanpa *prescribed* dan pemodelan *embedded beam row* dengan *prescribed*. Pemodelan *embedded beam row* dengan *prescribed (line displacement)* menunjukkan perbedaan penurunan tanah.

Hal itu membuktikan bahwa *prescribed (line displacement)* dapat bekerja dan dapat memperkecil penurunan tanah. Perbedaan penurunan tanah untuk pemodelan *embedded beam row* disajikan dalam tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.3 Perbandingan Penurunan Pemodelan Tiang Kelompok pada Plaxis 2D**

<b>Plaxis 2D</b>	<b>Penurunan (mm)</b>
tanpa <i>prescribed</i>	19.95
dengan <i>prescribed (line displacement)</i>	9.49

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pemodelan pada Plaxis 2D yang telah dilakukan, dapat disimpulkan dengan beberapa pernyataan dibawah :

1. Penurunan yang disyaratkan dalam *runway* pada Proyek Perpanjangan *Runway* Bandara Internasional Banyuwangi adalah 10 mm/tahun yang tertera pada Rencana Kerja dan Syarat-syarat.
2. Pemodelan perhitungan tanpa stabilisasi tanah dalam Plaxis 2D pada kondisi konsolidasi mendapatkan hasil penurunan konsolidasi sebesar 239mm.
3. Pemodelan untuk mengetahui kapasitas tiang tunggal dilakukan dengan 2 (dua) macam pemodelan, yaitu pemodelan tanpa menggunakan *prescribed* dan pemodelan dengan menggunakan *prescribed*. Hasil kapasitas tiang tunggal pada program *Plaxis 2D* disajikan pada tabel 6.1 berikut.

**Tabel 6.1 Perbandingan Pemodelan Tiang Tunggal pada Plaxis 2D**

<b>Pemodelan Tiang Tunggal</b>	<b>Pmax (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Penurunan (mm)</b>
Tanpa <i>prescribed</i>	114.44	8.125
Dengan <i>prescribed</i>	104.43	5.322

4. Untuk mencapai angka penurunan yang disyaratkan dalam perencanaan stabilisasi dengan metode CMC, mendapat diameter 400mm, kedalaman tiang 20m dan jarak antar tiang sebesar 2m.

5. Perbandingan pemodelan tiang kelompok menggunakan *embedded beam row Plaxis 2D* dengan *prescribed (line displacement)* dan tanpa *prescribed* disajikan pada tabel 6.2 berikut.

**Tabel 6.2 Perbandingan Penurunan Pemodelan Tiang Kelompok pada Plaxis 2D**

Plaxis 2D	Penurunan (mm)
tanpa <i>prescribed</i>	19.95
dengan <i>prescribed (line displacement)</i>	9.49

6. Pemodelan stabilisasi dengan menerapkan CMC kelompok menggunakan *prescribed* memberikan nilai penurunan yang lebih rendah dibanding dengan pemodelan tiang tanpa *prescribed*. Hal ini menunjukkan bahwa CMC dengan *prescribed* bisa diaplikasikan dan dapat memperkecil penurunan.

## 6.2. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan yang telah dijelaskan, terdapat beberapa saran sebagai berikut :

1. Pemodelan tiang akan lebih akurat jika dimodelkan pada program Plaxis 3D.
2. Pemodelan dengan *prescribed (line displacement)* akan lebih akurat dan sesuai dengan pelaksanaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abuhuroyroh, K., Irsyam, M., & Fahmi, V. (2019). Karakteristik Transfer Beban dan Pola Penurunan terhadap Waktu pada Controlled Modulus Column Menggunakan Analisis Numerik Tiga Dimensi. *23rd Annual National Conference on Geotechnical Engineering*, 9.
- As'ad, S. (2012). BETON MEMADAT MANDIRI. *Department of Civil Engineering Sebelas Maret University*.
- ASIRI NATIONAL PROJECT . (2012). *Recommendations for the Design, Construction and Control of Rigid Inclusions Ground Improvement*.
- Kim, S., Choi, D., & Ahm, C. Y. (2014). *Tunnel design underneath the operating runway of Incheon airport*. Seoul, Korea.
- Plomteux, C., & Lazacedieu, M. (2007). *Embankment Construction on Extremely Soft Soils using Controlled Modulus Columns for Highway 2000 Project in Jamaica*. Kuala Lumpur: Proceedings of the 16th Southeast Asian Geotechnical Conference.
- Rahmat, R., Utomo, P., & Abuhuroyroh, K. (2018). *Application of Control Modulus Column for Settlement and Stability Control under Soft Soil and High Embankment Load at Pemalang-Batang*. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGC 2018.
- Tietjen, K., & Kirstein, J. F. (2009). Load-Transfer Platforms of Geoweb Stabilized Sand Placed Over CMC-Columns.



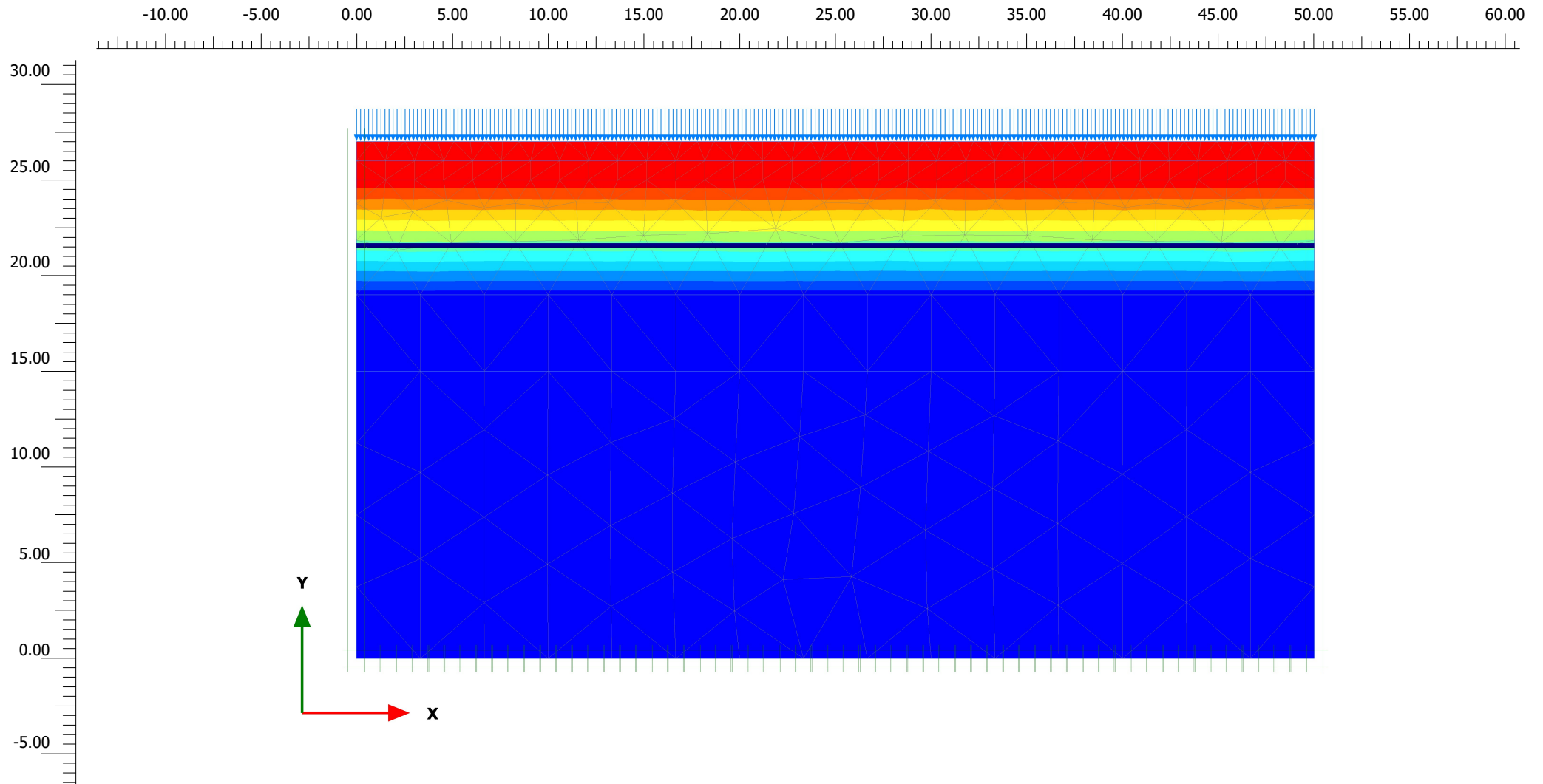


## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ahmad Qoidunnas merupakan anak kedua dari dua bersaudara, Lahir di Pati, pada tanggal 21 April 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Grogolan 02 Pati, lalu melanjutkan di SMP Negeri 1 Tayu, lalu di SMA Negeri 1 Pati. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2015, penulis diterima di Teknik Sipil UNISSULA Semarang pada tahun 2015. Kemudian penulis memutuskan untuk pindah ke Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Program Studi Diploma IV pada tahun 2016, terdaftar dengan NRP 10111610013031. Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ini, penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Penulis juga pernah aktif dalam beberapa kegiatan kemahasiswaan diantaranya : menjadi Staff Departemen External Affairs HMDS 2017/2018, menjadi Kepala Departemen External Affairs di HMDS Ksatria 2018/2019 dan berbagai kepanitian di beberapa kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa. Penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT. Angkasa Pura II pada Bulan Juni 2019 hingga Agustus 2019 dan di PT. Mix Pro Indonesia bulan September 2019 hingga Oktober 2019.

## **LAMPIRAN-LAMPIRAN**



**Total displacements |u| (scaled up 5.00 times) (Time 22.52 day)**

Maximum value = 0.2393 m (Element 13 at Node 1298)



*Project description*

**DB-03**

*Date*

**15/07/2020**

*Project filename*

**konsolidasi permea standard**

*Step*

**50**

*Company*

**Laboratorium Uji Material FV ITS**

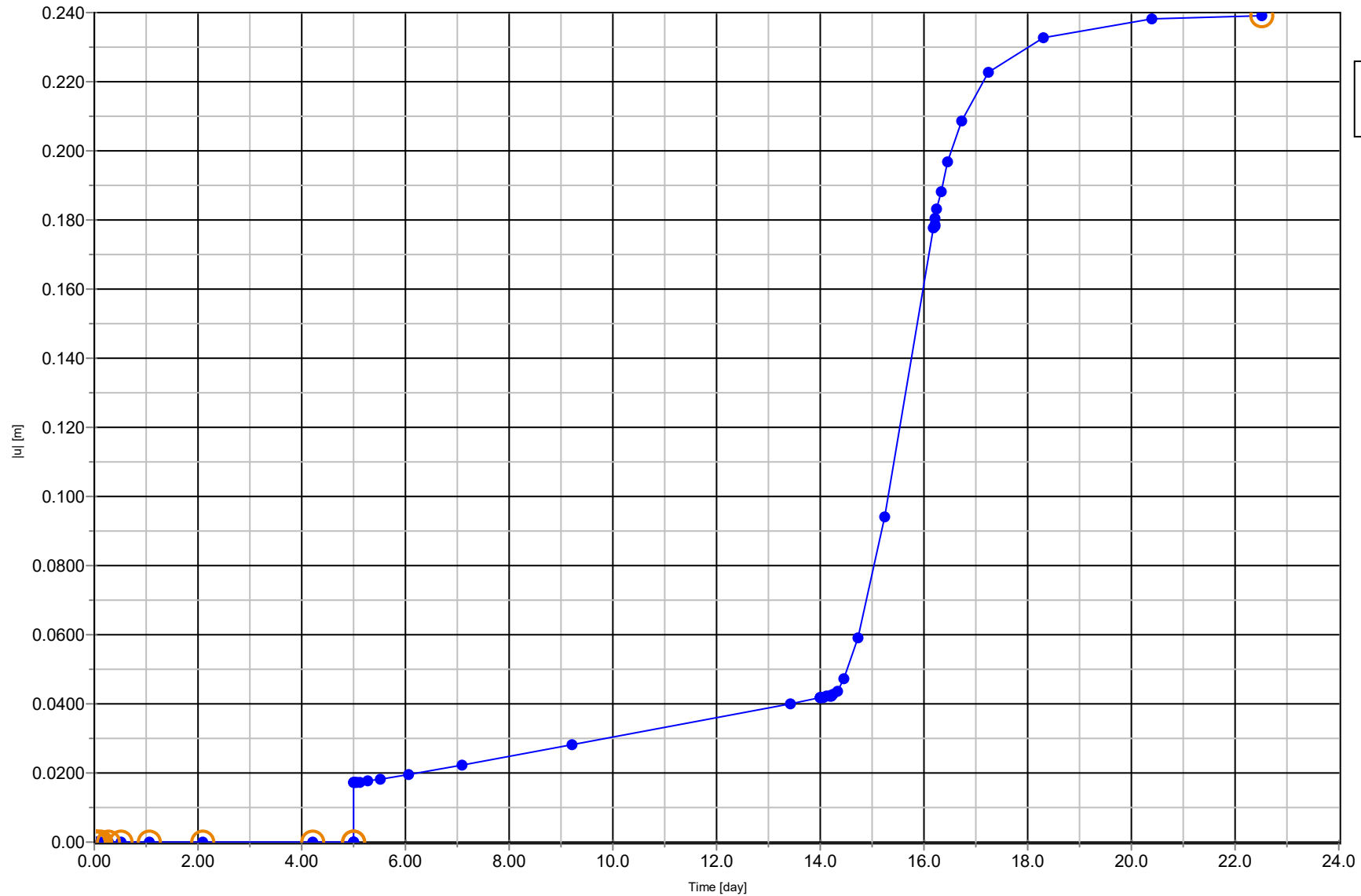


Chart 2  
 ● Node 1372 \*



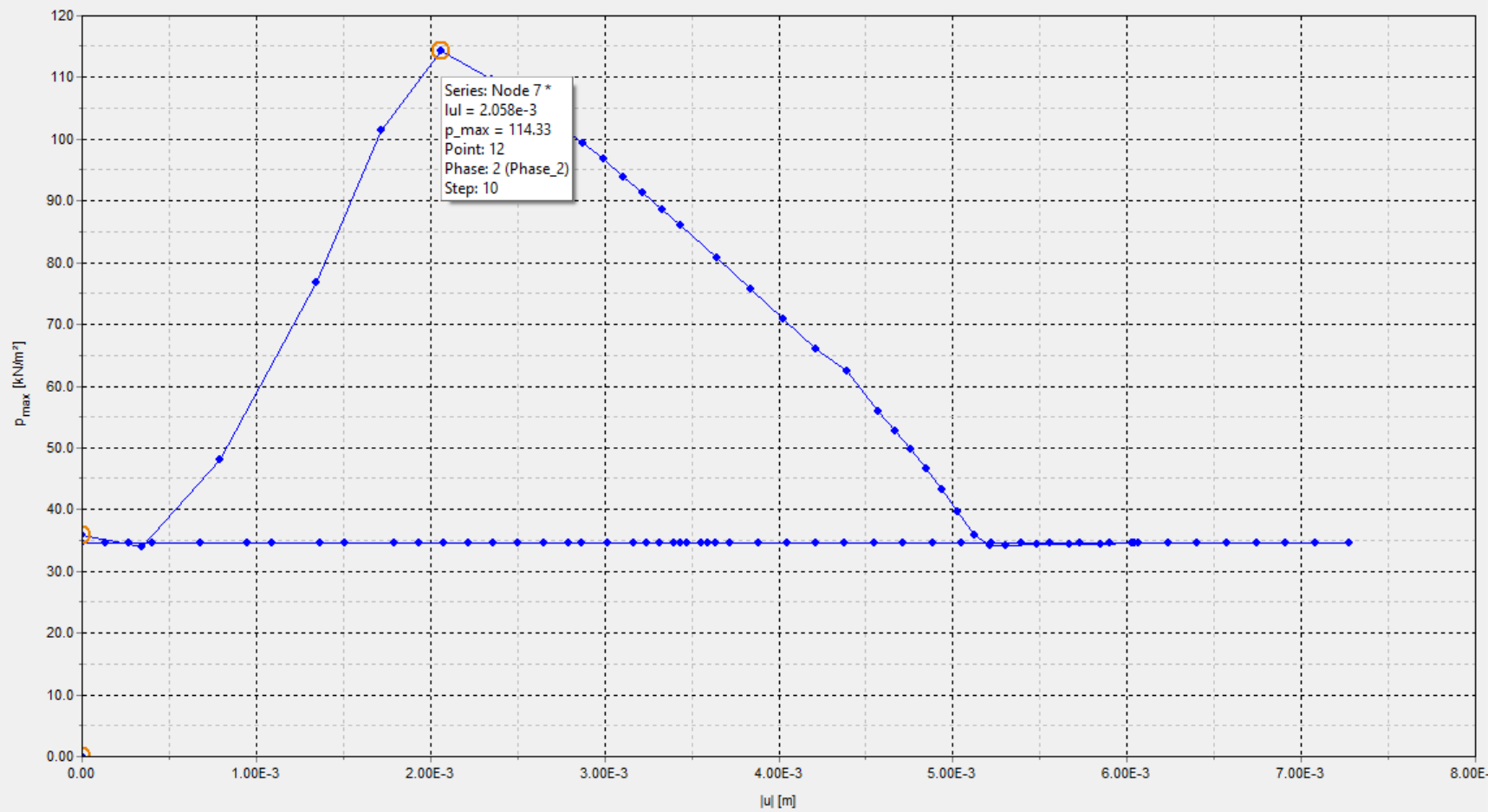
Project description  
**DB-03**

Date  
**15/07/2020**

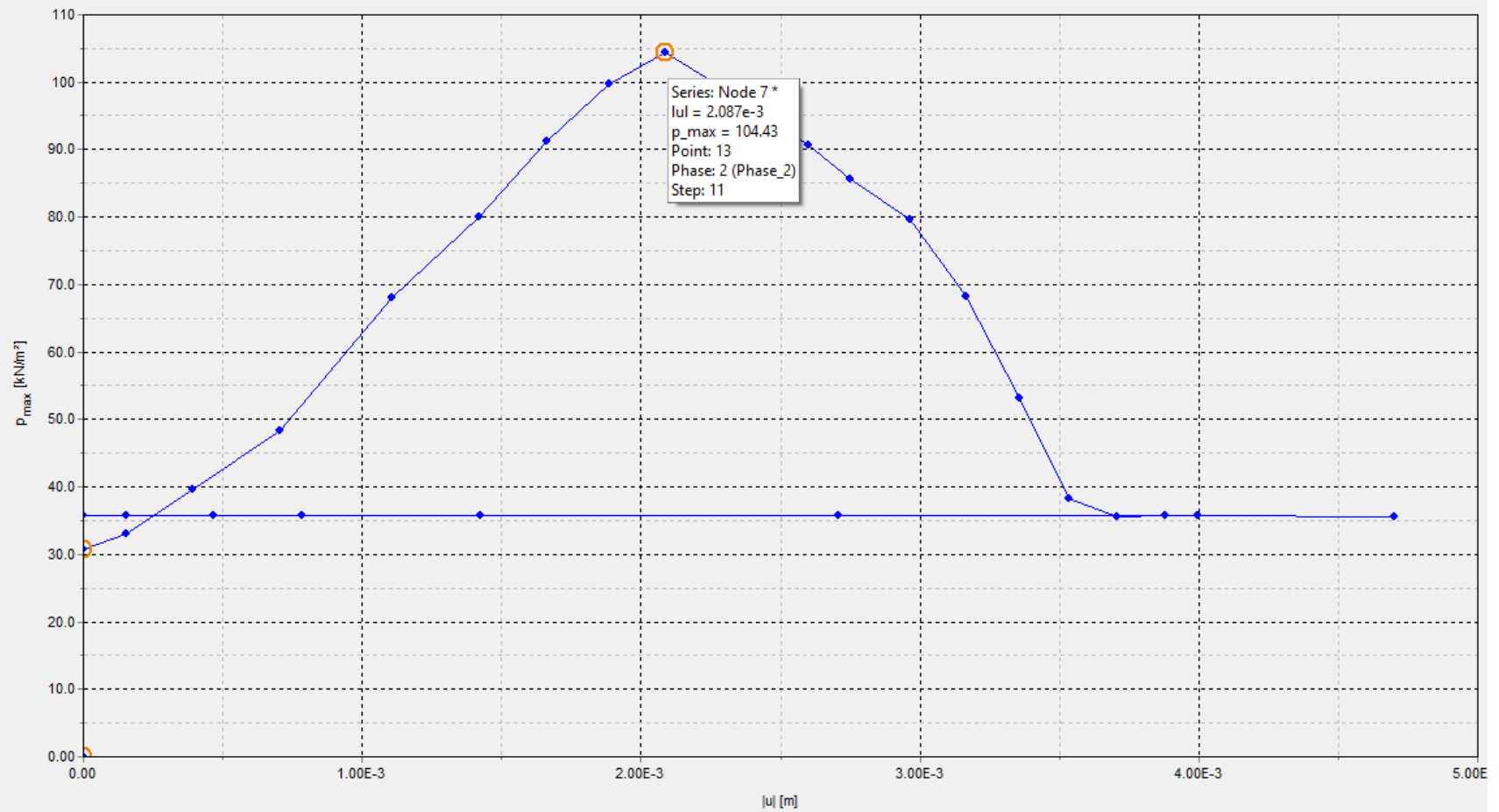
Project filename  
**konsolidasi permea standard**

Step  
**50**

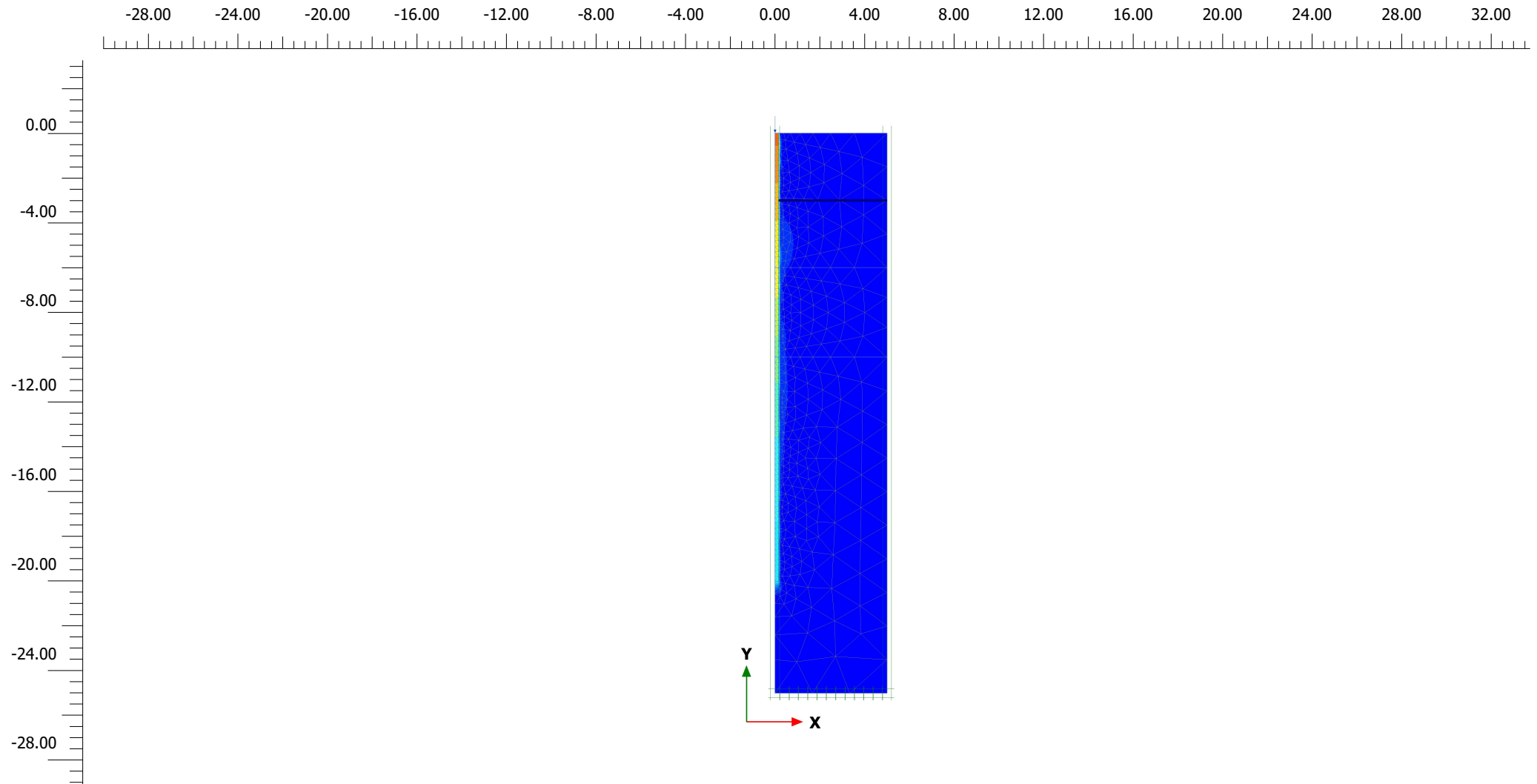
Company  
**Laboratorium Uji Material FV ITS**



Grafik Pmax tiang tunggal tanpa prescribed  
Grafik Pmax menunjukkan angka sebesar 114.33  $\text{Kn/M}^2$



Grafik Pmax tiang tunggal dengan prescribed  
Grafik Pmax menunjukkan angka sebesar 104.43  $\text{Kn/M}^2$



**Total displacements |u| (scaled up 50.0 times)**

Maximum value =  $8.125 \cdot 10^{-3}$  m (Element 49 at Node 2)

**PLAXIS**

*Project description*

Tiang Tunggal tanpa Prescribed

*Date*

16/07/2020

*Project filename*

cek load Pmax

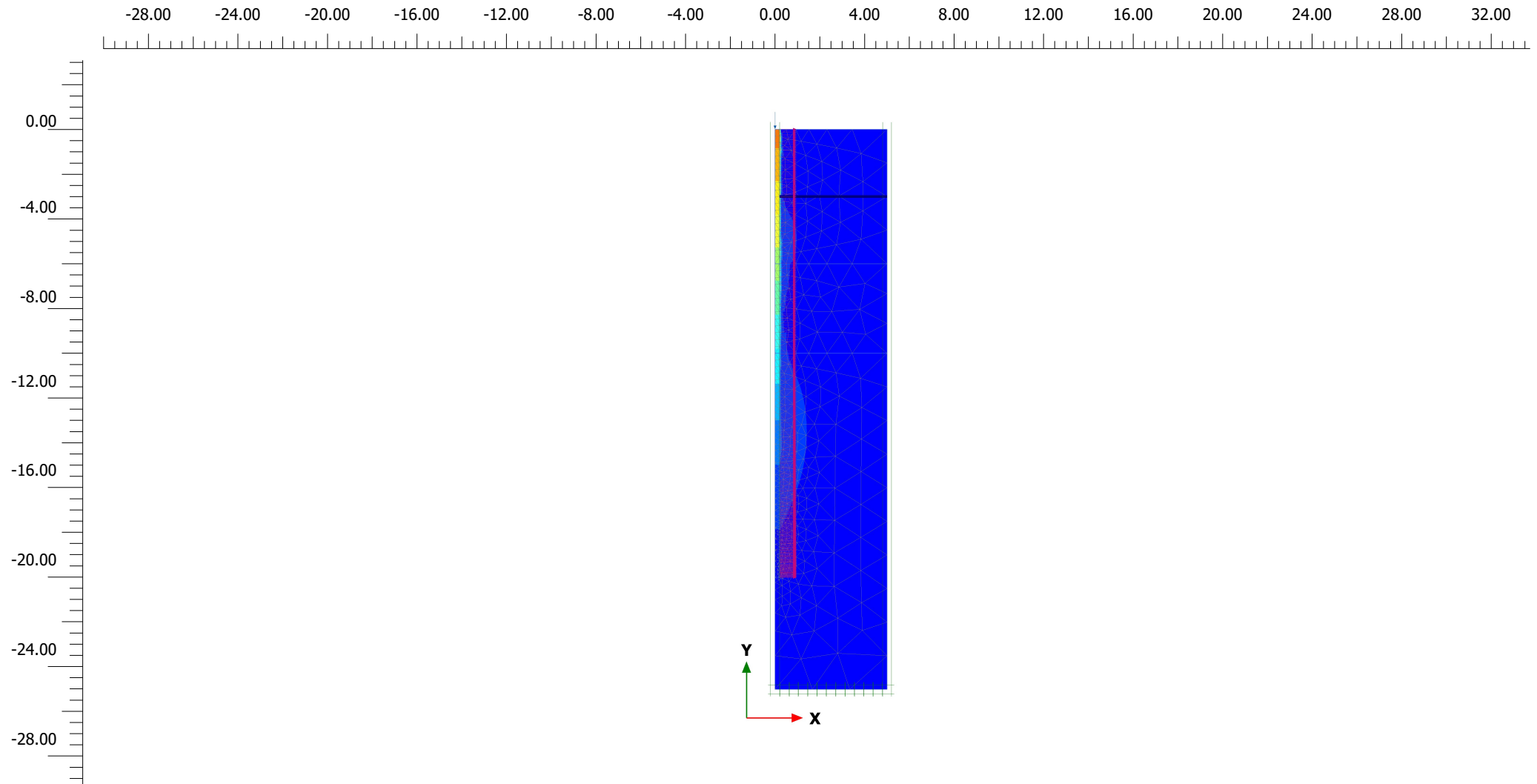
*Step*

88

*Company*

Laboratorium Uji Material FV ITS





**Total displacements |u| (scaled up 200 times)**

Maximum value =  $5.322 \cdot 10^{-3}$  m (Element 39 at Node 1)

**PLAXIS**

*Project description*

Tiang Tunngal dengan Prescribed

*Date*

16/07/2020

*Project filename*

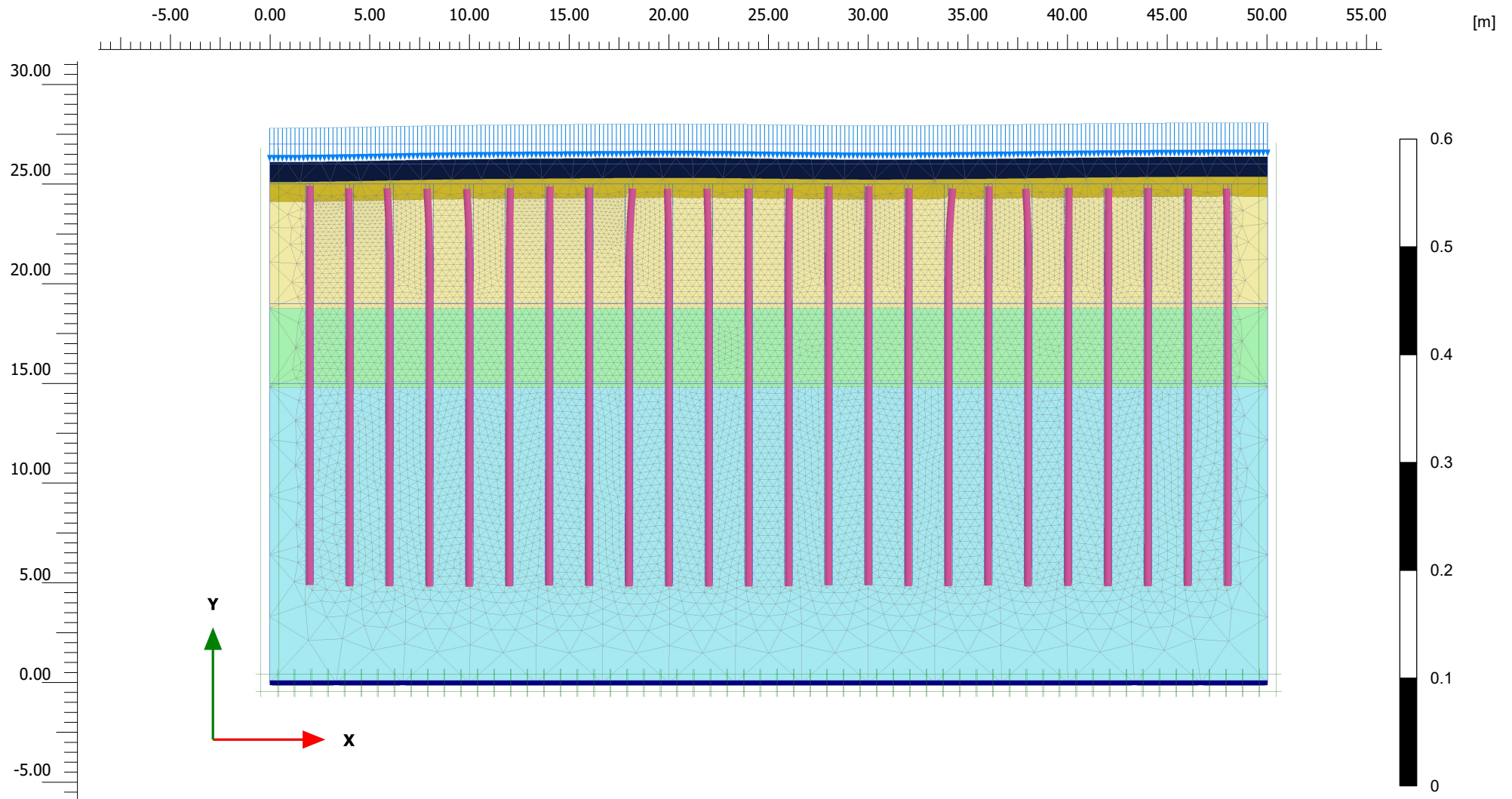
cek Pmax (P)

*Step*

28

*Company*

Laboratorium Uji Material FV ITS



**Deformed mesh |u| (scaled up 50.0 times)**

Maximum value = 0.01995 m (Element 3989 at Node 63470)



*Project description*

**Embedded Beam Row Tanpa Prescribed DB-03**

*Date*

**15/07/2020**

*Project filename*

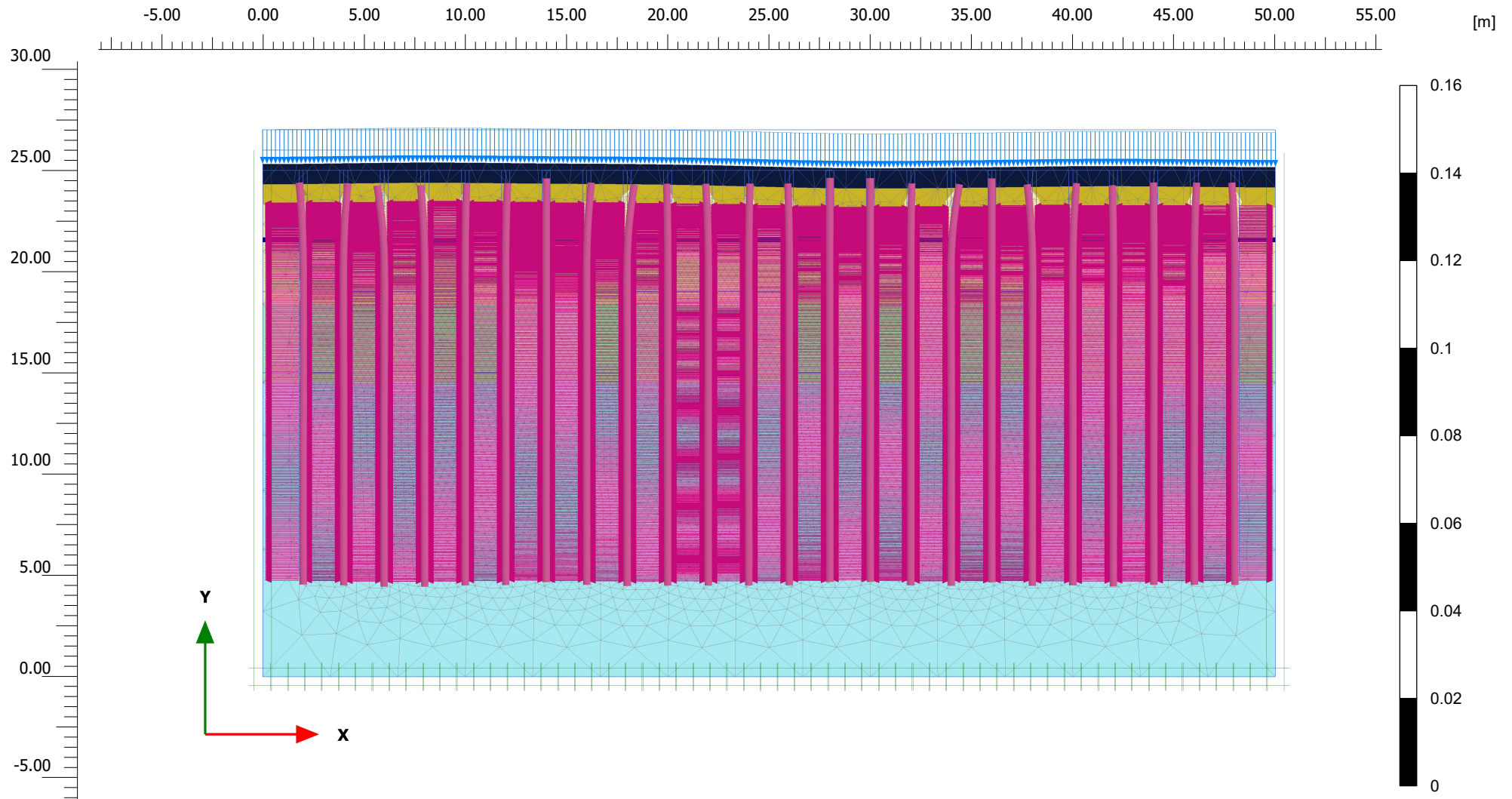
**tk no prescribed**

*Step*

**181**

*Company*

**Laboratorium Uji Material FV ITS**



**Deformed mesh |u| (scaled up 200 times)**

Maximum value =  $9.494 \times 10^{-3}$  m (Element 66 at Node 88730)

**PLAXIS**

*Project description*

Embedded Beam Row Dengan Prescribed DB-03

*Date*

15/07/2020

*Project filename*

tk prescribed siap pakai tur ...

*Step*

16388

*Company*

Laboratorium Uji Material FV ITS



**SUB SURFACE EXPLORATION LOG**  
**ASTM D1586 – 11, SNI 4153-2008**  
 PERPANJANGAN & PELEBARAN RUNWAY BLIMBINGSARI TH 26



**Client** : PT. ANGKASA PURA II  
**Location** : Bandara Blimbingsari  
**Easting** : 208202 m  
**Northing** : 9080625 m

**Date Commenced** : 14 Januari 2019  
**Date Completed** : 15 Januari 2019  
**Bore Master** : Tono  
**Field Engineer** : Arief

**Weather** : Clear  
**Drilling Rig** : NSE DM-01  
**Core Diameter** : 73 mm  
**Water Depth** : 3.44 m

Depth (m)	Sample Type	USCS Classification	Graphic Log	Description	Field PP Test qu (kg/cm <sup>2</sup> )	N SPT				Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
						Depth (m)	10	20	30								
0																	
1																	
2	■																
3	■	ML		Sandy SILT, low plasticity, dark brown, moist, soft						17.4	0	31.81	63.24	4.95	45.95	27.24	18.71
4																	
5																	
6																	
7	■																
8	■	SW		SAND w/ fine gravel, well graded, dark brown, moist, medium dense							10.65	75.09	13.02	1.24	NP	NP	NP
9																	
10																	
11	■																
12																	
13																	
14																	
15		SW		SAND w/ fie gravel, well graded, dark brown, moist, medium dense													
16																	
17																	
18																	
19	■										28.92	56.49	13.33	1.26	NP	NP	NP
20	■																

*end of drilling at 20.0 m*

- Undisturbed Sample (UDS)      PP - Pocket Penetrometer
- ▨ Disturbed Sample (DS)        LL - Liquid Limit
- Mazier Sample                    PL - Plastic Limit
- Piston Sample                    PI - Plasticity Index

Bore Hole :  
**DB-03**

# Permodelan Tanah Timbunan tanpa Perkuatan menggunakan Plaxis

(Konsolidasi)

Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dilakukan pada Plaxis 2D. Dalam pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi pada Plaxis 2D dengan menggunakan data hasil uji tanah lapangan dan data parameter tanah yang telah ditentukan melalui korelasi N-SPT. Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dimodelkan dengan model tanah *plane strain*.

Model plane strain digunakan untuk geometri dengan penampang seragam (kurang lebih) seragam dan keadaan tegangan dan skema pemuatan yang sesuai dengan panjang tertentu tegak lurus terhadap penampang melintang (z-displacement). Perpindahan dan strain dalam arah-z diasumsikan nol.

Pada tahapan ini belum tersaji analisa data uji tanah lapangan dan data parameter tanah dari korelasi N-SPT. Lampiran sementara ini hanya tersaji tahap-tahap pemodelan saja, untuk selanjutnya dilakukan analisa data pada bab IV.

## Initial Phase :

1. Mulanya, semua komponen struktur dan beban tidak aktif. Karenanya, pastikan bahwa line load dalam keadaan tidak aktif
2. Klik Select multiple object pada toolbar samping. Di titik menu yang muncul klik select soils.
3. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi pancang untuk memblok lapisan tanah pasir dan perkerasan.
4. Klik kanan pada lapisan tanah pasir dan perkerasan yang telah diblok, hingga opsi deactivate muncul.

## Phase 1 : Timbunan



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

1. Masukkan Time interval selama 5 hari. Nilai default dari parameter yang tersisa akan digunakan.

2. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok lapisan tanah pasir dan perkerasan.
3. Klik kanan pada lapisan tanah yang telah diblok tersebut, pilih opsi set material, lalu klik tanah pasir.
4. Lapisan tanah pasir telah aktif dan terlihat dalam warna yang telah ditentukan dalam dataset material.

## Phase 2 : Minimum Pore Pressure



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

Name	Value
<b>General</b>	
ID	Minimum Pore [Phase_2]
Start from phase	Timbunan
Calculation type	Consolidation
Loading type	Minimum excess pore pre:
P-stop	1.000 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{weight}$	1.000
Pore pressure calculation type	Use pressures from previ
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	6
Last step	12
Design approach	(None)

## Phase 3 : Perkerasan



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

1. Masukkan Time interval selama 2 hari. Nilai default dari parameter yang tersisa akan digunakan.
2. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok perkerasan.
3. Klik kanan pada lapisan perkerasan yang telah diblok tersebut, pilih opsi set material, lalu klik perkerasan.
4. Lapisan perkerasan telah aktif dan terlihat dalam warna yang telah ditentukan dalam dataset material.

#### Phase 4 : Minimum Pore Pressure



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

Name	Value
<b>General</b>	
ID	Minimum Pore [Phase_2]
Start from phase	Timbunan
Calculation type	Consolidation
Loading type	Minimum excess pore pre:
P-stop	1.000 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M$ weight	1.000
Pore pressure calculation type	Use pressures from previ
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	6
Last step	12
Design approach	(None)

#### Phase 5 : Load



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

1. Masukkan Time interval selama 2 hari. Nilai default dari parameter yang tersisa akan digunakan.
2. Klik Select multiple object pada toolbar samping.
3. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok line load.
4. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau.
5. Setelah mengklik line load, masukkan nilai  $-111.783 \text{ kN/m}^2$  ke  $q_y, \text{start, ref}$  pada selection explorer.



# Permodelan dengan Perkuatan CMC menggunakan Plaxis

(Tiang Tunggal)

Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dilakukan pada Plaxis 2D. Dalam pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi pada Plaxis 2D dengan menggunakan data hasil uji tanah lapangan dan data parameter tanah yang telah ditentukan melalui korelasi N-SPT. Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dimodelkan dengan model tanah *plane strain*.

Model axisymmetric digunakan untuk struktur melingkar dengan (lebih atau kurang) penampang radial seragam seragam dan skema pemuatan di sekitar sumbu pusat, di mana deformasi dan status tegangan diasumsikan sama di segala arah.

Pada tahapan ini belum tersaji analisa data uji tanah lapangan dan data parameter tanah dari korelasi N-SPT. Lampiran sementara ini hanya tersaji tahap-tahap pemodelan saja, untuk selanjutnya dilakukan analisa data pada bab IV.

## Initial Phase :

Mulanya, semua komponen struktur dan beban tidak aktif. Karenanya, pastikan bahwa point load dalam keadaan tidak aktif.

## Phase 1 : Bor



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type



Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

1. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok lapisan tanah yang telah ditentukan untuk dibor.
2. Klik kanan pada lapisan tanah yang telah diblok tersebut, pilih deactivate.
3. Lapisan tanah tidak aktif.

## Phase 2 : Cor



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general

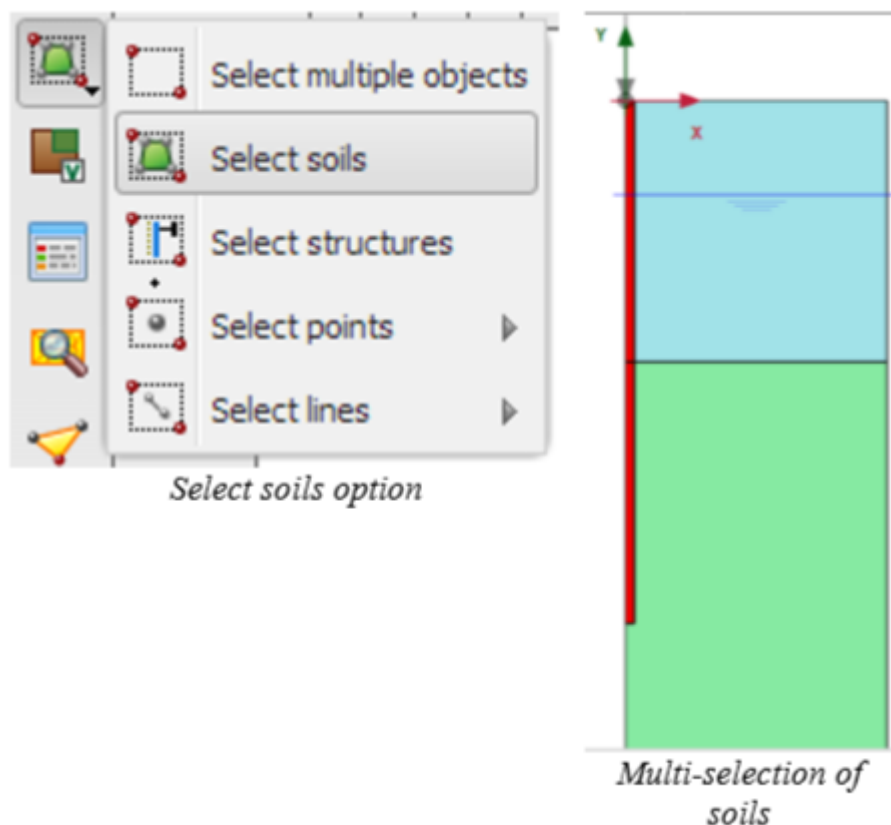


Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

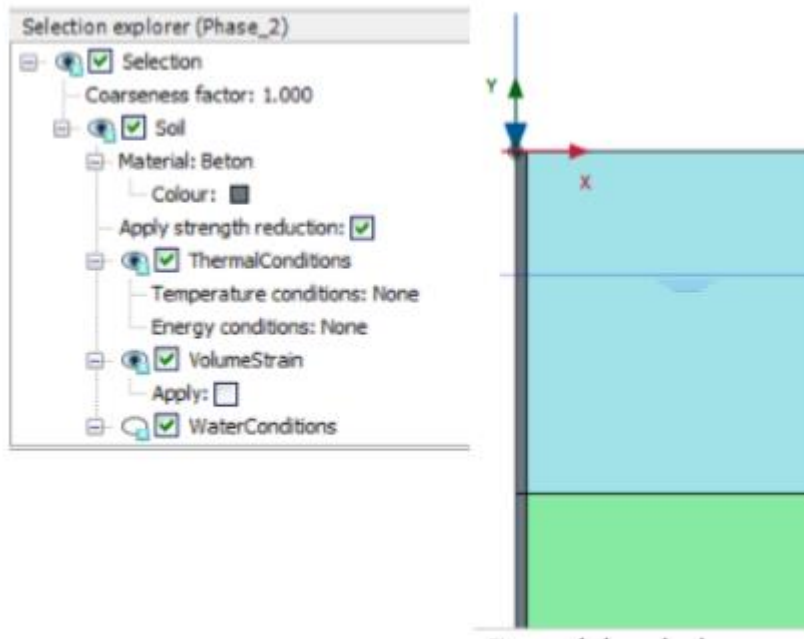


Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

1. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok lapisan tanah yang telah dibor



2. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau



3. Lapisan tanah telah diganti oleh beton dan terlihat dalam warna yang telah ditentukan dalam dataset material.

### Phase 3 : Load 1kN



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general

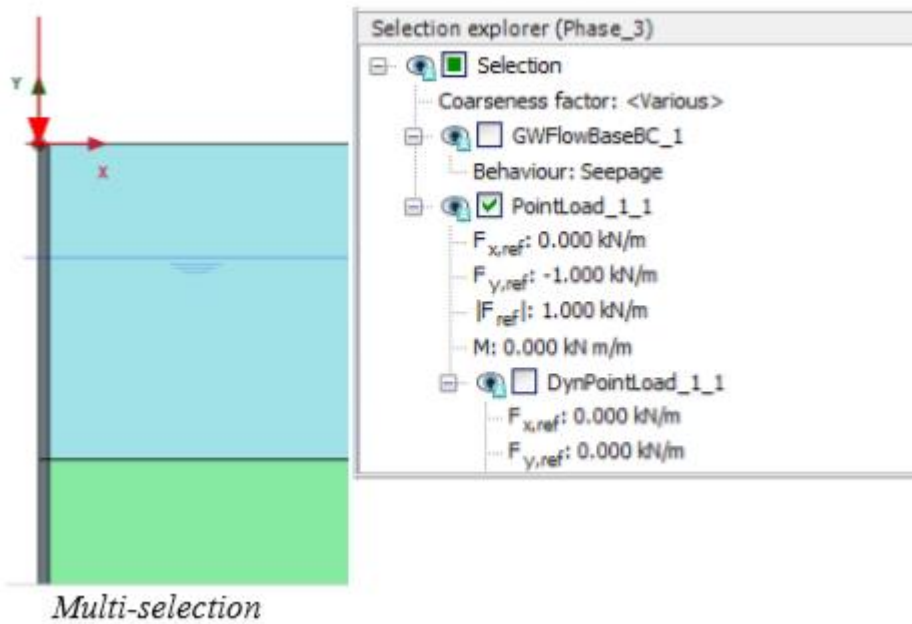


Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type



Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

1. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau
2. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau.
3. Setelah mengklik line load, masukkan nilai -1 ke  $q_y, start, ref$  pada selection explorer.



#### Phase 4 : Multiplier



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general

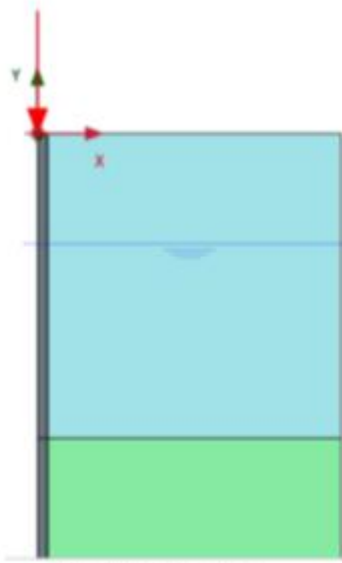


Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type



Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

1. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok point load. (gambar)
2. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau
3. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau
4. Setelah mengklik line load, masukkan nilai 1000 ke M pada selection explorer.



Selection explorer (Phase\_4)

- Selection
  - Coarseness factor: <Various>
  - GWFlowBaseBC\_1
    - Behaviour: Seepage
  - PointLoad\_1\_1
    - $F_{x,ref}$ : 0.000 kN/m
    - $F_{y,ref}$ : -1.000 kN/m
    - $F_{ref}$ : 1.000 kN/m
    - M: 1000 kN m/m
  - DynPointLoad\_1\_1
    - $F_{x,ref}$ : 0.000 kN/m
    - $F_{y,ref}$ : 0.000 kN/m

*Multi-selection*

# Permodelan dengan Perkuatan CMC menggunakan Plaxis

(Tiang Kelompok)

Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dilakukan pada Plaxis 2D. Dalam pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi pada Plaxis 2D dengan menggunakan data hasil uji tanah lapangan dan data parameter tanah yang telah ditentukan melalui korelasi N-SPT. Pemodelan lapisan tanah untuk penurunan konsolidasi dimodelkan dengan model tanah *plane strain*.

Model plane strain digunakan untuk geometri dengan penampang seragam (kurang lebih) seragam dan keadaan tegangan dan skema pemuatan yang sesuai dengan panjang tertentu tegak lurus terhadap penampang melintang (z-displacement). Perpindahan dan strain dalam arah-z diasumsikan nol.

Pada tahapan ini belum tersaji analisa data uji tanah lapangan dan data parameter tanah dari korelasi N-SPT. Lampiran sementara ini hanya tersaji tahap-tahap pemodelan saja, untuk selanjutnya dilakukan analisa data pada bab IV.

## Initial Phase :

Mulanya, semua komponen struktur dan beban tidak aktif. Karenanya, pastikan bahwa point load dalam keadaan tidak aktif.

## Phase 1,3,5,.....,45,47 : Bor



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type



Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

## Phase 2,4,6,.....,46,48 : Cor



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general

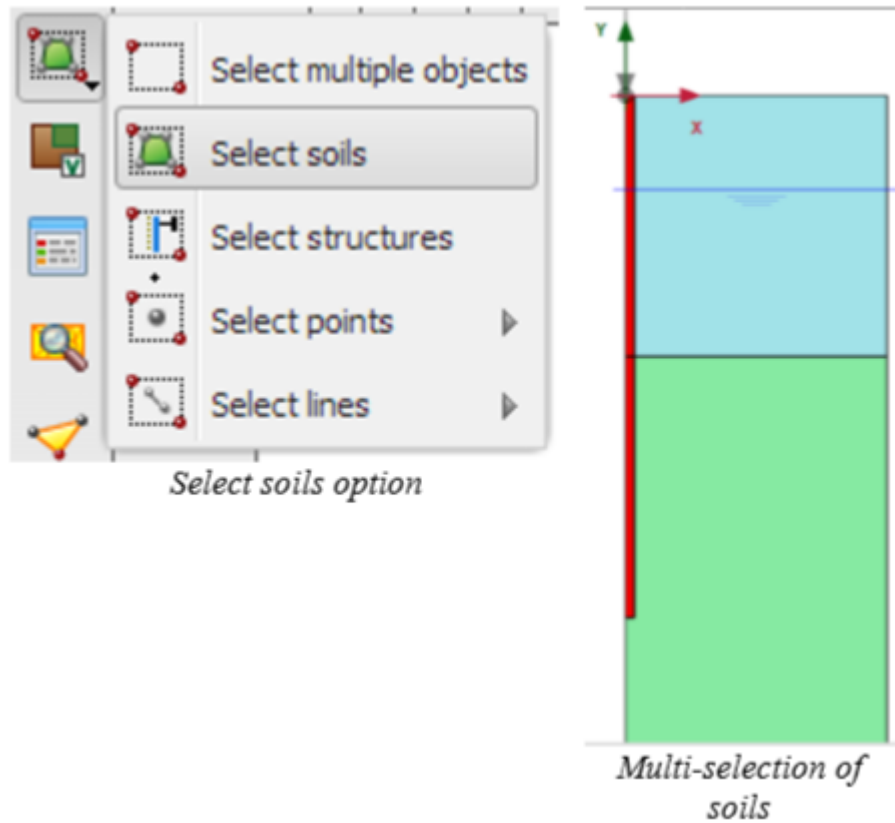


Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

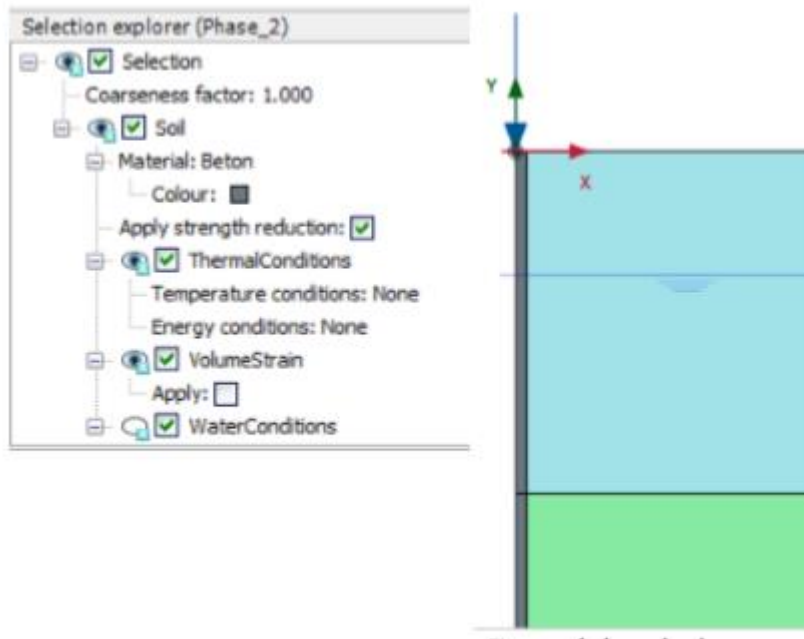


Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

1. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok lapisan tanah yang telah dibor



2. Klik checkbox yang ada pada model explorer. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau



3. Lapisan tanah telah diganti oleh beton dan terlihat dalam warna yang telah ditentukan dalam dataset material.

### Phase 49 : Timbunan



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



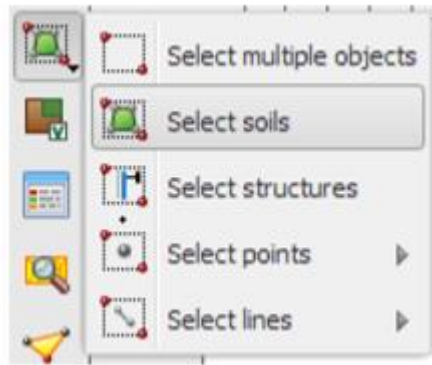
Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type



Klik Select multiple objects pada samping toolbar. Pada menu muncul Select soils.

1. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok lapisan tanah pasir dan perkerasan.
2. Klik kanan pada lapisan tanah yang telah diblok tersebut, pilih opsi set material, lalu klik tanah pasir.
3. Lapisan tanah pasir telah aktif dan terlihat dalam warna yang telah ditentukan dalam dataset material.





*Select soils option*

### **Phase 50 : Perkerasan**



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

1. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok perkerasan
2. Klik kanan pada lapisan perkerasan yang telah diblok tersebut, pilih opsi set material, lalu klik perkerasan.
3. Lapisan perkerasan telah aktif dan terlihat dalam warna yang telah ditentukan dalam dataset material.

### **Phase 51 : Load**



Pada phases explorer, klik tombol add phase untuk membuat fase baru.



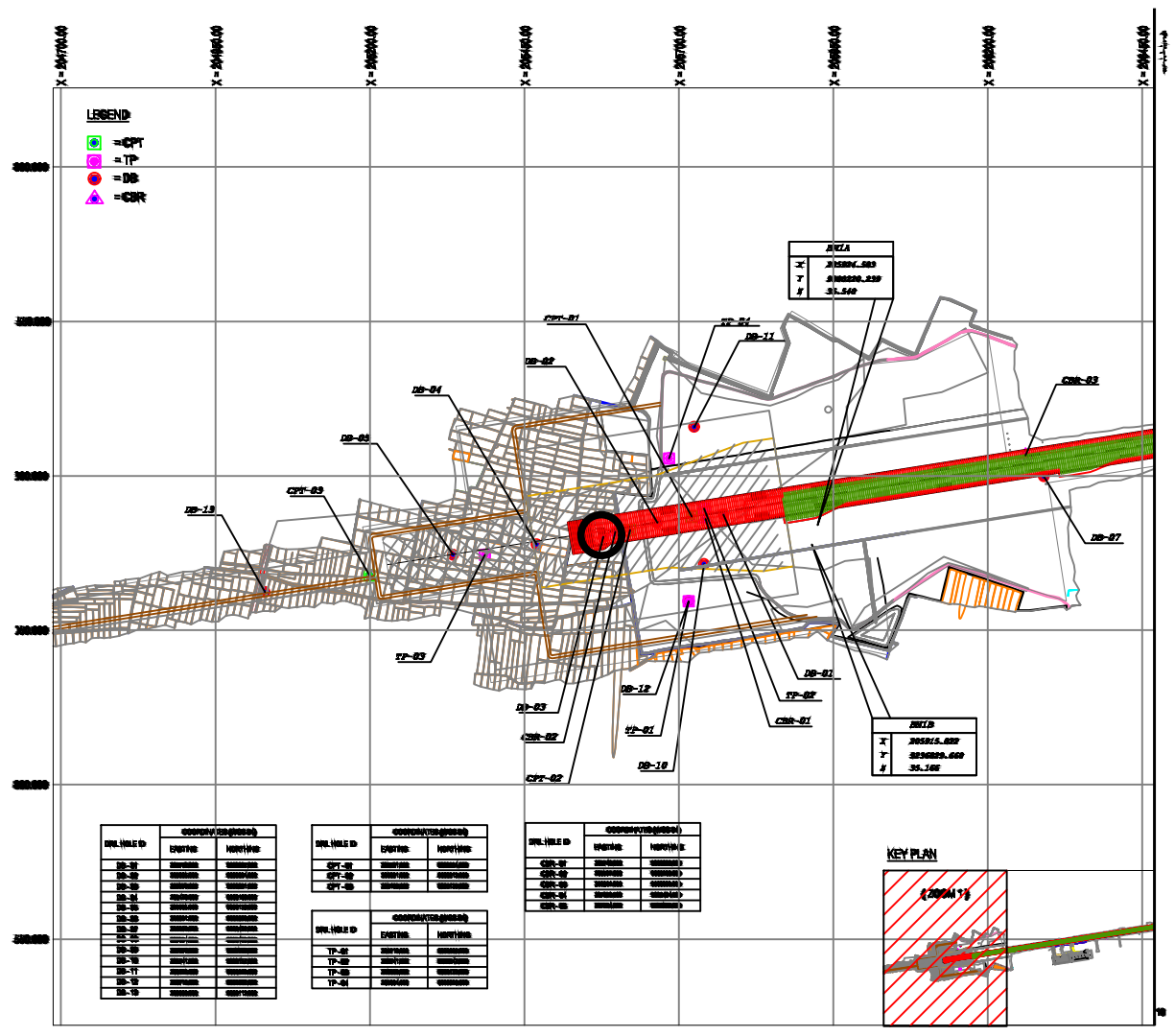
Pada jendela fase, pilih opsi consolidation dari menu tarik-turun calculation type di subtree general



Pastikan bahwa opsi staged construction dipilih untuk Loading type

1. Klik Select multiple object pada toolbar samping.
2. Dalam area gambar, menentukan bentuk persegi panjang untuk memblok line load. Klik checkbox yang ada pada model explorer.

3. Elemen aktif ditandai dengan tanda centang hijau.
4. Setelah mengklik line load, masukkan nilai  $-111.783 \text{ kN/m}^2$  ke  $q_y, \text{start, ref}$  pada selection explorer.



**TUGAS AKHIR TERAPAN**

EVALUASI PERKUATAN TANAH  
DASAR MENGGUNAKAN  
CONTROLLED MODULUS COLUMNS  
(CMC) PADA PROYEK  
PERPANJANGAN RUNWAY  
BANDARA INTERNASIONAL  
BANYUWANGI

**NAMA MAHASISWA**

AHMAD QOIDUNNAS  
1011161013031

**DOSEN PEMBIMBING**

Prof. Dr. Ir. INDARTO, DEA  
195010111982203 1 002

**NAMA GAMBAR**

PENEMPATAN TIANG

**NO. GAMBAR**

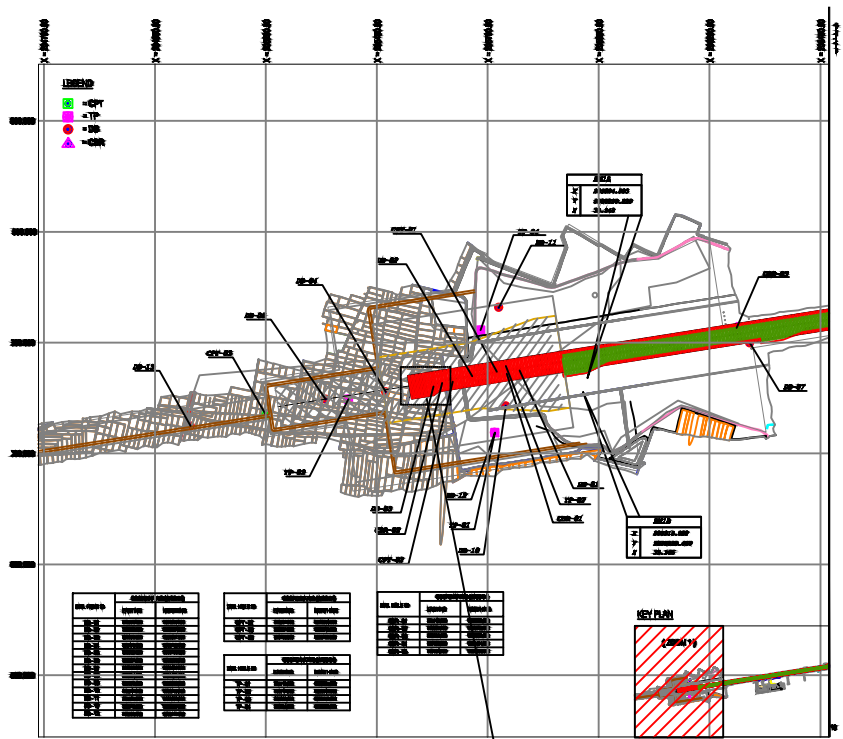
01

**SKALA**

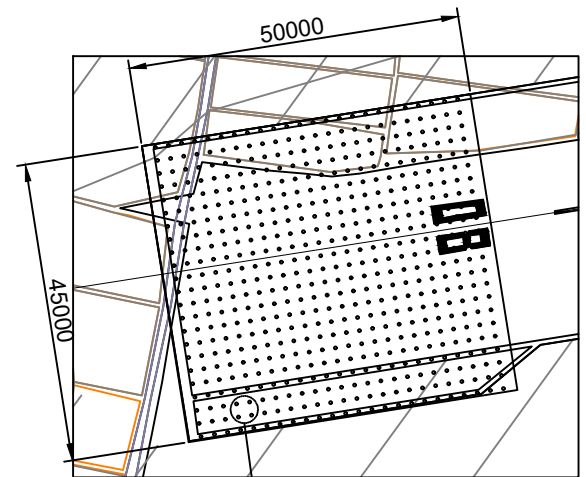
1 : 100

**JUMLAH GAMBAR**

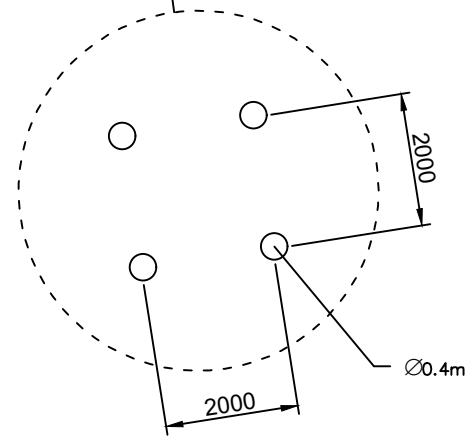
02



DETAIL A-A'



DETAIL A-A'



TUGAS AKHIR TERAPAN	NAMA MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	NAMA GAMBAR	SKALA
EVALUASI PERKUATAN TANAH DASAR MENGGUNAKAN CONTROLLED MODULUS COLUMNS (CMC) PADA PROYEK PERPANJANGAN RUNWAY BANDARA INTERNASIONAL BANYUWANGI	AHMAD QOIDUNNAS 1011161013031	Prof. Dr. Ir. INDARTO, DEA 19501011 1982203 1 002	PENEMPATAN TIANG	1 : 100
			NO. GAMBAR	JUMLAH GAMBAR
			02	02