



TESIS - RC5401

**ANALISIS PENURUNAN (*SETTLEMENT*) PADA TANAH EKSPANSIF DENGAN PERKUATAN WATER CEMENT GROUTING DI RUAS JALAN NASIONAL BATAS KOTA LAMONGAN - BATAS KABUPATEN GRESIK**

**INTAN YUANITA  
6012201065**

**Dosen Pembimbing**  
**Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng**  
**Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA**

**Mentor Lapangan :**  
**Nanang Permadi ST.MT**

**Departemen Teknik Sipil**  
**Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**2022**



## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (MT)**  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Oleh :  
**Intan Yuanita**  
**NRP.6012201065**

Tanggal Ujian : 17 Januari 2022  
Periode Wisuda : Maret 2022

Disetujui Oleh :

**Pembimbing :**

1. Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng.  
NIP. 19560119 198601 2 001
2. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA.  
NIP. 19501011 198302 1 002
3. Nanang Permadi, ST., MT.  
NIP. 19730721 200604 1 004

*Ria Asih Aryani Soemitro*  
.....  
Indarto  
.....  
Nanang Permadi  
.....

**Penguji :**

1. Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc. Ph.D.  
NIP. 19510708 197603 2 001
2. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT.  
NIP. 19770122 200501 2 002

*Noor Endah*  
.....  
*Yudhi Lastiasih*  
.....



**Dr.techn. Uniboro Lasminto, ST., M.Sc.**

NIP. 19721202 199802 1 001

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

**ANALISIS PENURUNAN (*SETTLEMENT*) PADA TANAH EKSPANSIF  
DENGAN PERKUATAN *WATER CEMENT GROUTING* DI RUAS  
JALAN NASIONAL BATAS KOTA LAMONGAN – BATAS  
KABUPATEN GRESIK**

Nama Mahasiswa	:	Intan Yuanita
NRP	:	6012201065
Dosen Pembimbing	:	1. Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng. 2. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
Mentor Lapangan	:	Nanang Permadi, ST, MT

**ABSTRAK**

Ruas Jalan Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby.38+000 – 41+000 (Link 028.7) adalah salah satu ruas Pantura Jawa yang pada tahun 2020 mengalami kerusakan jalan berupa retak, berlubang, bergelombang dan terjadi penurunan setempat. Kerusakan jalan yang terjadi dari waktu ke waktu pada ruas jalan ini selain diakibatkan oleh kendaraan yang *overloading* juga disebabkan oleh kondisi *subgrade* jalan yang memiliki nilai CBR rendah. Berdasarkan permasalahan tersebut, Kementerian PUPR melalui BBPJN Jatim – Bali pada Tahun anggaran 2021 melaksanakan metode *water cement grouting* untuk memperbaiki kondisi tanah dasar tanpa melakukan penggantian/pembongkaran tanah dasar untuk diimplementasikan di ruas pantura yang memiliki volume lalu lintas tinggi dan tidak dapat dilakukan penutupan jalan dalam jangka waktu yang lama.

Metode *water cement grouting* adalah suatu model injeksi semen dan air dengan tekanan tertentu menggunakan kolom pipa baja berlubang kedalam rongga/pori di dalam tanah. Material *grouting* yang tersebar dan tercampur kedalam rongga/pori tanah ini diharapkan dapat memperkuat formasi lapisan tanah, mendukung beban dengan maksimal dan meminimalkan penurunan (*settlement*).

Dalam studi ini, sebaran (jangkauan rekahan) *water cement grouting* yang tercampur dalam tanah akan dianalisis untuk mengetahui efektifitasnya dalam mengurangi penurunan (*settlement*) akibat pembebahan. Untuk itu, dilakukan analisis permodelan penurunan vertikal ( $U_y$ ) akibat pembebahan secara numerik pada aplikasi Plaxis 2DV21 yang disimulasikan dengan variasi sebaran (jangkauan rekahan) *grouting* yang menyebar dalam tanah dengan lebar 0,5 m, 2,5 m, 5,5 m dan tebal 2m, 2,5m serta berdasarkan variasi material *water cement grouting* yang tercampur dengan tanah asli yaitu sebesar 5%, 10% dan 20%. Analisis penurunan ditinjau pada elevasi permukaan tanah diatas lapisan *grouting* dan pada elevasi -3 m dari elevasi permukaan tanah yaitu pada lapisan tanah dasar dibawah lapisan *grouting*.

Hasil analisis permodelan dengan perkuatan *water cement grouting* dari berbagai variasi permodelan menunjukkan bahwa semakin lebar sebaran

(jangkauan rekahan) *grouting* maka penurunan semakin kecil, hal ini disebabkan karena pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* tersebut mampu mencakup seluruh lebar pembebahan sehingga penurunan menjadi tidak sebesar bila lebar *grouting* tidak memenuhi seluruh lebar jalan. Sedangkan semakin tebal lapisan sebaran *grouting* dan semakin besar komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli maka penurunan menjadi semakin besar, hal ini disebabkan karena tebal dan campuran *grouting* meningkatkan berat dan kekakuan modulus, sehingga akan menjadi beban sendiri bagi lapisan tanah asli.

Namun berdasarkan total nilai penurunan vertikal ( $U_y$ ) akibat pembebahan, perkuatan *water cement grouting* efektif dalam mengurangi penurunan tanah sebesar  $10,83 - 50,63\%$  dibandingkan tanpa perkuatan *water cement grouting*. Hal ini ditunjukkan dari output hasil analisis penurunan vertikal ( $U_y$ ) akibat pembebahan pada tanah berdasarkan rata-rata penurunan vertikal ( $U_y$ ) yaitu pada lebar sebaran 0,5 m sebesar 10,83%, pada lebar sebaran 2,5m adalah sebesar 31,45%, dan pada panjang 5,5m adalah sebesar 50,63 %.

**Kata Kunci:** *water cement grouting, sebaran grouting, penurunan tanah, Plaxis 2DV21*

# **SETTLEMENT ANALYSIS ON EXPANSIVE SOIL WITH WATER-CEMENT GROUTING REINFORCEMENT IN THE NATIONAL ROAD SEGMENT OF BTS.KOTA LAMONGAN– BTS. KOTA GRESIK**

Student Name	: Intan Yuanita
NRP	: 6012201065
Supervisor	: 1. Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemito, M.Eng. : 2. Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA
Field Mentor	: Nanang Permadi, ST, MT

## **ABSTRACT**

The Bts. Kab. Gresik – Bts. Kota Lamongan Road section Km.Sby. 38+000 – 41+000 (Link 028.7) is one of the Java Pantura segments that suffered road damage in the form of cracks, potholes, bumps, and local subsidence in 2020. Road damage that occurs on this road from time to time is caused not only by overloaded vehicles but also by road subgrade conditions with low CBR values. Based on these issues, the Ministry of PUPR, through the BBPJA Jawa Timur - Bali, initiated the water-cement grouting method in the 2021 fiscal year to improve the subgrade condition without replacing/removing the subgrade, which is thought to be the most appropriate to implement in the Pantura section, which has a high traffic volume and cannot be closed for an extended period of time.

The water cement grouting method is a model for injecting cement and water at a specific pressure into cavities or pores in the soil through a column of perforated steel pipes. The *grouting* material dispersed and mixed into the soil voids is expected to strengthen the soil layer formation, support maximum loads, and minimize settlement.

The modeling results with water cement grouting reinforcement from various modeling variations show that the wider the distribution (fracture range) of the grouting, the smaller the decrease because the increase in stiffness modulus due to the grouting is able to cover the entire width of the loading, so the decrease is not as large as if the grouting width does not meet the entire width. road. Meanwhile, the larger the thickness of the grouting distribution layer and the bigger the composition of the grouting mixture with the original soil, the greater the settlement. This is because the thickness and the grout mixture increase the weight and stiffness of the modulus, putting a burden on the original soil layer.

The results of the modeling analysis without water cement grouting showed that the vertical settlement value ( $U_y$ ) due to loading was -0.017 m, and the results of the modeling analysis with water-cement grouting reinforcement from various modeling variations showed that the wider the distribution (fracture

range) of the grouting, the smaller the settlement. while the greater the settlement, the thicker the layer of grouting distribution and the greater the composition of the grouting mixture with the original soil.

However, based on the total value of vertical settlement ( $U_y$ ) caused by loading, water cement grouting reinforcement reduced soil subsidence by 10.83 – 50.63 percent when compared with no water cement grouting reinforcement. This is proved by the output of the analysis of vertical settlement ( $U_y$ ) due to loading on the soil, which is 10.83 percent at a distribution width of 0.5 m, 31.45 percent at a distribution width of 2.5 m, and 50.63 percent at a length of 5.5m.

**Keywords :** *water-cement grouting, grouting distribution, soil settlement, plaxis 2DV21*

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji kehadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah serta karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini tepat pada waktunya. Pada kesempatan kali ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam penyelesaian Tesis ini, antara lain:

1. Orang tua, suami dan anak-anak yang selalu memberikan doa, semangat dan dorongan sepenuhnya dalam pengerjaan Tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng dan Prof. DR.Ir. Indarto, DEA selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan membantu selama proses penyusunan Tesis.
2. Bapak Nanang Permadi, ST.MT selaku mentor lapangan yang telah membimbing dan mengarahkan selama proses penyusunan Tesis .

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tesis ini terdapat kelebihan dan kekurangan. Segala kelebihan pada Tesis ini diharapkan memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi rekan – rekan pembaca tentang ilmu Teknik Sipil khususnya bidang geoteknik. Penulis tidak lupa meminta kritik dan saran yang membangun terhadap Tesis ini, sehingga menjadikan penulis lebih baik lagi kedepannya. Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih.

Surabaya, Januari 2022

Penulis

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN TESIS .....</b>	i
<b>ABSTRAK .....</b>	iii
<b>ABSTRACT .....</b>	v
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	vii
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	xvi
<b>BAB 1 .....</b>	1
<b>PENDAHULUAN .....</b>	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah.....	5
1.3    Tujuan .....	5
1.4    Manfaat .....	6
1.5    Batasan Masalah.....	6
<b>BAB 2 .....</b>	9
<b>KAJIAN PUSTAKA .....</b>	9
2.1    Parameter Tanah.....	9
2.1.1    Permeabilitas.....	11
2.1.2    Modulus Elastisitas.....	11
2.1.3 <i>Poisson's Ratio</i> .....	13
2.1.4    Kohesi .....	13
2.1.5    Sudut Geser Dalam.....	16
2.2    Parameter Perkerasan Jalan .....	17
2.2.1    Berat Jenis Campuran Laston (Asphalt Concrete/AC) .....	17
2.2.2    Modulus Elastisitas Campuran Laston .....	18
2.2.3    Angka Poisson's Ratio Campuran Laston .....	19
2.2.4    Berat jenis perkerasan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) .....	19
2.2.5    Modulus elastisitas dan poisson's ratio Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) .....	19
2.3    Tanah Ekspansif.....	20
2.3.1    Karakteristik Tanah Ekspansif.....	21

2.3.2	Identifikasi Tanah Ekspansif.....	24
2.3.3	Penanganan Konstruksi Diatas Tanah Ekspansif .....	28
2.4	Struktur Perkerasan Jalan .....	31
2.4.1	Lapisan Perkerasan Lentur .....	32
2.4.2	Lapisan Perkerasan Kaku.....	33
2.5	Perbaikan Tanah Dengan Metode <i>Grouting</i> .....	33
2.4.1	Metode Pelaksanaan <i>Grouting</i> .....	37
2.4.2	Tekanan <i>Grouting</i> .....	38
2.4.3	Peresapan/permeation <i>Grouting</i> Tanah.....	39
2.4.4	Sebaran <i>Grouting</i> .....	40
2.4.5	Klasifikasi Bahan <i>Grouting</i> .....	43
2.5.1	Efektivitas Kinerja <i>Grouting</i> Mereduksi Penurunan Tanah .....	46
2.6	Konsep Pembebaran .....	51
2.6.1	Beban –Beban Yang Bekerja Di Atas Konstruksi Jalan .....	51
2.6.2	Kemampuan Perkerasan Jalan Dalam Penyebaran Beban Ke Lapisan Tanah Dasar .....	53
2.7	Metode Numerik (Plaxis 2d V8.6) .....	55
2.7.1	Pemodelan Secara Numerik Pada Plaxis 2D .....	55
2.7.2	Permodelan Deformasi Pada Plaxis 2D .....	60
BAB 3.....		65
METODOLOGI .....		65
3.1	Diagram Alir ( <i>Flow Chart</i> ).....	65
3.2	Uraian Tahapan.....	66
3.2.1	Studi Literatur .....	66
3.2.2	Pengumpulan Data .....	66
3.2.3	Penentuan Variabel Yang Berpengaruh Terhadap Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	66
3.2.4	Persiapan Input Data Pada Permodelan Tanah .....	67
3.2.5	Pembebaran .....	67
3.2.6	Permodelan Lapisan Tanah Tanpa Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	67
3.2.7	Permodelan Tanah Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	68
3.2.8	Analisis Potensi Penurunan ( <i>Settlement</i> ) Tanah .....	71
3.2.9	Output dari Hasil Penelitian.....	72

<b>BAB 4 .....</b>	<b>73</b>
<b>DATA DAN ANALISA.....</b>	<b>73</b>
<b>4.1 Data Tanah.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2 Analisis Identifikasi dan Aktifitas Tanah Ekspansif.....</b>	<b>78</b>
<b>4.3 Analisis Penentuan Tipe <i>Grouting</i>.....</b>	<b>81</b>
<b>4.4 Analisis Parameter Tanah .....</b>	<b>82</b>
<b>4.4.1 Parameter Perkerasan Jalan .....</b>	<b>82</b>
<b>4.4.2 Parameter Lapisan Tanah Dasar.....</b>	<b>87</b>
<b>4.4.3 Analisis Parameter <i>Water cement grouting</i> .....</b>	<b>90</b>
<b>4.4.4 Analisis Parameter Tanah campuran (<i>Water cement grouting</i> dengan tanah asli) .....</b>	<b>91</b>
<b>4.5 Analisis Pembebanan .....</b>	<b>92</b>
<b>4.6 Permodelan Pembebanan Tanah Tanpa Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Pada Plaxis 2DV21 .....</b>	<b>95</b>
<b>4.7 Permodelan Pembebanan Tanah Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Pada Plaxis 2DV21 .....</b>	<b>101</b>
<b>4.7.1 Tahapan Permodelan Penurunan akibat pembebanan Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Dengan Plaxis 2D V21 .....</b>	<b>101</b>
<b>BAB 5 .....</b>	<b>109</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>109</b>
<b>5.1 Hasil Analisis Penurunan Akibat Pembebanan Tanpa Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Pada Plaxis 2D V21.....</b>	<b>109</b>
<b>5.2 Hasil Analisis Penurunan akibat pembebanan Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Pada Plaxis 2D V21.....</b>	<b>111</b>
<b>5.2.1 Hasil Analisis Penurunan akibat pembebanan berdasarkan pengaruh lebar sebaran dan tebal lapisan <i>grouting</i> .....</b>	<b>111</b>
<b>5.2.2 Hasil Analisis Penurunan akibat pembebanan berdasarkan pengaruh Campuran <i>Water cement grouting</i> dengan tanah asli.....</b>	<b>118</b>
<b>5.3 Hasil Analisis Perbandingan Penurunan Tanpa Perkuatan Dan Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....</b>	<b>121</b>
<b>BAB 6 .....</b>	<b>127</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>127</b>
<b>6.1 Kesimpulan .....</b>	<b>127</b>
<b>6.2 Saran.....</b>	<b>129</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>131</b>

<b>LAMPIRAN 1.....</b>	<b>135</b>
<b>DATA BORE LOG .....</b>	<b>135</b>
<b>LAMPIRAN 2.....</b>	<b>161</b>
<b>DATA SONDIR.....</b>	<b>161</b>
<b>LAMPIRAN 3.....</b>	<b>173</b>
<b>POTONGAN MELINTANG.....</b>	<b>173</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Peta Lokasi dan Foto Kondisi Eksisting Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby.39+650 – 41+000.....	2
<b>Gambar 1.2</b> Rencana Perkuatan <i>Water cement grouting</i> pada Potongan Melintang Jalan Km Sby. 39+650 - 41+000.....	2
<b>Gambar 1.3</b> Detail Perkuatan <i>Water cement grouting</i> pada Potongan Melintang Jalan Km Sby. 41+000 .....	3
<b>Gambar 1.4</b> Penentuan Titik Lubang <i>Grouting</i> .....	4
<b>Gambar 1.5</b> Sebaran material <i>grouting</i> menyembur ke lubang pipa terdekat dan Bahu Jalan .....	4
<b>Gambar 2.1</b> Grafik Hubungan Nilai Kohesi dan N-SPT Pada Tanah Kohesif, Sumber : Terzaghi, 1943 .....	14
<b>Gambar 2.2</b> Grafik Korelasi Besar Sudut Geser Dalam dengan <i>Index Plastisitas</i> (IP) pada sampel tanah <i>remolded</i> dan <i>undisturb</i> .....	17
<b>Gambar 2.3</b> Fatik Pengembangan.....	24
<b>Gambar 2.4</b> Batas – Batas Konsistensi Tanah.....	25
<b>Gambar 2.5</b> Struktur Lapisan Perkerasan Jalan.....	32
<b>Gambar 2.6</b> Fungsi <i>Grouting</i> Pada Tanah dan Batuan.....	34
<b>Gambar 2.7</b> Tipe <i>Grouting</i> .....	36
<b>Gambar 2.8</b> <i>Ranges of Soils by Grouting Method</i> .....	36
<b>Gambar 2.9</b> Grafik Korelasi Tekanan <i>Grouting</i> Dan <i>Water Cement Ratio</i> ,.....	39
<b>Gambar 2.10</b> Ilustrasi skema dari distribusi 3D berspekulasi dari nat dan sebaranyang disuntikkan.....	42
<b>Gambar 2.11</b> Detail <i>Grouting system</i> , .....	47
<b>Gambar 2.12</b> Jangkauan Kolom <i>Grouting</i> Pada Upper Dan Lower <i>Grout Layer</i> .....	48
<b>Gambar 2.13</b> (a) Penampakan Upper dan Lower <i>Grout Layers</i> Setelah Lapisan Tanah Lunak Dihilangkan, (B) Pengukuran Jarak Jangkauan <i>Grouting</i> .....	48
<b>Gambar 2.14</b> Plot Hubungan Radius Kolom <i>Grouting</i> ( $R_{avg}/dn$ ) dan $(P_i/Cu)/(N)^{0,5}$ ....	49
<b>Gambar 2.15</b> Grafik Penurunan terhadap Spasi antar Tiang Grout,.....	50
<b>Gambar 2.16</b> Tipe-Tipe Kelompok Sumbu Untuk Perhitungan Daya Perusak Jalan.....	53
<b>Gambar 2.17</b> Ilustrasi Distribusi Beban Pada Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur	54
<b>Gambar 2.18</b> Kondisi <i>DeformMesh</i> akibat Beban Lalu-lintas. .....	62
<b>Gambar 2.19</b> Jaring Elemen Hingga Untuk Pemodelan <i>Cmpentation Or Fracture Grouting</i> .....	62
<b>Gambar 2.20</b> Efisiensi <i>grout</i> lempung dengan rasio <i>Over Consolidated Ratio</i> (OCR) =1, 1,1, 1,2, dan 2 .....	64
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir ( <i>Flow Chart</i> ).....	65
<b>Gambar 3.2</b> Permodelan Lapisan Tanah Tanpa Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	67
<b>Gambar 3.3</b> Asumsi Arah Sebaran <i>Grouting</i> Tipe 1 .....	68
<b>Gambar 3.4</b> Sketsa Variasi Lebar <i>Grouting</i> Tipe 1a .....	69
<b>Gambar 3.5</b> Sketsa Variasi Lebar <i>Grouting</i> Tipe 1b .....	69

<b>Gambar 3.6</b> Sketsa Variasi Lebar <i>Grouting</i> Tipe 2c .....	69
<b>Gambar 3.7</b> Asumsi Arah Sebaran <i>Grouting</i> Tipe 2 .....	70
<b>Gambar 3.8</b> Sketsa Variasi Lebar <i>Grouting</i> Tipe 2a .....	70
<b>Gambar 3.9</b> Sketsa Variasi Lebar <i>Grouting</i> Tipe 2b .....	70
<b>Gambar 3.10</b> Sketsa Variasi Lebar <i>Grouting</i> Tipe 2c .....	71
<b>Gambar 4.1</b> Lokasi Penyelidikan Bor Dalam .....	73
<b>Gambar 4.2</b> Data <i>Standard Penetration Test (SPT)</i> titik BH2 .....	74
<b>Gambar 4.3</b> Data Bor Dangkal titik BD2 .....	75
<b>Gambar 4.4</b> Penentuan klasifikasi jenis tanah berdasarkan sistem USCS.....	77
<b>Gambar 4.5</b> Analisis Penentuan Tipe <i>Grouting</i> .....	81
<b>Gambar 4.6</b> Sketsa Lapisan perkerasan tanpa perkuatan (a) dan dengan perkuatan <i>Water cement grouting</i> (b) .....	82
<b>Gambar 4.7</b> Sketsa Lapisan Tanah Dasar .....	87
<b>Gambar 4.8</b> Sketsa Sebaran <i>Grouting</i> pada Lapisan pada lapisan Sirtu (LP1) dan Lapisan Lempung Kelanaan Coklat (LP2) .....	92
<b>Gambar 4.9</b> Ilustrasi Pembebaan Tanpa Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	94
<b>Gambar 4.10</b> Ilustrasi Pembebaan dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	95
<b>Gambar 4.11</b> permodelan ini lapisan tanah dasar dengan menggunakan <i>bore hole</i> .....	96
<b>Gambar 4.12</b> Permodelan potongan melintang jalan tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	97
<b>Gambar 4.13</b> Tahap <i>generate mesh</i> tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	97
<b>Gambar 4.14</b> Output Total Penurunan IuI tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	98
<b>Gambar 4.15</b> Output Total Penurunan arah vertikal ( $U_y$ ) tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	99
<b>Gambar 4.16</b> Penentuan elevasi Potongan Pada Permodelan Pembebaan Tanpa Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	99
<b>Gambar 4.17</b> Output elevasi Potongan (A-A) tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i>	100
<b>Gambar 4.18</b> Kurva output elevasi Potongan (A-A) tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	100
<b>Gambar 4.19</b> Output Potongan (B-B) tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	100
<b>Gambar 4.20</b> Kurva output Potongan (B-B) tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> ..	101
<b>Gambar 4.21</b> Permodelan potongan melintang jalan dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	102
<b>Gambar 4.22</b> Tahap <i>Generate Mesh</i> dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	103
<b>Gambar 4.23</b> <i>Phase Initial Condition</i> Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	103
<b>Gambar 4.24</b> <i>Phase Grout</i> dan <i>Load</i> Variasi Tipe 1a.....	104
<b>Gambar 4.25</b> <i>Phase Grout</i> dan <i>Load</i> Variasi Tipe 2a.....	104
<b>Gambar 4.26</b> Output Total Penurunan IuI Variasi Tipe 1a.....	104
<b>Gambar 4.27</b> Output Total Penurunan vertikal $u_y$ Variasi Tipe 1a .....	105
<b>Gambar 4.28</b> Penentuan Potongan Pada Permodelan Pembebaan Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> .....	105

<b>Gambar 4.29</b> Output elevasi Potongan (A-A) Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Variasi Tipe 1a.....	106
<b>Gambar 4.30</b> Output elevasi Potongan (B-B) Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Variasi Tipe 1a.....	106
<b>Gambar 4.31</b> Kurva elevasi Potongan (A-A) Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Variasi Tipe 1a.....	107
<b>Gambar 4.32</b> Kurva Elevasi Potongan (B-B) Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Variasi Tipe 1a.....	107
<b>Gambar 5.1</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebanan tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> pot. Elevasi A-A.....	110
<b>Gambar 5.2</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebanan tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> pot. Elevasi B-B .....	110
<b>Gambar 5.3</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebanan pada perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 1 pot. Elevasi A-A.....	113
<b>Gambar 5.4</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebanan pada perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 1 pot. Elevasi B-B .....	113
<b>Gambar 5.5</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebanan pada perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 2 Pot. elevasi A-A .....	115
<b>Gambar 5.6</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebanan pada perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 2 Pot. elevasi B-B.....	116
<b>Gambar 5.7</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal (uy) dengan lebar Pembebanan dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 2 pada Pot. elevasi A-A.....	117
<b>Gambar 5.8</b> Kurva Korelasi Penurunan vertikal (uy) dengan lebar Pembebanan dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 2 pada Pot. Elevasi B-B .....	117
<b>Gambar 5.9</b> Kurva Penurunan Tanah dengan lebar Sebaran <i>Grouting</i> 0,5m Terhadap Komposisi Campuran Material <i>Grouting</i> pada Potongan elevasi (A-A) dan (B-B).....	119
<b>Gambar 5.10</b> Kurva Penurunan Tanah dengan lebar Sebaran <i>Grouting</i> 2,5 m Terhadap Komposisi Campuran Material <i>Grouting</i> pada Potongan elevasi (A-A) dan (B-B).....	120
<b>Gambar 5.11</b> Kurva Penurunan Tanah dengan lebar Sebaran <i>Grouting</i> 5,5 m Terhadap Komposisi Campuran Material <i>Grouting</i> pada Potongan Elevasi (A-A) dan (B-B) .....	120
<b>Gambar 5.12</b> Kurva perbandingan Penurunan Tanah berdasarkan sebaran <i>Grouting</i> pada Potongan Elevasi (A-A).....	122
<b>Gambar 5.13</b> Kurva perbandingan Penurunan Tanah berdasarkan sebaran <i>Grouting</i> pada Potongan Elevasi (B-B) .....	122
<b>Gambar 5.14</b> Ilustrasi Kemampuan <i>Grouting</i> Menahan Beban Kendaraan Dan Perkerasan Jalan Ditinjau Dari Potongan Elevasi A-A Dan B-B .....	123
<b>Gambar 5.15</b> Rekapitulasi Nilai Hasil Penurunan Tanah Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Pada Tebal Sebaran di Lapisan Sirtu Dan Tanah Lunak .....	124
<b>Gambar 5.16</b> Rekapitulasi Nilai Hasil Penurunan Tanah Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan <i>Water cement grouting</i> Pada Tebal Sebaran di Lapisan Tanah Lunak. ....	125

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Nilai Tipikal Berat Volume Tanah .....	9
<b>Tabel 2.2</b> Nilai N-SPT dan Propertis Tanah Berdasarkan .....	9
<b>Tabel 2.3</b> Korelasi Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ) untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif.....	10
<b>Tabel 2.4</b> Korelasi antara nilai N SPT dengan <i>Unconfined Compressive Strength</i> dan Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk Tanah Kohesif.....	10
<b>Tabel 2.5</b> Nilai Permeabilitas (K) Berdasarkan Jenis Tanah .....	11
<b>Tabel 2.6</b> Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Es).....	12
<b>Tabel 2.7</b> Korelasi Korelasi Nilai Kekakuan Tanah dalam <i>Undrained</i> dan <i>Drained</i> .....	12
<b>Tabel 2.8</b> Perkiraan Angka Poisson's ( $\mu$ ) .....	13
<b>Tabel 2.9</b> Konsistensi Tanah Untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung.....	14
<b>Tabel 2.10</b> Tabel Korelasi antara Indeks Konsistensi (CI), N dan Cu.....	15
<b>Tabel 2.11</b> Nilai Tipikal C' dan $\phi'$ .....	16
<b>Tabel 2.12</b> Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah .....	16
<b>Tabel 2.13</b> Persyaratan Agregat Untuk Campuran Laston .....	18
<b>Tabel 2.14</b> Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat yang digunakan Untuk Pengembangan Bagan Desain Jalan dan Untuk Analisis Mekanistik .....	18
<b>Tabel 2.15</b> Nilai Tipikal Poisson's Ratio (v) .....	19
<b>Tabel 2.16</b> Daftar Berat Jenis Beton.....	19
<b>Tabel 2.17</b> Properties Material Beton.....	19
<b>Tabel 2.18</b> Perkiraan Angka Poisson's ( $\mu$ ) .....	20
<b>Tabel 2.19</b> Relasi antara Jenis Tanah dan Indeks Plastis.....	26
<b>Tabel 2.20</b> Relasi antara Indeks Plastis, Indeks Susut dan Swelling potential .....	26
<b>Tabel 2.21</b> Relasi antara <i>Swelling potential</i> dan Indeks Plastis.....	26
<b>Tabel 2.22</b> Korelasi Data Lapangan dan Laboratorium Dengan Tingkat Pengembangan	27
<b>Tabel 2.23</b> Korelasi Indeks Uji dengan Tingkat Pengembangan.....	27
<b>Tabel 2.24</b> Korelasi Tingkat Keaktifan dengan potensi pengembangan .....	28
<b>Tabel 2.25</b> Perbandingan Bahan Utama Semen .....	44
<b>Tabel 2.26</b> Berat Beban Perkerasan Jalan .....	52
<b>Tabel 2.27</b> Beban Sumbu Standar Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga .....	53
<b>Tabel 4.1</b> Koordinat Lokasi Penyelidikan Tanah .....	73
<b>Tabel 4.2</b> Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli dari <i>Undisturb Sample</i> .....	76
<b>Tabel 4.3</b> Nilai N-SPT Rata-Rata, Konsistensi, dan Klasifikasi Tanah .....	78
<b>Tabel 4.4</b> Data pengujian ukuran butiran tanah (analisis <i>hydrometer</i> ) dan data batas-batas <i>atterberg</i> .....	78
<b>Tabel 4.5</b> Rekapitulasi Hasil Penentuan Tingkat Pengembangan (Swelling Potential) Tanah Lempung titik BH2.....	79
<b>Tabel 4.6</b> Hasil Penentuan Tingkat Pengembangan (Swelling Potential) Berdasarkan Tingkat Keaktifan pada Tanah Lempung titik BH2 .....	80

<b>Tabel 4.7</b> Hasil pengujian Job Mix Formula (JMF) Agregat A .....	85
<b>Tabel 4.8</b> Rekapitulasi Parameter Perkerasan Jalan .....	86
<b>Tabel 4.9</b> Hasil pengujian Job Mix Formula (JMF) Lapisan Sirtu.....	88
<b>Tabel 4.10</b> Nilai Parameter Tanah Dasar .....	90
<b>Tabel 4.11</b> Nilai Parameter <i>Grouting</i> .....	91
<b>Tabel 4.12</b> Rekapitulasi Perhitungan Parameter Campuran.....	92
<b>Tabel 4.13</b> Beban total tanpa <i>perkuatan water cement grouting</i> .....	94
<b>Tabel 4.0.14</b> Beban total dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	94
<b>Tabel 4.15</b> Permodelan dan Kondisi dalam Plaxis .....	96
<b>Tabel 5.1</b> Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebahan tanpa perkuatan <i>water cement grouting</i> .....	109
<b>Tabel 5.2</b> Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebahan Dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 1 .....	112
<b>Tabel 5.3</b> Output Hasil Permodelan Penurunan (Uy) pada Pot. elevasi A-A dan Pot.elevasi B-B akibat pembebahan Dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 1 .	112
<b>Tabel 5.4</b> Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebahan Dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 1 .....	114
<b>Tabel 5.5</b> Output Hasil Permodelan Penurunan (Uy) pada Pot. Elevasi A-A dan Pot. B-B akibat pembebahan Dengan perkuatan <i>water cement grouting</i> tipe 2 .....	115
<b>Tabel 5.6</b> Rekapitulasi hasil penurunan dari Komposisi Campuran material Tanah Asli 95%+ <i>Water cement grouting</i> 5%.....	118
<b>Tabel 5.7</b> Rekapitulasi hasil penurunan dari Komposisi Campuran material Tanah Asli 90%+ <i>Water cement grouting</i> 10%.....	118
<b>Tabel 5.8</b> Rekapitulasi hasil penurunan dari Komposisi Campuran material Tanah Asli 80% + <i>Water cement grouting</i> 20%.....	119



# BAB 1

## PENDAHULUAN

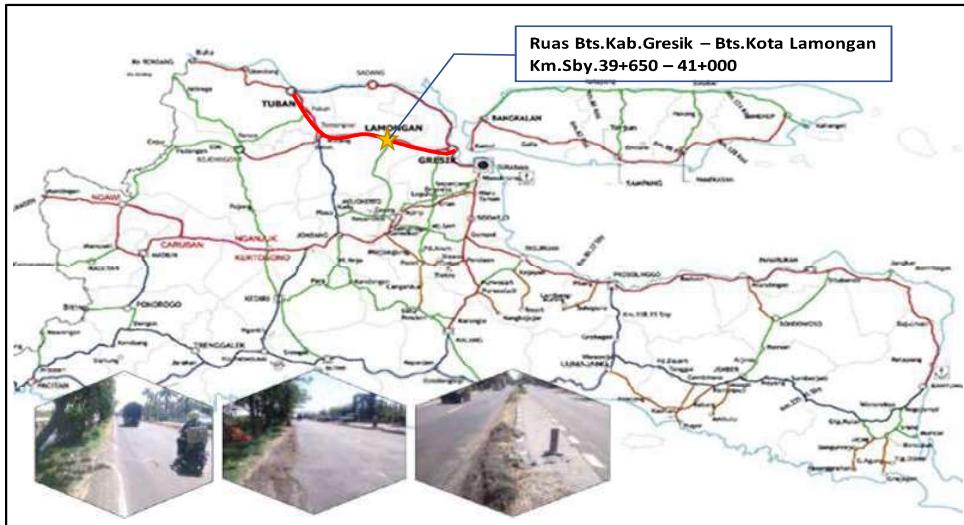
### 1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan merupakan fasilitas transportasi darat yang vital dalam menunjang perekonomian suatu daerah. Oleh sebab itu, Kementerian PUPR melalui Direktorat Jenderal Bina Marga berusaha untuk menjaga dan meningkatkan kemantapan Jalan Nasional di Indonesia. Ruas Pantura yang membentang di sepanjang Utara Pulau Jawa merupakan jalan arteri primer dengan kondisi lalu lintas cenderung overloading dan menjadi jalur utama pendistribusian logistik di Indonesia sehingga kerusakan pada ruas jalan tersebut dapat mengakibatkan terganggunya distribusi barang/jasa.

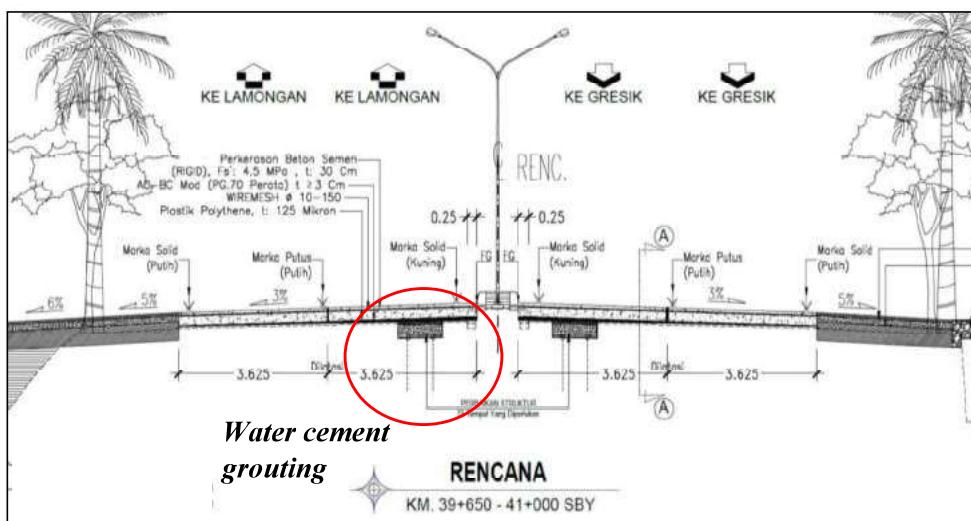
Ruas Jalan Tuban–Babat– Lamongan – Gresik, khususnya Bts.Kab. Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby.38+000 – 41+000, adalah salah satu ruas Pantura Jawa yang pada tahun 2020 mengalami kerusakan jalan berupa retak, berlubang, bergelombang dan terjadi penurunan setempat. Kerusakan jalan yang terjadi dari waktu ke waktu pada ruas jalan ini selain diakibatkan oleh kendaraan *overloading* juga disebabkan oleh kondisi *subgrade* jalan yang memiliki nilai CBR rendah (<2.5%) dan dari hasil penyelidikan tanah didapatkan data bahwa tanah di ruas tersebut didominasi oleh tanah kohesif dimana persentase butiran lolos saringan no.200 lebih dari 90%. Nilai Indeks Plastisitas berkisar antara 40% - 45%, masuk dalam kategori potensi mengembang tinggi (PPK 4.5 TBLG, 2020).

Berdasarkan Permasalahan tersebut, Kementerian PUPR melalui BBPJN Jatim – Bali mencetuskan metode *water-cement grouting* untuk memperbaiki kondisi tanah dasar tanpa melakukan penggantian/pembongkaran tanah dasar yang dinilai paling sesuai untuk diimplementasikan di Ruas Pantura yang memiliki volume lalu lintas tinggi dan tidak dapat dilakukan penutupan jalan dalam jangka waktu yang lama. Metode *water cement grouting* adalah suatu

model injeksi semen dan air dengan tekanan tertentu menggunakan kolom pipa baja berlubang sebagai penyalur bahan *grouting* kedalam rongga/pori dalam tanah. Selanjutnya sebaran semen dan air tersebut dalam waktu tertentu menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

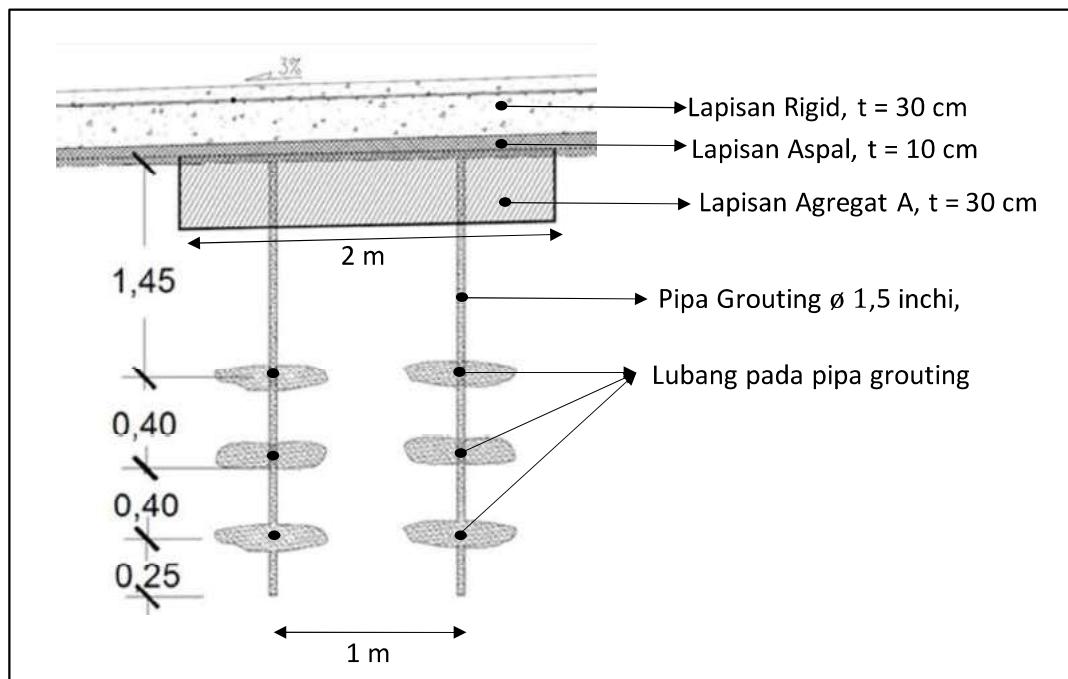


**Gambar 1.1** Peta Lokasi dan Foto Kondisi Eksisting Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby.39+650 – 41+000  
Sumber : PPK 4.5 TBLG



**Gambar 1.2** Rencana Perkuatan *Water cement grouting* pada Potongan Melintang Jalan Km Sby. 39+650 - 41+000  
Sumber : PPK 4.5 TBLG

Pelaksanaan metode *water cement grouting* dilakukan di sekitar area median jalan dengan mengupas aspal selebar 2 meter dari lebar jalan total 7 meter dan memasukkan pipa berlubang dengan panjang 2,5 m, diameter 1,5 inchi dengan pola zig-zag kedalam lapisan *subgrade*, kemudian material *water-cement* disuntikkan (*grouting*) kedalam pipa tersebut pada tekanan 5 bar (5 kg/cm<sup>2</sup>) dan kemudian menyebar melalui lubang pipa ke dalam lapisan tanah *subgrade*. Sebaran (jangkauan rekahan) dan campuran material *water cement grouting* didalam lapisan tanah ini diharapkan dapat memperkuat formasi lapisan tanah dan menjadikan lapisan tanah lebih padat sehingga mampu mendukung beban dengan maksimal dan meminimalkan penurunan (*settlement*) tanah.



**Gambar 1.3** Detail Perkuatan *Water cement grouting* pada Potongan Melintang Jalan Km Sby. 41+000  
Sumber : PPK 4.5 TBLG



**Gambar 1.4** Penentuan Titik Lubang *Grouting*

Sumber : Dokumentasi Pribadi



**Gambar 1.5** Sebaran material *grouting* menyembur ke lubang pipa terdekat dan  
Bahu Jalan

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Untuk mengetahui pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) *water cement grouting* yang tersebar dan tercampur didalam tanah serta efektifitas perkuatan *water cement grouting* terhadap pengurangan penurunan tanah dasar (*subgrade*) akibat pembebahan pada Ruas Jalan Bts. Kota Lamongan – Bts. Kab. Gresik Km. Sby. 39+650 – 41+000, dilakukan penelitian tentang analisis penurunan tanah akibat pembebahan pada kondisi tanah tanpa perkuatan dan dengan perkuatan *water cement grouting* menggunakan permodelan secara numerik pada program Plaxis 2DV21. Permodelan dengan perkuatan *water cement grouting* disimulasikan berdasarkan variabel yang dianggap dapat mempengaruhi

pengurangan penurunan tanah yaitu sebaran (jangkauan rekahan) *grouting* (lebar dan tebal) didalam lapisan *subgrade* dan komposisi parameter tanah campuran *water cement grouting*. pada penelitian ini akan disusun grafik hubungan antara penurunan vertikal tanah ( $U_y$ ) dengan panjang pembebahan pada tanah tanpa perkuatan dan dengan perkuatan *water cement grouting*. Hasil dari studi ini bisa dijadikan referensi dan bahan evaluasi untuk Pihak-Pihak yang terkait dengan penanganan ruas jalan ketika melaksanakan pekerjaan perbaikan struktur tanah dasar khususnya yang menggunakan metode *water cement grouting*

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dikaji dalam penelitian ini dijabarkan dalam rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa besar penurunan vertikal tanah ( $U_y$ ) akibat pembebahan pada kondisi tanah tanpa perkuatan *water cement grouting* ?
2. Bagaimana pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) *grouting* terhadap penurunan vertikal tanah ( $U_y$ ) akibat pembebahan?
3. Bagaimana pengaruh parameter tanah campuran terhadap penurunan vertikal tanah ( $U_y$ ) akibat pembebahan?
4. Berapa besar penurunan vertikal tanah ( $U_y$ ) akibat pembebahan pada kondisi tanah dengan perkuatan *water cement grouting* terhadap pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) *grouting* dan parameter tanah campuran?
5. Bagaimana efektifitas perkuatan *water cement grouting* dalam mengurangi penurunan akibat pembebahan?

## 1.3 Tujuan

Terkait dengan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas perkuatan *water cement grouting* dalam mengurangi penurunan akibat pembebahan berdasarkan pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) *grouting* dan

campuran material *water cement grouting* didalam lapisan tanah menggunakan simulasi permodelan pada Plaxis 2Dv21.

#### **1.4 Manfaat**

Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari hasil penelitian dapat diperoleh gambaran pengaruh efektifitas *water cement grouting* dalam mengurangi penurunan akibat pembebahan pada tanah dasar.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi pengelola jalan khususnya Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan pihak lain dalam melakukan perbaikan tanah dasar menggunakan *water cement grouting*.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian dibatasi pada :

1. Data sekunder pada penelitian ini didapat dari Paket Pekerjaan Preservasi Jalan Tuban – Babat – Lamongan – Gresik Ruas Jalan Bts. Kota Lamongan – Bts. Kab. Gresik Km. Sby. 39+650 – 41+000 Tahun Anggaran 2020.
2. Penelitian ini mensimulasikan permodelan secara numerik menggunakan program Plaxis 2Dv21 untuk memperoleh nilai penurunan tanah akibat pembebahan.
3. Jenis tanah, tebal lapisan *subgrade* dan perkerasan, posisi tinggi muka air tanah dan posisi lubang *grouting* pada permodelan Plaxis akan disesuaikan berdasarkan data *Detailed Engineering Desain* dan data N-SPT pada potongan melintang jalan Km.Sby 41+000.
4. Parameter untuk perhitungan material yang mengalami *grouting* (campuran) diasumsikan merupakan persentase parameter campuran material tanah asli dengan material *grouting*.
5. Pembebahan pada permodelan menggunakan beban kendaraan maksimum yang disyaratkan untuk jalan nasional dan beban perkerasan jalan.

6. Penelitian ditinjau pada *original ground* dibawah perkerasan jalan dan pada lapisan *subgrade* yaitu -3m dibawah *original ground* dengan variabel sebaran *grouting* (panjang dan tebal) dalam tanah dan campuran *water cement grouting* dengan tanah asli sesuai data dan pengamatan lapangan.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran dan acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Data parameter tanah didapatkan dari hasil pengujian laboratorium maupun dari hasil interpolasi data-data tanah yang sudah ada. Hasil dari parameter tanah inilah yang menjadi masukan untuk pengukuran dan analisis selanjutnya.

Untuk menentukan konsistensi tanah dilapangan, digunakan sistem klasifikasi tanah dari data *Standard Penetration Test* (SPT). Berikut adalah korelasinya.

**Tabel 2.1** Nilai Tipikal Berat Volume Tanah

Jenis Tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )
Kerikil	20-22	15-17
Pasir	18-20	13-16
Lanau	18-20	14-18
Lempung	16-22	14-21

Sumber: Soil mechanics and Foundation, John Wiley & Sons, 1962

**Tabel 2.2** Nilai N-SPT dan Properti Tanah Berdasarkan *Standard Penetration Test* (N SPT)

<i>Sand</i>		<i>Clay</i>	
Nilai N-SPT	<i>Relative Density</i>	Nilai N-SPT	<i>Consistency</i>
0 – 4	<i>Very Loose</i>	< 2	<i>Very Soft</i>
4 - 10	<i>Loose</i>	2 – 4	<i>Soft</i>
10 – 30	<i>Medium</i>	4 – 8	<i>Medium</i>
30 – 50	<i>Dense</i>	8 – 15	<i>Stiff</i>
> 50	<i>Very Dense</i>	15 – 30 > 30	<i>Very Stiff</i> <i>Hard</i>

Sumber: Terzaghi & Peck, 1948

**Tabel 2.3** Korelasi Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ) untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif

<i>Cohesionless Soil</i>				
<i>N</i>	0 – 10	11 – 30	31 – 50	> 50
<i>Unit Weight <math>\gamma</math>, Kn/m<sup>3</sup></i>	12 – 16	14 -18	16 – 20	18 – 23
<i>Angle of Friction <math>\phi</math></i>	25 – 32	28 – 36	30 – 40	> 35
<i>State</i>	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>
<i>Cohesive Soil</i>				
<i>N</i>	< 4	4 – 6	6 – 15	16 – 25
<i>Unit Weight <math>\gamma</math>, Kn/m<sup>3</sup></i>	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20
<i><math>q_u</math>, KPa</i>	< 25	20 – 50	30 – 60	40 – 200
<i>Consistency</i>	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>
				<i>Hard</i>

Sumber: Soil Mechanics, William T, Whitman, Robert V,1962

**Tabel 2.4** Korelasi antara nilai N SPT dengan *Unconfined Compressive Strength* dan Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk Tanah Kohesif

N SPT (Blows/ft)	Konsistensi	$q_u$ ( <i>Unconfined Compressive Strength</i> )	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>
		Ton/ft <sup>2</sup>	
< 2	<i>Very Soft</i>	< 0,25	16 – 19
2 – 4	<i>Soft</i>	0,25 - 0,50	16 – 19
4 – 8	<i>Medium</i>	0,50 - 1,00	17 – 20
8 – 15	<i>Stiff</i>	1,00 - 2,00	19 – 22
15 - 30	<i>Very Stiff</i>	2,00 - 4,00	19 – 22
> 30	<i>Hard</i>	> 4,00	19 – 22

Sumber : Soil Mechanics, Lambe & Whitman from Terzaghi and Peck 1948, International Edition, 1949

### **2.1.1 Permeabilitas**

Permeabilitas suatu tanah merupakan kemampuan suatu tanah dilewati air melalui pori-porinya. Koefisien permeabilitas atau koefisien daya rembes suatu tanah dapat ditentukan dengan pengujian di laboratorium.

**Tabel 2.5** Nilai Permeabilitas (K) Berdasarkan Jenis Tanah

Type of Soil	Coefisient of Permeability (k) (cm/sec)
Medium to coarse gravel	Greater than $10^{-1}$
Coarse to fine sand	$10^{-1}$ to $10^{-3}$
Fine sand, Silty sand	$10^{-3}$ to $10^{-5}$
Silt, Clayey silt, silty clay	$10^{-4}$ to $10^{-6}$
Clays	$10^{-7}$ or less

Sumber : Braja M Das, 1988

### **2.1.2 Modulus Elastisitas**

Nilai modulus elastisitas menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini bisa didapatkan dari *Traxial Test*. Untuk analisis batuan dan lempung berkonsolidasi tinggi dengan jangkauan linear elastis yang tinggi dapat langsung digunakan  $E_0$ , sedangkan pada pasir dan lempung yang terkonsolidasi secara normal digunakan nilai  $E_{50}$ . Pada umumnya lapisan tanah yang lebih dalam akan mempunyai nilai E yang lebih besar.

Modulus elastisitas ( $E'$ ) untuk lapisan kohesif bisa juga didapatkan melalui persamaan koreksi modulus elastis ( $E_s$ ) dan N-SPT ( Bowles, 1996 dalam Arfan, 2016) yaitu

$$E_s = 300(N+6) \quad \dots(1)$$

Dimana

$E_s$  = Nilai Modulus Elastisitas

N = Nilai N-SPT

**Tabel 2.6** Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas Tanah (Es)

Jenis Tanah	Es (Kg/cm <sup>2</sup> )
Lempung	3 - 30
	Sangat lunak
	Lunak
	Sedang
	Keras
Berpasir	300 - 425
Pasir	50 - 200
	Tidak Padat
	Padat
Pasir dan Kerikil	100 - 250
	Padat
	Tidak Padat
Lanau	20 - 200
Loses	150 - 600
Cadas	1400 - 14000

Sumber: Bowles, 1984

**Tabel 2.7** Korelasi Korelasi Nilai Kekakuan Tanah dalam *Undrained* dan *Drained*

Soil or Rock Type and Condition	Modulus of Elasticity, E (Kpa)
<b>Undrained Condition</b>	
Soft Clay	1.500 - 10.000
Medium Clay	5.000 - 50.000
Stiff Clay	15.000 - 75.000
<b>Drained Condition</b>	
Soft Clay	250 - 1.500
Medium Clay	500 - 3.500
Stiff Clay	1.200 - 20.000
Loose Sand	10.000 - 25.000
Medium Dense Sand	20.000 - 60.000
Dense sand	50.000 - 100.000
Sand Stone	7.000.000 - 20.000.000
Granite	25.000.000 - 50.000.000

Sumber: *Soil Mechanics*, William T. Whitman, Robert V, 1962

### **2.1.3 Poisson's Ratio**

Nilai *Poisson's Ratio* ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permuaian lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan berdasar jenis tanah seperti yang terlihat pada Tabel di bawah ini:

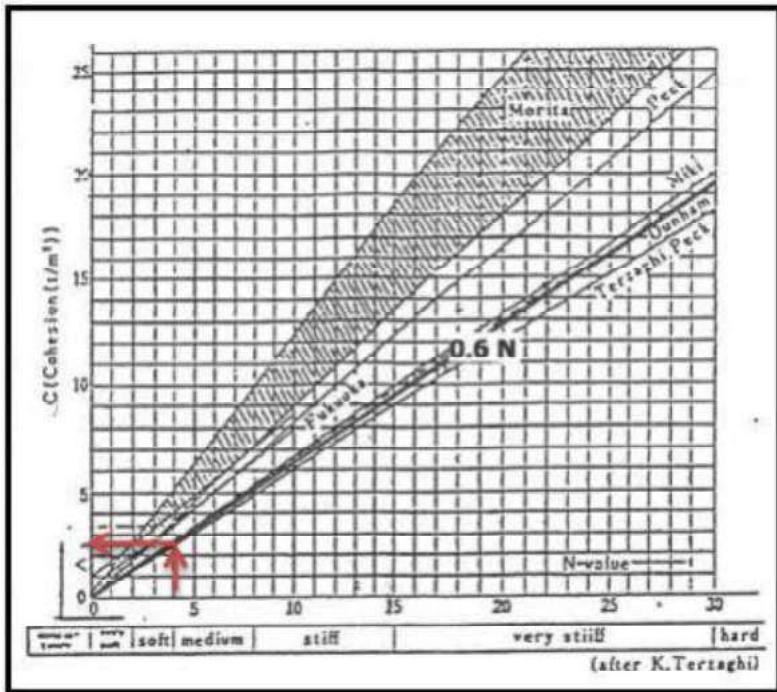
**Tabel 2.8 Perkiraan Angka Poisson's ( $\mu$ )**

Type of Soil	Poisson's Ratio (m)
Clay Saturated	0.4 – 0.5
Clay Unsaturated	0.1 – 0.3
Sandy Clay	0.2 – 0.3
Silt	0.3 – 0.35
Sand (dense)	0.2 – 0.4
Coarse ( $e = 0,4 - 0,7$ )	0.15
Fine Grained ( $e = 0,4 - 0,7$ )	0.25
Rock (depends somewhat on the type of rock)	0.1 – 0.4
Loess	0.1 – 0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15

Sumber: Bowles, 1984

### **2.1.4 Kohesi**

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Nilai ini didapat dari pengujian *Triaxial Test* dan *Direct Shear Test*. Nilai kohesi pada kondisi *Undrained* secara empiris dapat ditentukan dari N SPT. Berdasarkan grafik pada gambar dibawah, secara umum nilai Cu dapat diambil sebesar 0,6 kali nilai NSPT dimana Cu dalam satuan ton/m<sup>2</sup>.



**Gambar 2.1** Grafik Hubungan Nilai Kohesi dan N-SPT Pada Tanah Kohesif,  
Sumber : Terzaghi, 1943

**Tabel 2.9** Konsistensi Tanah Untuk Tanah Dominan Lanau dan Lempung

Konsistensi tanah	Taksiran kekuatan geser undrained, Cu		Taksiran harga SPT, harga N
	kPa	ton/m <sup>2</sup>	
Sangat lunak	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 - 10	10 - 20
Sangat kaku (very stiff)	100 - 200	10 - 20	20 - 40
Keras (hard)	> 200	> 20	> 40

Sumber : Braja M.Das, 1985

Nilai Kohesi *undrained* juga dapat didapatkan berdasarkan berdasarkan Uji Kuat Tekan Bebas (Soemito dan Warnana, 2020), yaitu

$$Cu = \frac{qu}{2} \quad \dots(2)$$

Dimana :

Cu = Kohesi Undrained (kN/m<sup>2</sup>)

Qu = Kuat Tekan Bebas (kN/m<sup>2</sup>)

Nilai kohesi pada kondisi *Undrained* dapat pula ditentukan berdasarkan tabel dibawah ini

**Tabel 2.10** Tabel Korelasi antara Indeks Konsistensi (CI), N dan Cu

N	CI	Konsistensi	Cu (kN/m <sup>2</sup> )
< 2	< 0,5	Sangat Lunak	< 12,5
2 - 8	0,5 - 0,75	Lunak ke sedang	12,5 - 4,0
8 - 15	0,75 - 1,0	Kaku	40 - 75
15 - 30	1,0 - 1,5	Sangat Kaku	75 - 200
>30	> 1,5	Keras	> 200

Sumber : Szechy dan Varga (1978)

Tanah Pasir tidak memiliki kemampuan mengikat antar partikel (kohesi) dan sulit dipadatkan sehingga daya dukung tidak terpenuhi, untuk memecahkan masalah ini maka pasir harus ditambahkan material pengikat berupa tanah kohesif. Kohesi pada tanah kondisi undrained menggunakan nilai Kohesi efektif (C'). Secara umum nilai C' sebesar 2/3 dari nilai *Cohesi Undrained* (Cu).

**Tabel 2.11** Nilai Tipikal  $C'$  dan  $\phi'$ 

Kelompok Tanah	Tipikal Tanah	Parameter Tanah	
		$c'$ (kPa)	$\phi'$ (degrees)
Buruk	Tanah lempung lunak dan teguh dengan plasticitas sedang ke tinggi; lempung berlanau; isian lempung bervariabel lepas; lanau berpasir lepas.	0 - 5	17 - 25
Sedang	Lempung berasir kaku; lempung berkerikil; pasir berlempung padat; lanau berpasir; isian lempung padat	0 - 10	26 - 32
Bagus	Pasir berkerikil; pasir padat, isian kerikil dan batu pasir pecah; pasir padat bergradasi baik	0 - 5	32 - 37
Sangat Bagus	Batu terlapukan lemah; isian lapis dasar jalan terkontrol; kerikil dan beton daur ulang	0 - 25	36 - 43

Sumber: *Australia Standards for Retaining Walls (AS 4678)*

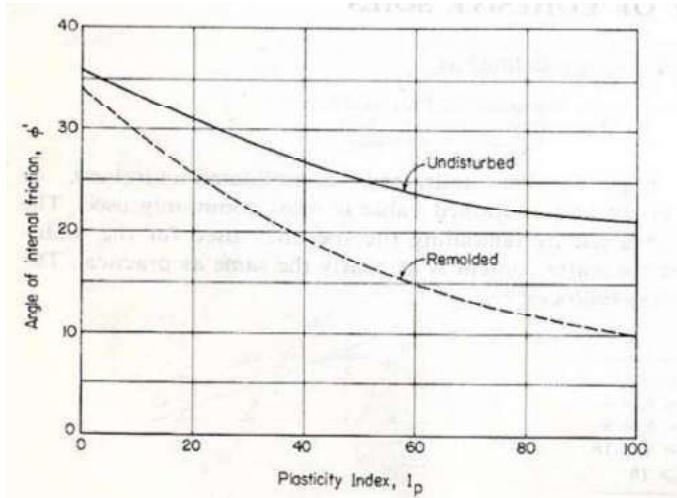
### 2.1.5 Sudut Geser Dalam

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah berupa *Traxial Test* dan *Direct Shear Test*.

**Tabel 2.12** Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil Kepasiran	$35^0 - 40^0$
Kerikil Kerakal	$35^0 - 40^0$
Pasir Padat	$35^0 - 40^0$
Pasir Lepas	$30^0$
Lempung Kelananuan	$25^0 - 30^0$
Lempung	$20^0 - 25^0$

Sumber: Braja M Das, Jilid I, 1988



**Gambar 2.2** Grafik Korelasi Besar Sudut Geser Dalam dengan *Index Plastisitas* (IP) pada sampel tanah *remolded* dan *undisturb*

Sumber : Bowles JE, 1979

## 2.2 Parameter Perkerasan Jalan

Beberapa korelasi Parameter struktur perkerasan lentur dan kaku yaitu sebagai berikut:

### 2.2.1 Berat Jenis Campuran Laston (Asphalt Concrete/AC)

Besarnya nilai berat jenis laston dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{P_s/G_{se} + P_b/G_b} \quad \dots(3)$$

$$P_{mm} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{P_1/G_{se1} + P_2/G_{se2} + \dots + P_n/G_{sen}} \quad \dots(4)$$

Dimana

$G_{mm}$  = Berat Jenis maksimum laston

$P_{mm}$  = Persen terhadap campuran = 100

$P_s$  = Persen agregat terhadap total campuran

$P_b$  = Persen aspal total terhadap total campuran

$P_1, P_2, P_n$  = Persentase masing-masing fraksi agregat

$G_{se}$  = Berat Jenis efektif agregat

$G_b$  = Berat Jenis aspal

Berdasarkan standar Bina Marga 1997, nilai-nilai berat jenis agregat dan aspal untuk campuran laston disajikan pada Tabel di bawah ini.

**Tabel 2.13** Persyaratan Agregat Untuk Campuran Laston

No	Bahan Laston	Jenis Pengujian	Persyaratan
1	Agregat Kasar	Berat Jenis Bulk	2,5 gr/cm <sup>2</sup>
		Berat Jenis Efektif	2,5 gr/cm <sup>2</sup>
2	Agregat Halus	Berat Jenis Bulk	2,5 gr/cm <sup>2</sup>
		Berat Jenis Efektif	2,5 gr/cm <sup>2</sup>
3	Bahan Filler	Berat Jenis Bulk	2,5 gr/cm <sup>2</sup>
		Berat Jenis Efektif	2,5 gr/cm <sup>2</sup>
4	Aspal	Berat Jenis	1 gr/cm <sup>2</sup>
		Kadar Aspal	4-7%

Sumber : SNI 03-1727-1989, SNI-1969-1990-F, PB-0202-76-MPBJ, PB-0203-76MPBJ, PB-0208-76-MPBJ, Pd.T 04-2005-B

## 2.2.2 Modulus Elastisitas Campuran Laston

Besarnya nilai modulus elastisitas Laston dapat dicari dengan pendekatan tabel sebagai berikut:

**Tabel 2.14** Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat yang digunakan Untuk Pengembangan Bagan Desain Jalan dan Untuk Analisis Mekanistik

Jenis Bahan	Modulus Typical	Poisson Ratio
HRS WC	800 MPA	0,4
HRS BC	900 MPA	
AC - WC	1100 MPA	
AC -BC (Lapis atas)	1200 MPA	
AC - Base atau AC - BC (Sebagai base)	1600 MPA	
Bahan Bersemen CTB	500 MPA retak (Post Cracking)	0,2 (Mulus)
		0,35 (Retak)
Tanah Dasar (Disesuaikan Musim)	10x CBR (MPA)	0,45 (tanah kohesif)
		0,35 (Tanah nonkohesif)

Sumber : PdT – 01 – 2002 - B

### **2.2.3 Angka Poisson's Ratio Campuran Laston**

Menurut Yoder, dkk., (1975), besarnya nilai tipikal *Poisson's Ratio* ( $\nu$ ) untuk material jalan disajikan pada Tabel di bawah ini

**Tabel 2.15** Nilai Tipikal *Poisson's Ratio* ( $\nu$ )

Material Jalan	Shee Oil Co.	Shee Oil Co. Revised	Asphalt Institute	Kentucky Highway
Aspal Beton	0,5	0,35	0,4	0,4
Granular Base	0,5	0,35	0,45	0,45
<i>Subgrade</i>	0,5	0,35	0,45	0,45

Sumber : Yoder, dkk, 2002

### **2.2.4 Berat jenis perkerasan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)**

Berdasarkan Peraturan Pembebatan Indonesia (PPI 1981) Berat Jenis Beton disajikan pada tabel sebagai berikut

**Tabel 2.16** Daftar Berat Jenis Beton

No	Jenis Beton	Berat Jenis
1.	Beton Mortar	2200 Kg/m <sup>3</sup>
2.	Beton Bertulang	2400 Kg/m <sup>3</sup>

Sumber : Peraturan Pembebatan Indonesia (PPI 1981)

### **2.2.5 Modulus elastisitas dan poisson's ratio Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)**

Modulus elastisitas dan *poisson's ratio* berdasarkan tabel J.M. Gere dan S.P. Timoshenko, 2000 dan Bowles 1984.

**Tabel 2.17** Properties Material Beton

Material	Berat Jenis (kN/m <sup>3</sup> )	Modulus Elastisitas (Mpa)	Rasio Poisson
Beton	23-24	17.000 – 31.000	0.10 – 0.20

Sumber : J.M. Gere dan S.P. Timoshenko, 2000

**Tabel 2.18** Perkiraan Angka Poisson's ( $\mu$ )

Type of Soil	Poisson's Ratio (m)
Clay Saturated	0.4 – 0.5
Clay Unsaturated	0.1 – 0.3
Sandy Clay	0.2 – 0.3
Silt	0.3 – 0.35
Sand (dense)	0.2 – 0.4
Coarse ( $e = 0,4 – 0,7$ )	0.15
Fine Grained ( $e = 0,4 – 0,7$ )	0.25
Rock (depends somewhat on the type of rock)	0.1 – 0.4
Loess	0.1 – 0.3
Ice	0.36
Concrete	0.15

Sumber: Bowles, 1984

### 2.3 Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif merupakan tanah yang berperilaku khusus karena memiliki sifat kembang susut yang tinggi yaitu pada saat tanah ekspansif terkena air maka akan terjadi pengembangan yang akan memberikan tekanan keatas pada pondasi atau bangunan diatasnya dan mengalami penurunan tegangan geser, sementara itu ketika tanah ekspansif terkena sinar matahari, maka tanah ini akan mengalami penyusutan, pada fenomena ini bangunan diatasnya dapat mengalami penurunan, meski tanah mengalami kenaikan tegangan geser (Indarto dan Alwan 2010). Holtz dan Kovacs (1981) juga mengemukakan bahwa saat tegangan kapiler melebihi kohesi atau tegangan tarik dari tanah ekspansif, maka tanah akan mengalami keretakan.

Kekhususan perilaku tanah ekspansif mendorong beberapa peneliti melihat bagaimana perilaku tanah ekspansif secara global ketika mengalami variasi tegangan air pori negatif , dan bagaimana memperlakukan tanah ekspansif sebagai material dasar yang dapat digunakan untuk mendukung pondasi atau struktur geoteknik yang lain (Indarto 2011).

Berdasarkan penelitian Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Balitbang Kimprawil (1992), distribusi tanah ekspansif di Provinsi Jawa Timur meliputi Daerah pantai utara yaitu disepanjang ruas jalan Lamongan - Gresik, dan Surabaya - Gresik kemudian pada daerah perbukitan rendah yaitu ruas jalan Bojonegoro - Babat dan Ngawi - Caruban. Selain itu dalam Pedoman Penanganan Tanah ekspansif untuk konstruksi jalan, DPU 2005 disebutkan terdapat 8 ruas jalan yang melewati tanah ekspansif salah satunya adalah Ruas Jalan Bojonegoro-Babat-Lamongan-Gresik-Surabaya, Provinsi Jawa Timur. M. Suherman dalam Jurnal "Potensi sifat ekspansif tanah kelempungan" (Pusjatan DPU), melakukan penelitian sebaran tanah ekspansif dengan pengambilan sampel tanah ekspansif di 9 lokasi Ruas Jalan di Pulau Jawa, termasuk di Ruas jalan Gresik-Lamongan tepatnya di Km. Gresik. 16+500 pada kedalaman 1,0-3,0 m dari muka tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah di ruas tersebut masuk klasifikasi Lanau kelempungan type MH (lanau dengan plastisitas tinggi) dengan nilai LL = 81% dan PI = 48% (*swelling potential* tinggi).

### **2.3.1 Karakteristik Tanah Ekspansif**

Tanah ekspansif memiliki karakteristik yang berbeda pada jenis tanah pada umumnya , yaitu sebagai berikut :

#### **1. Mineral tanah**

Mineral utama pembentuk tanah lempung adalah Montmorilonite, Illite, dan Kaolinite. Ketiga mineral tersebut membentuk kristal Hidro Aluminium Silikat ( $Al_2O_3n Si O_2 kH_2O$ ), ketiga mineral tersebut mempunyai sifat dan struktur dalam yang berbeda satu dengan lainnya, yaitu :

- Mineral Montmorilonite, mempunyai sifat pengembangan yang sangat tinggi, sehingga tanah lempung yang mengandung mineral ini akan mempunyai potensi pengembangan yang sangat tinggi.

- Mineral Illite, mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang sedang sampai tinggi, sehingga material lempung yang mengandung mineral ini mempunyai sifat pengembangan yang medium.
- Mineral Kaolinite, mempunyai ukuran partikel yang lebih besar dan mempunyai sifat pengembangan yang lebih kecil.

Mineral lempung yang menyebabkan perubahan volume umumnya mengandung montmorillonite atau vermiculite, sedangkan illite dan kaolinite dapat bersifat ekspansif bila ukuran partikelnya sangat halus.

## 2. Kimia Tanah

Meningkatnya konsentrasi kation dan bertambahnya tinggi valensi kation dapat menghambat pengembangan tanah. Prinsip dasar yang bersangkutan dengan stabilisasi kimia dari tanah ekspansif adalah peningkatan konsentrasi ion dalam air lepas dan fenomena pertukaran dasar. Kimia air tanah sangat mempengaruhi besarnya potensi pengembangan. Kation-kation garam, seperti sodium, kalsium, magnesium, dan potasim larut dalam air tanah dan terserap pada permukaan partikel lempung sebagai kation-kation yang dapat bertukar untuk mengimbangi muatan permukaan listrik negatif. Hidrasi kation-kation ini dan gaya-gaya serap dari Kristal-kristal lempung sendiri dapat menyebabkan pengumpulan air secara berlebihan di antara partikel-partikel lempung (Indarto 2011)

## 3. Plastisitas

Tanah dengan indeks plastisitas dan batas cair yang tinggi mempunyai potensi untuk mengembang yang lebih besar. Kebanyakan tanah-tanah ekspansif masih dalam kedudukan plastis pada kisaran kadar air yang lebar (indeks plastisitas, PI tinggi). Kelakuan ini adalah hasil dari kemampuan mineral lempung ekspansif dalam menampung banyak air diantara partikel-partikel, namun masih tetap terjaga sebagai struktur yang menyatu lewat pengaruh gaya-gaya listrik interpartikel

#### 4. Struktur Tanah

Tanah lempung yang berflokulasi cenderung bersifat lebih ekspansif dibandingkan dengan yang terdispersi.

#### 5. Berat Isi Kering Tanah

Tanah yang mempunyai berat isi kering yang tinggi menunjukkan jarak antar partikel yang kecil, hal ini berarti gaya tolak yang besar dan potensi pengembangan yang tinggi. Berat Isi kering dari lempung adalah indeks pengembangan lain yang berhubungan langsung dengan kadar air inisial. Kadar air tanah secara langsung akan mempengaruhi kepadatan tanah yang dinyatakan dengan berat volume kering tanah. Sehingga derajat pengembangan tanah ekspansif dapat pula dinyatakan sebagai fungsi dari berat volume kering. Tanah-tanah lempung dengan berat volume sebesar 110 pcf umumnya menunjukkan potensi pengembangan tinggi (Indarto 2011). Bila dalam penggalian tanah dirasakan keras seperti batu maka hal tersebut merupakan suatu indikasi bahwa tanah akan terdapat masalah yang tak bisa diabaikan.

#### 6. Fatik Pengembangan

(Indarto, 2011) menyebutkan pada suatu siklus pengulangan percobaan pengembangan benda uji dari tanah lempung yang telah diuji pengembangan dalam alat konsolidometer, dibiarkan mengering sampai kadar air inisial, kemudian dijenuhkan lagi, kemudian siklus ini diulang beberapa kali, ternyata pengamatan menunjukkan adanya tanda-tanda fatik (kelelahan) pengembangan setelah setiap siklus pengeringan dan pembasahan. Pada kondisi lapangan seperti konstruksi perkerasan yang dibangun diatas tanah ekspansif yang telah mengalami pengeringan dan pembasahan akibat pergerakan musim, memiliki kecenderungan mencapai titik kestabilan setelah beberapa tahun tertentu. Gambar 2.3 merupakan bentuk khas kurva fatik pengembangan hasil uji laboratorium, yang telah dilakukan oleh Chen (1975).



**Gambar 2.3** Fatik Pengembangan

Sumber : Indarto, 2011

### 2.3.2 Identifikasi Tanah Ekspansif

Untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

#### 1. Pengamatan secara Visual

Untuk mengidentifikasi tanah ekspansif yang paling awal yaitu dengan pengamatan secara visual, ketika tanah mengering karakteristik bongkahan tanahnya sangat keras, ketika basah dipotong akan licin, dan ketika basah terasa lembut dan lengket dan meninggalkan sisa ditelapak tangan ketika diremas. Bila ditemukan keretakan atau celah pada permukaan lempung akibat proses pengeringan dilapangan, maka bisa diindikasikan berpotensi ekspansif.

#### 2. Identifikasi di Laboratorium

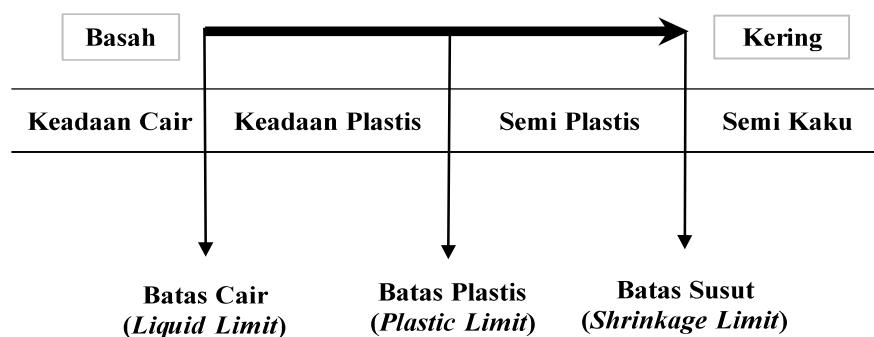
Di laboratorium, Identifikasi dilakukan dengan membagi tanah ekspansif ke berbagai potensi pengembangan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian analisis *hydrometer* dan batas-batas *atterberg*

##### - Pengujian analisis *hydrometer*

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan presentase berat butiran pada satu saringan dengan diameter tertentu. Dua cara yang umum digunakan yaitu analisis ayakan dan analisis *hydrometer*.

- Pengujian batas-batas *atterberg*

Kegunaan batas *atterberg* dalam perencanaan adalah memberikan gambaran secara garis besar akan sifat-sifat tanah yang bersangkutan. Bilamana kadar airnya sangat tinggi, campuran tanah dan air akan menjadi sangat lembek. Tanah yang batas cairnya tinggi biasanya mempunyai sifat teknik yang buruk yaitu kekuatannya rendah, sedangkan *compressibility*nya tinggi sehingga sulit dalam hal pematatanya. Batas-batas konsistensi tanah dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 2.4** Batas – Batas Konsistensi Tanah

Sumber : Wesley, L.D, 1977, Mekanika Tanah hal 10

- Batas Cair (LL) adalah kadar air tanah antara keadaan cair dan keadaan plastis.
- Batas Plastis (PL) adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis.
- Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dan batas plastis, dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis :

$$PI = LL - PL \quad \dots(5)$$

Apabila nilai Indeks Plastisitas tinggi, maka tanah banyak mengandung butiran lempung. Klasifikasi jenis tanah menurut Atterberg berdasarkan nilai Indeks Plastisitas dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

**Tabel 2.19** Relasi antara Jenis Tanah dan Indeks Plastis

IP	Jenis Tanah	Plastisitas	Kohesi
0	Pasir	Non Plastis	Non Kohesif
< 7	Lanau	Rendah	Agak Kohesif
7 – 17	Lempung Berlanau	Sedang	Kohesif
> 17	Lempung Murni	Tinggi	Kohesif

Sumber: Chen, 1975

Cara lain adalah menggunakan indeks plastisitas (IP) dan indeks susut/*shrinkage Index* (SI) untuk mengidentifikasi tingkat pengembangan, seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

**Tabel 2.20** Relasi antara Indeks Plastis, Indeks Susut dan Swelling potential

Indeks Plastis (%)	Indeks Susut	Potensi Pengembangan
< 12	< 15	Rendah
12 – 23	15 – 30	Sedang
23 – 32	30 – 40	Tinggi
> 32	> 40	Sangat Tinggi

Sumber: Chen, Rahman, 1967

Chen (1975) juga menggunakan metode menggunakan indeks tunggal, yaitu Indeks Plastisitas (PI) dan menggunakan korelasi antara persentase fraksi lempung lolos saringan no.200, Batas Cair (LL) dan nilai N dari hasil uji SPT.

**Tabel 2.21** Relasi antara *Swelling potential* dan Indeks Plastis

Plasticity Index	<i>Swelling potential</i>
0 - 15	Low
10 - 35	Medium
20 - 55	High
55 and above	Very high

Sumber: Chen, 1975

**Tabel 2.22** Korelasi Data Lapangan dan Laboratorium Dengan Tingkat Pengembangan

Data Lapangan dan Laboratorium			Kemungkinan Pengembangan (% Perubahan Volume)	Tingkat Pengembangan
Prosentase Lulus Saringan No. 200	LL (%)	N (Pukulan/ft)		
> 95	> 60	> 30	> 10	Sangat Tinggi
60 - 95	40 - 60	20 - 30	3 - 10	Tinggi
30 - 60	30 - 40	10 - 20	1 - 5	Sedang
< 30	< 30	< 10	< 5	Rendah

Sumber: Chen, 1975

Pada tahun 1956 Holtz dan Gibbs mengidentifikasi tanah ekspansif dengan mengkorelasi kadar koloid, *indeks plastisitas (PI) dan Shrinkage Limit (SL)*.

**Tabel 2.23** Korelasi Indeks Uji dengan Tingkat Pengembangan

Data dari Indeks Uji			% perubahan Volume	Tingkat Pengembangan
Kadar Koloid (%)	PI (%)	SL (%)		
>28	>35	< 11	>30	Sangat Tinggi
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	Tinggi
13 - 23	15 - 28	10 - 16	10 - 20	Sedang
< 15	< 18	>15	<10	Rendah

Sumber : Holtz and Gibbs, 1956

### 3. Aktifitas Tanah (A)

Aktivitas digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang tanah lempung. Skempton (1953) dalam Hardiyatmo (2002), mendefinisikan aktifitas (A) sebagai perbandingan indeks plastisitas dengan persen fraksi lempung (yaitu persen dari berat butiran yang berdiameter lebih kecil dari 0,002 mm). Skempton juga mengusulkan tiga tingkatan lempung menurut aktivitasnya yaitu tanah bersifat aktif dan ekspansif untuk  $A > 1,25$ , tanah digolongkan normal untuk  $0,75 > A > 1,25$  dan tanah digolongkan tidak normal (non aktif) untuk  $A < 0,75$ .

Menurut Skempton, Tingkat keaktifan suatu tanah dapat ditentukan dari persamaan :

$$AC = \frac{PI}{CF} \quad \dots(6)$$

dimana :

AC = Tingkat Keaktifan

PI = Indeks Plastisitas (%)

CF = Persentase Fraksi Lempung (%)

Skempton juga mengusulkan tingkatan lempung menurut aktivitasnya yaitu:

**Tabel 2.24** Korelasi Tingkat Keaktifan dengan potensi pengembangan

Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
<0,75	Rendah
0,75 – 1,25	Sedang
1,25 – 2,00	Tinggi
>2,00	Sangat Tinggi

Sumber: Skempton, 1953

### 2.3.3 Penanganan Konstruksi Diatas Tanah Ekspansif

Penanganan konstruksi diatas tanah ekspansif pada prinsipnya adalah menjaga agar perubahan kadar air tidak terlalu tinggi atau dengan mengubah sifat tanah lempung ekspansif menjadi tidak ekspansif. Dengan adanya perubahan kadar air yang tidak terlalu tinggi dan perubahan sifat ekspansif tanah pada periode musim hujan dan kemarau, maka tidak terjadi perubahan volume yang berarti. Beberapa alternatif metode konstruksi diatas tanah ekspansif yaitu :

#### 1. Penggantian material

Metode penggantian material tanah ekspansif pada prinsipnya merupakan pengurangan seluruh atau sebagian tanah ekspansif sampai pada kedalaman tertentu, sehingga fluktuasi kadar air akan terjadi sekitar ketebalan tanah

pengganti. Material tanah pengganti harus terdiri dari tanah yang non ekspansif agar tidak menimbulkan masalah kembang-susut tanah lagi dibawah konstruksi jalan. Meskipun demikian masalah akan timbul apabila lapisan tanah yang berpotensi ekspansif sangat tebal, sehingga penggantian tanah seluruhnya menjadi tidak ekonomis. Untuk itu, penentuan kedalaman tanah yang akan diganti perlu dipertimbangkan terhadap besarnya kekuatan mengembang yang berlebih. Berat sendiri timbunan material pengganti harus cukup mampu menahan gaya angkat tanah ekspansif yang berada di bawah material pengganti, sehingga pengembangan atau penyusutan tidak lagi berpengaruh terhadap material di atasnya. Secara teoritis besarnya pengangkatan tanah dapat dihitung dari hasil uji laboratorium, tetapi pengangkatan tanah di lapangan umumnya kurang lebih sepertiga dari estimasi hasil uji laboratorium. Kedalaman tanah ekspansif yang akan diganti minimal setebal 1,0 meter.

## 2. Manajemen air

Desain drainase merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam manajemen air pada konstruksi jalan diatas tanah ekspansif. Baik buruknya kinerja perkerasan jalan tergantung kepada kondisi drainase permukaan maupun bawah permukaan. Salah satu faktor yang memicu perubahan volume tanah ekspansif sehingga dapat merusak lapis perkerasan adalah kurang berfungsiannya drainase permukaan. Hal ini ditandai dengan terjadinya genangan air pada saluran samping, lunaknya tanah pada saluran dan tumbuhnya tanaman atau pepohonan akibat terendamnya lingkungan sekitar. Drainase bawah permukaan berfungsi untuk mencegah aliran air bebas dan menurunkan muka air tanah. Aliran air yang menuju ke arah bawah badan jalan akan terhalangi oleh drainase tersebut, sehingga aliran air akan terputus dan mengalir melalui saluran drainase ke daerah pembuangan air. Dengan tidak masuknya air ke bawah badan jalan, maka pengaruh muka air tanah terhadap

lapisan perkerasan akan berkurang, sehingga perubahan kadar air yang besar akan relatif terjaga

### 3. Stabilisasi

Penggunaan metode stabilisasi tanah ekspansif bertujuan untuk menurunkan nilai indeks plastisitas dan potensi mengembang yaitu dengan mengurangi persentase butiran halus atau kadar lempungnya antara lain:

- Stabilisasi dengan kapur
- Stabilisasi dengan semen
- Stabilisasi dengan Geo-Membran
- Stabilisasi dengan metode *grouting*
- Stabilisasi dengan pembebanan /Pralading
- Stabilitas dengan zat kimia

### 4. Pembebanan/ Preloading

Pengembangan tanah ekspansif dapat dicegah melalui pemberian beban yang cukup besar untuk menahan tekanan mengembang. Cara ini hanya dapat dilakukan pada tanah lunak dengan derajad ekspansif rendah sampai sedang. Tekanan mengembang sekitar 25 kPa dapat dijaga pengembangannya dengan tinggi timbunan 1,3 meter dan pondasi beton (Surat, 2011).

Penelitian tentang perkuatan tanah ekspansif telah banyak dilakukan dengan model skala kecil, salah satunya adalah penelitian Setiawan (2015) tentang Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) untuk mereduksi perpindahan vertikal pada tanah dasar ekspansif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan Sistem CAM dapat mereduksi perpindahan vertikal akibat tanah dasar ekspansif mengembang, reduksi berkisar 59,46% hingga 89,64%. Cakar berfungsi sebagai angkur (paku) dan pemberat, sehingga pelat akan tertahan pada saat pengembangan tanah dasarnya.

Penelitian lanjutan mengenai perkuatan tanah dasar menggunakan penambahan kolom dengan berbagai variasi material telah dilakukan oleh Khotob dkk (2016). Khotob dalam penelitiannya tentang mengenai variasi jarak dan

panjang kolom stabilisasi tanah lempung ekspansif dengan 15% *fly ash* menggunakan metode *deep soil mixing*. Nilai pengembangan (*swelling*) pada tanah asli adalah 4,283 %. Pada saat diberikan kolom *deep soil mix*, nilai *swelling* berkurang. Tambahan panjang kolom *deep soil mix* akan memberikan penurunan nilai *swelling* pada tanah lempung ekspansif.

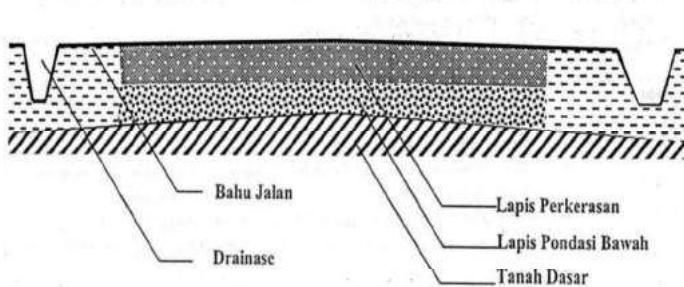
Sigiet Arief Wijanarko, dkk dalam Paper yang berjudul “Pengaruh Penambahan Kolom Tanah Semen Terhadap Perpindahan Vertikal Tanah Dasar Ekspansif Saat Kondisi Mengembang” bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kolom tanah semen terhadap perpindahan vertikal tanah dasar ekspansif saat kondisi mengembang, sehingga dapat mengetahui besarnya reduksi yang terjadi. Metode penelitian yang digunakan yaitu model fisik skala kecil di laboratorium. Sampel tanah dibedakan menjadi 2 macam variasi yaitu: tanah ekspansif tanpa perkuatan dan dengan perkuatan kolom tanah semen. Pengujian dilakukan dengan mengaliri sampel dengan air selama 28 hari pembasahan setiap pagi dan sore hari. Dial gauge sebanyak 5 buah diletakkan di atas pelat untuk membaca besarnya perpindahan vertikal yang terjadi saat uji pengembangan. Proving ring juga diletakkan diatas plat untuk mengetahui besarnya gaya pengembangan yang menyebabkan plat terdorong keatas. Hasil penelitian menunjukan bahwa penambahan perkuatan kolom tanah semen, mampu mereduksi perpindahan vertikal yang terjadi sebesar 30,44 % hingga 75,47 % serta mampu mereduksi gaya pengembangan sebesar 20,00 % hingga 84,01 %.

## 2.4 Struktur Perkerasan Jalan

Struktur perkerasan jalan adalah bagian konstruksi jalan raya yang diperkeras dengan lapisan konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan, kekakuan dan kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas diatasnya dengan aman.

Dalam perencanaan jalan perkerasan merupakan bagian penting dimana perkerasan mempunyai fungsi sebagai berikut

1. Menyebarkan beban lalu lintas sehingga besarnya beban yang dipikul oleh tanah dasar (*subgrade*) lebih kecil dari kekuatan tanah dasar itu sendiri.
2. Melindungi tanah dasar dari air hujan.
3. Mendapatkan permukaan yang rata dan memiliki koefisien gesek yang mencukupi sehingga pengguna jalan lebih aman dan nyaman dalam berkendara.



**Gambar 2.5** Struktur Lapisan Perkerasan Jalan

Sumber : Manual Desain Perkerasan Jalan. Kementerian PUPR (2017)

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai, antara lain: batu pecah, batu belah, batu kali, hasil samping peleburan baja, dll. Bahan ikat yang dipakai, yaitu: aspal, semen, tanah liat, dsb. Berdasarkan bahan ikat, struktur perkerasan jalan dibagi atas dua kategori:

1. Struktur perkerasan lentur (*flexible pavement*)
2. Struktur perkerasan kaku (*rigid pavement*)

#### 2.4.1 Lapisan Perkerasan Lentur

Yang dimaksud perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang umumnya menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya. Sehingga lapisan perkerasan tersebut mempunyai flexibilitas/kelenturan yang dapat menciptakan kenyaman kendaraan dalam melintas diatasnya.

#### **2.4.2 Lapisan Perkerasan Kaku**

Perkerasan kaku (beton semen) merupakan konstruksi perkerasan dengan bahan baku agregat dan menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, sehingga mempunyai tingkat kekakuan yang relatif cukup tinggi khususnya bila dibandingkan dengan perkerasan aspal (perkerasan lentur), sehingga dikenal dan disebut sebagai perkerasan kaku atau *rigid pavement*.

Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen adalah bukan merupakan bagian utama yang memikul beban, tetapi merupakan bagian yang berfungsi sebagai berikut :

1. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
2. Mencegah intrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan, dan tepi-tepi pelat.
3. Memberikan dukungan yang mantap dan seragam pada pelat.
4. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

Pelat beton semen mempunyai sifat yang cukup kaku serta dapat menyebarluaskan beban pada bidang yang luas dan menghasilkan tegangan yang rendah pada lapisan-lapisan di bawahnya. Bila diperlukan tingkat kenyamanan yang tinggi, permukaan perkerasan beton semen dapat dilapisi dengan lapis campuran beraspal setebal 5 cm.

#### **2.5 Perbaikan Tanah Dengan Metode *Grouting***

Menurut Bowles, dalam bukunya yang berjudul " *Foundation Analysis*" (hal. 78), yang dimaksud dengan *Grouting* (sementasi) adalah proses dimana material-material cair, baik dalam bentuk suspensi ataupun larutan yang dimasukkan ke bawah permukaan tanah ataupun batu yang bertujuan untuk mengurangi permeabilitas (penyebaran), meningkatkan kekuatan geser, dan mengurangi kompresibilitas (penekanan).

Maksud dan tujuan *grouting* adalah untuk menyuntikkan bahan berupa campuran semen atau bahan kimia lain dan air ke dalam lapisan tanah dengan

tujuan untuk memperbaiki kekuatan dan daya dukung lapisan tanah di bawah pondasi, juga untuk menurunkan harga koefisien permeabilitas tanah sehingga pergerakan tanah dapat diatasi. Bahan suspensi *grouting* umumnya menggunakan material berupa : bentonit, semen, kapur, aspal, serta bahan larutan lain berupa bahan kimiawi.

Menurut Pangesti, 2005 dalam Dwiyanto, et.al, 2009 Fungsi *Grouting* didalam tanah atau batuan dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Penetrasi atau Penembusan (*permeation/penetration*)

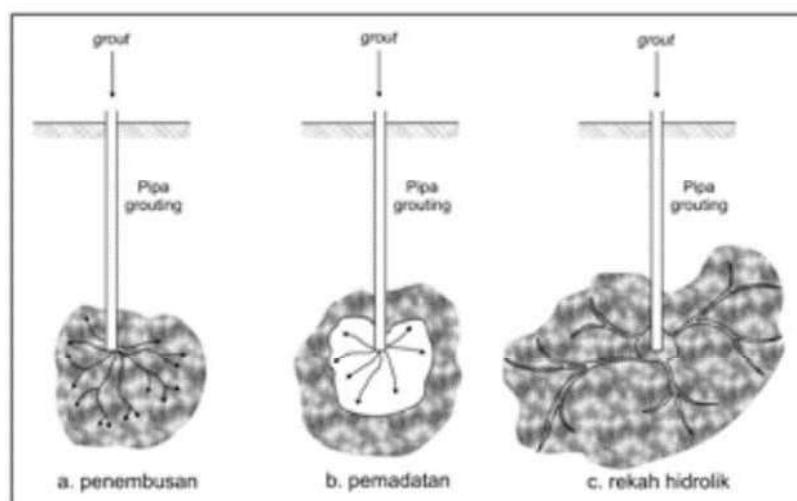
*Grouting* mengalir ke dalam rongga tanah dan lapisan tipis batuan dengan pengaruh minimum terhadap struktur asli.

2. Kompaksi atau Pemadatan (*compaction/controlled displacement*)

Material *grouting* dengan konsistensi sangat kental dipompakan ke dalam tanah sehingga mendorong dan memadatkan.

3. Rekah Hidrolik (*hydraulic fracturing*)

Apabila tekanan *grouting* lebih besar dari kuat tarik batuan atau tanah yang di *grouting*, akhirnya material pecah dan *grouting* dengan cepat menembus zona rekahan



**Gambar 2.6** Fungsi *Grouting* Pada Tanah dan Batuan  
Sumber : Dwiyanto, dkk, 2009

Menurut Warner (2005), *Grouting* dibedakan menjadi 6 tipe yaitu:

1. *Permeation Grouting* atau Sementasi Penembusan

*Permeation grouting* disebut juga *penetration grouting* merupakan pengisian retakan, sebaranatau kerusakan pada batuan, dan rongga pada sistem pori-pori tanah dengan tanpa merubah formasi serta konfigurasi maupun volume rongga. *Grouting* jenis ini dapat meningkatkan kohesi tanah.

2. *Compaction Grouting* atau Sementasi Pemadatan

*Compaction Grouting* merupakan mekanisme perbaikan tanah yang dilakukan dengan cara menginjeksi material *grouting* sangat kaku (stiff) pada tekanan tinggi ke dalam tanah. *Grouting* jenis ini ditujukan untuk meningkatkan daya dukung tanah. *Grouting* dengan metode pemasatan ini tidak serta merta dapat sepenuhnya mencegah terjadinya rembesan. Akan tetapi, *grouting* jenis ini mampu meningkatkan beban tanah karena tanah telah mengalami pemadatan.

3. *Fracture Grouting* atau Sementasi Rekahan

*Fracture Grouting* dilakukan pada sebaranhidrolik yang terdapat pada tanah dengan fluida suspensi atau material *grouting* slurry. *Grouting* ini bertujuan untuk menghasilkan hubungan antar lensa *grouting* dan memberikan penguatan kembali (*reinforcement*). Umumnya *fracture grouting* digunakan pada tanah dengan permeabilitas rendah, misalnya pada tanah lempung.

4. *Mixing/ Jet Grouting* atau Sementasi Campuran

Sesuai dengan namanya, *jet grouting* ini dilakukan dengan memadukan dua perlakuan, yaitu mengikis tanah menggunakan jet bertekanan tinggi dan dilakukan injeksi serentak ke dalam tanah yang terganggu dengan jet monitor. *Grouting* tipe ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan penyemenan di sekeliling tiang atau pondasi.

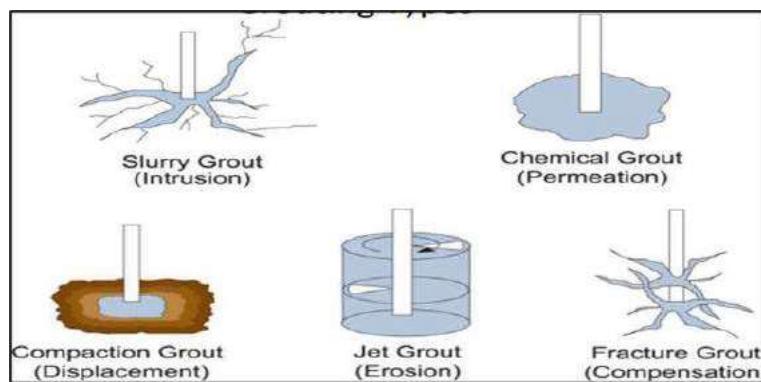
5. *Fill Grouting* atau Sementasi Isi

Sementasi isi atau *fill grouting* ini dilakukan dengan menggunakan peralatan khusus yang diberi campuran concrete atau mortar. Rongga atau retakan yang

dihasilkan secara alami maupun buatan akan dilakukan pengisian bahan *grouting* dan kemudian dilakukan penutupan.

#### 6. Vacuum Grouting atau Sementasi Vakum

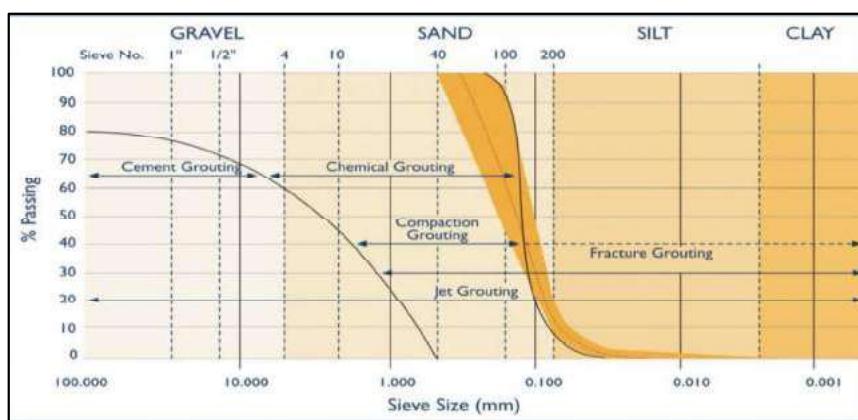
Sementasi vakum adalah teknik sementasi dengan cara menyedot material *grouting* untuk masuk ke dalam bagian yang mengalami kerusakan. Sebelumnya kerusakan tersebut harus diisolasi dari tekanan barometrik terlebih dahulu, sehingga dengan kondisi yang vakum, material *grouting* akan tersedot dengan aman dan lancar untuk masuk atau tertarik ke dalam kerusakan tersebut.



**Gambar 2.7 Tipe Grouting**

Sumber : Alan Ringen, PE, 2016

Batasan jenis tanah yang bisa dilakukan perkuatan *grouting* sesuai gambar berikut :



**Gambar 2.8 Ranges of Soils by Grouting Method**

Sumber : Alan Ringen, PE, 2016

Manfaat dari suatu pekerjaan *grouting* antara lain adalah sebagai berikut (Dwiyanto, dkk, 2009):

1. Menahan aliran air dan mengurangi rembesan
2. Menguatkan tanah dan batuan
3. Mengisi rongga dan celah pada tanah dan batuan sehingga menjadi padat
4. Memperbaiki kerusakan struktur
5. Meningkatkan kemampuan anchor dan tiang kolom
6. Menghindarkan dari material fluida yang dapat merusak tanah atau batuan

#### **2.4.1 Metode Pelaksanaan *Grouting***

Pelaksanaan *grouting* meliputi penentuan titik *grouting*, uji permeabilitas, pemboran dan *grouting*.

##### **1. Penentuan Titik dan kedalaman *Grouting***

Penentuan titik *grouting* berpatokan pada stasiun-stasiun yang ditentukan di lapangan melalui penyelidikan oleh tenaga ahli. Jarak tiap-tiap titik *grouting* disesuaikan dengan kebutuhan.

##### **2. Pengeboran**

Pelubangan titik *grouting* dilakukan dengan cara di bor. Pada *grouting* ada dua macam pengeboran, pengeboran dengan pengambilan core dan pengeboran tanpa core.

##### **3. Uji permeabilitas atau test Lugeon**

Uji permeabilitas pertama kali diperkenalkan oleh Lugeon pada tahun 1933, yang bertujuan untuk mengetahui nilai lugeon (Lu) dari deformasi batuan. Nilai lugeon adalah suatu angka yang menunjukkan berapa liter air yang bisa merembes ke dalam formasi batuan sepanjang satu meter selama periode satu menit, dengan menggunakan tekanan standar 10 Bars atau sekitar 10 kg/cm<sup>2</sup>. Angka ini hampir sama dengan koefisien kelulusan air sebesar  $1 \times 10^{-5}$  cm/detik. Nilai Lugeon dapat memberikan informasi mengenai sifat aliran dalam batuan dan sifat batuan itu sendiri terhadap aliran yang melaluinya. Bila

nilai Lugeon lebih dari 5 dilaksanakan *grouting*, bila kurang dari 5 maka tidak perlu dilakukan *grouting*.

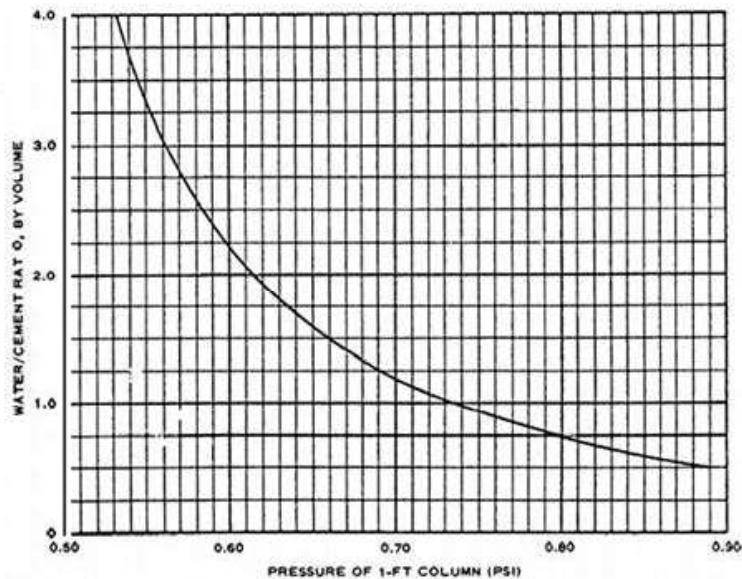
#### 4. *Grouting*

Tahap pekerjaan *grouting* dilakukan dengan cara menyuntikkan bahan semi kental (*slurry material*) ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor. Komponen utama peralatan *grouting* adalah *grout mixer* (mesin pencampur material *grouting*) dan *grout pump* (alat untuk memompa air atau campuran *grouting* masuk kedalam tanah). Kapasitas pemompaan minimum 100 liter/menit pada tekanan 6 kg/cm<sup>2</sup> dan mampu mencapai tekanan hingga 20 kg/cm<sup>2</sup>.

##### 2.4.2 Tekanan *Grouting*

Kontrol tekanan *grouting* sangat penting untuk keberhasilan setiap operasi *grouting*. Kebanyakan *grouting* dilakukan pada tekanan yang mendekati tekanan maksimum yang aman. Pengukuran yang tidak akurat dapat mengakibatkan penyebaran *grout* ke area di luar kegunaan yang mungkin, atau pada breakout permukaan yang boros, atau kerusakan pada struktur.

J. Paul Guyer, 2009 dalam “Introduction to Soil *Grouting*” menyatakan tidak ada cara tepat untuk menentukan secara tepat tekanan *grouting* aman maksimum untuk zona *grouting* tertentu. Aturan praktis menyatakan bahwa 1 lb tekanan per inci persegi dapat digunakan untuk setiap 1 kaki batuan dan setiap 2 kaki tanah secara vertikal di atas titik injeksi. (Cakupan serupa diperlukan untuk arah selain vertikal).



**Gambar 2.9** Grafik Korelasi Tekanan *Grouting* Dan Water Cement Ratio,  
Sumber : J. Paul Guyer, 2009

Grafik diatas menunjukkan tekanan yang diberikan oleh kolom *grout* setinggi 1 kaki untuk berbagai campuran *grouting*. Jika instalasi 100 kaki di bawah permukaan akan di-*grouting* dari permukaan, tekanan 73 psi untuk perbandingan water cement ratio (WCR) 1: 1 harus ditambahkan ke tekanan pengukur di kerah lubang untuk mendapatkan tekanan *grouting* yang efektif pada tingkat instalasi.

#### 2.4.3 Peresapan/permeation *Grouting* Tanah

*Permeation grouting* adalah proses memasukkan *grout* yang dapat mengalir ke dalam tanah untuk memperkuat dan / atau mengurangi permeabilitas tanah dengan mengisi rongga dan celah yang ada. Metode *grouting* ini dilakukan pada tekanan injeksi rendah agar tidak menyebabkan perubahan besar pada struktur tanah (Bruce, 2006). *Permeation grouting* sangat sensitif terhadap kemampuan groutabilitas tanah. *Groutabilitas* adalah kemampuan batuan atau tanah untuk mengambil atau mengikat material *grout*.

Peresapan *grouting* bertujuan untuk mengisi celah-celah yang ada dengan kerusakan seminimal mungkin dari struktur tanah. Jika *grout* tidak cocok untuk tanah dan digunakan tekanan tinggi, *hydrofracturing* mungkin terjadi, menyebabkan pergerakan *grout* yang tidak terkendali dan menyebabkan timbulnya tanah.

Sebagai pedoman umum, sulit untuk menembus tanah dengan koefisien permeabilitas (air) kurang dari  $5 \times 10^{-4}$  m / detik (LittleJohn, 1982) menggunakan *grout* semen biasa (Portland Tipe I). European Standard (1996) menunjukkan koefisien permeabilitas yang lebih tinggi untuk air, yaitu di atas  $5 \times 10^{-3}$  m / detik sebagai panduan untuk *grouting* permeabilitas berbahan dasar semen. Untuk injeksi langsung *grout* ke dalam tanah seperti pada proses permeasi *grouting*, penting untuk dipahami bagaimana rongga pada tanah pondasi diisi oleh *grout* dan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi permeasi *grout* tersebut. Secara umum air semen yang diinjeksikan akan menembus tanah dengan cara berikut.

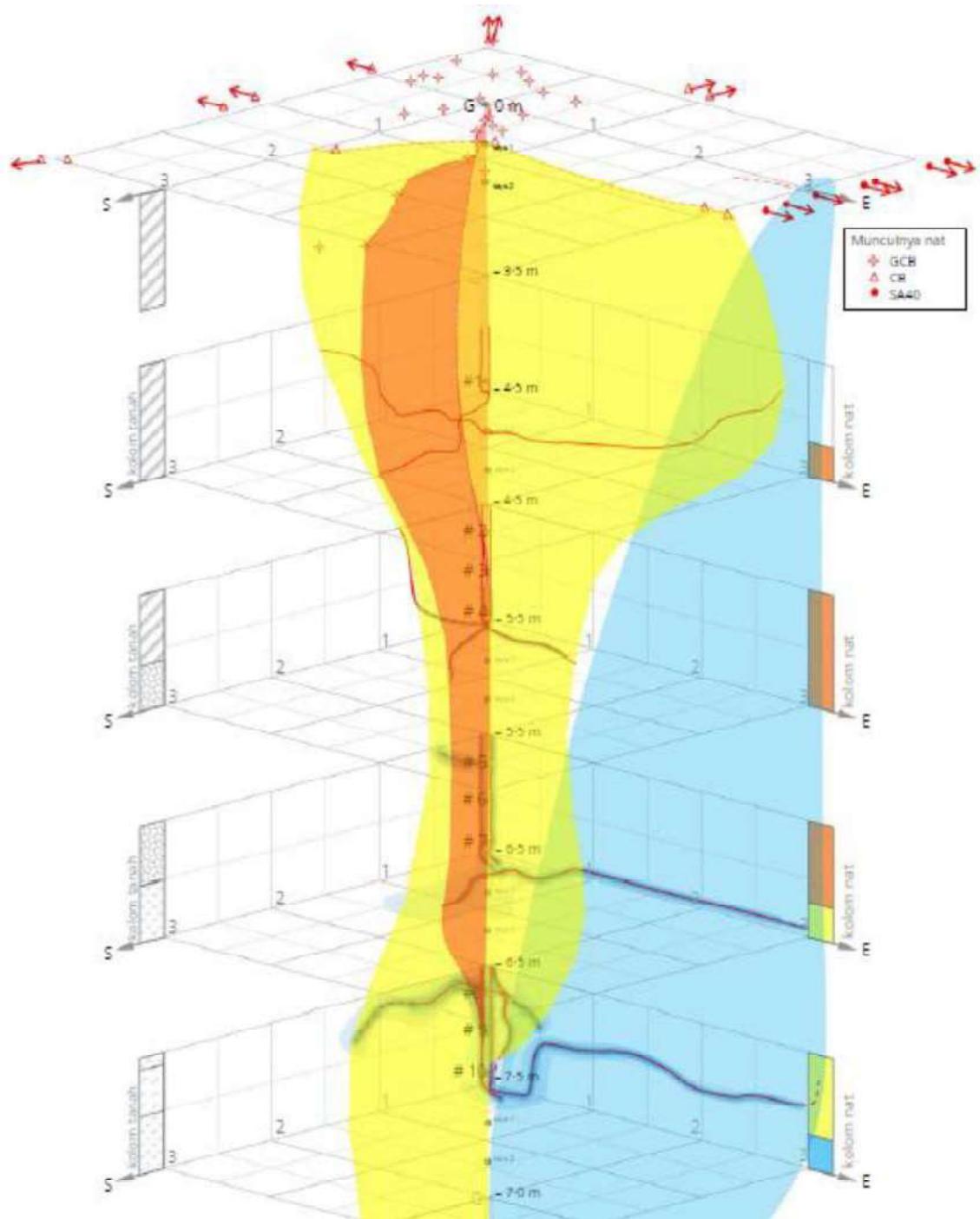
1. Permeasi melalui tanah granular
2. Permeasi melalui celah
3. Mengisi celah dan lubang dengan *grout* semen

#### **2.4.4 Sebaran *Grouting***

Seperti yang dinyatakan di bagian sebelumnya, tujuan utama dari permeation *grouting* adalah untuk mengisi celah dan pori yang ada dengan *grout*. Dalam proses ini jika tekanan injeksi meningkat akan menimbulkan tekanan yang ada di daerah sekitarnya, beberapa retakan baru akan dibuat dan *grout* akan memasuki sebaran baru. Fenomena pembentukan sebaran oleh tekanan fluida dikenal sebagai *hydrofracturing*. Bila *grouting* sengaja dilakukan di tekanan yang sangat tinggi (hingga 4MPa (Gallavresi, 1992)) membentuk sebaran pada *grouting*. Metode disebut *hydro-fracture grouting*. Umumnya hidrofraktur akan dimulai saat tekanan diterapkan oleh *grout* melebihi kekuatan tarik tanah. Pengendalian arah dan jarak penetrasi dari hidrofraktur sulit dilakukan. Jadi di

metode ini *grout* dapat menembus jauh dari titik injeksi dan akibatnya membatasi potensi bahaya untuk struktur yang berdekatan bisa sangat sulit

Muhsiun Chang, et.al, 2016 ,“*Ground Response and Grout Distribution by Field Soil Grouting*” membahas mengenai perilaku tanah, mekanisme injeksi dan distribusi *grout* yang dihasilkan dari pengamatan *grouting* dilapangan. Berbagai jenis suspensi dan *grout* diadopsi dan disuntikkan di tanah berpasir dan lempung pada kedalaman 4~8·5 m. Mekanisme injeksi yang diamati dalam tanah meliputi: pemanasan, permeasi dan sebarandi mana fraktur paling menonjol dalam penelitian ini. Mekanisme injeksi sesuai dengan umumnya persyaratan *groutabilitas* yang diterima berdasarkan rasio ukuran partikel, di mana *grout* suspensi (fraktur) meretakkan tanah liat dan *permeation grout* pada tanah berpasir. *Ground heaving* dipengaruhi oleh efek penyegelan *grout* di lapisan tanah atas. Studi ini menunjukkan *ground heave* meningkat seiring dengan kedalaman *grouting*. Volume *heave* akhir telah mencapai sekitar 22% dari total *grout* yang disuntikkan. Tekanan tanah lateral dipengaruhi oleh sebaran hidrolik *grout*. Sebaran hidrolik, yang hampir terbentuk secara vertikal di tanah, telah menghasilkan gerakan lateral tanah. Tekanan lateral akhir tanah, dalam zona radial 1 m dari lubang *grout*, adalah sekitar 12% dari total *grout* yang disuntikkan.



**Gambar 2.10** Ilustrasi skema dari distribusi 3D berspekulasi dari nat dan sebaranya yang disuntikkan

Sumber : Wen-Chieh Cheng, 2018

Wen-Chieh Cheng, 2018 menyatakan pada tanah liat dengan permeabilitas rendah pada umumnya dilakukan *Fracturing Grouting*. Tekanan air pori berlebih yang dihasilkan selama injeksi *grout* lebih besar daripada tegangan efektif insitu, yang menyebabkan sebaran pada tanah liat di sekitarnya, adanya sebaran mempercepat proses konsolidasi dan mempersingkat waktu peningkatan kekuatan akibat konsolidasi. Kelemahan dari metode ini adalah mobilitas *grout* tinggi dan viskositas *grout* yang rendah dapat menyebabkan ketidakmampuan membatasi penyebaran *grout*, sehingga menghasilkan volume *grout* yang diinjeksi atau volume yang diinjeksikan (efisiensi *grouting*) umumnya lebih kecil dari 1 karena hilangnya cairan, yang dihasilkan dari efek *bleeding grout* dan keluarnya *grout* dari area yang ditentukan.

Pendekatan penelitian tentang sebaran *grouting* dalam mereduksi penurunan tanah juga pernah dilakukan oleh Hewen Ma, dkk dalam makalahnya yang berjudul “*Environmentally sustainable mining: a case study on surface subsidence control of grouting into overburden*” menyajikan penyelidikan tentang efek *grouting* kedalam beberapa lapisan tanah untuk mengendalikan penurunan permukaan. Tekanan *grouting* dilakukan dengan menambah jumlah lubang bor dan jumlah volume *grouting*. Uji model skala, simulasi numerik dan pengukuran lapangan digunakan untuk mempelajari sebaran dan proses pemisahan lapisan tanah serta membandingkan kegagalan lapisan tanah dasar dengan penurunan permukaan akibat *grouting* sebelum dan sesudah pembebahan. Uji model skala dan hasil simulasi numerik dari proses tekanan *grouting* sangat sesuai dengan yang diperoleh dari pengukuran di lapangan. Hasil pengujian distribusi sebaran *grouting* pada celah masing-masing lapisan tanah terbukti dapat mengurangi penurunan tanah akibat pembebahan.

#### **2.4.5 Klasifikasi Bahan *Grouting***

Tiga (3) tipe dasar *grout* dibedakan menurut komposisi sebagai berikut:

1. Suspensi : Partikel kecil padatan didistribusikan dalam dispersi cair medium, misalnya semen dan tanah liat dalam air (*Bingham's fluid characteristics* ).
2. Emulsi : Sistem dua fase yang berisi tetesan kecil (koloid) cairan dalam fase dispersi, misalnya aspal dan air (*evolutive Newtonian fluids*) di mana viskositasnya meningkat seiring waktu.
3. Solusi : Campuran molekuler homogen cair dari dua atau lebih zat, misalnya grout silikat, resin organik, dan berbagai variasi yang disebut *grout kimiawi*, (*nonevolutive Newtonian solutions*) di mana viskositasnya konstan hingga pengerasan, dalam periode yang dapat disesuaikan.

Jenis bahan *grout* (yaitu air semen) yang terlibat dalam penelitian ini termasuk dalam jenis suspensi *grout*. Larutan *grout* adalah cairan *Newtonian evolutif* selama periode injeksi praktisnya, ketika permeasi terjadi sesuai dengan hukum Darcy. Akan tetapi, penerapan hukum Darcy terhadap karakteristik fluida Bingham yang rumit dari suspensi (misalnya *grout* semen) tidak diselidiki dan diverifikasi dengan baik.

*Portland Composite Cement* merupakan bubuk halus yang bila dicampur dengan air akan menjadi ikatan yang akan mengeras, karena terjadi reaksi kimia sehingga membentuk suatu massa yang kuat dan keras, yang disebut hidrolic cement.

**Tabel 2.25** Perbandingan Bahan Utama Semen

Kapur ( $CaO$ )	60% - 65%
Silika ( $SiO_2$ )	20% - 25%
Oxida Besi dan Alumina ( $Fe_2O_3$ dan $Al_2O_3$ )	7% - 12%

Sumber : Tabel Semen SNI 15-7064-2004

Semen digunakan sebagai isian *grouting* yang akan digunakan sebagai perkuatan tanah. Beberapa pengaruh utama reaksi antara tanah dan semen adalah:

1. Kenaikan pada kekuatan dan bearing capacity tanah.

2. Menurunnya swell pada tanah lempung tetapi kecenderungan menyusut naik pada tanah pasir.
3. Perbaikan pada ketahanan terhadap lalu-lintas dan cuaca buruk.
4. Menurunnya permeabilitas.

Kong Sio-Keong (2005) *Properties Of Cement Based Permeation Grout Used In Ground Engineering*. Dalam penelitiannya menyajikan hasil studi tentang sifat-sifat semen berbasis *permeation grout*, dengan fokus pada beberapa parameter *grout* semen, seperti sifat reologi (yaitu tegangan luluh dan viskositas) dan kemampuan *grout* semen, (yaitu koefisien permeabilitas nat, kG) yang mengatur kinerja *permeation grout* berbasis semen di media berpori. Karena keterbatasan pengetahuan, parameter *grout* penting ini dan faktor pengaruh lainnya, mis. stabilitas, filtrasi tekanan (yaitu kehilangan air di bawah tekanan yang diberikan), waktu pengaturan semen *grout*, tekanan, laju dan waktu injeksi dan volume *grouting* yang diadopsi di lapangan.

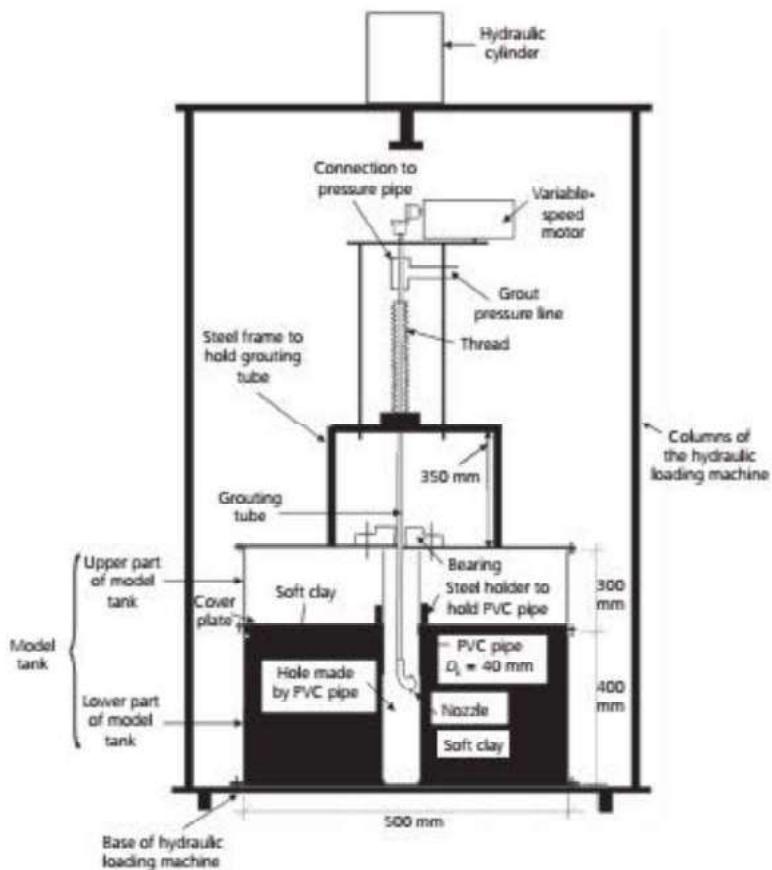
Untuk nat semen yang dibentuk oleh semen *Portland* seperti yang diadopsi dalam penelitiannya, sembilan puluh tujuh persen (97%) dari partikel semen ditemukan dengan diameter lebih kecil dari 0,1 mm ( $D_{85} = 0,06$  mm dan  $D_{95} = 0,09$  mm) dan butir distribusi ukuran tampaknya mirip dengan Portland Tipe I Menurut kriteria batas ukuran partikel untuk *grouting* yang efektif seperti yang direkomendasikan oleh berbagai penulis, jenis ini semen yang biasa digunakan dalam pekerjaan *grouting* diberbagai industri konstruksi. Penelitian ini memberikan para praktisi informasi yang berguna berikut untuk meningkatkan desain dan aplikasi *grouting* permeasi berbasis semen menggunakan model aliran yang ada.

Bhuria&Sachan (2014), menyatakan bahwa efek semen terhadap peningkatan kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*) serta kekakuan (*stiffness*) pada tanah lunak yang diperbaiki dengan semen cukup signifikan. Kelebihan dari semen sehingga dapat meningkatkan kekuatan tanah, oleh karena

reaksi *pozzolanic* yang berlangsung lebih lambat, dan pada umumnya selesai pada akhir 28 hari. Umur semen-tanah juga memiliki efek nominal terhadap peningkatan kekuatan dan kekakuan tanah lunak yang diperbaiki dengan semen pada kadar semen rendah (lihat grafik a & b). Namun ada campuran dengan kadar semen yang tinggi peningkatan kekuatan dan kekakuan yang signifikan terjadi pada umur campuran antara 1 dan 28 hari (lihat grafik berikut). Selain itu, kegagalan rapuh (*brittle-type failure*) pada tingkat regangan rendah untuk tanah lunak yang distabilisasi terjadi pada umur campuran 28 hari. Perilaku rapuh pada semen-tanah terjadi karena adanya transformasi air pori menjadi air terikat (bagian integral dari partikel tanah campuran semen yang terhidrasi; lapisan ganda) selama reaksi sementasi, dan menghasilkan pembentukan kristal yang mengeras pada campuran semen-tanah di dalam struktur matriks tanah. Semakin tinggi umur campuran, semakin tinggi jumlah kristal yang mengeras dari partikel semen-tanah terhidrasi yang terbentuk, dan menghasilkan transformasi volume air pori yang lebih besar ke air terikat, sehingga kristal semen-tanah akan berperilaku rapuh. Peningkatan kuat tekan bebas pada umur (curing time) tertentu lebih menonjol untuk tanah lunak yang distabilisasi dengan kadar semen lebih tinggi daripada perlakuan dengan kadar semen yang lebih rendah. Dari gambaran di atas disimpulkan bahwa kuat tekan bebas dari tanah lunak yang diperbaiki dengan semen adalah fungsi kandungan semen dan umur campuran.

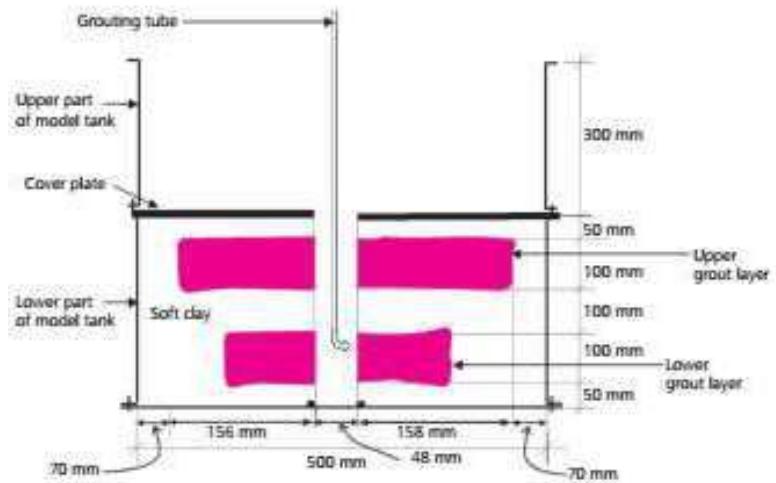
### 2.5.1 Efektivitas Kinerja *Grouting* Mereduksi Penurunan Tanah

Soon-Hoe Chew dan Sanjay K. B tahun 2016 . “*Arresting Settlement Of Clay Using Low-Pressure Grouting*” melakukan penelitian dengan pemodelan dilaboratorium untuk mensimulasikan jet *grouting* bertekanan rendah *in situ* untuk mereduksi penurunan tanah lunak pada daerah yang sudah terbangun.



**Gambar 2.11 Detail Grouting system,**  
Sumber: Soon-Hoe Chew et al, 2016

Data yang diperoleh dari eksperimen laboratorium selanjutnya digunakan untuk mengembangkan model prediksi yang digunakan untuk mengevaluasi kolom jangkauan *grouting*. Proses injeksi *grouting* dilakukan dua layer, *Upper* dan *Lower* dengan *grouting time* sama pada tiap layernya dan nilai *injection pressure* pada tiap layer berbeda berkisar antara 1,0 – 3,0 MPa.



**Gambar 2.12** Jangkauan Kolom Grouting Pada Upper Dan Lower Grout Layer  
 Sumber : Soon-Hoe Chew et al, 2016



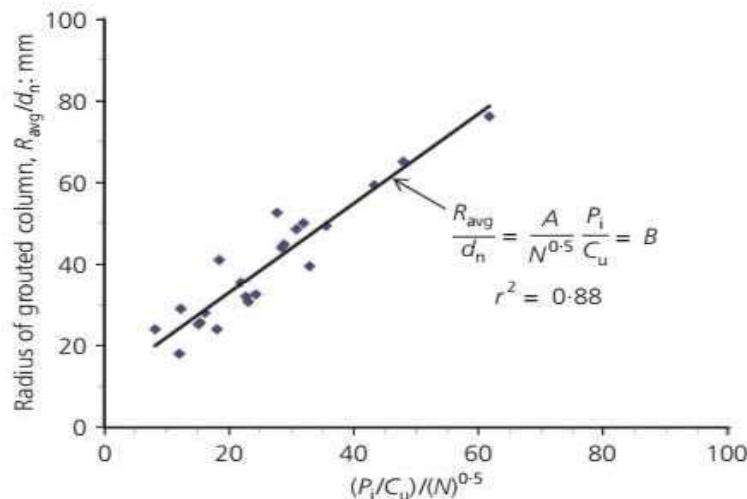
**Gambar 2.13** (a) Penampakan Upper dan Lower Grout Layers Setelah Lapisan Tanah Lunak Dihilangkan, (B) Pengukuran Jarak Jangkauan Grouting

Sumber : Soon-Hoe Chew et al, 2016

Dari pengamatan berbagai parameter yang mempengaruhi terhadap hasil *grouting*, didapatkan bahwa jari-jari (jangkauan) rata-rata kolom *grouting* ( $R_{avg}$ ) bervariasi secara linier dengan Injeksi tekanan ( $P_i$ ) dan diameter nozzle ( $d_n$ ) dan berkebalikan dengan nilai *undrained shear strength* ( $C_u$ ) and *viscosity ratio* ( $N$ ). Dikembangkan sebuah Analisis regresi linier dari hasil eksperimen *grouing* tekanan rendah, dengan hubungan:

$$\frac{R_{avg}}{d_n} = \frac{A}{N^{0.5}} \cdot \frac{P_i}{C_u} + B \quad \dots(10)$$

Dimana A dan B adalah koefisien untuk kombinasi yang bebeda dari *withdrawal rate* dan *rotational speed*. Untuk *withdrawal rate* 100 mm/min dan *rotational speed* 10 rpm, nilai A dan B sebesar 1,11 dan 11,0.

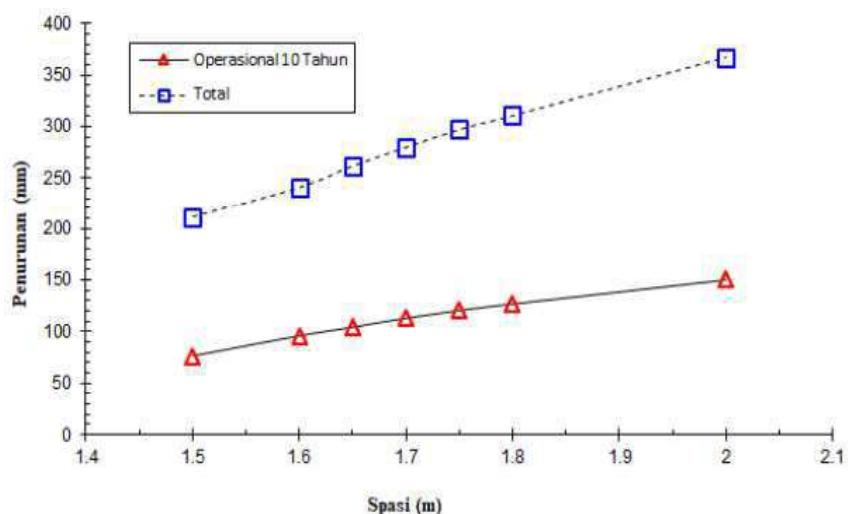


**Gambar 2.14** Plot Hubungan Radius Kolom *Grouting* ( $R_{avg}/dn$ ) dan  $(P_i/C_u)/(N)^{0.5}$

Sumber :Soon-Hoe Chew et al, 2016

Untuk mendapatkan radius yang lebih besar dari kolom *grouting* dapat dicapai tidak hanya dengan meningkatkan tekanan injeksi tetapi juga dengan meningkatkan diameter nozzle atau menurunkan rasio viskositas (meningkatkan rasio air/pengikat). Dengan Pemodelan linier diatas di evaluasi diameter kolom *grouting* (jangkauan *grouting*) pada kisaran tekanan rendah yang dibandingkan dengan diameter yang dicapai dalam uji coba lapangan jet *grouting* konvensional. Ditemukan bahwa diameter kolom *grouting* yang dicapai dengan *grouting* tekanan rendah berada dalam kisaran yang lebih rendah (0,5-0,7 m) dari diameter yang dicapai dengan menggunakan jet *grouting* konvensional. Dengan demikian, disimpulkan bahwa metode *grouting* tekanan rendah dapat digunakan secara efektif untuk merawat lapisan lempung lunak di daerah terbangun.

Abi M.H, 2020 dalam Jurnal “Studi Perilaku Penurunan Tanah Gambut Dengan Metode Perbaikan Tanah Tiang *Grout* Pada Proyek Jalan di Padang” membahas mengenai perilaku penurunan pada tanah yang memiliki kandungan organik tinggi (gambut) pada lokasi proyek pekerjaan jalan di Padang. Perbaikan tanah dengan metode tiang *grout* (*rigid inclusion*) dipilih sebagai alternatif untuk mengatasi masalah penurunan. Kondisi tanah yang memiliki ketebalan lapisan lunak setebal 9 meter, yang termasuk di dalamnya lapisan tanah organik dengan tebal 4.5 meter, direncanakan untuk ditimbun dengan ketinggian 8 meter dengan beban operasional lalu lintas kebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Kriteria desain penurunan yang diberikan adalah sebesar 10 cm selama masa operasional 10 tahun. Perbaikan tiang *grout* dengan konfigurasi persegi menggunakan diameter 420 mm dan kedalaman rencana 13 meter, dianalisis dengan memvariasikan spasi antar tiang pada rentang 1.5 meter sampai 2.0 meter. Analisis penurunan dilakukan dengan perangkat lunak Program Plaxis 2D V20 CE.



**Gambar 2.15** Grafik Penurunan terhadap Spasi antar Tiang Grout,  
Sumber : Abi M.H, 2020

Dari hasil pemodelan didapatkan besar penurunan total dan penurunan pada operasional 10 tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa perilaku penurunan tanah semakin kecil saat spasi antar tiang *grout* semakin rapat. Pola perilaku

penurunan tanah menunjukkan relatif linier terhadap peningkatan atau pengurangan spasi atau jarak antar tiang *grout*.

## 2.6 Konsep Pembebaan

Beban yang bekerja pada struktur bangunan dapat berupa kombinasi dari beberapa beban yang terjadi secara bersamaan. Beban struktur dibedakan menjadi dua macam, yaitu gaya statis dan gaya dinamis. Gaya statis adalah gaya yang bekerja secara terus menerus pada struktur dan mempunyai karakter steady states. Sedangkan gaya dinamis adalah gaya yang bekerja secara tiba-tiba pada struktur. Pada umumnya tidak bersifat *steady states* dan mempunyai karakteristik besar dan lokasinya berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat.

Beberapa penyebab terjadinya penurunan akibat pembebaan yang bekerja di atas tanah antara lain :

1. Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampaunya kapasitas dukung tanah,
2. Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasi,
3. Distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya,
4. Turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

Deformasi pada struktur akibat beban ini juga berubah-ubah secara cepat. Untuk memastikan bahwa suatu struktur bangunan dapat bertahan selama umur rencana, perlu ditinjau beberapa kombinasi pembebaan yang mungkin terjadi.

### 2.6.1 Beban –Beban Yang Bekerja Di Atas Konstruksi Jalan

Di atas tanah dasar (*subgrade*) dari konstruksi jalan kemungkinan akan dibebani oleh berbagai beban seperti beban tanah timbunan, beban perkerasan, dan beban lalu lintas.

## 1. Beban Perkerasan

**Tabel 2.26** Berat Beban Perkerasan Jalan

No.	Jenis Perkerasan	Tebal	Berat Jenis	Berat Perkerasan
		m	(t/m <sup>3</sup> )	(t/m <sup>2</sup> )
1	Rigid	0.3	2,4	0.72
2	AC - WC	0.05	2.2	0.11
3	AC - BC	0.1	2.2	0.22
4	AC - Base	0.15	2	0.3
5	Agregrat A	0.15	1.9	0.285
6	Agregrat B	0.2	1.9	0.38

Sumber: Manual Desain Perkerasan Jalan, 2017

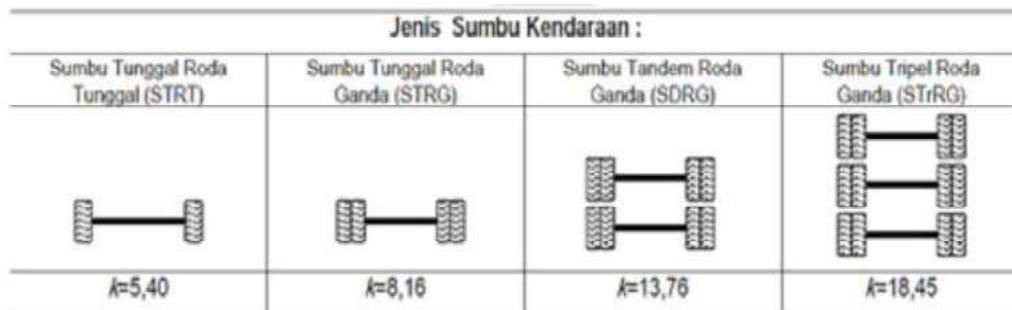
## 2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban kendaraan yang dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak antara ban dan muka jalan. Beban lalu lintas ini merupakan beban dinamis yang selalu terjadi secara berulang. Besarnya beban yang dilimpahkan tersebut tergantung dari berat beban total kendaraan, konfigurasi sumbu, dan bidang kontak antara roda dan perkerasan. Dengan demikian efek dari masing-masing kendaraan terhadap kerusakan yang ditimbulkan tidaklah sama. oleh karna itu perlu adanya beban standar sehingga semua beban lainnya dapat disertakan dengan beban standar tersebut yang merupakan beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 18.000 lbs (8,16 ton). Muatan berlebih (*overloading*) secara signifikan akan meningkatkan daya rusak kendaraan, yang selanjutnya akan memperpendek umur pelayanan jalan. Untuk pengendalian beban berlebih, diperlukan pengaturan melalui pembatasan beban lalu lintas dengan konsep Muatan Sumbu Terberat (MST). Beban sumbu standar (SL) kelompok sumbu kendaraan niaga ditunjukkan dalam tabel berikut:

**Tabel 2.27** Beban Sumbu Standar Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga

Kelompok Sumbu	Beban Gandar	
	(kN)	(Ton)
Sumbu tunggal roda tunggal	53	5,3
Sumbu tunggal roga ganda	80	8,0
Sumbu tandem roda tunggal	90	9,0
Sumbu tandem roda ganda	135	13,5
Sumbu tridem roda ganda	181	18,1
Sumbu empat ( <i>quad axle</i> ) roda ganda	221	22,1

Sumber: Bina Marga, PUPR, 2016



**Gambar 2.16** Tipe-Tipe Kelompok Sumbu Untuk Perhitungan Daya Perusak Jalan

Sumber : Silvia Sukirman, 1999

## 2.6.2 Kemampuan Perkerasan Jalan Dalam Penyebaran Beban Ke Lapisan

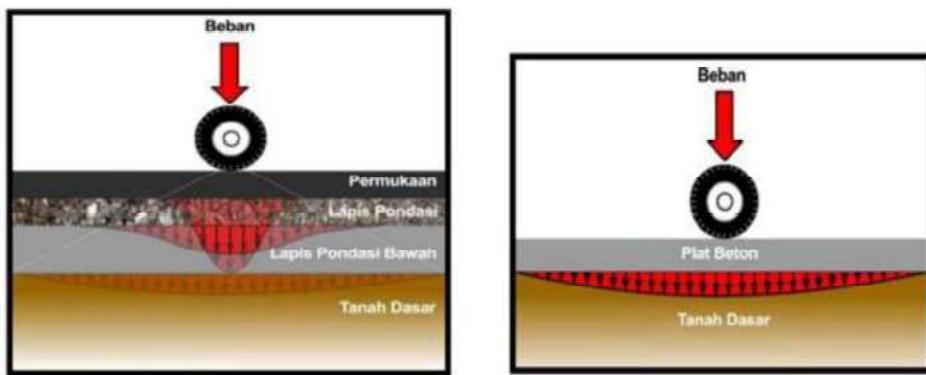
### Tanah Dasar

Perkerasan kaku mempunyai kekakuan (modulus elastisitas) yang jauh lebih tinggi dari perkerasan aspal (sekitar 10 kali nya). Setiap konstruksi yang menerima beban dari atas, akan menyalurkan atau menyebarkan beban tersebut ke bawah. Dalam hal konstruksi perkerasan jalan, salah satu fungsinya adalah untuk menyalurkan dan menyebarkan beban lalu-lintas yang diterima kelapisan di bawahnya sampai ke lapisan tanah dasar (*subgrade*). Beban yang disalurkan ke lapisan dibawahnya, menghasilkan tekanan yang lebih kecil, disebabkan makin

luasnya area yang menampung beban tersebut, sehingga mampu dipikul oleh lapisan tanah dasar.

Dengan kekakuan atau modulus elastisitas beton semen yang lebih besar, konstruksi perkerasan kaku mempunyai kemampuan penyebaran beban yang lebih tinggi dari perkerasan lentur. Sebagai akibatnya, lendutan menjadi lebih kecil serta tegangan yang bekerja pada tanah dasar juga rendah, karena itu perkerasan kaku tidak memerlukan daya dukung pondasi yang kuat.

Keseragaman daya dukung tanah dasar sangat penting diperhatikan, dimana tidak boleh ada perubahan yang mencolok dari daya dukung tersebut. Hal ini sangat bertolak belakang dengan prinsip perencanaan perkerasan lentur dimana lapisan pondasi (*base*) dan lapis pondasi bawah (*subbase*) memerlukan kekuatan yang tinggi untuk mendistribusikan tegangan dari beban roda yang bekerja pada lapisan aspal. Ilustrasi distribusi beban pada perkerasan kaku dan perkerasan lentur, ditunjukkan pada gambar dibawah ini



**Gambar 2.17** Ilustrasi Distribusi Beban Pada Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur

Sumber : Kementerian PUPR. 2017 Modul 1 – Konsep Dasar Konstruksi Perkerasan Kaku.

Hasil pengujian tegangan pada tanah dasar pada perkerasan kaku, dari beban roda seberat 12.000 lb, atau tegangan yang bekerja seberat 106 psi, direduksi hingga tegangan pada tanah dasar menjadi 3 sampai 7 psi dengan area daerah distribusi lebih dari 20 ft. Pengujian yang dilakukan oleh Portland Cement

Association (PCA) juga menunjukkan bahwa beban roda yang lebih berat didistribusikan pada tanah dasar dengan bidang yang luas serta tidak menimbulkan tegangan yang lebih tinggi.

## 2.7 Metode Numerik (Plaxis 2d V8.6)

Plaxis adalah program analisis geoteknik, terutama untuk analisis stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisis yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan digunakan dalam analisis ini dapat sebagai input cukup teliti. Plaxis dilengkapi fitur-fitur khusus yang berhubungan dengan banyak aspek dari struktur geometri yang kompleks. Aplikasi geoteknik memerlukan model konstruksi tingkat lanjut untuk simulasi perilaku tanah yang tidak linear dan perilaku yang bergantung pada waktu. Selain itu, Plaxis 2D V8.6 menyediakan berbagai analisis tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan dan lain-lain. Program ini dirancang untuk dapat melakukan pembuatan geometri yang akan dianalisis. Penginputan model yang sederhana memungkinkan program ini untuk memberikan elemen yang kompleks, sehingga dapat memberikan hasil perhitungan yang lebih teliti. Hasil perhitungan sendiri dilakukan berdasarkan metode *numerical* yang secara *default* telah terdapat pada program ini. Program komputer ini digunakan elemen segitiga dengan pilihan 15 nodes (titik) atau 15 titik.

### 2.7.1 Pemodelan Secara Numerik Pada Plaxis 2D

Salah satu metode numerik yang cukup sering digunakan dan cukup sederhana yang berbasis pemrograman perangkat lunak bidang geoteknik, yaitu perangkat lunak PLAXIS yang merupakan program dengan basis metode elemen hingga yang diperuntukkan untuk analisis deformasi dan stabilitas pada bidang geoteknik. Perangkat lunak ini pada dasarnya menggunakan metode penyelesaian *finite elemen method* (FEM).

PLAXIS terdiri dari 4 program, yaitu:

### *1. Input program*

Merupakan program plaxis yang dipergunakan untuk membuat suatu model dengan menggambarkan keadaan sebenarnya dari konstruksi yang ditinjau. Pemodelan geometris pada program plaxis dapat dibuat dengan penggambaran model dua dimensi

### *2. Calculation program*

*Plaxis calculation program* digunakan setelah proses input pada pekerjaan yang telah ditinjau telah selesai. Pilihan pekerjaan yang akan dikalkulasikan dapat dipanggil setelah input yang dilakukan disimpan terlebih dahulu

### *3. Output program*

*Plaxis output program* berisi semua fasilitas untuk melihat dan mengetahui hasil dari input data perhitungan elemen hingga. Jika plaxis input sudah selesai dan telah memilih titik yang akan ditinjau, maka dapat dilanjutkan dengan plaxis output.

### *4. Curve program*

Plaxis curve program dapat dipakai untuk menggambarkan kurva hubungan beban atau waktu terhadap displacement, diagram tegangan-regangan dari lokasi yang sebelumnya dipilih pada calculation program.

Pada program PLAXIS 2D, model struktur Geoteknik dapat dimodelkan dengan *plane strain* dan *axi-simetri*. Model *plane strain* biasa digunakan untuk model geometri dengan penampang melintang yang cukup seragam, dengan kondisi tegangan dan kondisi pembebahan yang terjadi cukup panjang dalam arah tegak lurus terhadap penampang sedangkan untuk model *axi-simetri* biasa digunakan untuk struktur Geoteknik yang berbentuk lingkaran dengan bidang penampang radial yang cukup seragam dan kondisi pembebahan mengelilingi sumbu *axial*. Untuk deformasi dan kondisi tegangan diasumsikan tersebar rata mengelilingi arah radial.

Langkah-langkah pemodelan yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan diantaranya:

### 1. *Geometry Modeling*

- Pemodelan topografi, kontur, penampang, dan geometri
- Pemodelan stratigrafi tanah
- Pemodelan struktur (pondasi tiang, dinding penahan tanah, dsb)
- Pemodelan fase konstruksi
- Pemodelan beban
- Pemodelan *boundary condition*

### 2. *Material Properties*

*Material properties* diinput untuk properties tanah dan struktur. Inputnya dilakukan dengan menggunakan pilihan material data set yang terdiri atas *Soil and interface, beams, geotextiles dan anchors*.

*Material properties* yang digunakan dalam program PLAXIS diantaranya yaitu:

- Berat Volume Tanah Kering / *dry soil weight* ( $\gamma_{dry}$ ) dan Berat Volume Tanah Basah / *wet soil weight* ( $\gamma_{wet}$ )  
Pada program Plaxis berat volume tanah yang dibutuhkan dalam perhitungan terbagi ke dalam dua jenis yaitu berat volume tanah jenuh ( $\gamma_{wet}$ ) dan berat volume kering ( $\gamma_{dry}$ ). Parameter ini akan dipergunakan untuk mendapatkan tegangan *confining* pada kedalaman tertentu pada kondisi jenuh maupun kondisi kering. Berat volume tanah merupakan perbandingan berat tanah terhadap volume dari tanah tersebut.
- Permeabilitas Arah Horizontal / *horizontal permeability* ( $k_x$ ) Permeabilitas Arah Vertikal / *vertical permeability* ( $k_y$ )  
Koefisien permeabilitas dari tanah akan dipergunakan untuk menghitung kecepatan pengurangan tegangan air pori ekses selama proses pengeluaran air dari pori-pori tanah. Parameter ini pada analisis undrain akan mengontrol

besarnya penurunan terhadap waktu. Harga koefisien rembesan ( $k$ ) untuk tiap-tiap tanah adalah berbeda-beda.

- Modulus Young / *Young's Modulus* (Eref)

Modulus elastisitas ( $E$ ) atau bisa disebut modulus young merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan pada pengujian *triaxial test*.

- *Poisson's Ratio* ( $\nu$ )

*Poisson's Ratio* merupakan harga perbandingan antara regangan lateral dengan tegangan aksial yang digunakan untuk menghubungkan besar modulus elastisitas ( $E$ ) dengan modulus geser ( $G$ ).

- Kohesi / *Cohesion* ( $c$ )

Parameter ini di dalam program plaxis bersama dengan sudut geser dalam tanah akan menjadi masukan untuk menghitung kekuatan tanah. Kohesi memiliki dimensi yang sama dengan tegangan. Kohesi akan cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman yang ditinjau.

- Sudut Geser / *Friction Angle* ( $\phi$ )

Sudut geser dalam beserta kohesi merupakan parameter yang menentukan kekuatan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah.

- Sudut Dilatasi / *Dilatancy Angle* ( $\psi$ )

Sudut dilatasi adalah sudut yang dibentuk bidang horizontal dengan arah pengembangan butiran pada saat butiran menerima tegangan deviatorik. Tanah lempung normal konsolidasi tidak memiliki sudut dilatansi. Tetapi pada tanah pasir, besar sudut ini tergantung pada kepadatan relatif ( $Dr$ ) dan sudut geser dalamnya yang dinyatakan dengan persamaan  $\psi = \phi - 30^\circ$

### 3. *Material model*

Material model digunakan untuk mensimulasi model tanah berdasarkan karakteristik regangan-regangan. Terdapat lima tipe *material model* yaitu :

- Model *Linier Elastic* ini meliputi dua buah parameter kekakuan, yaitu *modulus young* (E), dan angka *poisson* (v), model ini terutama digunakan pada struktur yang kaku.
- Model *Mohr-Coulomb* merupakan pemodelan tanah yang paling umum digunakan. Parameter pemodelan *Mohr-Coulomb* terdiri atas *Modulus Young* (E), *Poissons ratio* (v), kohesi (c), sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan sudut dilatasi ( $\psi$ ). Pemodelan Mohr-Coulomb memiliki kelebihan berupa perhitungan masih relatif sederhana. Model Mohr-Coulomb ini disarankan untuk digunakan dalam analisis pendekatan awal terhadap perilaku tanah secara umum.
- Model *Hardening soil*, yaitu untuk memodelkan perilaku tanah yang memiliki *friction hardening plasticity*. Model ini dapat digunakan untuk mensimulasikan perilaku *gravel* dan *overconsolidated clay*.
- Model *Soft soil*, merupakan model *Cam Clay* yang digunakan untuk memodelkan perilaku tanah lunak seperti *normally consolidated clay* dan gambut (*peat*).
- Model *Soft soil creep*, yaitu untuk memodelkan perilaku rangkak (*creep*) dan *time dependent* pada tanah lunak.

#### 4. Material Type

Digunakan untuk mensimulasikan interaksi air tanah. Terdapat tiga perilaku yaitu *drained behaviour*, *undrained behavior*, dan *non porous behaviour*. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan air untuk masuk/keluar dari tanah pada waktu tertentu saat tanah tersebut diberikan beban. Sehingga kondisi *drained* dan *undrained* dalam program elemen hingga tergantung pada pemodelan yang dilakukan pada saat tanah diberikan beban.

- Kondisi *drained* adalah kondisi dimana air terdapat pergerakan/aliran air pori dari tanah. Pada keadaan ini beban luar yang bekerja tidak menimbulkan tegangan air pori berlebih karena pembebanan yang dilakukan

dalam waktu yang relatif lambat. Oleh sebab itu air masih tetap dapat bergerak masuk atau keluar dari tanah.

- Kondisi *Undrained* mensimulasikan kondisi dimana tidak terjadi *excess pore pressure*. Kondisi *undrained* adalah kondisi dimana tidak ada pergerakan atau aliran air pori dari tanah dan tidak ada perubahan volume tanah. Pada keadaan ini, beban luar yang bekerja akan menimbulkan tegangan air pori berlebih di dalam tanah karena pembebanan dilakukan dalam waktu yang relatif cepat.
- Kondisi *Non Porous* untuk mensimulasikan kondisi dimana *initial pore pressure* dan *excess pore pressure* tidak diperhitungkan. Kondisi ini biasanya digunakan untuk pemodelan struktur beton atau batu.

##### 5. *Mesh Generation*

Mesh dibentuk secara otomatis oleh PLAXIS. Jumlah mesh/kehalusannya dapat ditentukan melalui option *global coarseness*. Semakin halus *mesh*, perhitungan akan semakin akurat tetapi akan membutuhkan memori yang lebih besar dan waktu yang lebih lama.

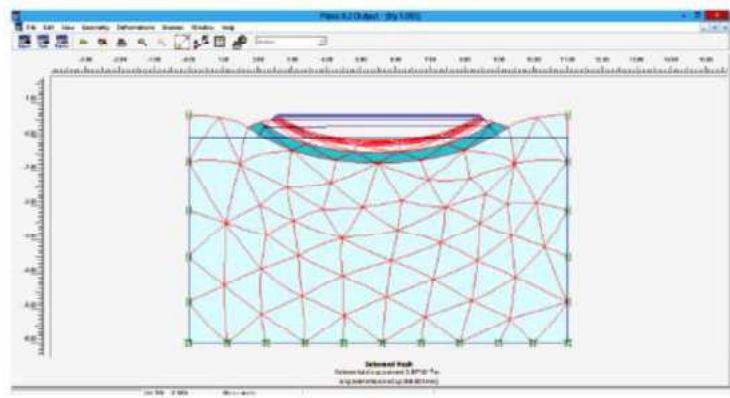
#### 2.7.2 Permodelan Deformasi Pada Plaxis 2D

Diantara penelitian yang relevan dengan penelitian ini yang pernah dilakukan adalah :

Gracia Mizuno Elisa Sompie, dkk, dalam Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.10 Oktober 2018 (783-792) ISSN: 2337-6732 yang berjudul Analisis Stabilitas Tanah Dengan Model Material *Mohr Coulomb* Dan *Soft Soil* mengemukakan dalam penelitiannya bahwa tanah sebagai media untuk memikul beban yang ada harus memiliki kekuatan atau persyaratan agar dapat memikul beban yang ada diatasnya Keadaan tanah yang kurang baik dapat berakibat kurang baik juga bagi konstruksi di atasnya. Oleh karena itu perlu untuk menganalisis stabilitas pada tanah untuk mengetahui besarnya faktor keamanan serta penurunan. Dan tujuan penelitiannya adalah untuk mengetahui parameter tanah yang ada di kawasan ringroad untuk di hitung berapa besar penurunan dan faktor keamanannya.

Parameter tanah yang diperoleh dari laboratorium dimodelkan kedalam program plaxis 2d v.8.6 untuk mendapatkan faktor keamanan (Msf), penurunan total (Utotal). Penelitian dilakukan dengan cara membandingkan hasil yang didapat dengan menggunakan model material mohr coulomb model dan soft Soil model dengan variasi muka air tanah. Dari pemodelan pada program plaxis 2d v.8.6 diperoleh bahwa semakin tinggi muka air tanah maka semakin besar faktor keamanan. Pada model material mohr coulomb nilai faktor keamanan terbesar yaitu 1,598 pada muka air tanah 10 meter dan yang terkecil yaitu 1,200 pada muka air tanah 2 meter. Dan penurunan yang terbesar yaitu 7,72 meter pada muka air tanah 2 meter dan yang terkecil yaitu 5,32 meter pada tinggi muka air tanah 10 meter. Sedangkan pada pemodelan soft soil nilai faktor keamanan terbesar ada pada tinggi muka air tanah 10 meter sebesar 1,696 dan terkecil yaitu pada muka air tanah 2 meter dengan nilai faktor keamanan 1,309. Pada soft soil model analisis penurunan terbesar diperoleh 0,30477 meter pada tinggi muka air tanah 4 meter dan terkecil ada pada tinggi muka air tanah 10 meter yaitu 0,10149 meter

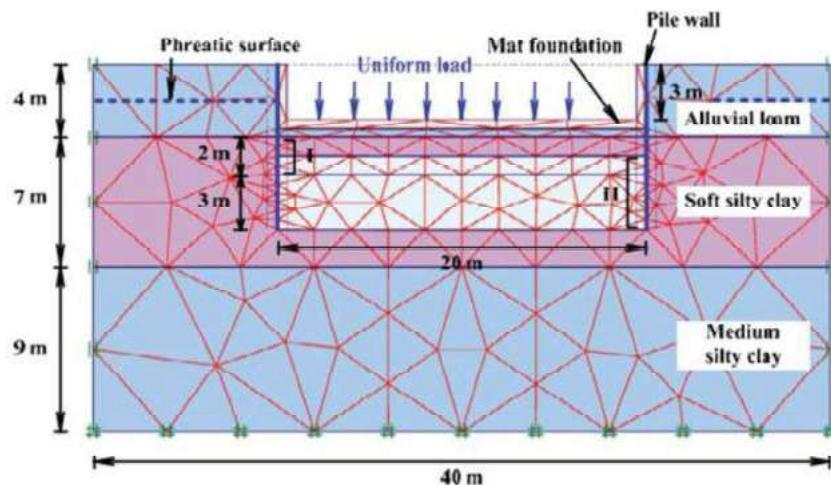
Yusnia Widiastuti (2016) dalam Aplikasi Program Plaxis dalam Analisis Numerik Deformasi Lapis Fondasi Jalan Poncosari - Grges Yogyakarta Untuk itu dalam perencanaan lapis fondasi, tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui Parameter tanah yang dimodelkan menggunakan program Plaxis untuk menghitung besarnya penurunan yang terjadi pada lapis fondasi tersebut. Hasil analisis deformasi akibat beban perkerasan adalah sebesar 3,87 cm, akibat beban lau lintas sebesar 3,88 cm, dan akibat beban gempa sebesar 4,69 cm. Faktor aman didapatkan hasil sebesar  $1,6 > 1,4$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa lapis fondasi tersebut tergolong kedalam jenis lapis fondasi yang aman untuk pembangunan Jalan Poncosari-Grges Yogyakarta



**Gambar 2.18** Kondisi *DeformMesh* akibat Beban Lalu-lintas.

Sumber : Yusnia Widiastuti,2016

James C. Ni, et al (2010) dalam Jurnal “*Monitoring and Modeling Grout Efficiency of Lifting Structure in Soft Clay*”, menggunakan pendekatan regangan volumetric untuk menilai kemampuan pemodelan numerik dari kompensasi grouting. Pengambilan regangan volume grout di lapangan digunakan untuk memilih regangan volumetric yang ekivalen di zona grouting. Model *cam-clay* dipilih untuk mensimulasikan perilaku deformasi lempung berlumpur di bawah pondasi mat. Gambar dibawah menunjukkan jaring elemen hingga dari lapisan tanah yang dimodelkan.



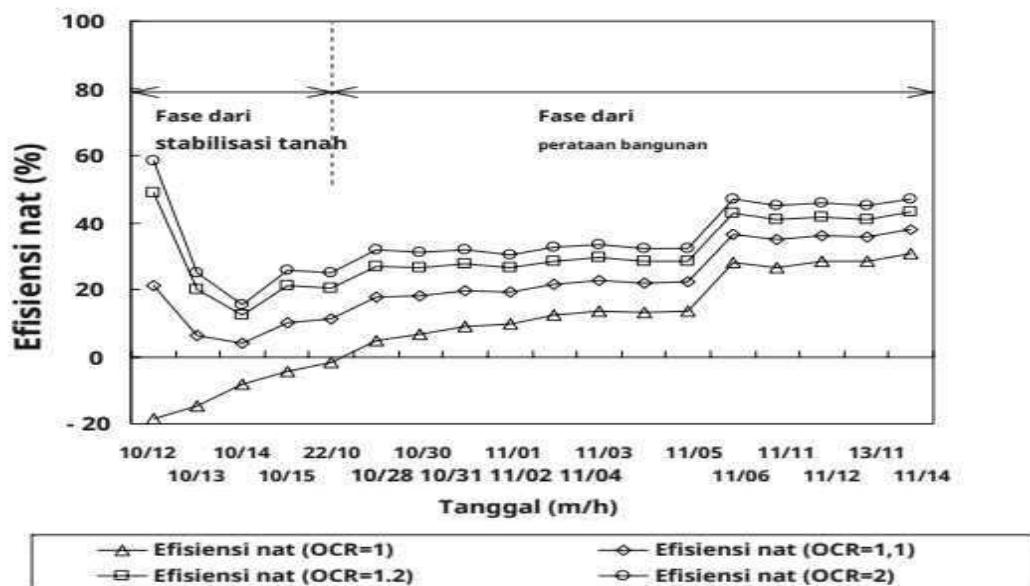
**Gambar 2.19** Jaring Elemen Hingga Untuk Pemodelan Compaction Or Fracture Grouting

Sumber : James C. Ni, et al, 2010

Cairan *Grout* akan disuntikkan ke dalam kelompok tanah pondasi yang dilambangkan sebagai "I" dan "II", dibatasi oleh pondasi mat (yang dimodelkan oleh elemen segitiga 15-simpul) dan dinding tiang (dimodelkan oleh beam element). Simulasi Volume *grout* dengan Menerapkan Regangan Volumetrik dilakukan dalam 2 fase, fase stabilisasi tanah dan fase Tahap perataan bangunan.

Didapatkan efisiensi *grout* yang dihitung adalah negatif selama tahap stabilisasi tanah karena volume yang mengendap setelah konsolidasi lebih besar daripada volume yang ditinggikan setelah *grouting*. Efisiensi *grout* meningkat ketika lebih banyak saat *grout* disuntikkan sesudahnya, juga untuk meningkatkan OCR dari tanah pondasi berlempung. Nilai efisiensi *grout* meningkat seiring dengan rasio konsolidasi berlebih, dan ini juga menunjukkan bahwa riwayat tegangan tanah pondasi lempung dapat dimodelkan dengan cukup baik di PLAXIS. Keberadaan dinding tiang dapat secara efektif membatasi deformasi lateral tanah pondasi dan membatasi volume tanah dengan tekanan pori berlebih yang lebih tinggi.

Dari hasil penelitian ini disimpulkan kompensasi atau sebaran *grouting* dapat berhasil digunakan untuk meratakan bangunan beton bertulang delapan lantai yang miring pada deposit tanah liat lunak yang tebal. Penyelidikan lapangan memverifikasi bahwa efisiensi *grouting* dapat ditingkatkan dari nilai negatif menjadi kurang dari satu dengan *grouting* fraktur berulang dengan *grout* waktu gel yang pendek. Simulasi numerik berhasil memodelkan kurva pencapaian efisiensi *grout* karena peningkatan nilai OCR dan juga memodelkan pengaruh riwayat tegangan pada efisiensi *grout* dengan cukup baik.

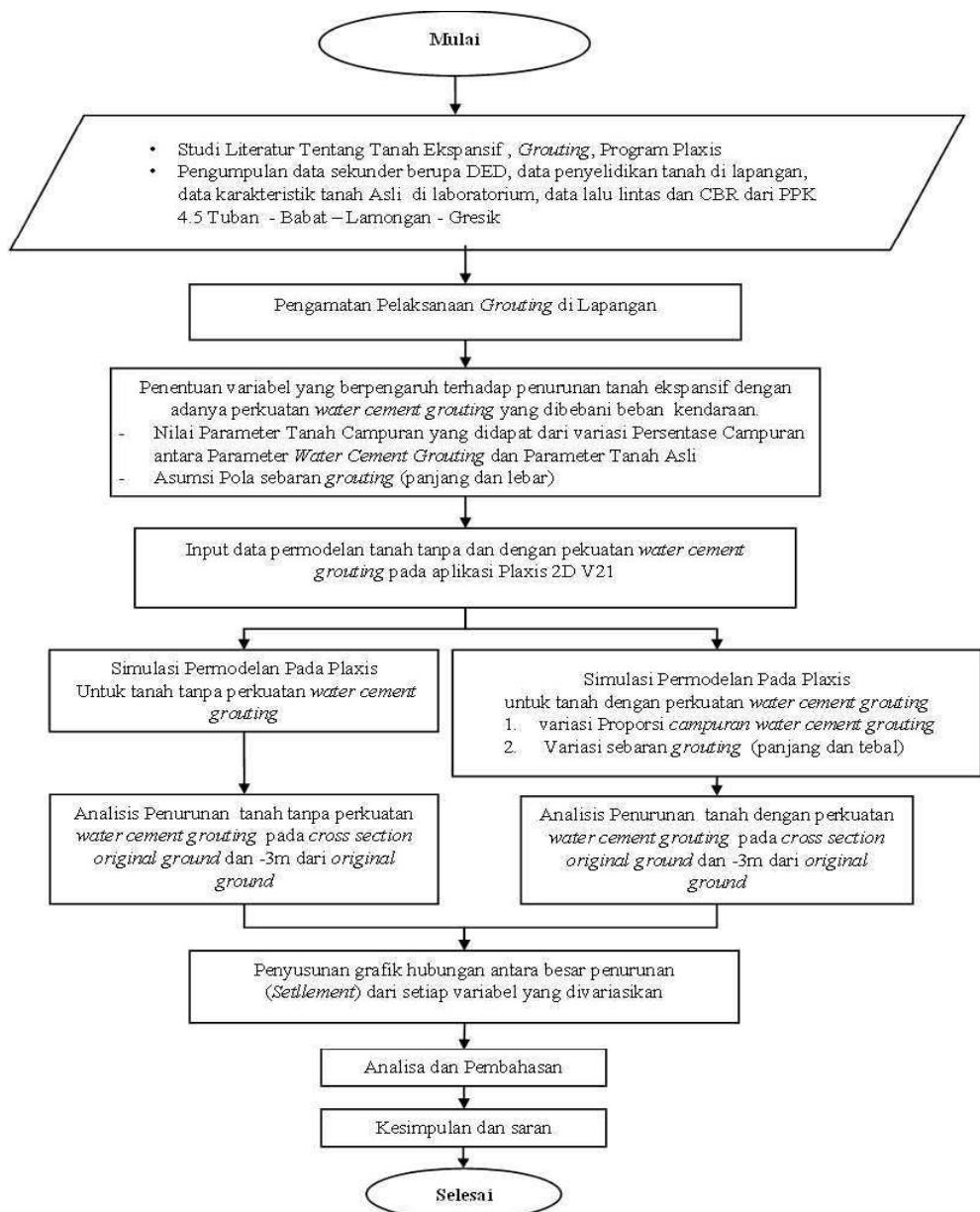


**Gambar 2.20** Efisiensi grout lempung dengan rasio *Over Consolidated Ratio* (OCR) =1, 1.1, 1.2, dan 2  
 Sumber : James C. Ni, et al, 2010

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)



Gambar 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart* )

Bagan alir kegiatan penelitian diatas dibuat agar proses pelaksanaan penelitian dapat berjalan secara sistematis dan tepat sesuai dengan tujuan penelitian.

### **3.2 Uraian Tahapan**

#### **3.2.1 Studi Literatur**

Studi literatur mengenai mengenai karakteristik tanah ekspansif, perbaikan dan perkuatan tanah dengan metode *grouting*, dan simulasi numerik program Plaxis untuk analisis penurunan (*settlement*) tanah akibat pembebangan.

#### **3.2.2 Pengumpulan Data**

Pengumpulan data sekunder diperoleh dari pengujian tanah asli dari Kementerian PUPR Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali dengan jajaran Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah IV Provinsi Jawa Timur dibawah koordinasi Pejabat Pembuat Komitmen 4.5 Pelaksanaan Jalan Nasional Tuban – Babat – Lamongan – Gresik.

#### **3.2.3 Penentuan Variabel Yang Berpengaruh Terhadap Penurunan Tanah (*Settlement*) Dengan Perkuatan *Water cement grouting***

Variabel yang akan dibahas pada penelitian ini adalah yang dianggap memberikan pengaruh signifikan terhadap pengurangan penurunan tanah dengan beban maksimum yang disyaratkan pada jalan Nasional. Ada dua variable yang akan divariasikan, yaitu:

1. Variasi perkiraan pola sebaran (jangkauan rekahan) *grouting*.
2. Variasi Campuran Parameter Material *Water cement grouting* dan Paramater Tanah Asli untuk mendapatkan nilai parameter tanah campuran (parameter tanah yang mengalami *grouting*)

Kedua variabel tersebut akan diteliti pengaruhnya terhadap besar penurunan pada *subgrade* tanah akibat beban lalu lintas dan berat sendiri perkerasan jalan.

### 3.2.4 Persiapan Input Data Pada Permodelan Tanah

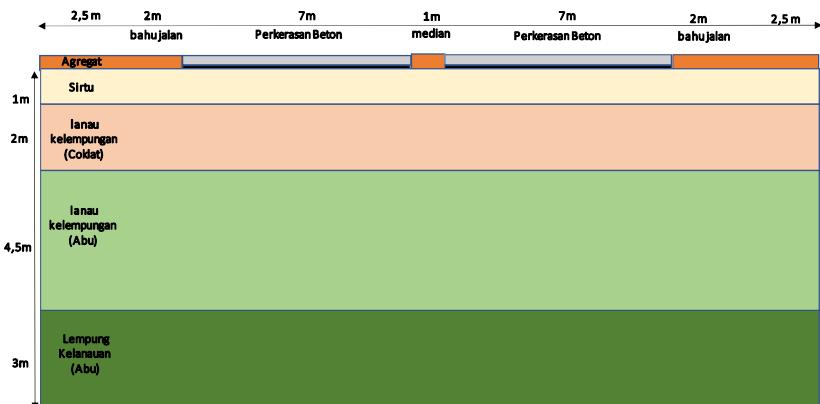
Permodelan menggunakan Program Plaxis 2Dv21. Pada tahap ini dilakukan penyusunan tabel yang berisi parameter yang akan di input pada aplikasi plaxis. Hal ini perlu dilakukan agar pada saat input data tidak terjadi perbedaan satuan ataupun salah input parameter. Beberapa perhitungan yang menggunakan korelasi juga dihitung pada tahap ini.

### 3.2.5 Pembebanan

Dalam pemodelan tanah di program plaxis akan diterapkan pembebanan terhadap lapisan tanah dan perkuatan *grouting*. Pembebanan yang diberikan disesuaikan dengan beban maksimum yang disyaratkan dilapangan. Ada dua beban merata (*uniformly load*) yang terjadi dilapangan yaitu dari beban perkerasan jalan dan dari Beban Kendaraan yang didistribusikan melalui roda ke konstruksi jalan secara penuh pada badan jalan.

### 3.2.6 Permodelan Lapisan Tanah Tanpa Perkuatan *Water cement grouting*

Selanjutnya adalah tahap permodelan lapisan tanah tanpa perkuatan *water cement grouting*. Permodelan menggunakan aplikasi plaxis. Pada tahap ini pemodelan tanah akan diberi beban sesuai dengan lapangan, sehingga dapat diketahui besar penurunan tanah pada lapisan tanah *subgrade*.



**Gambar 3.2** Permodelan Lapisan Tanah Tanpa Perkuatan *Water cement grouting*

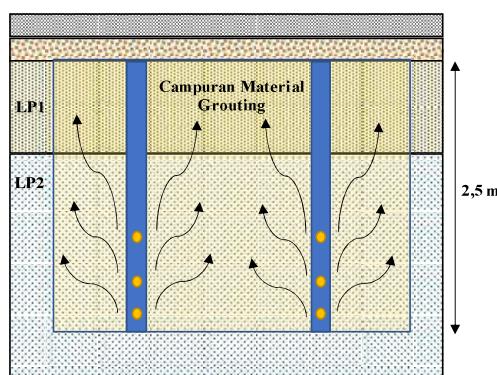
### 3.2.7 Permodelan Tanah Dengan Perkuatan *Water cement grouting*

Jika permodelan tanah tanpa perkuatan *water cement grouting* telah selesai, maka dilanjutkan permodelan tanah dengan *perkuatan water cement grouting*. Berikut adalah variasi permodelannya

#### 1. Variasi sebaran (lebar dan tebal lapisan ) *water cement grouting*

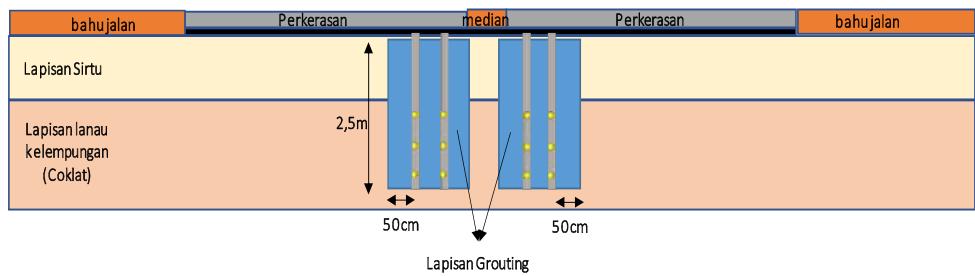
Masing masing Variasi campuran *grouting* akan disimulasikan dengan variasi tebal dan Lebar sebaran *grouting*. Karena tidak ada data pengujian sebaran tanah dilapangan maka dilakukan asumsi berdasarkan pengamatan lapangan. Dimodelkan 2 variasi kedalaman pola sebaran *grouting* yang akan diterapkan yang dalam masing – masing variasi terdapat 3 variasi lebar sebarannya.

- **Tipe 1.** Variasi tebal *grouting* sampai ke lapisan timbunan atau sepanjang pipa *grouting* (2,5 meter) dengan asumsi sebaran material *grouting* menyebar kearah permukaan (vertikal dan horisontal). Berdasarkan pengamatan lapangan pada waktu injeksi dilakukan, material *grouting* menyembur sampai lubang pipa terdekat dan di beberapa bagian jalan menyembur sampai ke bahu jalan



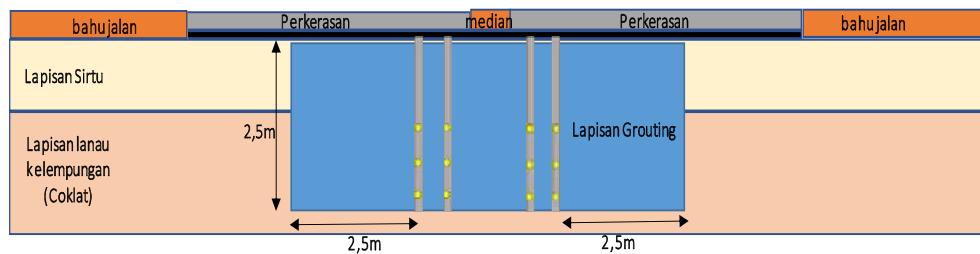
**Gambar 3.3** Asumsi Arah Sebaran *Grouting* Tipe 1

- a. **Tipe 1a.** Lebar sebaran 0,5 m dari sisi terluar pipa *grouting* dengan asumsi sebaran *grouting* hanya disekitar pipa saja.



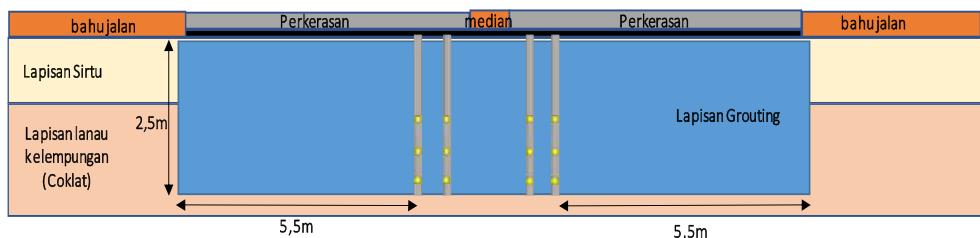
**Gambar 3.4** Sketsa Variasi Lebar *Grouting* Tipe 1a

- b. **Tipe 1b.** Lebar sebaran 2,5 m dari sisi terluar pipa *grouting* dengan asumsi sebaran *grouting* sampai setengah badan Jalan.



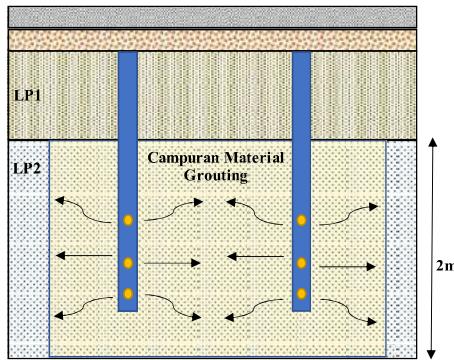
**Gambar 3.5** Sketsa Variasi Lebar *Grouting* Tipe 1b

- c. **Tipe 1c.** Lebar sebaran 5,5 m dari sisi terluar pipa *grouting* berdasarkan pengamatan lapangan material *grouting* menyebar sampai ke bahu jalan.



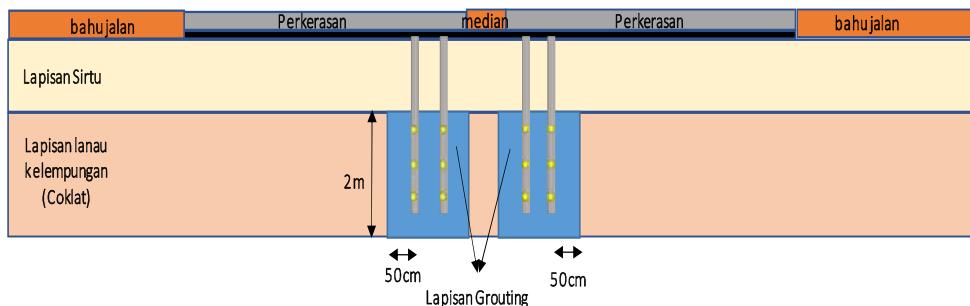
**Gambar 3.6** Sketsa Variasi Lebar *Grouting* Tipe 2c

- **Tipe 2 .** Variasi tebal *grouting* hanya pada lapisan tanah lunak saja (2 meter) dengan asumsi material *grouting* hanya menyebar arah horisontal di sekitar lubang *grouting* saja yang berada pada lapisan tanah lunak.



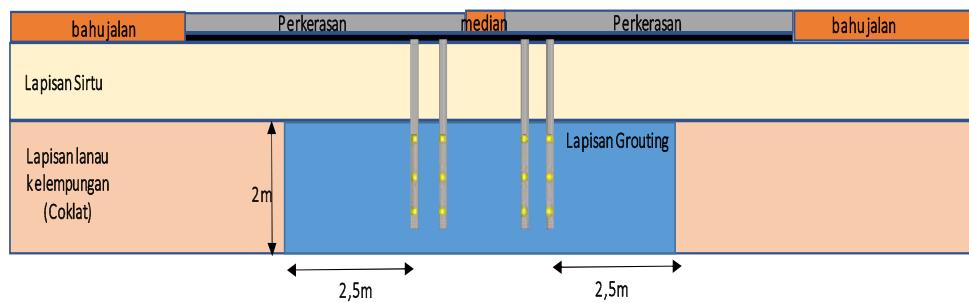
**Gambar 3.7 Asumsi Arah Sebaran Grouting Tipe 2**

1. **Tipe 2a.** Lebar sebaran 0,5 m dari sisi terluar pipa grouting dengan asumsi sebaran grouting hanya disekitar pipa saja.



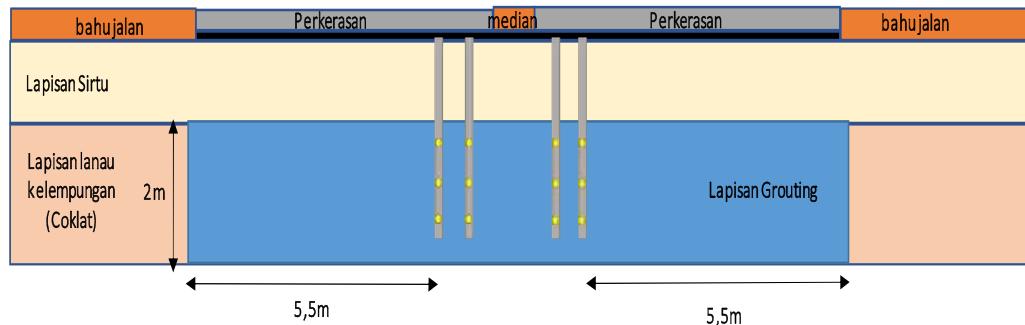
**Gambar 3.8 Sketsa Variasi Lebar Grouting Tipe 2a**

2. **Tipe 2b.** Lebar sebaran 2,5 m dari sisi terluar pipa grouting dengan asumsi sebaran grouting sampai setengah badan Jalan.



**Gambar 3.9 Sketsa Variasi Lebar Grouting Tipe 2b**

3. **Tipe 2c.** Lebar sebaran 5,5 m dari sisi terluar pipa *grouting* berdasarkan pengamatan lapangan material *grouting* menyebar sampai ke bahu jalan.



**Gambar 3.10** Sketsa Variasi Lebar *Grouting* Tipe 2c

2. Variasi proporsi *water cement grouting* yang tercampur dengan tanah asli

Variasi ini dilakukan saat menyusun tabel input parameter-parameter tanah kondisi setelah di *grouting* untuk selanjutnya digunakan sebagai bahan pemodelan running di Plaxis. Parameter campuran *material water cement grouting* diperoleh dari asumsi persentase material tanah asli yang tercampur dan terkena sebaran *grouting*. Berdasarkan pengamatan di lapangan, posisi lubang pada pipa *grouting* terletak pada lapisan lempung kelanauan dan kapasitas material *grouting* pada mesin pencampur yaitu 500 ml hanya bisa untuk injeksi 2-3 lubang *grouting* saja yaitu sekitar 5% - 20 % dari dari luasan tanah. Maka dari itu akan dibuat 3 variasi komposisi campuran yang akan digunakan yaitu:

- Tipe A Parameter Tanah Asli 95% + Parameter *Water cement grouting* 5%
- Tipe B Parameter Tanah Asli 90% + Parameter *Water cement grouting* 10%
- Tipe C Parameter Tanah Asli 80% + Parameter *Water cement grouting* 20%

### 3.2.8 Analisis Potensi Penurunan (*Settlement*) Tanah

Dari hasil running Pemodelan diatas maka akan didapatkan nilai *displacement* (besar penurunan tanah) akibat pembebanan pada kondisi tanah tanpa perkuatan dan tanah setelah perkuatan *water cement grouting* dengan

berbagai variasi seperti diatas ditinjau dari *original ground* dan -3 meter dibawah *original ground* pada lapisan lempung kelanauan coklat akibat beban kendaraan dan perkerasan jalan

### **3.2.9 Output dari Hasil Penelitian**

1. Nilai penurunan lapisan tanah pada *original ground* dan -3 meter dibawah *original ground* pada ruas jalan Batas Kota Lamongan-Batas Kabupaten Gresik, Km.Sby 41+000 pada kondisi pembebahan tanpa perkuatan dan pembebahan dengan perkuatan *water cement grouting*.
2. Grafik Hubungan antara besar penurunan tanah *subgrade* terhadap lebar pembebahan pada kondisi tanah tanpa perkuatan dan dengan perkuatan *water cement grouting*.
3. Efektifitas penggunaan *water cement grouting* ditinjau dari pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) dan parameter tanah campuran *grouting* akibat pembebahan terhadap pengurangan potensi penurunan tanah.

## BAB 4

### DATA DAN ANALISA

#### 4.1 Data Tanah

Berdasarkan hasil pengumpulan data pelaksanaan pekerjaan *grouting* yang diperoleh pada ruas Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby 39+650 – 41+000 yaitu dari penyelidikan tanah bor dalam (BH2) dan bor dangkal (BD2) didapat data *Standart Penetration Test* (SPT) dan data propertis tanah *Undisturb*. Data propertis tanah yang diperoleh tersebut akan digunakan untuk bahan input dan petunjuk dalam menentukan *soil properties* tanah di Program Plaxis.



**Gambar 4.1** Lokasi Penyelidikan Bor Dalam  
Sumber : PPK 4.5 TBLG, 2020

**Tabel 4.1** Koordinat Lokasi Penyelidikan Tanah

Titik	Lokasi	Koordinat (UTM)		Keterangan
BH 2	Km. 39+990	661378	9212594	Lokasi Bor Dalam 2
BD 2	Km. 41+000	660407	9212795	Lokasi Bor Dangkal 2
	Km.39+650	661709	9212517	Awal Lokasi <i>Grouting</i>
	Km. 41+000	660407	9212795	Akhir Lokasi <i>Grouting</i>

Sumber : PPK 4.5 TBLG, 2020

Pada Penelitian ini diambil data test pada akhir lokasi *grouting* yaitu pada lokasi Bor dalam 2 (BH2) dan Bor dangkal 2 (BH2)

Pelaksanaan bor dalam untuk mendapatkan data *Standard Penetration Test* (SPT) dilakukan sampai kedalaman 10 m dan pelaksanaan bor dangkal untuk mengetahui jenis lapisan tanah dilakukan sampai kedalaman sampai dengan 5.0 meter.

<b><u>BORE LOG</u></b>											
DEPTH (m)	BORE LOG	Standard Penetration Test (SPT) N / 30 cm		VISUAL DESCRIPTION	COLOUR	UDS Depth SPT Depth		N1 (0-15)	N2 (15-30)	N3 (30-45)	N-SPT (N2+N3)
		0	20			40	60				
0		0	20	40	60	80					
1				Timbunan Sirtu	Hitam						
2				Lempung kelanauan	Coklat	1.50 - 2.00 m UDS 2.00 - 2.45 m SPT		1 / 15	2 / 15	4 / 15	6
3											
4				Lempung kelanauan	Abu-Abu	3.50 - 4.00 m UDS 4.00 - 4.45 m SPT		1 / 15	2 / 15	2 / 15	4
5											
6						5.50 - 6.00 m UDS 6.00 - 6.45 m SPT		1 / 15	2 / 15	3 / 15	5
7											
8				Lanau kelempungan	Abu-Abu	7.50 - 8.00 m UDS 8.00 - 8.45 m SPT		2 / 15	3 / 15	3 / 15	6
9											
10						9.50 - 10.00 m UDS 10.00 - 10.45 m SPT		3 / 15	5 / 15	7 / 15	12
11											
12											
13											

**Gambar 4.2** Data *Standard Penetration Test* (SPT) titik BH2  
Sumber : PPK 4.5 TBLG, 2020

**SOIL INVESTIGATION  
BORING LOG AND LABORATORY ANALYSIS**

<b>Project</b>	:	Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
<b>Location</b>	:	Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
<b>Method</b>	:	Hand Boring & Sampling
<b>Bore No.</b>	:	BD - 02
<b>STA/KM</b>	:	KM 41
<b>Tanggal</b>	:	10 Agustus 2020
		<b>Koordinat UTM :</b>
		X : 660407.00
		Y : 9212795.00

**TECHNICAL BORING**

<b>Depth (m)</b>	<b>Bor log</b>	<b>Visual Description</b>	<b>Color</b>
0			
1		Timbunan Sirtu	Coklat
2	☒	Lanau kelempungan	Coklat
3			
4		Lanau kelempungan	Abu-Abu
5	☒		
6			

**Gambar 4.3** Data Bor Dangkal titik BD2

Pada lokasi bor dalam dan bor dangkal juga dilakukan Pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*Undisturbed Sample*) setiap interval 2 meter dimulai pada kedalaman – 1.50 dari *original ground*. Contoh tanah (*undisturbed sample*) yang diperoleh dari pengeboran selanjutnya diuji di laboratorium untuk mendapatkan *index & physical properties*, adapun data yang diperoleh yaitu:

1. Data pengujian sifat karakteristik fisik
2. Data pengujian Sifat Mekanik

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Hasil Pengujian Laboratorium Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli dari *Undisturb Sample*

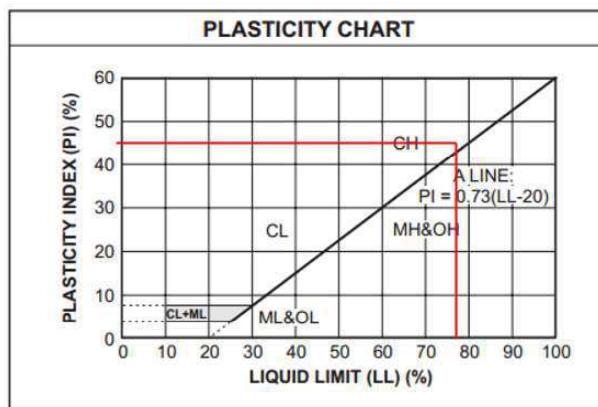
<b><i>Soil Description</i></b>	<b>Timbunan Sirtu</b>	<b>Lempung Kelanauan</b>	<b>Lempung Kelanauan</b>		<b>Lanau Kelempungan</b>	
<b><i>Depth</i></b>	0 - 1	1 - 3	3 - 5		7,5 - 9,5	9,5 - 10,5
<b><i>Layer Thickness (m)</i></b>	1,00	2,00	4,50		3,00	
<b>NSPT</b>		6	4	5	6	12
<b>NSPT Rata2</b>		6	4,5		9	
<b>NSPT Pakai</b>		6	5		10	
<b>Konsistensi</b>		Medium	Medium		Stiff	
<b><i>Grain Size Analysis</i></b>						
<i>Gravel</i> (%)		0,00	3,09	12,47	0,00	0,00
<i>Sand</i> (%)		2,94	10,54	10,00	0,31	7,97
<i>Silt</i> (%)		80,19	71,56	62,30	83,81	76,33
<i>Clay</i> (%)		16,87	14,80	15,23	15,88	15,71
<b><i>Physical Properties</i></b>						
<i>Water Content</i> (%)	11,03	62,43	76,22	73,99	62,21	61,13
<i>Dry Density (yd)</i> (gr/cm <sup>3</sup> )	1,823	1,029	0,893	0,906	1,006	1,002
<i>Specific Gravity</i>	GS	2,452	2,602	2,636	2,645	2,593
<i>Porosity</i>	n	0,213	0,619	0,668	0,662	0,617
<i>Void Ratio</i>	e	0,270	1,624	2,009	1,957	1,613
<b><i>Mechanical Properties</i></b>						
<i>Unconfined (qu)</i> (kg/cm <sup>2</sup> )		0,39	0,33	0,33	0,37	0,35
<i>Direct Shear Test</i> c (kg/cm <sup>2</sup> )		0,41	0,37	0,34	0,43	0,39
ϕ (°)		6	12	13	5	11
<i>Atterberg Test</i>	LL (%)	78,51	77,48	74,44	79,40	75,51
	PL (%)	33,32	35,14	34,27	33,26	32,13
	IP (%)	45,19	42,34	40,17	46,14	43,38

Sumber: PPK 4.5 TBLG, 2020

Data tersebut kemudian akan diklasifikasikan menggunakan peraturan USCS dan AASHTO. Pembacaan klasifikasi kedua sistem ini dapat dilihat berdasarkan nilai *Standart Penetration Test* (SPT) dan dari data sampel tanah tidak terganggu (*Undisturb Sample*)

Dari data borelog tersebut ditentukan nilai SPT rata-rata dan konsistensi pada tiap lapisan tanah. Selanjutnya dari nilai *Liquid Limit (LL)* dan *Plasticity Index (PI)* dapat ditentukan klasifikasi jenis tanahnya.

Berikut adalah salah satu contoh klasifikasi tanah yang dilakukan terhadap tanah pada kedalaman 1-2 m. Menurut aturan USCS maka tanah ini dikategorikan sebagai tanah berbutir halus karena tanah yang lolos ayakan no 200 di atas 50%. Batas Cair dan Indeks Plastisitas kemudian diplotkan ke bagan plastisitas sistem USCS (Grafik Cassagrande). Didapatkan bahwa Tanah berdasarkan sistem USCS diklasifikasikan sebagai CH yaitu lempung organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clays*)



**Gambar 4.4** Penentuan klasifikasi jenis tanah berdasarkan sistem USCS

Sumber :

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO tanah yang lolos ayakan no. 200 berkisar sekitar 90%, maka tanah ini termasuk dalam klasifikasi Lanau-Lempung. Apabila melihat Batas Cair dan Indeks Plastisitas maka tanah ini termasuk dalam klasifikasi A-7-5 Kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis yang mempunyai sifat perubahan volume besar dengan nilai  $PI \leq LL - 30$

Berikut adalah rekapitulasi dari masing – masing lapisan tanah

**Tabel 4.3** Nilai N-SPT Rata-Rata, Konsistensi, dan Klasifikasi Tanah

No .	Kedalaman (m)	Tebal (m)	Visual Description	N-SPT Rata -rata	Konsistensi	Klasifikasi Tanah	
						USCS	AASHTO
1	0 - -1	1	Sirtu				
2	-1 - -3	2	Lempung Kelanauan	6	Medium	CH	A-7-5
3	-3 - -7,5	4	Lempung Kelanauan	5	Medium	CH	A-7-5
4	-7 - -10,5	3	Lanau Kelempungan	10	Stiff	CH	A-7-5

Sumber : Hasil analisis

#### 4.2 Analisis Identifikasi dan Aktifitas Tanah Ekspansif

Identifikasi Tanah ekspansif berdasarkan data sekunder dari pengujian laboratorium dan dilakukan dengan membagi tanah ekspansif ke berbagai potensi pengembangan. Identifikasi pada penelitian ini dianalisis dari data pengujian ukuran butiran tanah (analisis *hydrometer*) dan data batas-batas *atterberg*.

**Tabel 4.4** Data pengujian ukuran butiran tanah (analisis *hydrometer*) dan data batas-batas *atterberg*.

<i>Soil Description</i>	Timbunan Sirtu	Lempung Kelanauan	Lempung Kelanauan		Lanau Kelempungan	
<i>Depth</i>	0 - 1	1 - 3	3 - 5	5 - 7,5	7,5 - 9,5	9,5 - 10,5
<i>NSPT Pakai</i>		6	5		10	
<i>Konsistensi</i>		Medium	Medium		Stiff	
<i>Gravel (%)</i>		0,00	3,09	12,47	0,00	0,00
<i>Sand (%)</i>		2,94	10,54	10,00	0,31	7,97
<i>Silt (%)</i>		80,19	71,56	62,30	83,81	76,33
<i>Clay (%)</i>		16,87	14,80	15,23	15,88	15,71
<i>Atterberg Test</i>	LL (%)	78,51	77,48	74,44	79,40	75,51
	PL (%)	33,32	35,14	34,27	33,26	32,13
	IP (%)	45,19	42,34	40,17	46,14	43,38

Sumber: PPK 4.5 TBLG, 2020

Berikut adalah salah satu contoh identifikasi jenis tanah pada lapisan lempung kelanauan coklat berdasarkan data *Undisturb Sample* yang menggunakan beberapa metode analisis pengembangan tanah yaitu:

1. Berdasarkan tabel Chen 1975 (tabel 2.21) menyatakan hubungan plastisitas indeks dengan *swelling potential*.

Dengan nilai Indeks Plastisitas 45,19 % maka termasuk dalam kategori *swelling potensial* tinggi (IP 20-55)

2. Berdasarkan Holtz and Gibbs, 1956 (tabel 2.23) yang mengidentifikasi tanah ekspansif dengan mengkorelasi kadar koloid, indeks plastisitas (IP) dan Shrinkage Limit (SL) menyatakan IP > 35% termasuk dalam tingkat pengembangan sangat tinggi.

Rekapitulasi Hasil Penentuan Tingkat Pengembangan (*Swelling Potential*) Tanah Lempung titik BH2 ditampilkan pada tabel berikut ini

**Tabel 4.5** Rekapitulasi Hasil Penentuan Tingkat Pengembangan (*Swelling Potential*) Tanah Lempung titik BH2

No	<b>Kedalaman UDS</b>	<b>Liquid Limit (LL)</b>	<b>Pastic Limit (PL)</b>	<b>Plasticity Index (PI)</b>	<b>Swelling Potential</b>	
		m	%	%	Holtz and Gibbs, 1956	Chen, 1975
1	1,5 - 2,0	78,51	33,32	45,19	Sangat Tinggi	Tinggi
2	3,5 - 4,0	77,48	35,14	42,34	Sangat Tinggi	Tinggi
3	5,5 - 6,0	74,44	34,27	40,17	Tinggi	Tinggi
4	7,5 - 8,0	79,40	33,26	46,14	Sangat Tinggi	Tinggi
5	9,5 - 10,0	75,51	32,13	43,38	Sangat Tinggi	Tinggi

Sumber : Hasil Analisis

Dari Nilai aktivitasnya juga dapat diidentifikasi jenis mineral yang terkandung dalam suatu tanah lempung. Menurut Skemton, Tingkat keaktifan suatu tanah dapat ditentukan dari persamaan :

$$Ac = \frac{PI}{CF} = \frac{45,19}{16,87} = 2,68$$

dimana :

AC = Tingkat Keaktifan

PI = Indeks Plastisitas (%)

CF = Persentase Fraksi Lempung (%)

Nilai Tingkat keaktifan 2,68 Termasuk dalam Potensi Pengembangan sangat tinggi (**Tabel 2.24** Korelasi Tingkat Keaktifan dengan potensi pengembangan Skempton ).

Rekapitulasi Hasil Penentuan Tingkat Pengembangan (*Swelling Potential*) berdasarkan tingkat keaktifannya pada Tanah Lempung titik BH2 ditampilkan pada tabel berikut ini

**Tabel 4.6** Hasil Penentuan Tingkat Pengembangan (*Swelling Potential*) Berdasarkan Tingkat Keaktifan pada Tanah Lempung titik BH2

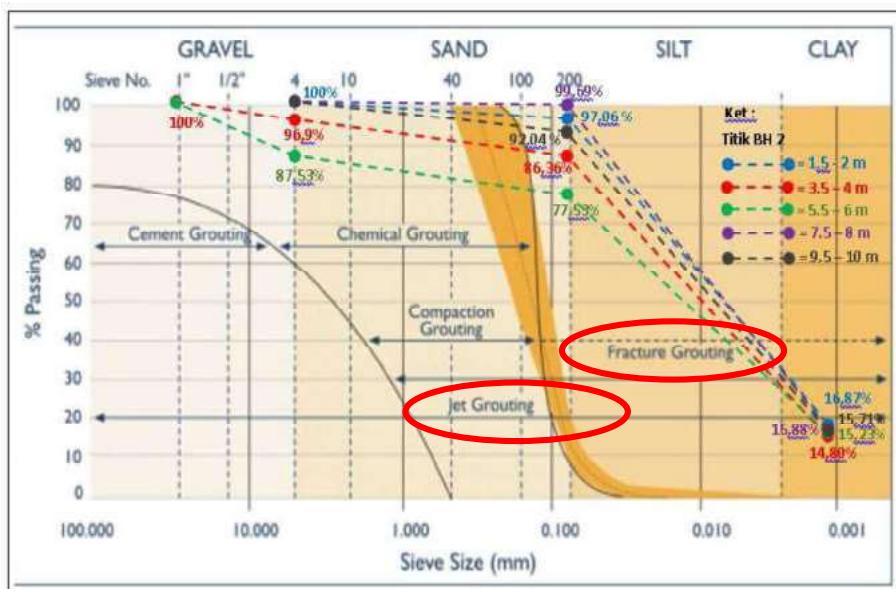
No	Kedalaman UDS	Plasticity Index (PI)	Fraksi Lempung (<200mm)	Tingkat Keaktifan	<i>Swelling Potential</i>
	m	%	%	Skempton	Skempton
1	1,5 - 2,0	45,19	16,87	2,68	Sangat Tinggi
2	3,5 - 4,0	42,34	14,8	2,86	Sangat Tinggi
3	5,5 - 6,0	40,17	15,23	2,64	Sangat Tinggi
4	7,5 - 8,0	46,14	15,88	2,91	Sangat Tinggi
5	9,5 - 10,0	43,38	15,71	2,76	Sangat Tinggi

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan beberapa metode tingkat pengembangan dan aktifitas diatas didapatkan bahwa tanah di ruas Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby 41+000 termasuk kategori *swelling potential* tinggi sampai dengan sangat tinggi, sehingga memerlukan usulan penyelesaian perbaikan tanah untuk tanah ekspansif di bawah konstruksi jalan.

### 4.3 Analisis Penentuan Tipe Grouting

Setelah diketahui jenis tanah dominan, dapat ditentukan tipe *grouting* yang sesuai untuk lokasi tersebut. Data persentase butiran tanah lokasi *grouting* diploting pada Grafik Ranges of Soils By *Grouting* Method, Alan Ringen PE, 2016



**Gambar 4.5** Analisis Penentuan Tipe Grouting

Sumber : Hasil analisa

Berdasarkan hasil analisis penentuan type *grouting* pada gambar diatas maka Tipe *grouting* yang sesuai adalah Jet *Grouting* dan Fracture *Grouting*.

Wen-Chieh Cheng, 2018 menyatakan bahwa Pada tanah liat dengan permeabilitas rendah pada umumnya dilakukan Fracture *Grouting* dan Warner (2005) menyatakan bahwa Fracture *Grouting* umum dilakukan pada tanah dengan permeabilitas rendah, misalnya pada tanah lempung.

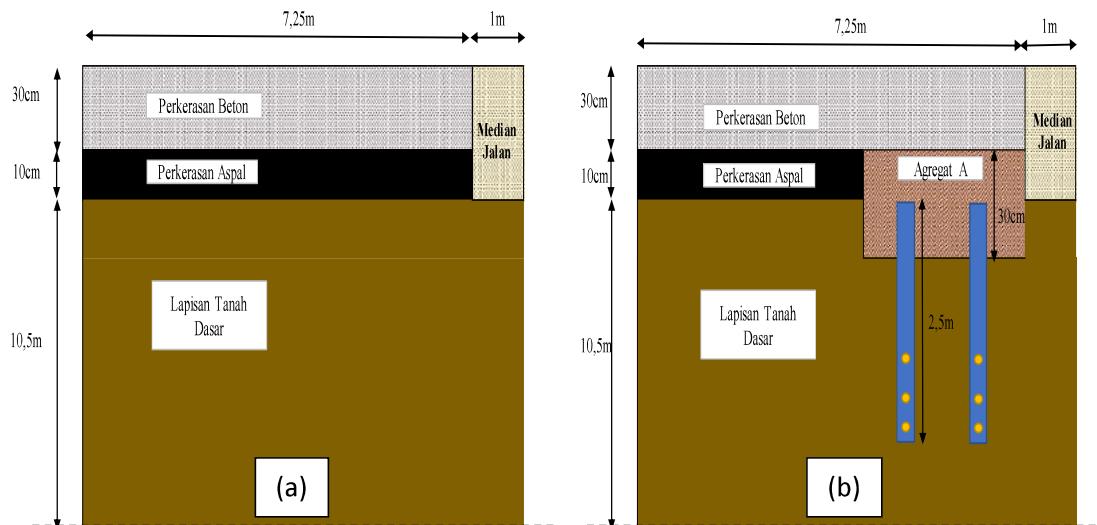
Setelah diketahui perkiraan tipe *grouting* yaitu Fracture *Grouting*/sementasi rekahan maka akan dianalisis penurunan tanah akibat pembebanan berdasarkan sebaran/rekahan *grouting* dan komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli dengan permodelan numerik plaxis 2Dv21

## 4.4 Analisis Parameter Tanah

Analisis Parameter tanah dibutuhkan sebagai masukan dalam permodelan penurunan tanah akibat beban pada aplikasi Plaxis, berikut adalah analisis parameternya.

### 4.4.1 Parameter Perkerasan Jalan

Berdasarkan gambar desain, perkerasan jalan eksisting adalah *flexible pavement* dengan material aspal AC-WC tebal 4 cm dan AC-BC tebal 6 cm, setelah perkuatan *water cement grouting*, perkerasan ditambah dengan *rigid Pavement* diatas perkerasan eksisting dengan tebal 30 cm. Berikut adalah sketsa lapisannya



**Gambar 4.6** Sketsa Lapisan perkerasan tanpa perkuatan (a) dan dengan perkuatan *Water cement grouting*(b)

Berikut adalah analisis parameter tanah pada masing-masing lapisan perkerasan Jalan

#### 1. Analisis Material Perkerasan Beton

##### a. Sifat – Sifat Material Perkerasan Beton

$$\text{Mutu Beton } f'c = \text{K400}$$

$$\text{Mutu Beton } fs = fs 45 \text{ (} 45 \text{ kg/cm}^2 \text{)}$$

Mutu Baja = Baja tulangan ulir U32 fy = 3200 kg/cm<sup>2</sup>

Baja tulangan polos U32 fys = 0,5 x 3200 = 1600 kg/cm<sup>2</sup>

b. Berat Jenis Perkerasan Beton

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia (PPI 1981) besarnya nilai berat jenis beton bertulang adalah sebesar  $2,4 \times 10^{-3}$  kg/cm<sup>3</sup> atau sebesar 24 kN/m<sup>3</sup>.

c. Modulus Elastisitas Perkerasan Beton

Dengan mutu beton K400 atau nilai kuat tekan sebesar 400 kg/cm<sup>2</sup> sama dengan 40 MPa, maka nilai modulus elastisitas betonnya dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c}$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{40}$$

$$E_c = 29.725,410 \text{ Mpa} = 29.725.410 \text{ KN/m}^2 \approx 30.000.000 \text{ KN/m}^2$$

Jadi, nilai modulus elastisitas perkerasan beton bertulang yang dipakai dalam analisis ini adalah sebesar 30.000.000 KN/m<sup>2</sup>.

d. Angka Poisson Ratio

Angka *Poisson's Ratio* beton bertulang yang dipakai dalam analisis ini diambil sebesar 0,15 (Bowles, 1984)

## 2. Analisis Parameter Perkerasan Aspal

a. Berat Jenis Aspal

Adapun data sifat-sifat material struktur perkerasan lentur berupa Laston (Lapis Aspal Beton/AC)) akan dihitung berdasarkan persamaan 3 dan 4 serta tabel 2.14 Persyaratan agregat untuk campuran laston diasumsikan bahwa proporsi fraksi agregat dalam campuran agregat aspal beton adalah agregat kasar (P1) sebesar 0,41; agregat halus (P2) sebesar 0,53 dan bahan filler (P3) sebesar 0,06 maka nilai dari berat jenis efektif campuran agregat, berat jenis maksimum campuran laston dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{mm} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{P_1/G_{se1} + P_2/G_{se2} + \dots + P_n/G_{sen}}$$

$$P_{mm} = \frac{0,41 + 0,53 + 0,06}{0,41/2,5 + 0,53/2,5 + 0,06/2,5} = 2,5 \text{ g/cm}^2$$

Dari data di atas diketahui bahwa berat jenis efektif campuran agregat adalah sebesar 2,5 g/cm<sup>3</sup>, dengan asumsi kadar aspal diambil rata-rata 5%, sehingga nilai berat jenis campuran laston minimal dapat dihitung sebagai berikut: Pb = 5 % maka nilai dari Ps = 100%-5% = 95%

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{P_s/G_{se} + P_b/G_b}$$

$$G_{mm} = \frac{100}{95/2,5 + 5/1} = 2,325 \text{ g/cm}^2$$

Dimana

G<sub>mm</sub> = Berat Jenis maksimum laston

P<sub>mm</sub> = Persen terhadap campuran = 100

P<sub>s</sub> = Persen agregat terhadap total campuran

P<sub>b</sub> = Persen aspal total terhadap total campuran

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>n</sub> = Persentase masing-masing fraksi agregat

G<sub>se</sub> = Berat Jenis efektif agregat

G<sub>b</sub> = Berat Jenis aspal

Jadi, nilai dari berat jenis campuran laston minimal adalah sebesar 2,325 g/cm<sup>3</sup> atau sebesar 23,25 kN/m<sup>3</sup> ≈ 23 kN/m<sup>3</sup>

#### b. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas didapat berdasarkan Tabel 2.14 Karakteristik Modulus Bahan Berpengikat (PdT-01-2002-B) yang digunakan Untuk Pengembangan Bagan Desain Jalan dan Untuk Analisis Mekanistik, didapatkan modulus elastisitas aspal AC (*Asphalt Concrete*) adalah 1150 MPA ≈ 1.150.000 kN/m<sup>2</sup>

#### c. Angka Poisson Ratio

Menurut Yoder, dkk., (1975), besarnya nilai tipikal *Poisson's Ratio* (v) untuk material jalan dapat dilihat pada tabel 2.15 Nilai Tipikal *Poisson's Ratio* (v) dan didapat nilai angka *Poisson's Ratio* berdasarkan *Shell Oil Co.*

*Revised* untuk campuran Laston AC-WC, Laston AC-BC dan Laston AC-Base adalah sebesar 0,35.

### 3. Analisis Material Agregat

#### a. Berat Jenis Agregat A

Berat jenis lapisan base perkerasan jalan agregat didapat dengan hasil pengujian *Job Mix Formula* (JMF) yang dilaksanakan dilapangan yaitu  $2,170 \text{ gr/cm}^3 = 21,7 \text{ kN/m}^3 \approx 22 \text{ kN/m}^3$

**Tabel 4.7** Hasil pengujian Job Mix Formula (JMF) Agregat A

No	Uraian	Unit	Hasil Pengujian	Spec
1	Kepadatan Laborat	gr/cm <sup>3</sup>	2,170	-
2	Indeks Plastic	%	3,89	Maks.6
3	Kadar air optimum	%	6,50	
4	CBR Laboratorium	%	93	Min. 90

Sumber : PPK 4.5 TBLG

#### b. Modulus Elastisitas Agregat

Besarnya nilai modulus elastisitas Lapisan Agregat dapat dicari dengan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$Mr = 10 \times CBR$$

Berdasarkan SNI 03-1732-1989, disyaratkan bahwa lapisan pondasi (*Base Course*) memiliki nilai CBR  $\geq 50\%$ , sehingga nilai modulus elastisitas lapisan Agregat adalah:

$$Mr = 10 \times CBR$$

$$Mr = 10 \times 50$$

$$Mr = 500 \text{ MPa}$$

Jadi, nilai modulus elastisitas lapisan agregat adalah sebesar 500 MPa atau sebesar 500.000 kN/m<sup>2</sup>.

c. Permeabilitas

Nilai permeabilitas ( $k_{x,y}$ ) didapat melalui tabel 2.5 Nilai Permeabilitas (K) Berdasarkan Jenis Tanah (Braja M Das, 1988) yaitu untuk lapisan Agregat dengan konsistensi pasir padat didapat nilai  $k$  yaitu  $10^{-1}$  cm/sec atau 0,864 m/day.

d. Angka Poisson

Menurut Yoder, dkk., (1975) besarnya nilai tipikal *Poisson's Ratio* ( $\nu$ ) untuk material jalan dapat dilihat pada tabel 2.15 Nilai Tipikal *Poisson's Ratio* ( $\nu$ ) dan didapat nilai angka *Poisson's Ratio* berdasarkan Shell Oil Co. Revised untuk material agregat / *granular Base* adalah sebesar 0,35.

e. Kohesi

Nilai kohesi pada lapisan sirtu pada kondisi drained didapat dari tabel 2.11 Nilai Tipikal  $c'$  dan  $\phi$  (*Australia Standards for Retaining Walls (AS 4678)*) yaitu pada kelompok tanah pasir padat berkerikil didapat nilai  $c'$  adalah 5 kN/m<sup>2</sup>.

f. Sudut Geser dalam

Nilai Sudut geser dalam didapat dari tabel 2.12 Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah (Braja M.Das, jilid 1, 1988) yaitu untuk pasir kepasiran didapat nilai 35°

#### 4. Rekapitulasi Parameter Perkerasan Jalan

Berikut adalah rekapitulasi korelasi dari nilai parameter perkerasan sebagai proses input ke dalam program Plaxis 2Dv21.

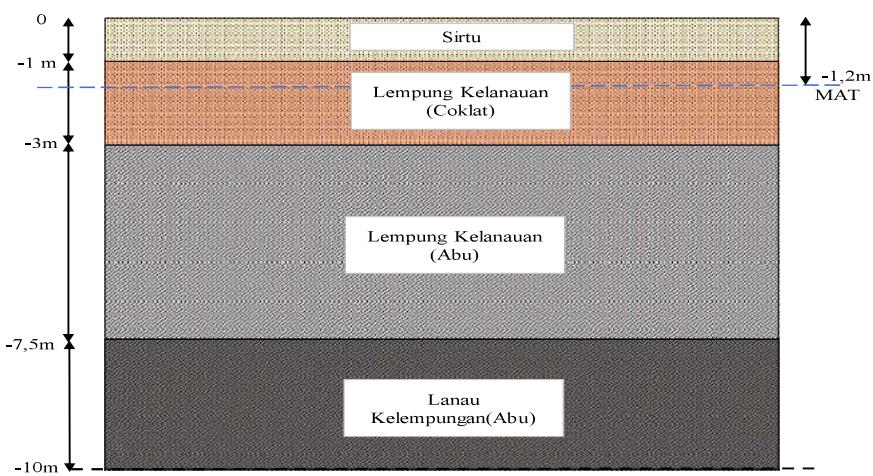
**Tabel 4.8** Rekapitulasi Parameter Perkerasan Jalan

Nama Lapisan Perkerasan	Tebal Lapisan m	$\gamma_{sat}$	$\gamma_{unsat}$	$K_{x,y}$	E	$\nu'$	$c'$	$\phi$
		(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(m/day)	(kN/m <sup>2</sup> )	(poisson)	(°)	
Rigid	0,3	24	24	-	30.000.000	0,15		
Aspal	0,1	23	23	-	1.150.000	0,35		
Agregat A	0,3	22	22	0,864	500.000	0,35	5,00	35

Sumber : Hasil Analisis

#### 4.4.2 Parameter Lapisan Tanah Dasar

Analisis Parameter tanah didapat berdasarkan nilai *Standart Penetration Test* (SPT) dari hasil *bore log* sampai kedalaman 10 m. *Undistrub Sampel* diambil pada tiap interval kedalaman 1,5 m, dari kedalaman 2 m - 10 m. Berikut adalah sketsa lapisannya. Muka air tanah berada pada kedalaman -1,2 m dari *original ground*.



**Gambar 4.7 Sketsa Lapisan Tanah Dasar**

Berikut adalah analisis parameter tanah lapisan tanah dasar :

1. Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ )

Berat jenis tanah ( $\gamma$ ) didapat dari tabel Tabel 2.4 Korelasi antara nilai N SPT dengan *Unconfined Compressive Strength* dan Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk Tanah Kohesif. pada lapisan lempung kelanauan (coklat) dengan konsistensi *medium* didapat nilai  $\gamma$  adalah  $17 \text{ kN/m}^3$ . lapisan lempung kelanauan (abu) dengan konsistensi *medium* didapat nilai  $\gamma$  adalah  $17 \text{ kN/m}^3$  dan pada lapisan lanau kelempungan (abu) dengan konsistensi *stiff* didapat nilai  $\gamma$  adalah  $19 \text{ kN/m}^3$ . sedangkan untuk lapisan sirtu didapat dengan hasil pengujian *Job Mix Formula* (JMF) yang dilaksanakan dilapangan yaitu  $1,823 \text{ gr/cm}^3$  setara  $18 \text{ kN/m}^3$

**Tabel 4.9** Hasil pengujian Job Mix Formula (JMF) Lapisan Sirtu

No	Uraian	Unit	Hasil Pengujian	Spec
1	Kepadatan Laborat	gr/cm <sup>3</sup>	1,823	-
2	Sp.Gr	gr/cc	2,452	-
3	Indeks Plastic	%	-	Maks.6
4	Kadar air optimum	%	11,03	
5	CBR Laboratorium	%	26	Min. 10

Sumber : PPK 4.5 TBLG

## 2. Modulus Elastisitas

Nilai E (modulus elastisitas tanah) didapatkan melalui tabel 2.6 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas (Es) Bowles 1984 untuk lapisan Sirtu dengan konsistensi pasir padat didapat nilai E yaitu 50.000 Kn/m<sup>2</sup>.

Modulus elastisitas (E') untuk lapisan kohesif didapatkan persamaan (1) koreksi modulus elastis (Es) dan N-SPT (Bowles, 1996 dalam Arfan, 2016) yaitu Es=300 (N+6)

Pada lapisan lempung kelanauan (coklat) dengan nilai NSPT 6 didapat nilai E adalah 300 (6+6) = 3600 kN/m<sup>2</sup>. lapisan lempung kelanauan (abu) dengan nilai NSPT 5 didapat nilai E adalah 300 (6+5) = 3300 kN/m<sup>2</sup> dan pada lapisan lanau kelempungan (abu) dengan nilai NSPT 10 didapat nilai E dari tabel 2.6 Nilai Perkiraan Modulus Elastisitas (Es) Bowles 1984 dengan konsistensi lempung keras adalah 7000 kN/m<sup>2</sup>.

## 3. Permeabilitas Tanah

Nilai permeabilitas (k<sub>x,y</sub>) didapat melalui tabel 2.5 Nilai Permeabilitas (K) Berdasarkan Jenis Tanah (Braja M Das, 1988) yaitu untuk lapisan Sirtu dengan konsistensi pasir padat didapat nilai k yaitu 10<sup>-1</sup> cm/sec atau 0,864 m/day. Pada lapisan lempung kelanauan (coklat) didapat dan lapisan lempung kelanauan (abu) didapat nilai k yaitu 10<sup>-6</sup>cm/sec atau 0,000864 m/day dan pada lapisan lanau kelempungan (abu) didapat nilai k yaitu 10<sup>-5</sup>cm/sec atau 0,00864 m/day.

#### 4. Poisson Ratio

Nilai poisson ratio ( $v'$ ) didapat dengan melihat tabel 2.10 Perkiraan Angka Poisson's (Bowles, 1984) yaitu pada lapisan Sirtu didapat nilai  $v'$  yaitu 0,3. Pada lapisan lempung kelanauan (coklat) didapat nilai  $v'$  adalah 0,35 kN/m<sup>2</sup>. lapisan lempung kelanauan (abu) didapat nilai  $v'$  adalah 0,35 kN/m<sup>2</sup> dan pada lapisan lanau kelempungan (abu) didapat nilai  $v'$  adalah 0,3 kN/m<sup>2</sup>.

#### 5. Kohesi

Nilai kohesi pada lapisan sirtu pada kondisi drained didapat dari tabel 2.11 Nilai Tipikal  $c'$  dan  $\phi$  (*Australia Standards for Retaining Walls (As 4678)*) yaitu pada kelompok tanah pasir padat didapat nilai  $c'$  adalah 1 kN/m<sup>2</sup> sedangkan untuk tanah pada kondisi *Undrained* nilai kohesi *undrained* ( $c_u$ ) didapat berdasarkan tabel 2.10 Korelasi anatara CI,N dan  $c_u$  (Szeckhy dan Varga, 1978) dan dari formula persamaan 2, dimana nilai  $q_u$  didapat dari hasil pengujian Kuat Tekan Bebas (Soemito dan Warnana, 2020).

$$C_u = \frac{q_u}{2}$$

- lapisan lempung kelanauan (coklat) nilai kuat tekan adalah 0,39 kN/m<sup>2</sup> maka nilai  $C_u$  adalah  $0,39/2 = 19,5$  kN/m<sup>2</sup>.
- lapisan lempung kelanauan (abu) nilai kuat tekan adalah 0,33 kN /m<sup>2</sup> maka nilai  $C_u$  adalah  $0,33/2 = 16,5$  kN/m<sup>2</sup>.
- pada lapisan lanau kelempungan (abu) dengan data N-SPT 10 didapat tabel 2.10 Korelasi anatara CI,N dan  $c_u$  (Szeckhy dan Varga, 1978) nilai  $c_u$  adalah 40 kN/m<sup>2</sup> .

#### 6. Sudut Geser Dalam

Nilai sudut geser ( $\phi$ ). pada lapisan sirtu pada kondisi drained didapat berdasarkan tabel 2.11 . Nilai Tipikal  $c'$  dan  $\phi$  (*Australia Standards for Retaining Walls (As 4678)*) yaitu untuk pasir padat didapat nilai  $35^\circ$  sedangkan untuk tanah lempung dan lanau, nilai sudut gesernya dianggap  $0^\circ$  karena kondisi tipe tanahnya bersifat *undrained*.

## 7. Rekapitulasi Parameter Tanah Dasar

Berikut adalah rekapitulasi korelasi dari nilai parameter sebagai proses input ke dalam program PLAXIS 2D

**Tabel 4.10** Nilai Parameter Tanah Dasar

Nama Layer	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Kx,y (m/day)	E' (kN/m <sup>2</sup> )	v'	c (kN/m <sup>2</sup> )	c <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
Sirtu	18	18	$8,64 \times 10^{-1}$	50000	0,3	1	-	35
Lempung Kelanauan (Coklat)	17	17	$8,64 \times 10^{-4}$	3600	0,35	-	19,5	-
Lempung Kelanauan (Abu)	17	17	$8,64 \times 10^{-4}$	3300	0,35	-	16,5	-
Lanau Kelempungan (Abu)	19	19	$8,64 \times 10^{-3}$	7000	0,3	-	40	-

Sumber : Hasil Analisis

### 4.4.3 Analisis Parameter *Water cement grouting*

Jenis bahan *grouting* yaitu air dan semen yang dalam penelitian ini termasuk dalam jenis suspensi *grouting*. Type semen yang digunakan adalah *Portland Composite Cement*. Properties material bahan *grouting* dapat diserupukan dengan material beton tanpa tulangan karena tidak dilakukan pengujian properties material *grouting* pada proyek ini.

1. Berat Jenis *Grouting* didapatkan berdasarkan tabel 2.17 J.M. Gere dan S.P.

Timoshenko, 2000 yaitu 23 kN/m<sup>3</sup>

2. Modulus Elastisitas didapat berdasarkan tabel 2.17 J.M. Gere dan S.P.

Timoshenko, 2000 yaitu 17.000.000 kN/m<sup>2</sup>

3. Angka Poisson Ratio

Angka *Poisson's Ratio* beton tabel 2.17 J.M. Gere dan S.P. Timoshenko, yaitu 0,10

4. Kohesi

Untuk Penentuan nilai Kohesi (C) beton merujuk pada penelitian Mansyur, 2020 dalam jurnal “Penentuan Kohesi dan Sudut Geser Dalam pada Beton

Busa". Dalam penelitian ini dihasilkan persamaan untuk menentukan nilai kohesi dan sudut geser dalam pada beton busa. Persamaan dihasilkan dari beberapa pengujian kuat tekan beton busa dilaboratorium.

$$y = 0,1528x + 0,433$$

Dimana

$y$  = kohesi Beton (Mpa)

$x$  = Kuat Tekan Beton (Mpa)

$$\text{maka } y = 0,1528 (12,5) + 0,433 = 0,79972 \text{ Mpa} = 799,72 \text{ kN/m}^2 \approx 800 \text{ kN/m}^2$$

Nilai Kohesi ( $c$ ) beton adalah  $800 \text{ kN/m}^2$

Kohesi Effektif  $c' = 2/3 c$ , maka  $C'$  adalah  $533,33 \text{ kN/m}^2 \approx 535 \text{ kN/m}^2$

## 5. Rekapitulasi Parameter *Grouting*

**Tabel 4.11** Nilai Parameter *Grouting*

Nama Parameter	$\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	k (m/day)	E' (kN/m <sup>2</sup> )	V'	c' (kN/m <sup>2</sup> )	c <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
<i>Grouting</i>	23	23	-	17.000.000	0,1	533,33	800	20

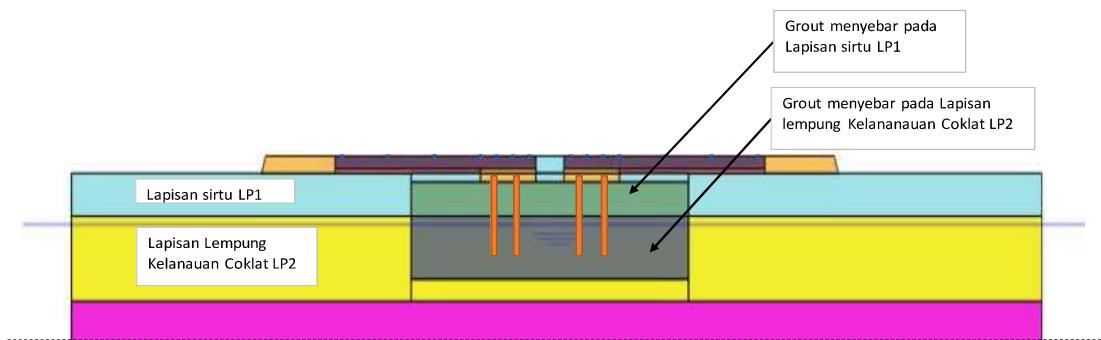
Sumber : Hasil Analisis

### 4.4.4 Analisis Parameter Tanah campuran (*Water cement grouting* dengan tanah asli)

Parameter campuran meterial *water cement grouting* diperoleh dari asumsi persentase material tanah asli yang tercampur dan terkena sebaran *grouting*. Berdasarkan pengamatan di lapangan, posisi lubang pada pipa *grouting* terletak pada lapisan lempung kelanauan dan kapasitas material *grouting* pada mesin pencampur yaitu 500 ml hanya bisa untuk injeksi 2-3 lubang *grouting* saja yaitu sekitar 5% - 20 % dari dari luasan tanah, Maka dari itu akan dibuat 3 variasi komposisi campuran yang akan digunakan, yaitu:

1. **Tipe A** Parameter Tanah Asli 95% + Parameter *Water cement grouting* 5%
2. **Tipe B** Parameter Tanah Asli 90% + Parameter *Water cement grouting* 10%
3. **Tipe C** Parameter Tanah Asli 80% + Parameter *Water cement grouting* 20%

Karena Sebaran kemungkinan terjadi pada lapisan Tanah Sirtu (LP1) dan lapisan Tanah Lempung Kelanauan Coklat (LP2) maka Persentase campuran akan dihitung pada ke 2 lapisan tanah tersebut



**Gambar 4.8** Sketsa Sebaran *Grouting* pada Lapisan pada lapisan Sirtu (LP1) dan Lapisan Lempung Kelanauan Coklat (LP2)

Berikut adalah Rekapitulasi Campuran Parameter Tanah Asli dengan Parameter *Water cement grouting*.

**Tabel 4.12** Rekapitulasi Perhitungan Parameter Campuran

Parameter Plaxis	Parameter Campuran					
	Campuran Pada Lapisan Sirtu (LP1)			Campuran Pada Lapisan Lempung Kelanauan Coklat (LP2)		
	5%grout +95%LP1	10%grout +90%LP1	20%grout +80%LP1	5%grout +95%LP2	10%grout +90%LP2	20%grout +80%LP2
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,25	18,5	19,9	17,3	17,6	19,05
$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	18,25	18,5	19,9	17,3	17,6	19,05
k <sub>x</sub> (m/day)	0,864	0,864	0,864	0,000864	0,000864	0,000864
k <sub>y</sub> (m/day)	0,864	0,864	0,864	0,000864	0,000864	0,000864
E (kN/m <sup>2</sup> )	897.500	1.745.000	3.442.500	853.420	1.703.240	3.403.060
v' (poisson)	0,29	0,28	0,275	0,3375	0,325	0,3175
c' (kN/m <sup>2</sup> )	27,7	54,4	107,85	-	-	-
c <sub>u</sub> =s <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	-	-	-	58,525	97,55	176,575
$\phi$ (°)	34,25	33,5	33,75	-	-	-

Sumber : Hasil analisis

#### 4.5 Analisis Pembebatan

Beban Yang bekerja di atas tanah dasar (*subgrade*) dari konstruksi jalan yaitu :

1. Beban Perkerasan

- Berat lapisan aspal AC-WC tebal 0,04 m dan AC-BC tebal 0,06 m dengan berat jenis aspal 23 kN/m<sup>2</sup> adalah  $0,1 \text{ m} \times 23 \text{ kN/m}^2 = 2,3 \text{ kN/m}^2$
- Berat lapisan Agregat A tebal 0,30 m dan berat jenis 22 kN/m<sup>2</sup> adalah  $0,3 \text{ m} \times 22 \text{ kN/m}^2 = 6,6 \text{ kN/m}^2$
- Lapisan Beton rigid dengan tebal 0,3 m dan berat jenis 24 kN/m<sup>2</sup> adalah  $0,3 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^2 = 7,2 \text{ kN/m}^2$

## 2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas adalah beban kendaraan yang dilimpahkan ke perkerasan jalan melalui kontak antara ban dan muka jalan. Beban lalu Beban kendaraan yang digunakan merupakan kendaraan paling besar yang bertujuan untuk sebagai acuan data asumsi pembebanan jalan yaitu Sumbu empat (*quad axle*) roda ganda. Berat kendaraan Sumbu empat (*quad axle*) roda ganda Berdasarkan Tabel 2.27 Beban Sumbu Standar Kelompok Sumbu Kendaraan Niaga adalah 22,1 ton dan luasan kendaraan dapat dilihat Gambar 2.16 Tipe Tipe kelompok sumbu untuk perhitungan daya perusak jalan (Silvia Sukirman, 1999) yaitu 18,45 m<sup>2</sup>.

$$\text{Beban Lalu lintas} = \text{Beban Kendaraan} / \text{Luas Area}$$

$$\begin{aligned} &= 22,1 / 18,45 \\ &= 1,2 \text{ t/m}^2 \\ &= 12 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

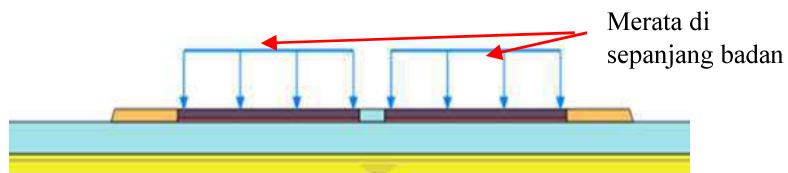
Maka beban total yang bekerja di atas tanah dasar (*subgrade*) dari konstruksi jalan pada kondisi tanpa perkuatan dan dengan perkuatan *water cement grouting* adalah

1. Beban total tanpa perkuatan *water cement grouting*

**Tabel 4.13** Beban total tanpa perkuatan *water cement grouting*

No	Lapisan Perkerasan	Tebal	Berat Jenis	Berat Perkerasan
		m	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
	PERKERASAN			
1	Rigid pavement	0,3	24	7,2
2	Aspal AC -WC	0,04	23	0,92
3	Aspal AC -BC	0,06	23	1,38
	BEBAN LALU LINTAS			
4	Kendaraan			12
	<b>Total</b>			<b>21,5</b>

Sumber : Hasil Analisis



**Gambar 4.9** Ilustrasi Pembebaan Tanpa Perkuatan *Water cement grouting*

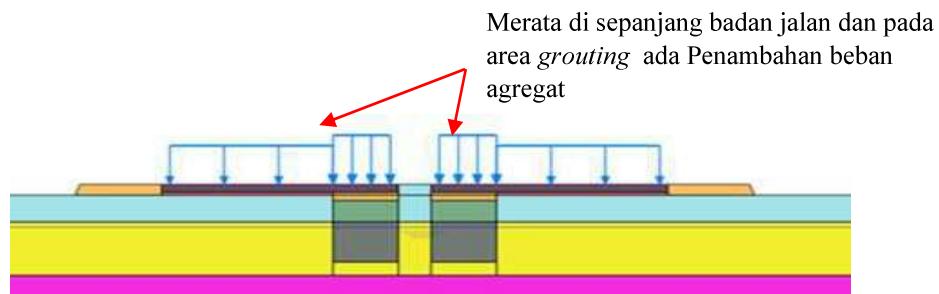
2. Beban total dengan perkuatan *water cement grouting*

Beban ini hanya didistribusikan diatas pipa *grouting* karena terdapat galian dan penggantian material aspal menjadi agregat A

**Tabel 4.0.14** Beban total dengan perkuatan *water cement grouting*

No	Lapisan Perkerasan	Tebal	Berat Jenis	Berat Perkerasan
		m	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
	PERKERASAN			
1	<i>Rigid pavement</i>	0,3	24	7,2
2	Aspal AC -WC	0,04	23	0,92
3	Aspal AC -BC	0,06	23	1,38
4	Agregat Klas A	0,3	22	6,6
	BEBAN LALU LINTAS			
5	Kendaraan			12
	<b>Total</b>			<b>28,1</b>

Sumber : Hasil Analisis



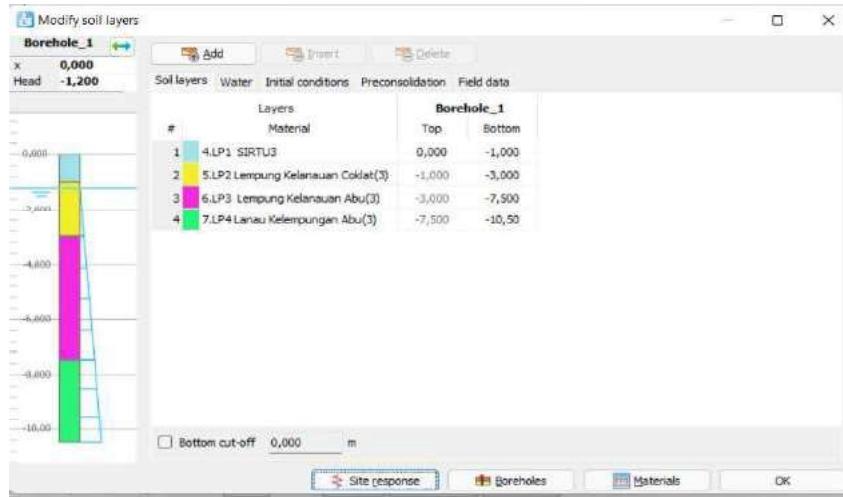
**Gambar 4.10 Ilustrasi Pembebatan dengan Perkuatan *Water cement grouting***

#### **4.6 Permodelan Pembebatan Tanah Tanpa Perkuatan *Water cement grouting* Pada Plaxis 2DV21**

Pemodelan pada Plaxis dilakukan berdasarkan Potongan melintang jalan Pekerjaan *Grouting* Km. Sby 41+000.

Langkah pertama dalam setiap analisis adalah menetapkan parameter dasar model elemen hingga. Ini dilakukan di *Project Properties*. Pengaturan ini meliputi deskripsi judul, jenis model, jenis elemen dasar, unit dasar, dan ukuran area gambar. Permodelan dilakukan dengan tipe *plane strain* dengan element 15 nodes.

Langkah kedua adalah tahapan *soil mode*, pada tahap ini dimasukkan Informasi tentang lapisan tanah ke dalam *bore hole*. *Bore hole* adalah lokasi di area gambar di mana informasi tentang posisi lapisan tanah dan muka air tanah diberikan. Untuk mensimulasikan perilaku tanah, model tanah yang sesuai dan parameter material yang sesuai harus diberikan pada geometri lapisan tanah. Pada permodelan ini lapisan tanah dasar ditentukan dengan menggunakan *bore hole*.



**Gambar 4.11** permodelan ini lapisan tanah dasar dengan menggunakan *bore hole*.

Permodelan pada lapisan sirtu dan *agregat* dipilih Mohr Coulomb dalam kondisi *drained* karena berada diatas muka air tanah dan permodelan tanah dasar dipilih Mohr Coulomb dengan metode *Undrained B* karena lapisan tanah dasar sudah berumur lebih dari 10 tahun dan proses konsolidasi dianggap sudah selesai sehingga saat mengalami pembebahan sudah tidak terjadi perubahan volume tanah yang signifikan. Sedangkan permodelan untuk lapisan perkerasan aspal dan beton dipilih menggunakan *Non Porous* dengan kondisi *Linear elastic* dimana *initial pore pressure* dan *excess pore pressure* tidak diperhitungkan.

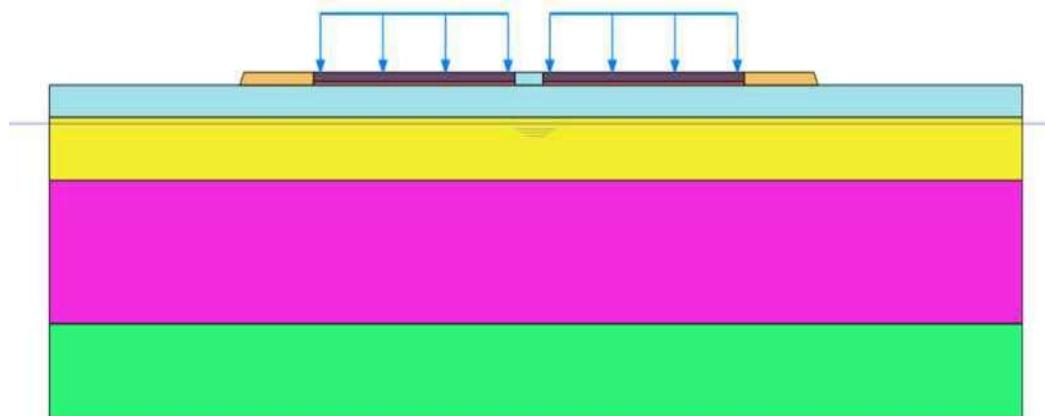
**Tabel 4.15** Permodelan dan Kondisi dalam Plaxis

Deskripsi	Permodelan	Kondisi
Rigid	Non-Porous	<i>Linear Elastic</i>
Aspal	Non-Porous	<i>Linear Elastic</i>
Aggregat	Mohr-Coulomb	<i>Drained</i>
Sirtu	Mohr Coulomb	<i>Drained</i>
Lanau Kelempungan Coklat	Mohr Coulomb	<i>Undrained B</i>
Lanau Kelempungan Abu	Mohr Coulomb	<i>Undrained B</i>
Lempung Kelanauan Abu	Mohr Coulomb	<i>Undrained B</i>

Sumber : Hasil analisis

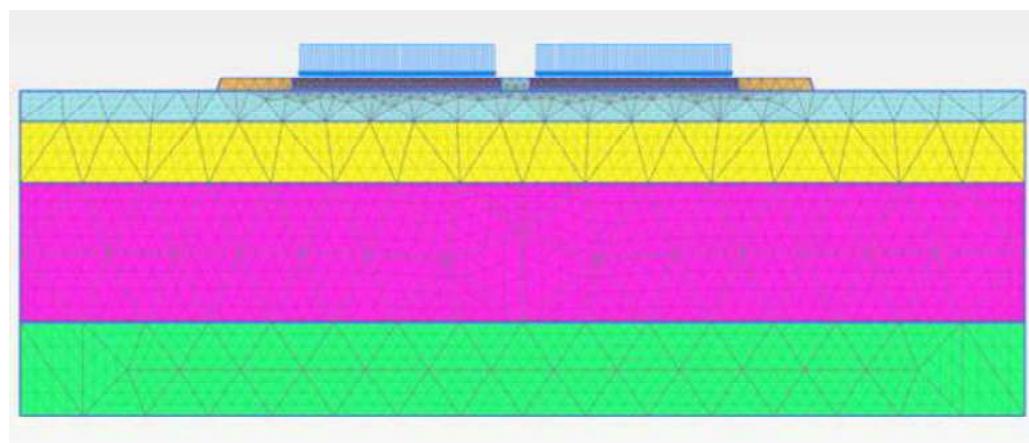
Langkah ketiga adalah menentukan lapisan struktur perkerasan jalan. Lapisan perkerasan ditentukan dalam tahap *structure*. Dalam tahap ini input beban juga diberikan.

Berikut adalah gambar permodelan potongan melintang jalan tanpa perkuatan *water cement grouting*



**Gambar 4.12** Permodelan potongan melintang jalan tanpa perkuatan *water cement grouting*

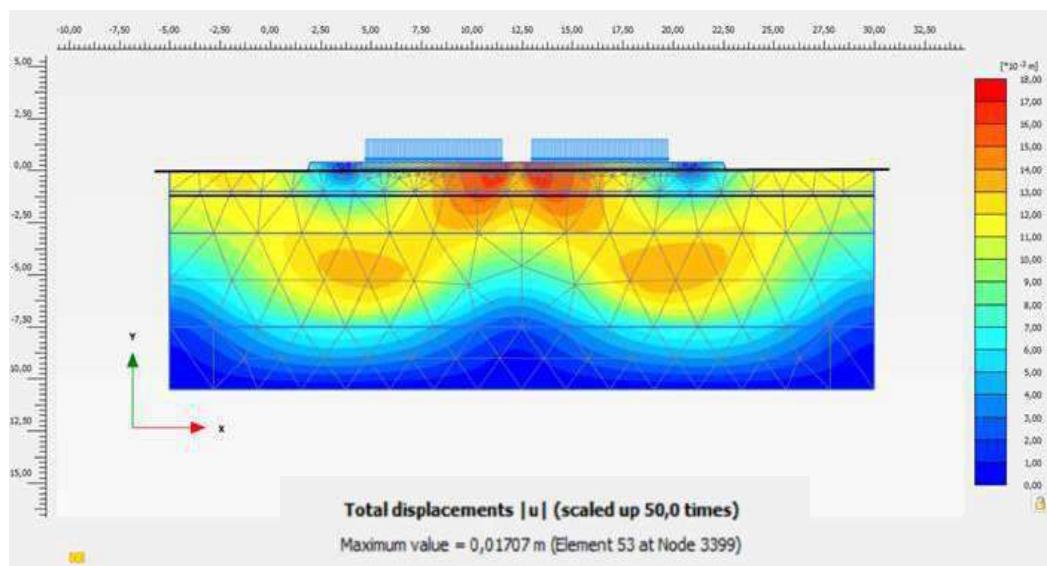
Setelah penggambaran potongan melintang selesai, proses analisis dilanjutkan dengan “mesh”. Pada analisis ini digunakan *generate mesh* dengan *element distribution medium*. Pada proses ini seluruh model dibagi dalam beberapa bagian dengan bentuk segitiga kecil.



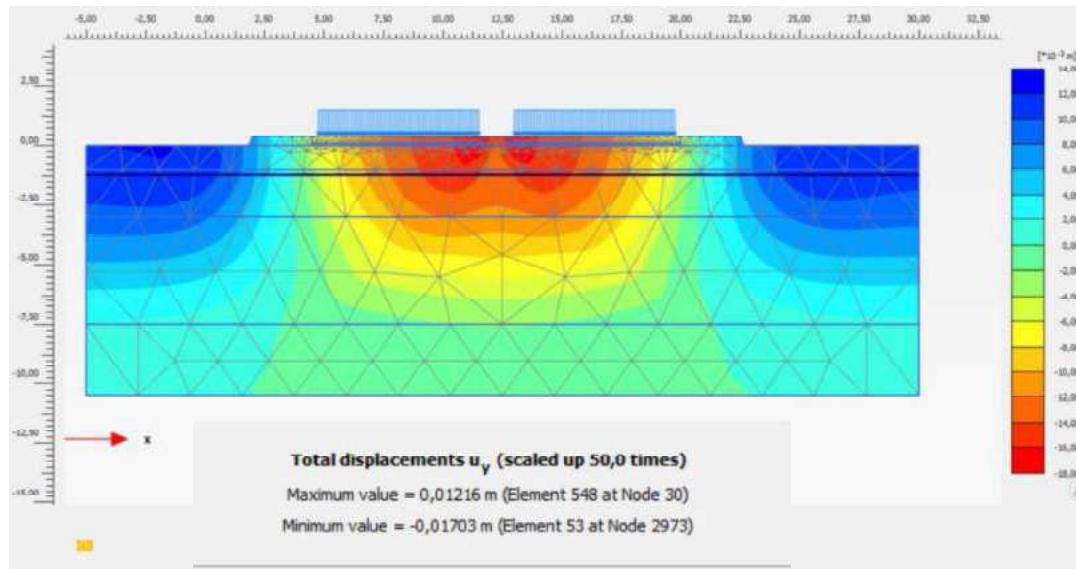
**Gambar 4.13** Tahap *generate mesh* tanpa perkuatan *water cement grouting*

Kemudian ke tahap *stage construction*. Pada *initial phase* dipilih K0 *Procedure* karena kondisi lapisan tanah lurus horizontal dengan *calculation type plastic* dan beban belum diaktifkan. *Phase load* merupakan tahap mengaktifkan beban dengan *calculation type plastic*. Beban yang diinput sesuai dengan tabel 4.7. Beban total tanpa perkuatan *water cement grouting*.

Jika seluruh *phase* telah di input, kemudian dilakukan *calculation* terhadap seluruh *phase* tersebut. Langkah terakhir adalah tahap hasil (*calculation result*). Pada *output windows* akan menunjukkan *mesh* yang telah berubah bentuk setelah pembebahan. Pada tahap ini dipilih *deformation menu* untuk *Total displacement IuI* dan *total vertical displacement (u<sub>y</sub>)*.

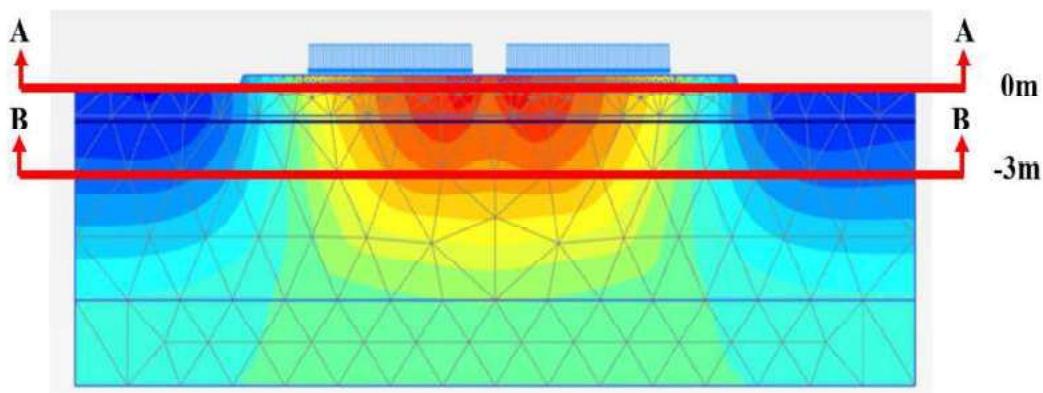


**Gambar 4.14** Output Total Penurunan IuI tanpa perkuatan *water cement grouting*



**Gambar 4.15** Output Total Penurunan arah vertikal ( $U_y$ ) tanpa perkuatan *water cement grouting*

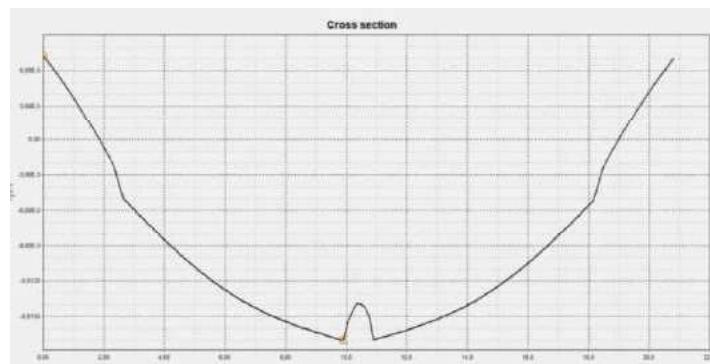
Kemudian akan ditinjau penurunan pada tanah dasar pada elevasi *original ground* (0m) dibawah perkerasan dan pada elevasi di kedalaman -3 meter yaitu pada tanah dasar tanah lempung kelanauan (coklat) dibawah lapisan *water cement grouting* sebagai pembanding dengan permodelan dengan perkuatan *water cement grouting* dengan cara mengaktifkan *cross section point*.



**Gambar 4.16** Penentuan elevasi Potongan Pada Permodelan Pembebatan Tanpa Perkuatan *Water cement grouting*



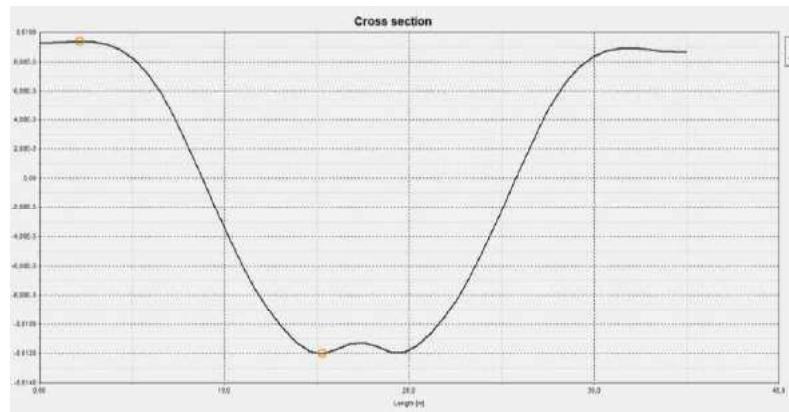
**Gambar 4.17** Output elevasi Potongan (A-A) tanpa perkuatan *water cement grouting*



**Gambar 4.18** Kurva output elevasi Potongan (A-A) tanpa perkuatan *water cement grouting*



**Gambar 4.19** Output Potongan (B-B) tanpa perkuatan *water cement grouting*



**Gambar 4.20** Kurva output Potongan (B-B) tanpa perkuatan *water cement grouting*

#### 4.7 Permodelan Pembebaan Tanah Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Pada Plaxis 2DV21

Jika permodelan pembebaan tanah tanpa perkuatan *water cement grouting* telah selesai, maka dilanjutkan permodelan pembebaan tanah dengan perkuatan *water cement grouting*. Permodelan dilakukan dengan masing-masing variabel yang telah ditentukan pada tahap sebelumnya. Karena tidak dilakukan penyelidikan tanah terkait sebaran *grouting* dilapangan dan tidak adanya pengujian tanah hasil campuran *grouting* dengan material tanah asli, maka Permodelan perkuatan *water cement grouting* dilakukan berdasarkan pengamatan lapangan dan asumsi – asumsi.

##### 4.7.1 Tahapan Permodelan Penurunan akibat pembebaan Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Dengan Plaxis 2D V21

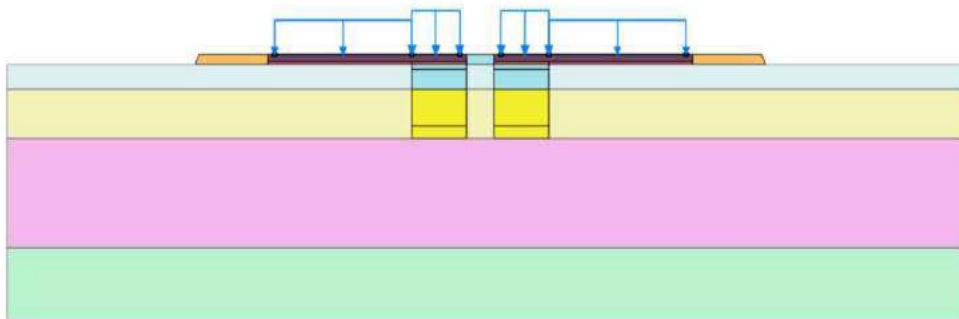
Pemodelan pada Plaxis dengan perkuatan *water cement grouting* dilakukan berdasarkan potongan melintang jalan sama dengan permodelan tanpa perkuatan *water cement grouting* yaitu pada pekerjaan *grouting* Km. Sby 41+000.

Langkah pertama adalah menetapkan parameter dasar model elemen hingga. Permodelan dilakukan dengan tipe *plane strain* dengan *element 15 nodes*.

Langkah kedua adalah tahap *soil mode*, pada permodelan ini penentuan model dan kondisi lapisan tanah dasar dan perkerasan sama dengan permodelan tanpa perkuatan *water cement grouting* seperti terlihat pada Tabel 4.9 Permodelan dan Kondisi dalam Plaxis. Untuk permodelan material campuran *grouting* dengan tanah asli di lapisan timbunan yaitu Mohr Coulomb dengan kondisi *Drained*, sedangkan untuk campuran dengan tanah lunak menggunakan permodelan Mohr Coulomb dengan kondisi *Undrained B*. Pertimbangan tersebut dikarenakan komposisi campuran lebih banyak mengandung *soil* daripada material *grouting*.

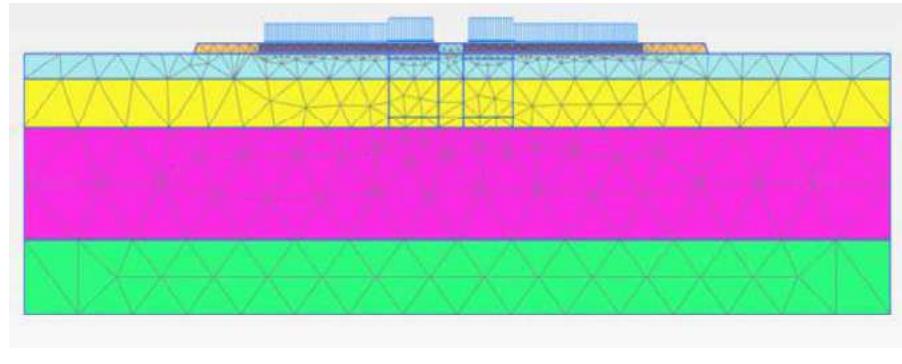
Langkah ketiga adalah tahap *Structure* yaitu menentukan lapisan perkerasan jalan, lapisan *grouting* dan beban.

Berikut adalah gambar permodelan potongan melintang jalan dengan perkuatan *water cement grouting*



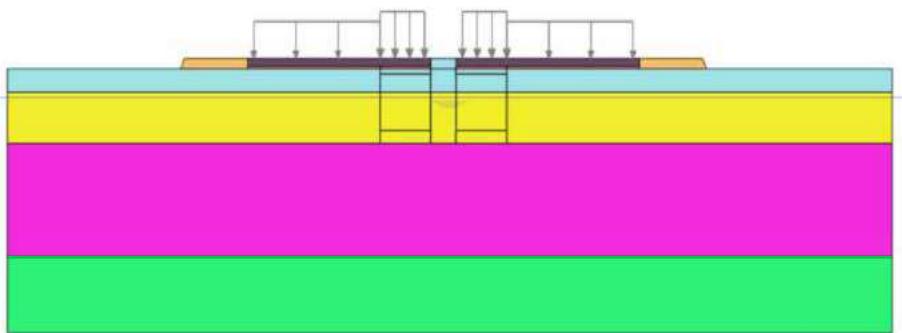
**Gambar 4.21** Permodelan potongan melintang jalan dengan perkuatan *water cement grouting*

Setelah penggambaran potongan melintang selesai, proses analisis dilanjutkan dengan “mesh”. Pada analisis ini digunakan *generate mesh* dengan *element distribution medium*.

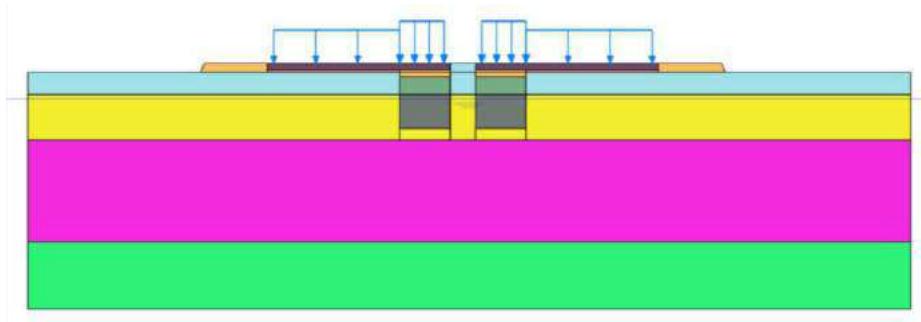


**Gambar 4.22** Tahap *Generate Mesh* dengan perkuatan *water cement grouting*

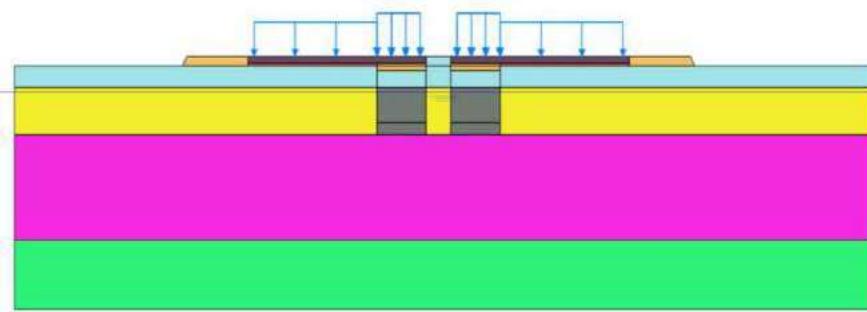
Kemudian ke tahap *stage construction*. Pada *initial phase* dipilih K0 *Procedure* karena kondisi lapisan tanah lurus horizontal dengan *calculation type plastic*, material *grout* dan beban belum diaktifkan . *Phase Grout* adalah tahap mengaktifkan material *grout* dengan cara mengganti material tanah asli (*soil material replacement*) dengan material campuran *grout* dengan *calculation type plastic*. *Phase load* merupakan tahap mengaktifkan beban dengan *calculation type plastic*. Beban yang diinput sesuai dengan tabel 4.8. Beban total dengan perkuatan *water cement grouting*.



**Gambar 4.23** *Phase Initial Condition* Dengan Perkuatan *Water cement grouting*

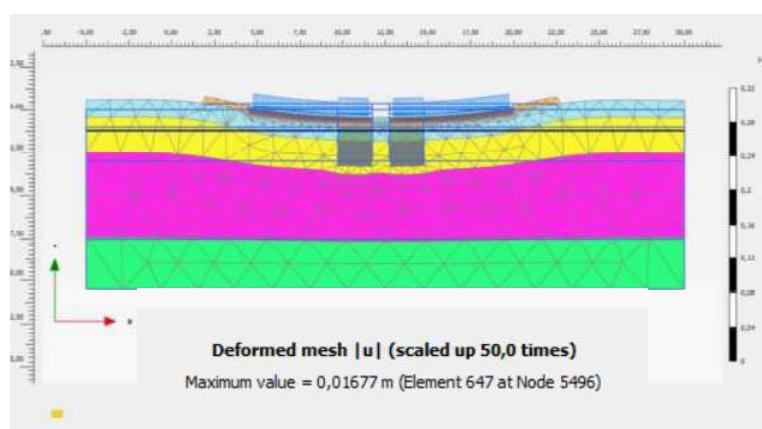


**Gambar 4.24** Phase Grout dan Load Variasi Tipe 1a

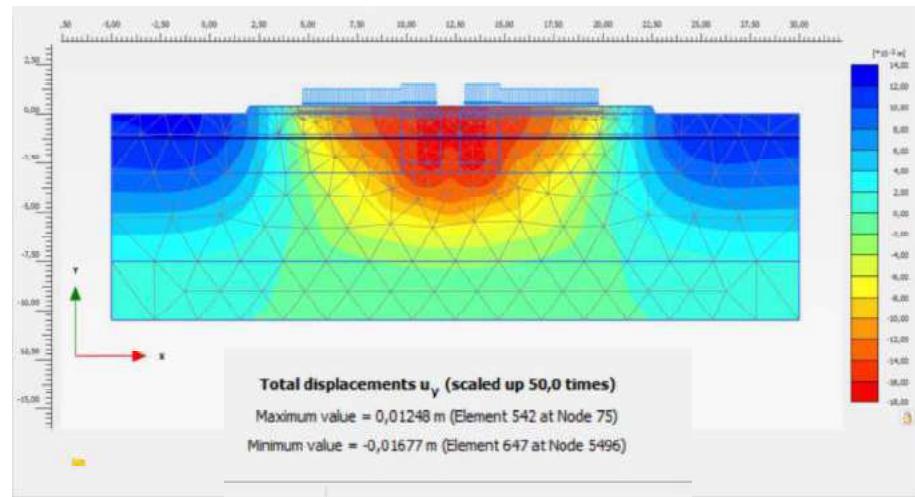


**Gambar 4.25** Phase Grout dan Load Variasi Tipe 2a

Jika seluruh *phase* telah di input, kemudian dilakukan *calculation* terhadap seluruh *phase* tersebut. Langkah terakhir adalah tahap hasil (*calculation result*). Pada *output windows* akan menunjukkan mesh yang telah berubah bentuk setelah pembebanan. Pada tahap ini dipilih *deformation menu* untuk *Total displacement IuI* dan *total vertikal displacement (uy)*.

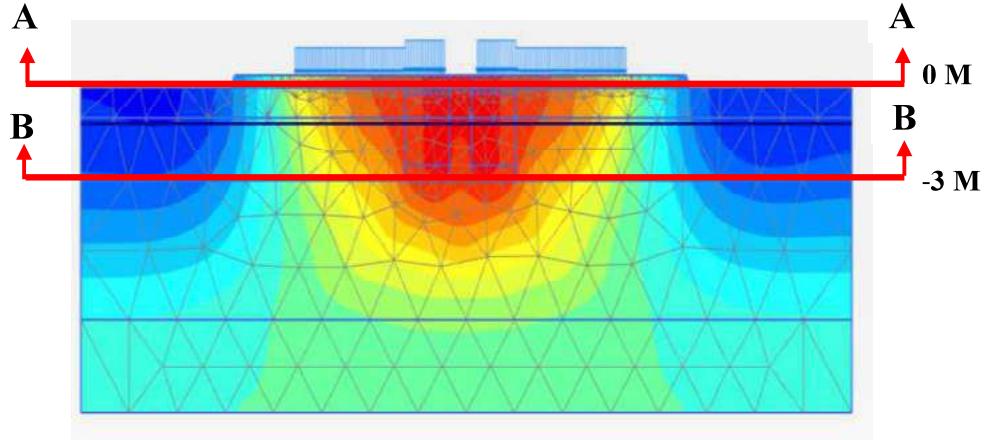


**Gambar 4.26** Output Total Penurunan IuI Variasi Tipe 1a

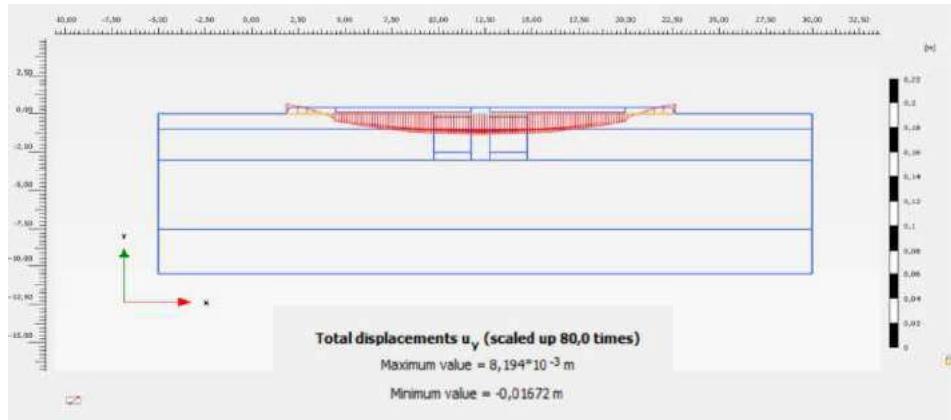


**Gambar 4.27** Output Total Penurunan vertikal  $u_y$  Variasi Tipe 1a

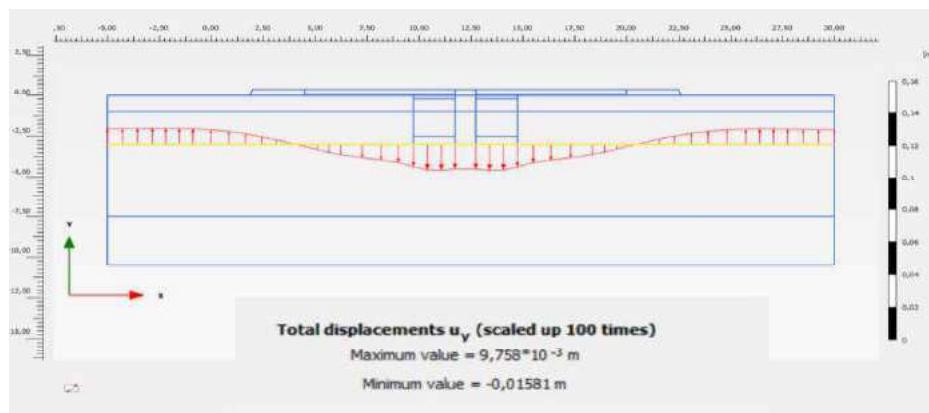
Kemudian akan ditinjau penurunan pada tanah dasar pada potongan *original ground* yaitu dibawah permukaan perkerasan dan pada potongan kedalaman -3 meter yaitu pada dasar tanah lunak lapisan lempung kelanauan coklat dengan mengaktifkan *cross section point*



**Gambar 4.28** Penentuan Potongan Pada Permodelan Pembebanan Dengan Perkuatan *Water cement grouting*

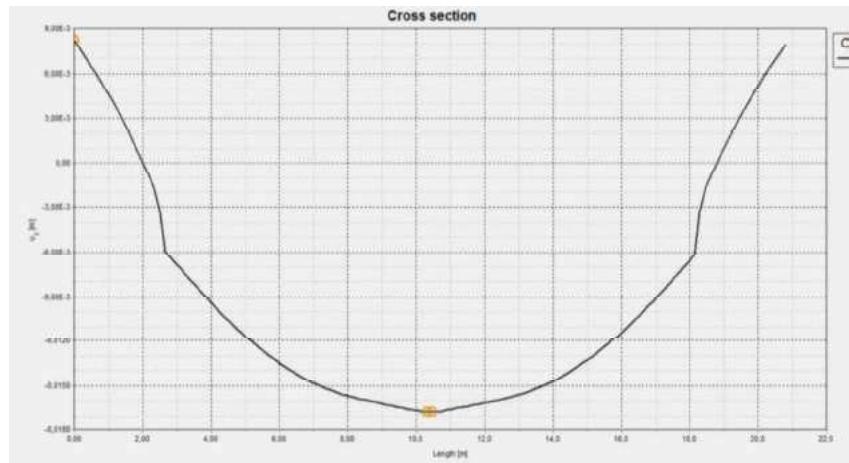


**Gambar 4.29** Output elevasi Potongan (A-A) Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Variasi Tipe 1a

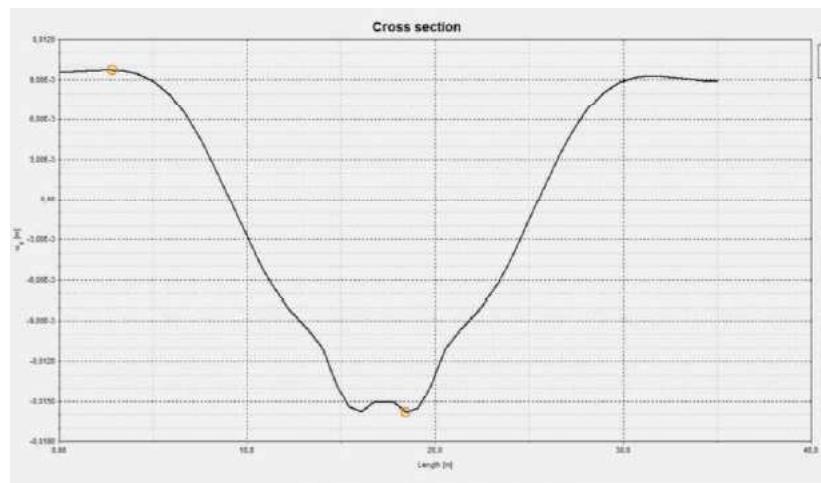


**Gambar 4.30** Output elevasi Potongan (B-B) Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Variasi Tipe 1a

Dari hasil Potongan tersebut didapatkan kemudian didapatkan kurva Potongan A-A dan B-B yang akan digunakan untuk analisa perhitungan selanjutnya



**Gambar 4.31** Kurva elevasi Potongan (A-A) Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Variasi Tipe 1a



**Gambar 4.32** Kurva Elevasi Potongan (B-B) Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Variasi Tipe 1a

Permodelan setiap variasi dengan perkuatan *water cement grouting* dilakukan dengan langkah yang sama.

“ Halaman ini sengaja dikosongkan “

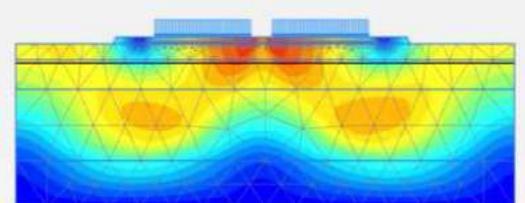
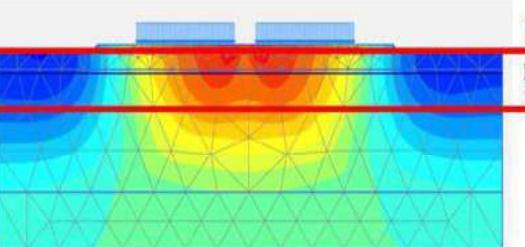
## BAB 5

### HASIL DAN PEMBAHASAN

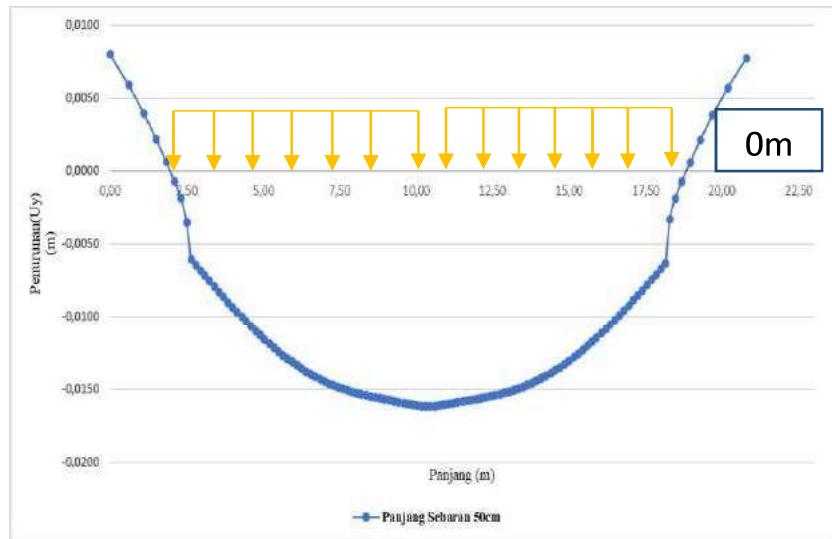
#### **5.1 Hasil Analisis Penurunan Akibat Pembebanan Tanpa Perkuatan *Water cement grouting* Pada Plaxis 2D V21.**

Setelah dilakukan permodelan pembebanan tanpa perkuatan *water cement grouting* pada lokasi yang ditinjau yaitu Ruas Bts. Kota Lamongan – Bts.Kabupaten Gresik km.Sby 41+000, maka didapatkan Output hasil penurunan yang ditabelkan sebagai berikut :

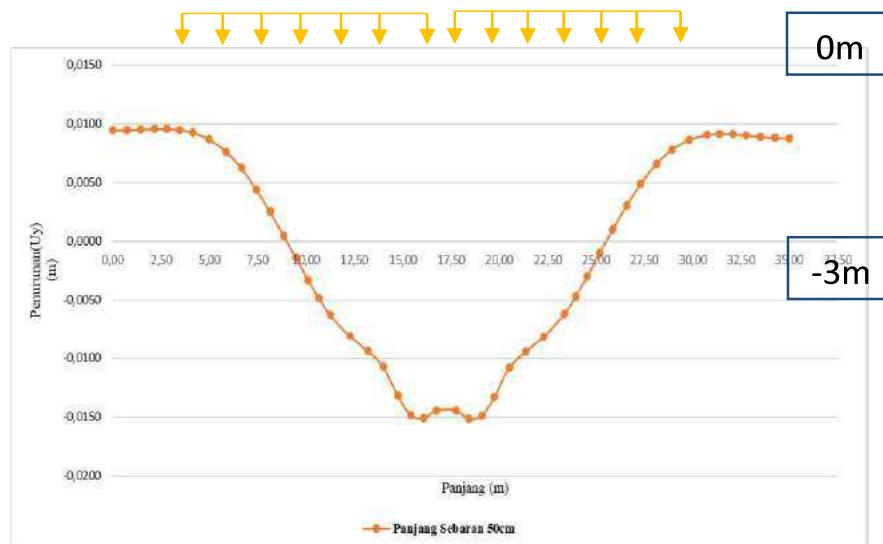
**Tabel 5.1** Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebanan tanpa perkuatan *water cement grouting*

No	Calculation Result	Penurunan (m)
1	<i>Total Displacement IuI</i> 	0,01707
2	<i>Total Vertical Displacement (u<sub>y</sub>)</i> 	-0,01703
3	<i>Vertical Displacement (u<sub>y</sub>) pada pot. elevasi (A-A)</i>	-0,01703
4	<i>Vertical Displacement (u<sub>y</sub>) pada pot. elevasi (B-B)</i>	-0,01202

Sumber : Hasil Permodelan



**Gambar 5.1** Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebatan tanpa perkuatan *water cement grouting* pot. Elevasi A-A  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan



**Gambar 5.2** Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebatan tanpa perkuatan *water cement grouting* pot. Elevasi B-B  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan

Dari tabel 5.1 Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebatan tanpa perkuatan *water cement grouting* terlihat bahwa terjadi penurunan (Uy) sebesar 0,01703 meter akibat beban bila tanpa perkuatan *water cement grouting*.

Penurunan paling besar terjadi pada elevasi *original ground* (A-A) dibawah perkerasan jalan yaitu -0,01703m, sedangkan pada elevasi lapisan subrade -3 dari *original ground* (B-B) yaitu -0,01202m. Kecilnya penurunan ini terjadi kemungkinan akibat pengaruh keberadaan kekakuan perkerasan diatas *subgrade*.

Berdasarkan kurva Potongan elevasi (A-A) pada gambar 5.1 dan kurva Potongan elevasi ((B-B) pada gambar 5.2 terlihat bahwa penurunan tanah paling besar terjadi pada area yang paling dekat dengan median jalan. Menurut pengamatan lapangan, penurunan memang terlihat lebih banyak pada area yang berdekatan dengan median jalan dan pada proyek preservasi jalan Tuban Babat – Lamongan – Gresik, perkuatan *water cement grouting* dilaksanakan pada area yang berdekatan dengan median jalan.

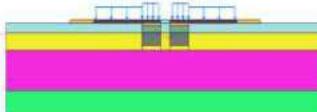
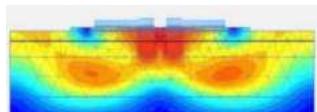
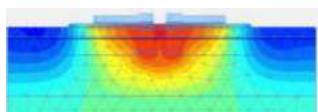
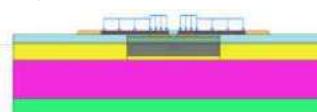
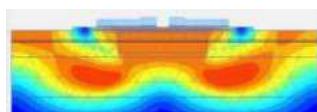
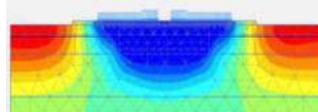
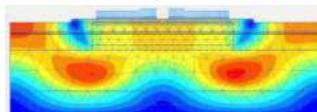
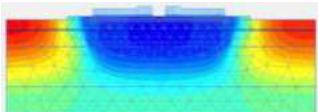
## **5.2 Hasil Analisis Penurunan akibat pembebahan Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Pada Plaxis 2D V21.**

Hasil Analisis Penurunan akibat pembebahan dengan perkuatan *water cement grouting* didasarkan pada variasi permodelan pada plaxis 2DV21, yaitu pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) dan campuran material *grouting* didalam tanah, berikut adalah hasil anasisisnya

### **5.2.1 Hasil Analisis Penurunan akibat pembebahan berdasarkan pengaruh lebar sebaran dan tebal lapisan *grouting***

1. Hasil Permodelan pada Plaxis 2DV21 dengan Pengaruh Lebar sebaran pada tebal lapisan *grouting* tipe 1 yaitu Tebal Lapisan 2,5 m (Sebaran pada lapisan timbunan dan tanah lunak)

**Tabel 5.2** Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebangan Dengan perkuatan *water cement grouting* tipe 1

Lebar Lapisan <i>Grouting</i> pada ketebalan <i>grouting</i> tipe 1	Penurunan Total $ u $	Penurunan Vertikal $U_y$
a. 0,5 m 	$ u  = 0,01652 \text{ m}$ 	$U_y = -0,0123 \text{ m}$ 
b. 2,5 m 	$ u  = 0,01301 \text{ m}$ 	$U_y = -0,01186 \text{ m}$ 
c. 5,5 m 	$ u  = 0,01123 \text{ m}$ 	$U_y = -0,00851 \text{ m}$ 

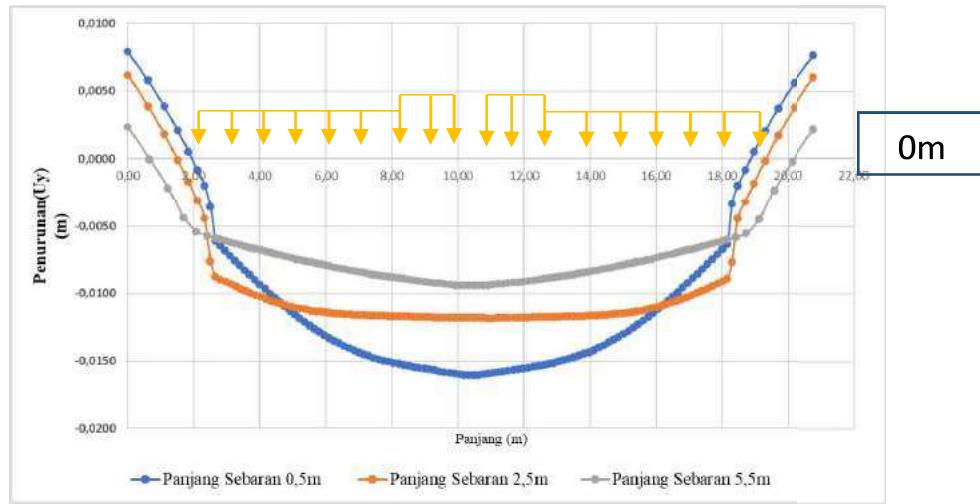
Sumber : Hasil Permodelan

Kemudian dari hasil permodelan didapatkan nilai penurunan pada elevasi pot A-A yaitu pada elevasi *original ground* (0 m) dan pot. elevasi B-B (-3 meter dibawah *original ground*)

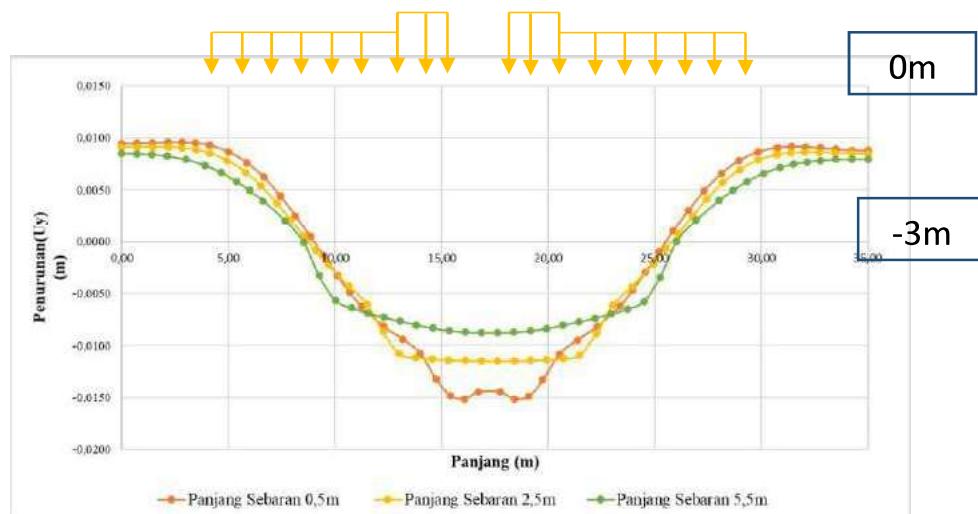
**Tabel 5.3** Output Hasil Permodelan Penurunan ( $U_y$ ) pada Pot. elevasi A-A dan Pot.elevasi B-B akibat pembebangan Dengan perkuatan *water cement grouting* tipe 1

Variasi	$U_y$ pada elevasi Pot.(A-A)	$U_y$ pada Elevasi Pot.(B-B)
	m	m
a. Lebar sebaran 0,5 m	-0,0162	-0,01535
b. Lebar sebaran 2,5 m	-0,01185	-0,01155
c. Lebar sebaran 5,5 m	-8,51E-03	-8,17E-03

Sumber : Hasil Permodelan



**Gambar 5.3** Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebatan pada perkuatan *water cement grouting* tipe 1 pot. Elevasi A-A  
 Sumber : Hasil Analisis Permodelan



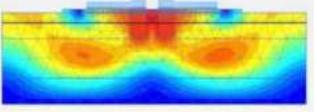
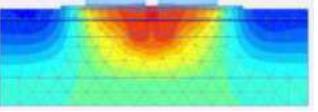
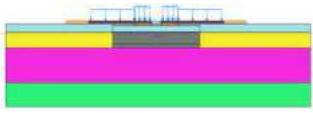
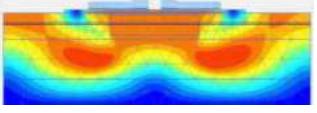
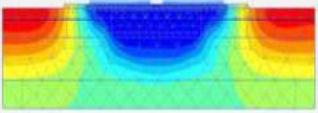
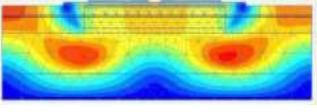
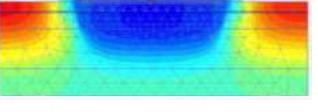
**Gambar 5.4** Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebatan pada perkuatan *water cement grouting* tipe 1 pot. Elevasi B-B  
 Sumber : Hasil Analisis Permodelan

Berdasarkan tabel nilai penurunan (tabel 5.2 dan 5.3) dan Kurva Korelasi Penurunan vertikal (uy) dengan lebar Pembebatan pada perkuatan *water cement grouting* tipe 1 diatas terlihat pola penurunan pada pot. elevasi A-A (Gambar 5.3) dan Pot. Elevasi B-B (Gambar 5.4) memiliki fenomena yang

sama yaitu pada lebar pembebanan penuh sedangkan lebar *grouting* tidak penuh (0,5 m dan 2,5m) maka pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* tidak mencakup seluruh lebar pembebanan, sehingga penurunan lebih besar. Sebaliknya untuk lebar *grouting* memenuhi seluruh badan jalan (5,5m), pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* mampu mencakup seluruh lebar pembebanan sehingga penurunan menjadi tidak sebesar bila lebar *grouting* tidak memenuhi seluruh lebar jalan

- Hasil Permodelan pada Plaxis 2DV21 dengan Pengaruh Lebar sebaran pada tebal lapisan *grouting* tipe 2 Tebal Lapisan 2 m (Sebaran pada lapisan tanah lunak saja )

**Tabel 5.4** Output Hasil Permodelan Penurunan akibat pembebanan Dengan perkuatan *water cement grouting* tipe 1

Tebal Lapisan <i>Grouting</i> tipe 2	Penurunan Total $ u_L $	Penurunan Vertikal $u_y$
a. 0,5 m	$ u_L  = 0,01530 \text{ m}$  	$u_y = -0,01530 \text{ m}$ 
b. 2,5 m	$ u_L  = 0,01234 \text{ m}$  	$u_y = -0,01127 \text{ m}$ 
c. 5,5 m	$ u_L  = 0,01046 \text{ m}$  	$u_y = -0,00777 \text{ m}$ 

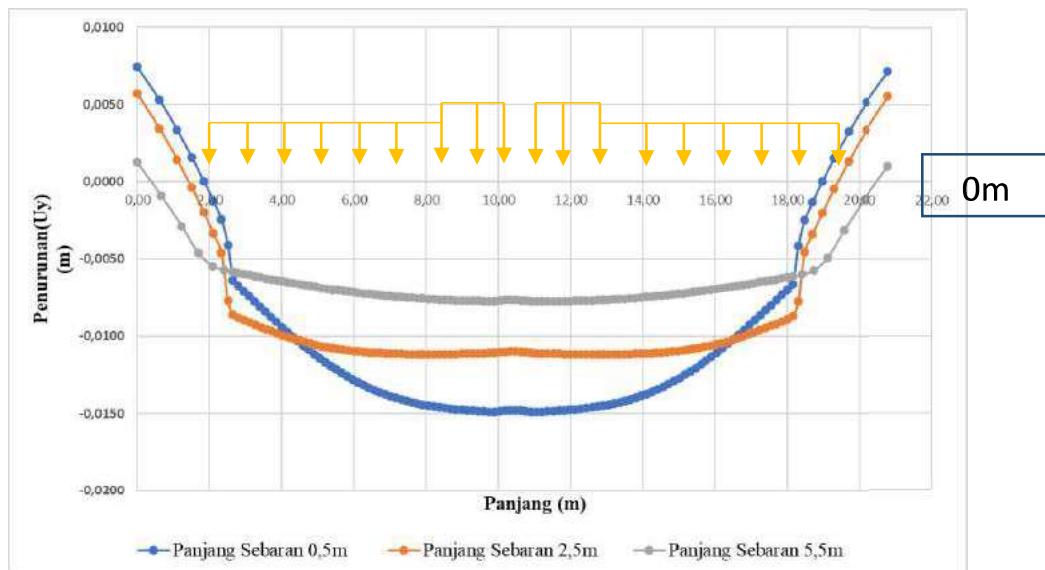
Sumber : Hasil Permodelan

Kemudian dari hasil permodelan didapatkan nilai penurunan dan kurva pada pot. elevasi A-A yaitu pada *original ground* (0 m) dan pot. elevasi B-B (-3 meter dibawah *original ground*)

**Tabel 5.5** Output Hasil Permodelan Penurunan ( $U_y$ ) pada Pot. Elevasi A-A dan Pot. B-B akibat pembebahan Dengan perkuatan *water cement grouting* tipe 2

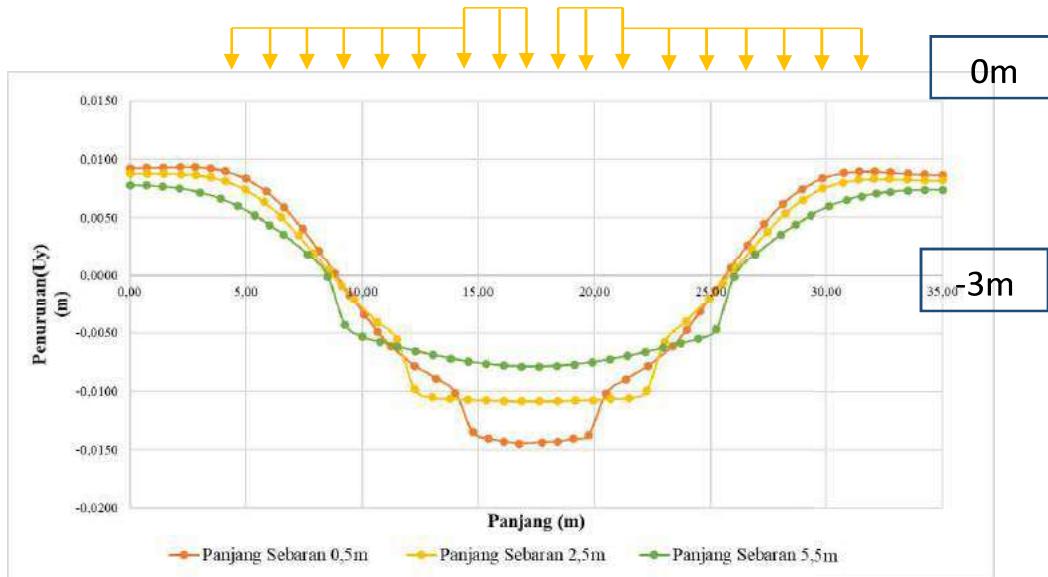
Variasi	$U_y$ pada Elevasi Pot.(A-A)	$U_y$ pada Elevasi Pot.(B-B)
	m	m
a. Lebar sebaran 0,5 m	-0,01574	-0,01542
b. Lebar sebaran 2,5 m	-0,01167	-0,01131
c. Lebar sebaran 5,5 m	-7,85E-03	-7,59E-03

Sumber : Hasil Permodelan



**Gambar 5.5** Kurva Korelasi Penurunan vertikal  $uy$  dengan Lebar Pembebahan pada perkuatan *water cement grouting* tipe 2 Pot. elevasi A-A

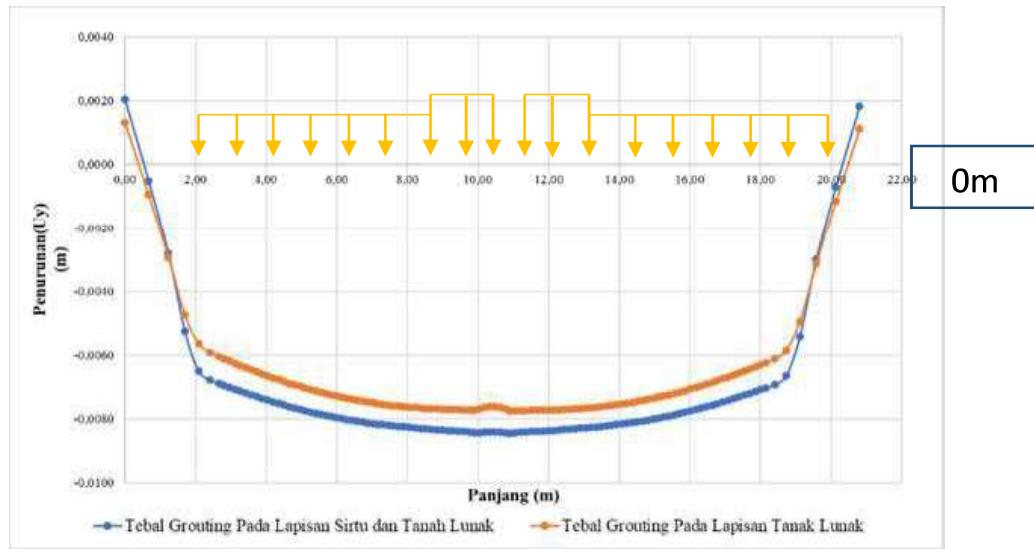
Sumber : Hasil Analisis Permodelan



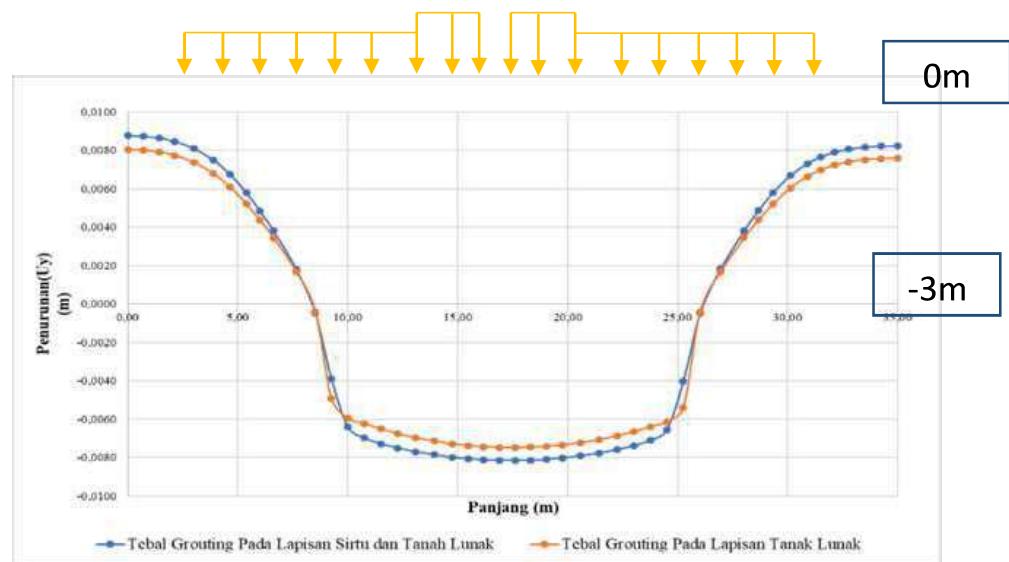
**Gambar 5.6** Kurva Korelasi Penurunan vertikal uy dengan Lebar Pembebaan pada perkuatan *water cement grouting* tipe 2 Pot. elevasi B-B  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan

Berdasarkan tabel nilai penurunan (Tabel 5.4 dan Tabel 5.5) dan Kurva Korelasi Penurunan vertikal (uy) dengan lebar Pembebaan pada perkuatan *water cement grouting* tipe 2 diatas terlihat pola penurunan pada pot. elevasi A-A (Gambar 5.5) dan Pot. Elevasi B-B (Gambar 5.6) memiliki fenomena yang sama dengan ketebalan *grouting* tipe 1 yaitu pada lebar pembebanan penuh sedangkan lebar *grouting* tidak penuh (0,5 m dan 2,5m) maka pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* tidak mencakup seluruh lebar pembebaan, sehingga penurunan lebih besar. Sebaliknya untuk lebar *grouting* memenuhi seluruh badan jalan (5,5m), pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* mampu mencakup seluruh lebar pembebaan sehingga penurunan menjadi tidak sebesar bila lebar *grouting* tidak memenuhi seluruh lebar jalan.

Berdasarkan Analisa lebar sebaran diatas terlihat pola penurunan pada berapapun lebar sebarannya memiliki fenomena yang sama maka dari itu akan dianalisis juga pengaruh tebal lapisan *grouting* tipe 1 dan 2 berdasarkan salah satu lebar sebaran yaitu 5,5 meter.



**Gambar 5.7** Kurva Korelasi Penurunan vertikal (uy) dengan lebar Pembebatan dengan perkuatan *water cement grouting* tipe 2 pada Pot. elevasi A-A  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan



**Gambar 5.8** Kurva Korelasi Penurunan vertikal (uy) dengan lebar Pembebatan dengan perkuatan *water cement grouting* tipe 2 pada Pot. Elevasi B-B  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan

Pengaruh tebal lapisan *grouting* dapat dilihat bahwa pada pot. elevasi A-A (pada *original ground*) dan pot. Elevasi B-B (-3 m dibawah *original ground*)

memiliki pola yang sama, semakin tebal lapisan *grouting* maka penurunan semakin besar dan semakin tebal lapisan *grouting* akan meningkatkan berat dan kekakuan modulus, sehingga akan menjadi beban sendiri bagi lapisan tanah

### **5.2.2 Hasil Analisis Penurunan akibat pembebaan berdasarkan pengaruh Campuran *Water cement grouting* dengan tanah asli**

Rekapitulasi hasil penurunan berdasarkan permodelan plaxis sebagai berikut

1. Komposisi Campuran material Tanah Asli 95% + *Water cement grouting* 5%

**Tabel 5.6** Rekapitulasi hasil penurunan dari Komposisi Campuran material Tanah Asli 95%+*Water cement grouting* 5%

Variasi	IuI	U <sub>y</sub>	U <sub>y</sub> pada Potongan(A-A)	U <sub>y</sub> pada Potongan(B-B)
	m	m	m	m
a. Lebar sebaran 0,5 m	0,0167	-0,01607	-0,01603	-0,01515
b. Lebar sebaran 2,5 m	0,01283	-0,01182	-0,01182	-0,01146
c. Lebar sebaran 5,5 m	0,01119	-9,40E-03	-9,40E-03	-8,75E-03

Sumber : Hasil Permodelan

2. Komposisi Campuran material Tanah Asli 90% + *Water cement grouting* 10%

**Tabel 5.7** Rekapitulasi hasil penurunan dari Komposisi Campuran material Tanah Asli 90%+*Water cement grouting* 10%

Variasi	IuI	U <sub>y</sub>	U <sub>y</sub> pada Pot.(A-A)	U <sub>y</sub> pada Pot.(B-B)
	m	m	m	m
a. Lebar sebaran 0,5 m	0,01652	-0,0123	-0,0162	-0,01535
b. Lebar sebaran 2,5 m	0,01301	-0,01186	-0,01185	-0,01155
c. Lebar sebaran 5,5 m	0,01123	-8,51E-03	-8,51E-03	-8,17E-03

Sumber : Hasil Permodelan

3. Komposisi Campuran material Tanah Asli 80%+*Water cement grouting* 20%

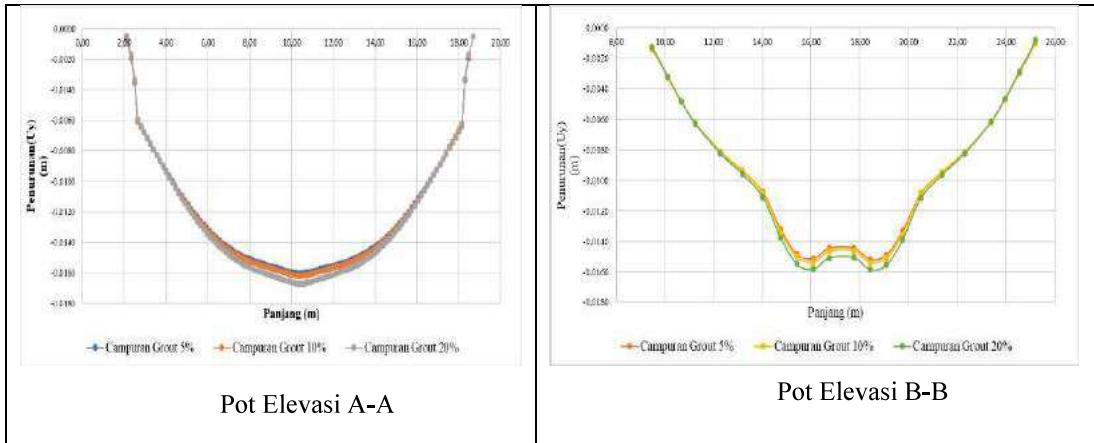
**Tabel 5.8** Rekapitulasi hasil penurunan dari Komposisi Campuran material Tanah Asli 80% + *Water cement grouting* 20%

Variasi		IuI	$U_y$	$U_y$ pada Potongan(A-A)	$U_y$ pada Potongan(B-B)
		m	m	m	m
a.	Lebar sebaran 0,5 m	0,01677	-0,01677	-0,01672	-0,01581
b.	Lebar sebaran 2,5 m	0,0135	-0,01224	-0,01224	-0,01196
c.	Lebar sebaran 5,5 m	0,01178	-8,62E-03	-8,62E-03	-8,33E-10

Sumber : Hasil Permodelan

Analisis Penurunan berdasarkan campuran *water cement grouting* akan dilihat pada kurva yang dihasilkan dari permodelan plaxis sebagai berikut.

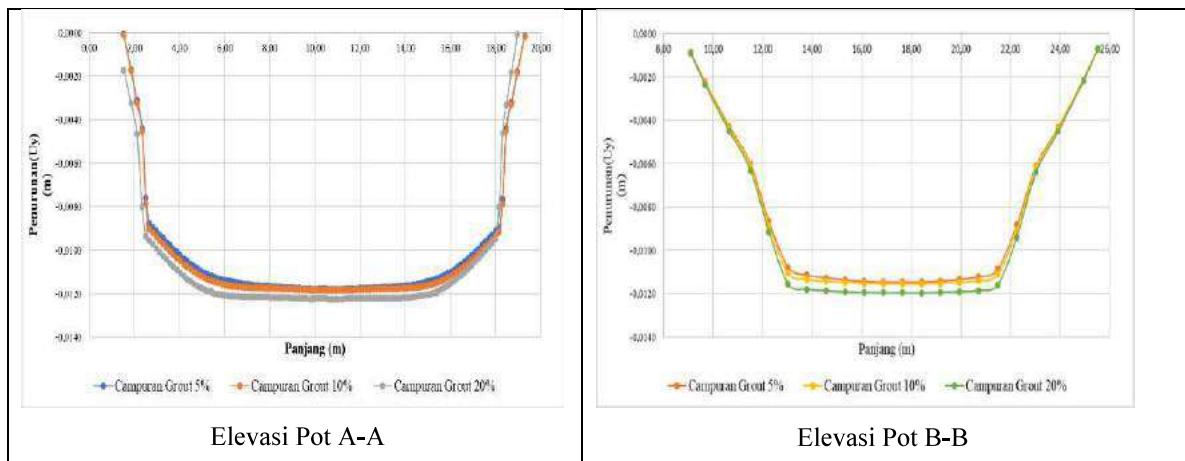
1. Analisis pada Tebal lapisan *grouting* pada lapisan sirtu dan tanah lunak 2,5m
  - a. Lebar sebaran *grouting* 0,5 m



**Gambar 5.9** Kurva Penurunan Tanah dengan lebar Sebaran *Grouting* 0,5m Terhadap Komposisi Campuran Material *Grouting* pada Potongan elevasi (A-A) dan (B-B)

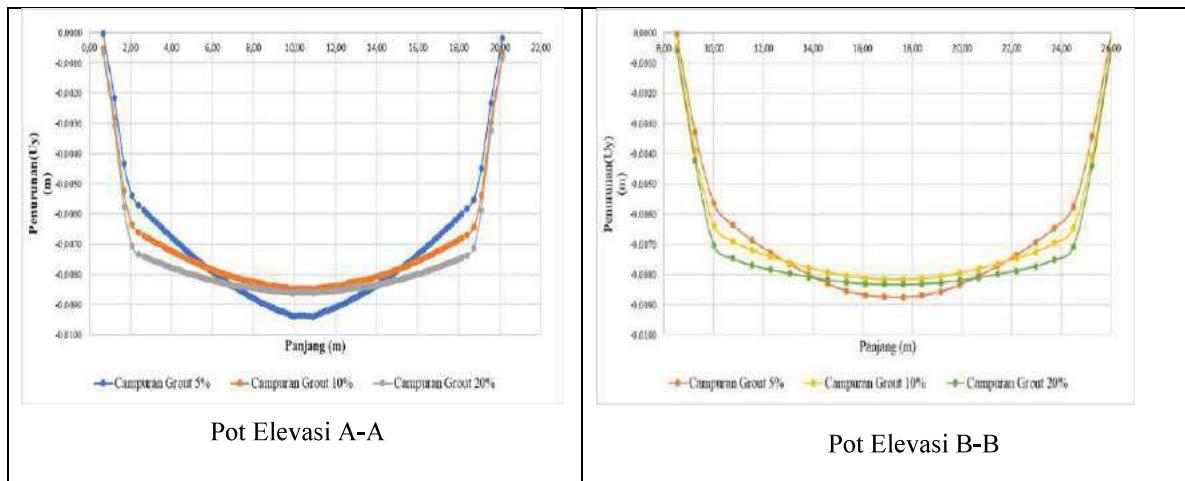
Sumber : Hasil Analisis Permodelan

b. Lebar sebaran grouting 2,5 m



**Gambar 5.10** Kurva Penurunan Tanah dengan lebar Sebaran *Grouting* 2,5 m Terhadap Komposisi Campuran Material *Grouting* pada Potongan elevasi (A-A) dan (B-B)  
Sumber : Hasil Analisis

c. Lebar sebaran grouting 5,5 m



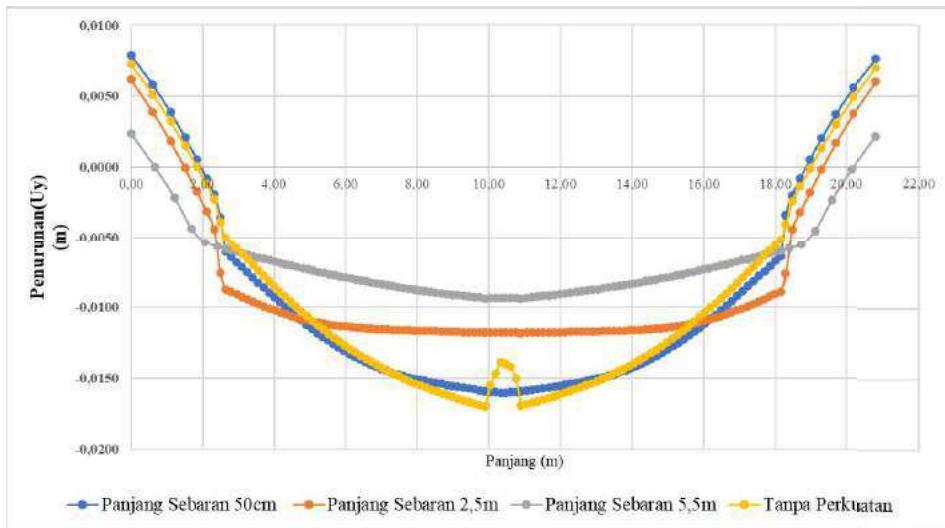
**Gambar 5.11** Kurva Penurunan Tanah dengan lebar Sebaran *Grouting* 5,5 m Terhadap Komposisi Campuran Material *Grouting* pada Potongan Elevasi (A-A) dan (B-B)  
Sumber : Hasil Analisis

Analisis Penurunan akibat pembebahan dengan Perkuatan *Water cement grouting* berdasarkan komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli pada Potongan elevasi (A-A) dan (B-B) ditinjau dari tebal dan lebar sebaran *grouting* terlihat memiliki pola yang sama. Berikut adalah analisisnya :

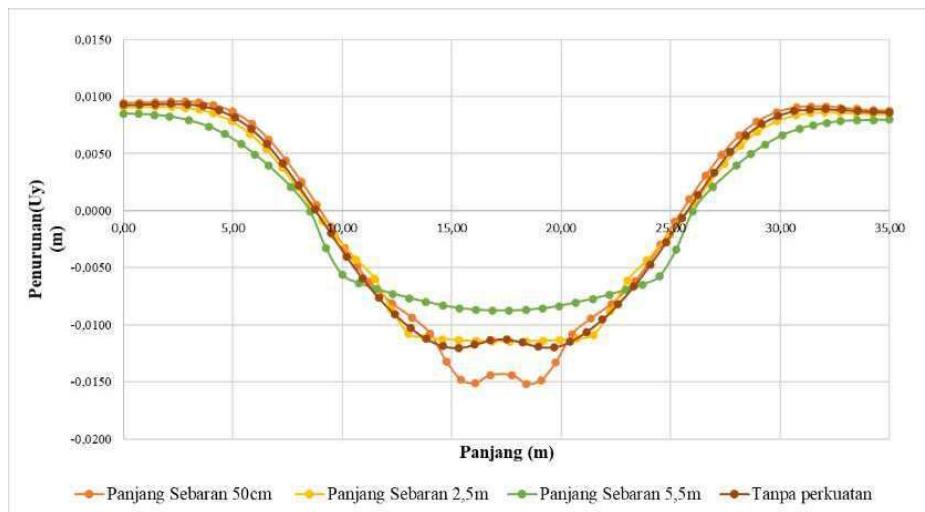
1. Pada lebar sebaran *grouting* 50cm dan 2,5m, komposisi campuran *grouting* menunjukkan bahwa semakin banyak persentase *grouting* maka penurunan semakin besar, hal ini kemungkinan disebabkan karena semakin banyak persentase campuran *grouting* maka ruang-ruang pori lapisan tanah asli lebih banyak terisi oleh material *grouting* yang mengakibatkan tanah asli menjadi lebih rapuh dan kekakuan pada lebar *grouting* lebih kecil dari lebar jalan tidak dapat mencakup seluruh beban penuh yang ada sehingga akan menjadi beban sendiri bagi lapisan tanah asli
2. Pada lebar sebaran *grouting* 5,5m, komposisi campuran *grouting* menunjukkan bahwa semakin besar persentase *grouting* maka penurunan semakin kecil. hal ini kemungkinan disebabkan karena secara keseluruhan volume tanah asli lebih banyak daripada volume material *grouting* dan kekakuan pada lebar *grouting* lebih besar dari lebar jalan dapat mencakup seluruh beban penuh yang ada.

### **5.3 Hasil Analisis Perbandingan Penurunan Tanpa Perkuatan Dan Dengan Perkuatan *Water cement grouting***

Untuk mengetahui efektifitas perkuatan *water cement grouting* dalam mereduksi penurunan tanah maka akan dibandingkan Penurunan tanah tanpa dan dengan perkuatan *water cement grouting*,



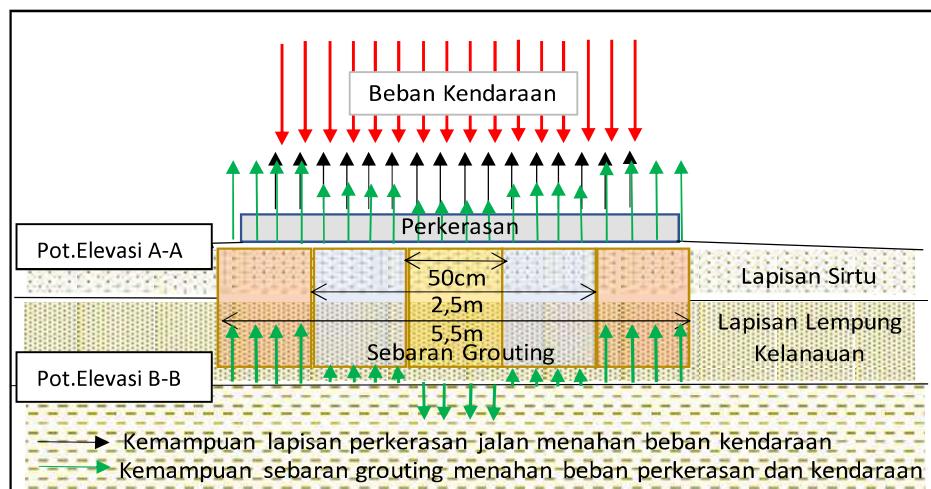
**Gambar 5.12** Kurva perbandingan Penurunan Tanah berdasarkan sebaran Grouting pada Potongan Elevasi (A-A).  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan



**Gambar 5.13** Kurva perbandingan Penurunan Tanah berdasarkan sebaran Grouting pada Potongan Elevasi (B-B)  
Sumber : Hasil Analisis Permodelan

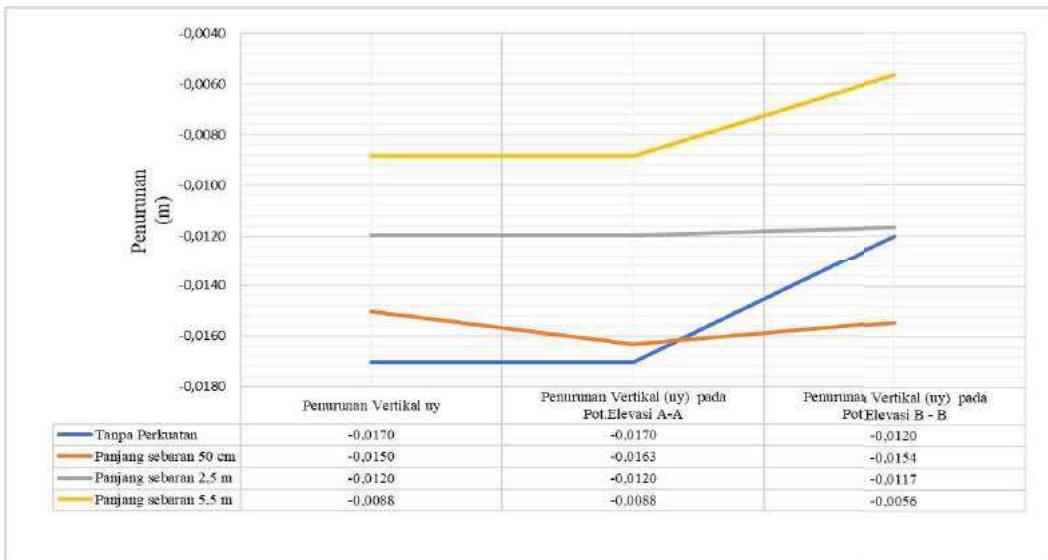
Pada Gambar 5.12 Kurva perbandingan Penurunan Tanah berdasarkan sebaran *Grouting* pada *original ground* (Potongan elevasi A-A) terlihat bahwa penurunan tanah semakin kecil dengan adanya perkuatan *water cement grouting* berapapun panjang sebarannya.

Sedangkan pada gambar Gambar 5.13 Kurva Perbandingan Penurunan Tanah berdasarkan sebaran *Grouting* pada kedalaman -3 meter dari *original ground* (Potongan elevasi B-B) terlihat bahwa lebar sebaran 0,5 m memiliki penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan tanpa perkuatan *water cement grouting*, pada lebar sebaran 2,5 m, terlihat bahwa penurunan tanah hampir sama dengan penurunan tanpa perkuatan *water cement grouting*, sedangkan pada lebar sebaran 5,5 m penurunan lebih kecil dibandingkan tanpa perkuatan *water cement grouting*. Hal ini menunjukkan bahwa lebar sebaran *grouting* 50cm tidak mampu menahan penurunan tanah pada lapisan *subgrade*, sebaliknya akan menjadi beban sendiri bagi lapisan *subgrade*, dan pada lebar sebaran 2,5 meter, perkuatan *water cement grouting* juga terlihat tidak dapat mengatasi penurunan tanah pada lapisan *subgrade* karena tidak ada perubahan kenaikan penurunan daripada tanpa perkuatan *water cement grouting*. Penurunan pada lapisan *subgrade* hanya dapat direduksi apabila sebaran *grouting* sampai ke bahu jalan (5,5m) dan merata dibawah perkerasan jalan. Berikut adalah gambar ilustrasi kemampuan *grouting* menahan beban kendaraan dan perkerasan jalan ditinjau dari Potongan elevasi A-A dan B-B



**Gambar 5.14** Ilustrasi Kemampuan *Grouting* Menahan Beban Kendaraan Kendaraan Dan Perkerasan Jalan Ditinjau Dari Potongan Elevasi A-A Dan B-B  
Sumber : Hasil Analisis

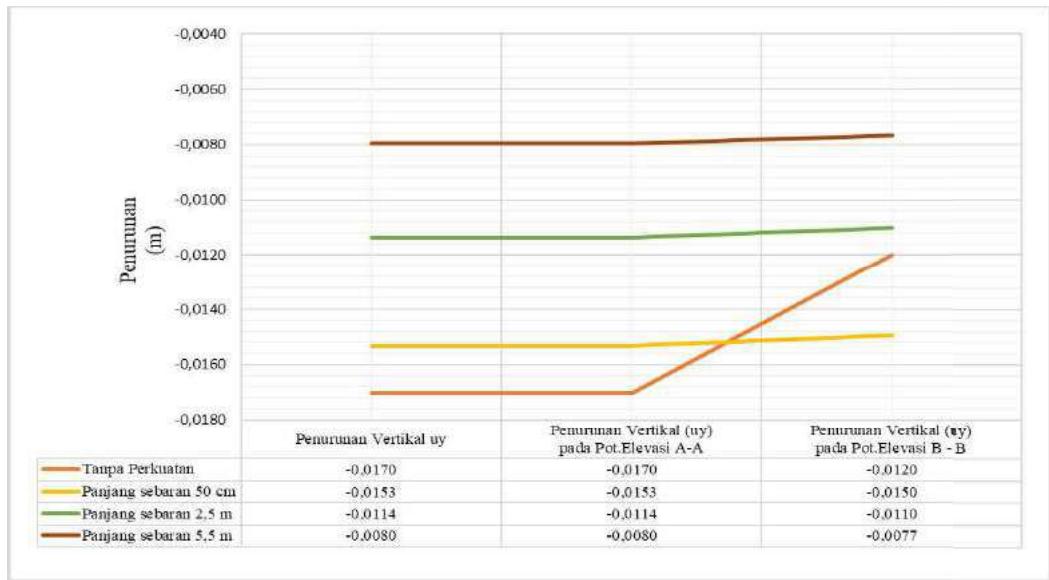
Berikut adalah rekapitulasi nilai hasil penurunan tanah tanpa perkuatan *grouting* dan dengan perkuatan *grouting*



**Gambar 5.15** Rekapitulasi Nilai Hasil Penurunan Tanah Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Pada Tebal Sebaran di Lapisan Sirtu Dan Tanah Lunak .

Sumber : Hasil Analisis Permodelan

Ditinjau dari gambar 5.15 Rekapitulasi nilai hasil penurunan tanah tanpa perkuatan dan dengan perkuatan *water cement grouting* pada tebal lapisan sirtu dan tanah lunak yaitu pada potongan elevasi (A-A) dibawah permukaan perkerasaan jalan, penurunan tanpa perkuatan *grouting* adalah -0,017m, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0163 m menurun sebesar 4,19%, pada lebar sebaran 2,5m adalah -0,0120 m menurun sebesar 29,71%, dan pada panjang 5,5m adalah 0,008 m menurun sebesar 48,07%. Sedangkan ditinjau Potongan (B-B) dibawah lapisan *grouting* penurunan tanpa Perkuatan *Grouting* adalah -0,0120m, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0154 m naik sebesar 28,42%, pada lebar sebaran 2,5m adalah 0,0117 m menurun sebesar 3,03 %, dan pada panjang 5,5m adalah 0,0056m menurun sebesar 53,09%



**Gambar 5.16** Rekapitulasi Nilai Hasil Penurunan Tanah Tanpa Perkuatan dan Dengan Perkuatan *Water cement grouting* Pada Tebal Sebaran di Lapisan Tanah Lunak.

Sumber : Hasil Analisis Permodelan

Ditinjau dari gambar 5.16 Rekapitulasi nilai hasil penurunan tanah tanpa perkuatan dan dengan perkuatan *water cement grouting* pada tebal lapisan tanah lunak yaitu pada potongan elevasi (A-A) dibawah permukaan perkerasaan jalan, penurunan tanpa perkuatan *grouting* adalah -0,017m, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0153 m menurun sebesar 10,08%, pada lebar sebaran 2,5m adalah -0,0114 m menurun sebesar 33,21%, dan pada panjang 5,5m adalah 0,008 m menurun sebesar 53,19%. Sedangkan ditinjau Potongan (B-B) dibawah lapisan *grouting* penurunan tanpa Perkuatan *Grouting* adalah -0,0120m, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0150 m naik sebesar 24,43%, pada lebar sebaran 2,5m adalah 0,0110 m menurun sebesar 8,26 %, dan pada panjang 5,5m adalah 0,0077m menurun sebesar 36,28%

Berdasarkan hasil analisis berdasarkan grafik gambar 5.16 dan 5.17, penurunan paling besar terjadi pada potongan elevasi A-A yaitu dibawah

permukaan perkerasan jalan dan diatas perkuatan *grouting*, namun perkuatan *water cement grouting* dengan variasi lebar dan tebal sebaran dapat dengan stabil mereduksi penurunan tanah tersebut, sedangkan pada potongan Elevasi B-B yaitu pada potongan -3 meter dibawah *original ground* atau pada lapisan tanah lempung kelananuan coklat dibawah lapisan *grouting*, perkuatan *water cement grouting* dengan lebar sebaran 0,5 meter hanya menambah beban pada lapisan tanah sehingga penurunan menjadi semakin besar, sedangkan pada lebar sebaran 2,5 meter, hanya dapat mereduksi penurunan dibawah 10%. Penurunan hanya efektif direduksi bila lebar sebaran *grouting* mencapai bahu jalan yaitu sekitar 45%.

Namun Secara keseluruhan Permodelan penurunan vertikal  $U_y$ , didapatkan hasil penurunan tanpa perkuatan *grouting* adalah -0,017m, dengan perkuatan *grouting* pada tebal lapisan sirtu dan tanah lunak, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0150 m menurun sebesar 11,65%, pada lebar sebaran 2,5m adalah -0,0120 m menurun sebesar 29,69%, dan pada lebar sebaran 5,5m adalah 0,0088 m menurun sebesar 48,07%. Sedangkan ditinjau pada tebal lapisan tanah lunak saja, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0153 m menurun sebesar 10,02%, pada lebar sebaran 2,5m adalah -0,0114 m menurun sebesar 33,21%, dan pada panjang 5,5m adalah 0,008 m menurun sebesar 53,19%.

Maka rata-rata penurunan vertikal  $U_y$  yaitu pada lebar sebaran 0,5 m sebesar 10,83%, pada lebar sebaran 2,5m adalah sebesar 31,45%, dan pada panjang 5,5m adalah sebesar 50,63 %.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan pada Plaxis 2Dv21 yang telah dilakukan, dapat disimpulkan dengan beberapa pernyataan dibawah ini :

1. Output hasil analisis penurunan vertikal (Uy) akibat pembebangan pada tanah tanpa perkuatan *water cement grouting* menunjukkan hasil penurunan vertikal (Uy) sebesar 0,0173 meter. Pada potongan elevasi A-A (*original ground*) atau dibawah perkerasan jalan, nilai penurunan vertikal (Uy) adalah 0,017 meter Sedangkan pada potongan elevasi B-B (-3 meter dari *original ground*) atau pada lapisan *subgrade* jalan, nilai penurunan vertikal (Uy) adalah 0,012 meter. Kecilnya Nilai Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh kekakuan lapisan perkerasan diatas *subgrade*.
2. Hasil analisis permodelan penurunan vertikal (Uy) dengan Perkuatan *Water cement grouting* berdasarkan pengaruh sebaran (jangkauan rekahan) *grouting* dan tebal lapisan sebaran *grouting* menunjukkan bahwa :
  - Semakin lebar sebaran *grouting* maka penurunan semakin meningkat, hal ini kemungkinan disebabkan karena lebar pembebangan penuh (selebar badan jalan) sedangkan lebar *grouting* tidak penuh (50 dan 2,5m) maka pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* tidak mencakup seluruh lebar pembebangan, sehingga penurunan lebih besar. Sebaliknya untuk lebar *grouting* memenuhi seluruh badan jalan (5,5m), pertambahan kekakuan modulus akibat *grouting* mampu mencakup seluruh lebar pembebangan sehingga penurunan menjadi tidak sebesar bila lebar *grouting* tidak memenuhi seluruh lebar jalan.
  - Semakin tebal lapisan sebaran *grouting* maka penurunan semakin besar, hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan sebaran *grouting* akan

meningkatkan berat dan kekakuan modulus, sehingga akan menjadi beban sendiri bagi lapisan tanah.

3. Hasil analisis permodelan penurunan vertikal ( $U_y$ ) dengan perkuatan *water cement grouting* berdasarkan komposisi campuran *grouting* 5%, 10% dan 20% dengan tanah asli ditinjau dari tebal dan lebar sebaran *grouting* yaitu:

- Pada panjang sebaran *grouting* 50cm dan 2,5m, komposisi campuran *grouting* menunjukkan bahwa semakin banyak persentase *grouting* maka penurunan semakin besar, hal ini kemungkinan disebabkan karena semakin banyak persentase campuran *grouting* maka ruang-ruang pori lapisan tanah asli lebih banyak terisi oleh material *grouting* yang mengakibatkan tanah asli menjadi lebih rapuh dan kekakuan pada lebar *grouting* lebih kecil dari lebar jalan tidak dapat mencakup seluruh beban penuh yang ada sehingga akan menjadi beban sendiri bagi lapisan tanah asli
- Pada Panjang *grouting* 5,5m, komposisi campuran *grouting* menunjukkan bahwa semakin besar persentase *grouting* maka penurunan semakin kecil. hal ini kemungkinan disebabkan karena secara keseluruhan volume tanah asli lebih banyak daripada volume material *grouting* dan kekakuan pada lebar *grouting* lebih besar dari lebar jalan dapat mencakup seluruh beban penuh yang ada.

4. Berdasarkan Output hasil analisis penurunan vertikal ( $U_y$ ) akibat pembebanan pada tanah tanpa dan dengan perkuatan *water cement grouting* maka didapatkan hasil :

- Rekapitulasi nilai hasil penurunan vertikal ( $uy$ ) akibat pembebanan tanpa perkuatan *water cement grouting* pada potongan elevasi (A-A) dibawah permukaan perkerasan jalan adalah -0,017m, sedangkan ditinjau Potongan elevasi (B-B) dibawah lapisan *grouting* penurunan adalah -0,0120m
- Dengan perkuatan *grouting* ditinjau elevasi potongan (A-A) pada lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0163 m menurun sebesar 4,19%, pada lebar sebaran

2,5m adalah -0,0120 m menurun sebesar 29,71%, dan pada panjang 5,5m adalah 0,008 m menurun sebesar 48,07%. Sedangkan ditinjau Potongan (B-B) dibawah lapisan *grouting*, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0154 m naik sebesar 28,42%, pada lebar sebaran 2,5m adalah 0,0117 m menurun sebesar 3,03 %, dan pada panjang 5,5m adalah 0,0056m menurun sebesar 53,09%. Dan *grouting* pada tebal lapisan tanah lunak yaitu pada potongan elevasi (A-A) dibawah permukaan perkerasaan jalan, perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0153 m menurun sebesar 10,08%, pada lebar sebaran 2,5m adalah -0,0114 m menurun sebesar 33,21%, dan pada panjang 5,5m adalah 0,008 m menurun sebesar 53,19%. Sedangkan ditinjau Potongan (B-B), perkuatan *grouting* dengan lebar sebaran 0,5 m adalah -0,0150 m naik sebesar 24,43%, pada lebar sebaran 2,5m adalah 0,0110 m menurun sebesar 8,26 %, dan pada panjang 5,5m adalah 0,0077m menurun sebesar 36,28%

5. Efektifitas perkuatan *water cement grouting* dalam mengurangi penurunan akibat pembebahan berdasarkan output hasil analisis penurunan vertikal (Uy) akibat pembebahan pada tanah dapat dilihat berdasarkan rata-rata penurunan vertikal (Uy) yaitu pada lebar sebaran 0,5 m sebesar 10,83%, pada lebar sebaran 2,5m adalah sebesar 31,45%, dan pada panjang 5,5m adalah sebesar 50,63 %. Maka perkuatan *water cement grouting* dapat mengurangi penurunan sebesar 10,83% - 50,63% dibandingkan tanpa perkuatan *water cement grouting*.

## 6.2 Saran

1. Analisis pada penelitian ini masih sebatas permodelan dengan analisa numerik pada plaxis 2D v21, sehingga hasil yang dicapai memerlukan data penyelidikan tanah dan pengujian lebih lanjut. Penyelidikan tanah lanjutan diperlukan untuk mengetahui komposisi campuran *grouting* dan sebaran *grouting* dalam tanah.

Pengujian lanjutan dapat dilakukan dengan pembuatan model skala laboratorium.

2. Pelaksanaan *grouting* sebaiknya dilakukan tidak hanya pada area median jalan saja tetapi pada sepanjang badan jalan agar efektifitas perkuatan dapat dioptimalkan

## **DAFTAR PUSTAKA**

- ASTM, 1997, Annual Book Of ASTM Standards Volume 04.8 Soil and Rock, First Edition
- Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman Dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah, Kementerian PUPR. 2017. Modul 1 – Konsep Dasar Konstruksi Perkeasan Kaku. Jakarta
- Bowles, Joseph. E. 1984. Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1. Jakarta: Erlangga
- Bowles, Joseph. E. 1989. Sifat-sifat fisik dan Geoteknis Tanah. Jakarta : Erlangga
- Bowles, Joseph. E. 1979. “Physical and Geotechnical Propertoes of Soils”. McGraw-Hill, Inc, USA
- Bowles, Joseph E, 1996. “Foundation Analysis and Design”. Fifth Edition, Mc Graw Hill International Edition
- Carter, Michael. Bentley, Stephen P. (1991). Correlations of Soil Properties, London: Pentech Press.
- Chen, F.H. (1975), Foundation on Expansive Soil, Development in Geotechnical Engineering12, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam
- Cheng, Wen-Chieh. 2018. Clay Grouting Mechanisms and Applications. IntechOpen.
- Chew, Soon-Hee. 2015. Arresting Settlement of Clay Using-Low Pressure Grouting. Ice Publishing. Ice Publishing Vol. 169 Issue GE11.
- Committee CE-032. 2002. Reinforced Soils and Retaining Structures. Australian Standards for Retaining Walls (AS 4678).
- Das, Braja M. 1985. Mekanika Tanah (Jilid 1) Terjemahan. Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M. 1988. Mekanika Tanah : Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1.
- Das, Braja M. 1995. Mekanika Tanah 1. Erlangga. Jakarta
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003, Pd.T-14-2003 Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen, Pedoman Konstruksi Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1981, Peraturan Pembebatan Indonesia Untuk Gedung 1983, Yayasan LPMB, Bandung

- Dirjen Bina Marga, Kementerian PUPR. 2016. Kelas Jalan, Muatan Sumbu Terberat, dan Permasalahan Beban Lebih Kendaraan. Jakarta.
- Dirjen Bina Marga, Kementerian PUPR. 2017. Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi 2017). Jakarta
- Dwiyanto, et. al. 2009. "Penanggulangan Tanah Longsor Dengan Metode Grouting". Semarang: Laporan Hibah Penelitian Strategi Nasional, Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Hal. 18
- Dokuchaev. 1870. Mekanika Tanah. Jakarta: Erlangga.
- Gere, J.M., dan Timoshenko, S.P., (2000) Mekanika Bahan Edisi Keempat Jilid 1. Erlangga. Jakarta
- Guyer, J.Paul, 2009. Introduction to Soil Grouting. Amerika Serikat : info@cedengineering.com
- Hakim, Abi Maulana. 2020. "Studi Perilaku Penurunan Tanah Gambut Dengan Metode Perbaikan Tanah Tiang Grout Pada Proyek Jalan di Padang. Jurnal Tecnopex-2020, Institut Teknologi Indonesia.
- Hardiyatmo, H.Christady. 1992. Mekanika Tanah I. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta
- Hardiyatmo, H.Christady, 1996, Teknik Pondasi I. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Indarto. 2011. Kelakuan tanah ekspansif dan konsekwensinya terhadap rekayasa geoteknik, Seminar Nasional Kegagalan Struktur dan Geoteknik, Kerjasama Lab.Uji Material – FTSP ITS, HATTI Komda Jatim, HAKKI Komda Jatim, 5 Oktober 2011
- Indarto. 2011. Kelakuan Tanah Ekspansif Serta Akibatnya Pada Bangunan dan Jalan Sederhana. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- James C. Ni, et al tahun 2010 dalam Jurnal "*Monitoring and Modeling Grout Efficiency of Lifting Structure in Soft Clay*",
- Károly Széchy, László Varga C. Sc 1978. Foundation Engineering: Soil Exploration and Spread Foundations. Budapest : Akadémiai Kiadó. English.
- Kong Sio-Keong, 2005. Properties of Cement-based Permeation grout Used in Ground Engineering. Singapore: National University of Singapore
- Ma Hewen, Sui Wanghua, dan Ni Jianming 2019. "*Environmentally sustainable mining: a case study on surface subsidence control of grouting into overburden*".

- Environmental Earth Sciences. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature.
- Mansyur, et. al. 2020. "Penentuan Kohesi dan Sudut Geser Dalam Pada Beton Busa". Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Prosiding Online. Hal. 104.
- Mizuno, Gracia. Sompie, Elisa,O. B. A. Sompie, Rondonuwu, Steeva. 2018. Analisis Stabilitas Tanah Dengan Model Material Mohr Coulomb Dan Soft Soil. Jurnal Sipil Statik Vol.6 No.10 Oktober (783-792) ISSN: 2337-6732. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- PB – 0202 – 76 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar
- PT T-01-2002-B Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur
- PPK 4.5 Provinsi Jawa Timur, 2021. "Presentasi Pre Construction Meeting Paket Preservasi Jalan Babat-Lamongan-Gresik". Hal 2, hal 11-12.
- Rubikon. CV, 2020. "Laporan Survey Soil Investigation (Deep Boring,) Project: Preservasi Jalan Tuban-Babat-Lamongan.Gresik". Hal 22, hal 53.
- SNI 6882:2014. "Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Unit Pasangan". Hal.9.
- SNI 03-1727-1989 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung
- SNI 03-1969-1990 Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar.
- SNI 03-68252002. Semen Portland
- SNI 15 7064-2004. Semen Portland Komposit
- SNI 03-1971-1990. Metode Pengujian Kadar Air Agregat
- Soemitro, R.A.A dan Warnana Dwa Desa. 2020. "Karakteristik Tanah Tidak Jenuh". Bandung: ITB Press. Hal. 4-9, hal. 25.
- Suherman, M. (2005). "Potensi Sifat Kelempungan". Jurnal Jalan dan Jembatan. Departemen Pekerjaan Umum.
- Sukirman Silvia (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya. Penerbit Nova, Bandung.
- Terzaghi, K. 1943. Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Terzaghi, Peck. 1948. "Soil Mechanics in Engineering Practice". Canada. A wiley-Interscience Publication. John wiley & Sons, Inc.

Tutorial Manual (2020). Tutorial Manual Connect Edition V20. Bentley Systems, Incorporated.

Seed (1962), H.B, Woodward, R.J. and Lundgren, R.,” Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays” Journal ASCE, Soil Mechanics, and Foundation Div., Vol. 88, 1962.

Skempton, A.W, (1953), The Colloid Activity of Clays, Proceedings, 3rd Internasional Converence of Soil Mechanic and Foundations Engineering London Vol. I : pp 57-61.

Van der Merwe, D.H. (1964) Prediction of Heave from the Plasticity Index and Percentage of Clay Fraction of Soils. Transactions of the South African Institution of Civil Engineers, 6, 103-107.

Warner, J. (2004). Practical Handbook of *Grouting*: Soil, Rock, and Structures. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey

Wesley, L.D. (1977). Mekanika Tanah, cetakan ke IV. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Wijanarko, Siget Arief. Bambang Setiawan, Noegroho Djarnawati, M. 2018 Pengaruh Penambahan Kolom Tanah Semen Terhadap Perpindahan Vertikal Tanah Dasar Ekspansif Saat Kondisi Mengembang. E- Jurnal Matriks Teknik Sipil Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

William T., Whitman, Robert V.1962. Soil Mechanics.

Yoder E. J. and M. W. Witczak, Wiley 1975.Principles of Pavement Design, 2nd Edition.

Widiastuti, Y. 2016. Aplikasi Program Plaxis dalam Analisis Numerik Deformasi Lapis Fondasi Jalan Poncosari - Grges Yogyakarta. Yogyakarta: Jurnal Renovasi: Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil.

**LAMPIRAN 1**  
**DATA BORE LOG**

## BORE LOG

Bore No.	BH-2
Client	Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
Location	Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
STA	-
Platform	-

### WATER CONTENT

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No. : BH-2

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Depth (m)	1.50 - 2.00	3.50 - 4.00	5.50 - 6.00	7.50 - 8.00	9.50 - 10.00	
Sample No. :	M7	R8	L8	J10	R1	
1. Krus weight+soil humid (gr)	243.80	231.00	232.10	238.00	236.10	
2. Krus weight + dry soil (gr)	161.20	143.50	145.90	157.50	157.30	
3. Weight of water ( gr ) ( 1 - 2 )	82.60	87.50	86.20	80.50	78.80	
4. Krus weight (gr)	28.90	28.70	29.40	28.10	28.40	
5. Dry soil weight ( gr ) ( 2 - 4 )	132.30	114.80	116.50	129.40	128.90	
6. Water content (%)	62.43	76.22	73.99	62.21	61.13	

### DRY DENSITY

- 1. Project** : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
**2. Location** : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
**3. Bore No.** : BH-2

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Depth (m)	1.50 - 2.00	3.50 - 4.00	5.50 - 6.00	7.50 - 8.00	9.50 - 10.00
1. Soil weight + mould (gr)	243.80	231.00	232.10	238.00	236.10
2. Weight mould (gr)	28.90	28.70	29.40	28.10	28.40
3. Soil weight (gr)	214.90	202.30	202.70	209.90	207.70
4. Volume of mould (cc)	128.61	128.61	128.61	128.61	128.61
5. Humid unit weight ( $\gamma_t$ ) (gr/cc)	1.671	1.573	1.576	1.632	1.615
6. Water content (%)	62.43	76.22	73.99	62.21	61.13
7. Dry density ( $\gamma_d$ ) (gr/cc)	1.029	0.893	0.906	1.006	1.002



### SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 & SNI-03-3423-1994

PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

LOCATION : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

BORE NO. : BH-2

KEDALAMAN : 1.50 - 2.00

TANGGAL : 10 Agustus 2020

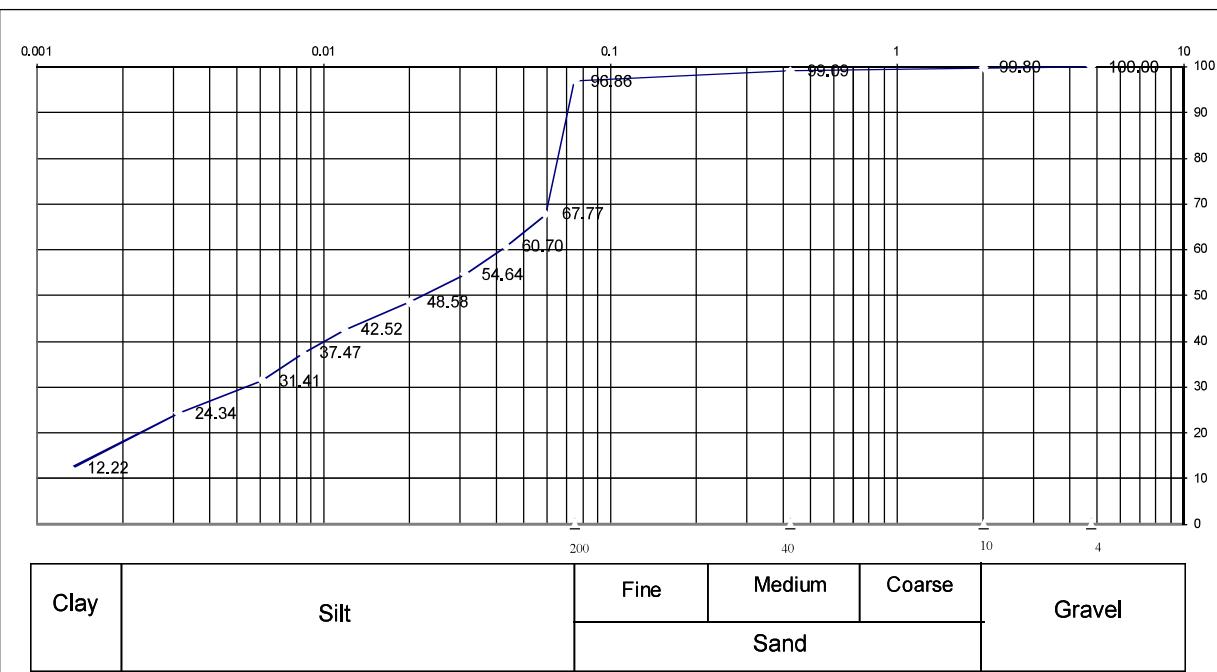
15 Agustus 2020

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.602  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1.01

Weight of Dry Material = **132.30** gram

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	0.00	0.00	0.00	100.00	
No. 8					
No. 10	0.26	0.26	0.20	99.80	
No. 40	0.95	1.21	0.91	99.09	
No. 100					
No. 200	2.94	4.15	3.14	96.86	

Date / Time ( minute )	t time	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	$d = K\sqrt{\frac{L}{T}}$
0									
0.5	29	29.5	33.55	30.5	11.30	0.01251		67.77	0.0594
1		26.0	30.05	27.0	11.87			60.70	0.0431
2		23.0	27.05	24.0	12.36			54.64	0.0311
5		20.0	24.05	21.0	12.86			48.58	0.0201
15		17.0	21.05	18.0	13.35			42.52	0.0118
30		14.5	18.55	15.5	13.76			37.47	0.0085
60		11.5	15.55	12.5	14.25			31.41	0.0061
240		8.0	12.05	9.0	14.82			24.34	0.0031
1440		2.0	6.05	3.0	15.81			12.22	0.0013



% Gravel = 0.00%  
 % Sand = 2.94%

% Silt = 80.19%  
 % Clay = 16.87%



### SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 & SNI-03-3423-1994

PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

LOCATION : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

BORE NO. : BH-2

KEDALAMAN : 3.50 - 4.00

TANGGAL : 10 Agustus 2020

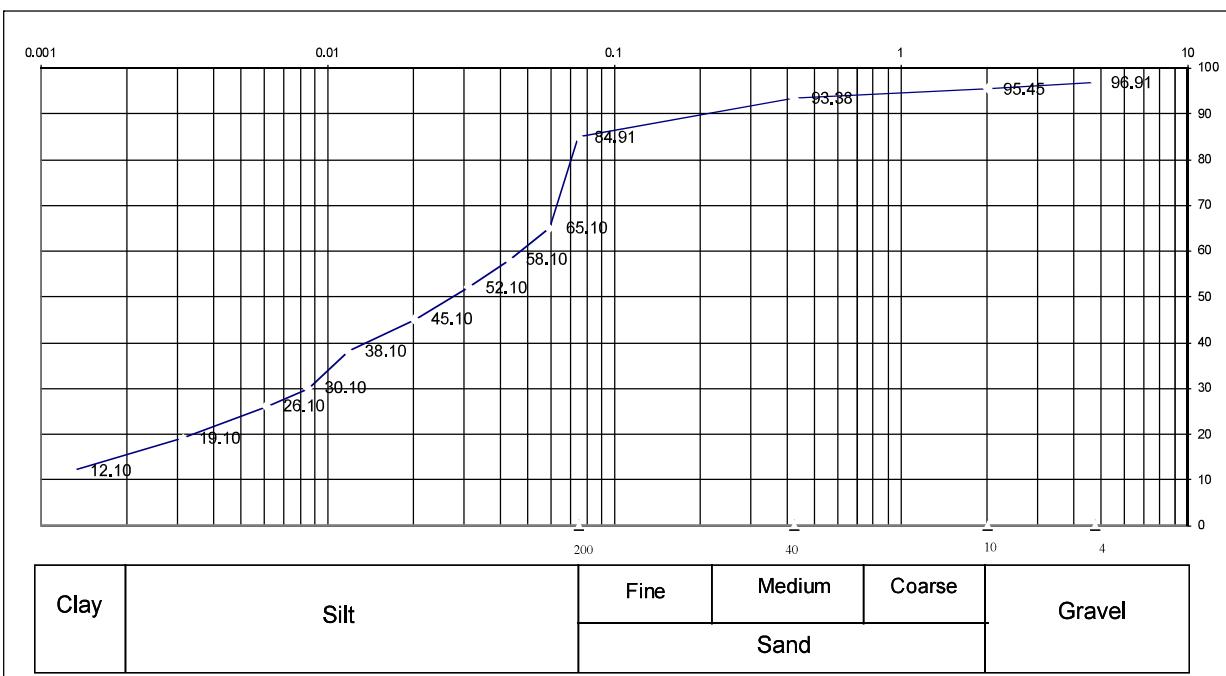
15 Agustus 2020

Weight of Dry Material = **114.80** gram

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	3.55	3.55	3.09	96.91	
No. 8					
No. 10	1.67	5.22	4.55	95.45	
No. 40	2.38	7.60	6.62	93.38	
No. 100					
No. 200	9.72	17.32	15.09	84.91	

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.636  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1

Date / Time ( minute )	t time	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	d = K $\sqrt{\frac{L}{T}}$
	0								
	0.5	29	28.5	32.55	29.5	11.46	0.01238	65.10	0.0593
	1		25.0	29.05	26.0	12.04		58.10	0.0429
	2		22.0	26.05	23.0	12.53		52.10	0.0310
	5		18.5	22.55	19.5	13.10		45.10	0.0200
	15		15.0	19.05	16.0	13.68		38.10	0.0118
	30		11.0	15.05	12.0	14.33		30.10	0.0086
	60		9.0	13.05	10.0	14.66		26.10	0.0061
	240		5.5	9.55	6.5	15.23		19.10	0.0031
	1440		2.0	6.05	3.0	15.81		12.10	0.0013



% Gravel = 3.09%  
 % Sand = 10.54%

% Silt = 71.56%  
 % Clay = 14.80%

SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 &amp; SNI-03-3423-1994

PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

LOCATION : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

BORE NO. : BH-2

KEDALAMAN : 5.50 - 6.00

TANGGAL : 10 Agustus 2020

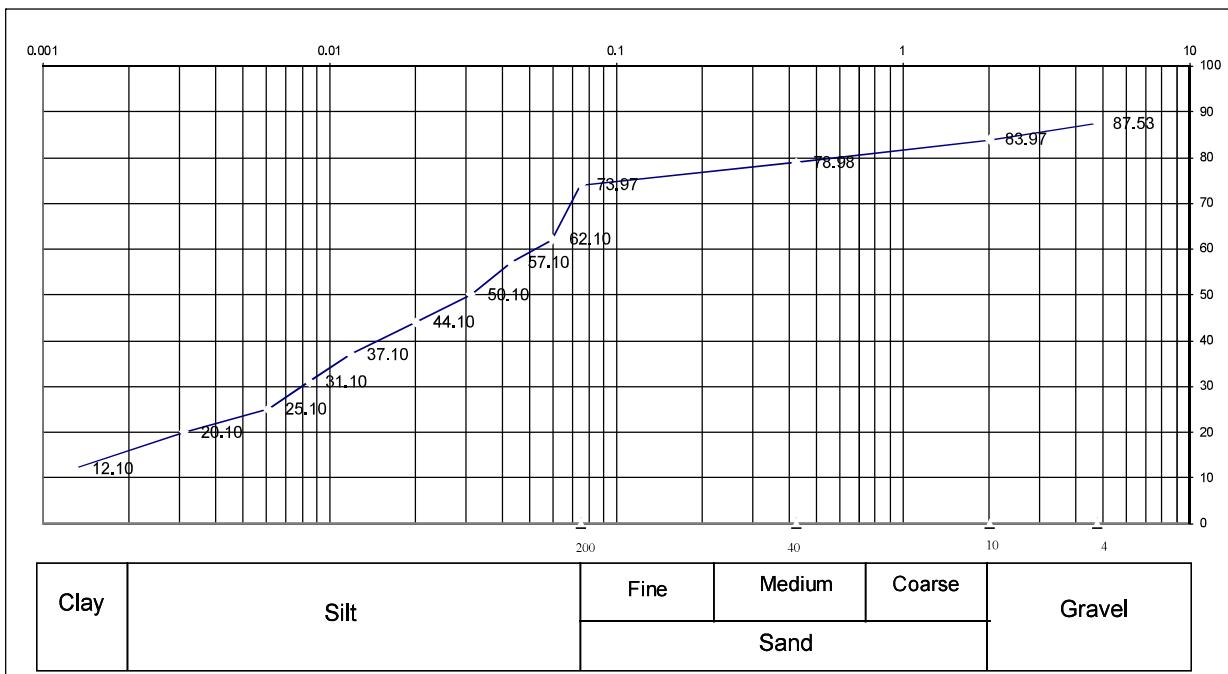
15 Agustus 2020

 Weight of Dry Material = **116.50** gram

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.645  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	14.53	14.53	12.47	87.53	
No. 8					
No. 10	4.15	18.68	16.03	83.97	
No. 40	5.81	24.49	21.02	78.98	
No. 100					
No. 200	5.84	30.33	26.03	73.97	

Date / Time ( minute )	t time	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	$d = K\sqrt{\frac{L}{T}}$
	0								
	0.5	29	27.0	31.05	28.0	11.71	0.01234	62.10	0.0597
	1		24.5	28.55	25.5	12.12		57.10	0.0430
	2		21.0	25.05	22.0	12.69		50.10	0.0311
	5		18.0	22.05	19.0	13.18		44.10	0.0200
	15		14.5	18.55	15.5	13.76		37.10	0.0118
	30		11.5	15.55	12.5	14.25		31.10	0.0085
	60		8.5	12.55	9.5	14.74		25.10	0.0061
	240		6.0	10.05	7.0	15.15		20.10	0.0031
	1440		2.0	6.05	3.0	15.81		12.10	0.0013


 % Gravel = 12.47%  
 % Sand = 10.00%

 % Silt = 62.30%  
 % Clay = 15.23%



### SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 & SNI-03-3423-1994

PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

LOCATION : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

BORE NO. : BH-2

KEDALAMAN : 7.50 - 8.00

TANGGAL : 10 Agustus 2020

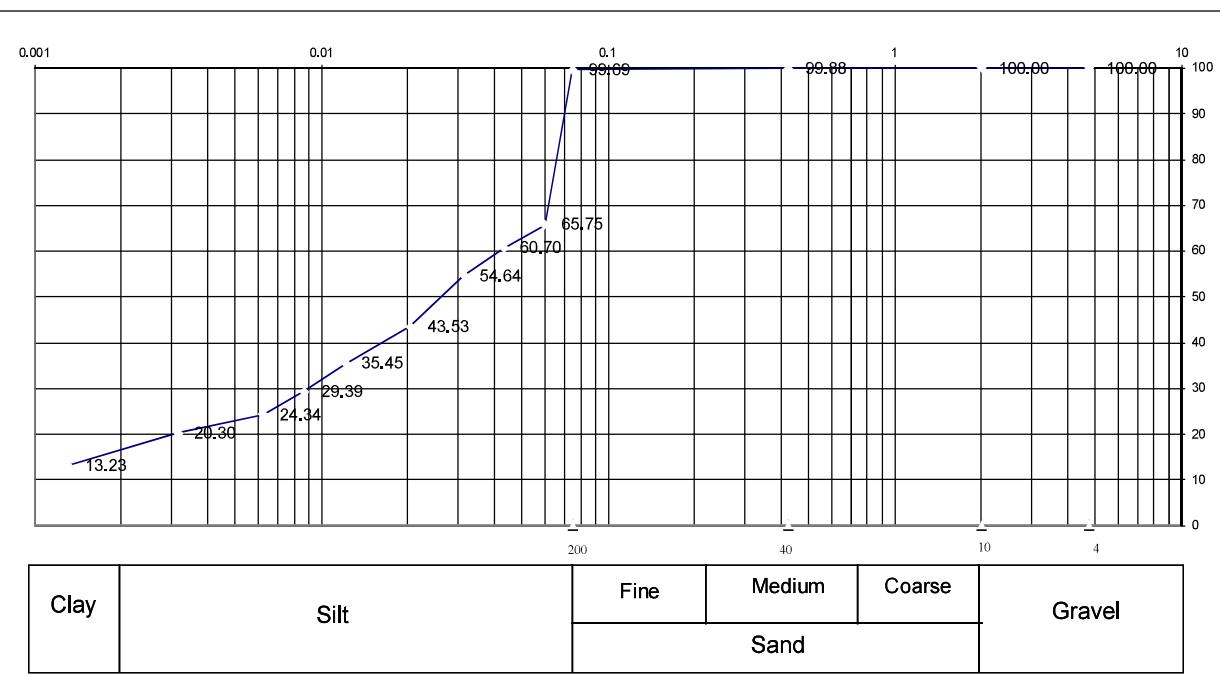
15 Agustus 2020

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.593  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1.01

Weight of Dry Material = **129.40** gram

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	0.00	0.00	0.00	100.00	
No. 8					
No. 10	0.00	0.00	0.00	100.00	
No. 40	0.15	0.15	0.12	99.88	
No. 100					
No. 200	0.25	0.40	0.31	99.69	

Date / Time (minute)	t	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	$d = K\sqrt{\frac{L}{T}}$
	0								
	0.5	29	28.5	32.55	29.5	11.46	0.01254	65.75	0.0600
	1		26.0	30.05	27.0	11.87		60.70	0.0432
	2		23.0	27.05	24.0	12.36		54.64	0.0312
	5		17.5	21.55	18.5	13.27		43.53	0.0204
	15		13.5	17.55	14.5	13.92		35.45	0.0121
	30		10.5	14.55	11.5	14.41		29.39	0.0087
	60		8.0	12.05	9.0	14.82		24.34	0.0062
	240		6.0	10.05	7.0	15.15		20.30	0.0032
	1440		2.5	6.55	3.5	15.72		13.23	0.0013



% Gravel = 0.00%  
 % Sand = 0.31%

% Silt = 83.81%  
 % Clay = 15.88%



### SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 & SNI-03-3423-1994

PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

LOCATION : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

BORE NO. : BH-2

KEDALAMAN : 9.50 - 10.00

TANGGAL : 10 Agustus 2020

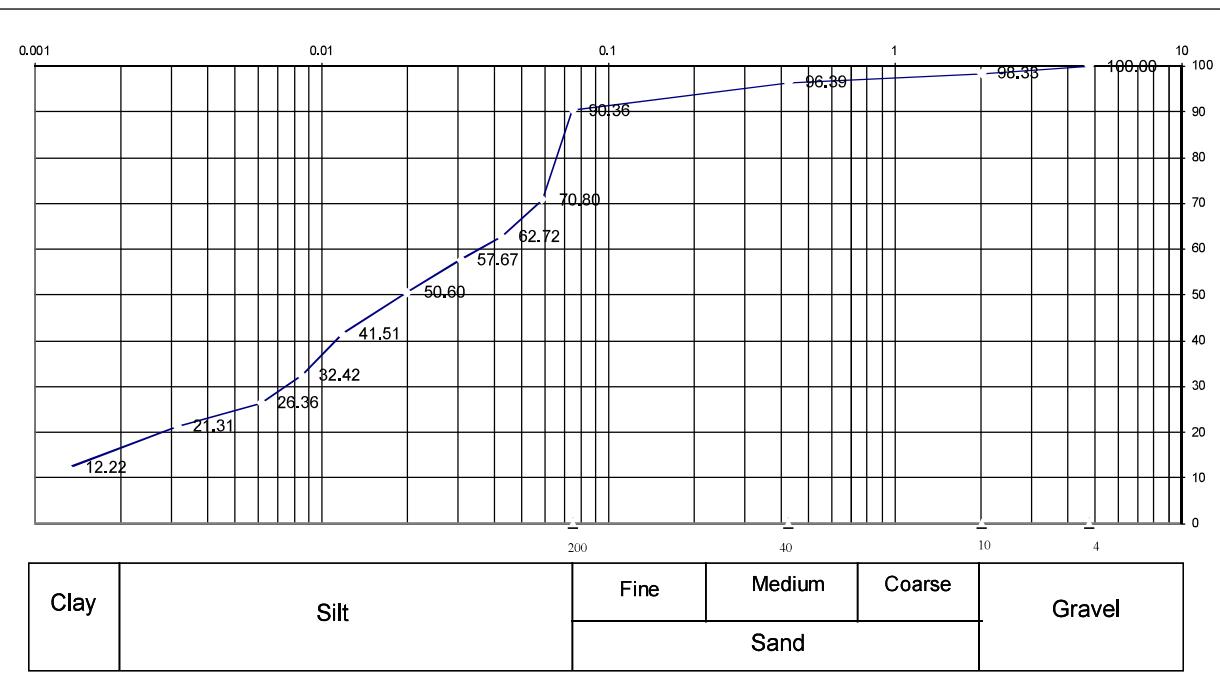
15 Agustus 2020

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.617  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1.01

Weight of Dry Material = **128.90** gram

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	0.00	0.00	0.00	100.00	
No. 8					
No. 10	2.15	2.15	1.67	98.33	
No. 40	2.50	4.65	3.61	96.39	
No. 100					
No. 200	7.77	12.42	9.64	90.36	

Date / Time ( minute )	t time	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	$d = K\sqrt{\frac{L}{T}}$
	0								
	0.5	29	31.0	35.05	32.0	11.05	0.01245	70.80	0.0585
	1		27.0	31.05	28.0	11.71		62.72	0.0426
	2		24.5	28.55	25.5	12.12		57.67	0.0306
	5		21.0	25.05	22.0	12.69		50.60	0.0198
	15		16.5	20.55	17.5	13.43		41.51	0.0118
	30		12.0	16.05	13.0	14.17		32.42	0.0086
	60		9.0	13.05	10.0	14.66		26.36	0.0062
	240		6.5	10.55	7.5	15.07		21.31	0.0031
	1440		2.0	6.05	3.0	15.81		12.22	0.0013



% Gravel = 0.00%  
 % Sand = 7.97%

% Silt = 76.33%  
 % Clay = 15.71%

**SPECIFIC GRAVITY**

SNI-03-1964-1990

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2

<b>SPECIFIC GRAVITY</b>										
Depth (m)	1.50 - 2.00		3.50 - 4.00		5.50 - 6.00		7.50 - 8.00		9.50 - 10.00	
No. Pirometer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Weight of Pirometer + Soil (W <sub>2</sub> ) gr	85.66	86.32	86.55	88.09	90.08	97.68	93.96	85.24	92.38	88.53
Weight of Pirometer (W <sub>1</sub> ) gr	51.08	50.49	49.15	49.68	50.00	56.56	61.80	50.65	57.00	52.10
Soil Weight (W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> ) gr	34.58	35.83	37.40	38.41	40.08	41.12	32.16	34.59	35.38	36.43
Temperatur (T) °C	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Weight of Pirometer + Water (pada T) (W <sub>4</sub> ) gr	150.25	149.50	148.19	148.47	149.10	155.63	160.48	149.68	156.05	151.30
(W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> + W <sub>4</sub> ) gr	184.83	185.33	185.59	186.88	189.18	196.75	192.64	184.27	191.43	187.73
Weight of Pirometer+Water+Soil (W <sub>3</sub> ) gr	171.52	171.58	171.43	172.28	174.06	181.17	180.22	170.95	177.93	173.79
Soil Volume W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> ± W <sub>4</sub> - W <sub>3</sub>	13.31	13.75	14.16	14.60	15.12	15.58	12.42	13.32	13.50	13.94
Specific Gravity $\frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_1 + W_4 - W_3}$	2.598	2.606	2.641	2.631	2.651	2.639	2.589	2.597	2.621	2.613
Average specific gravity	2.602		2.636		2.645		2.593	2.617		

Tanggal : 10 Agustus 2020  
15 Agustus 2020

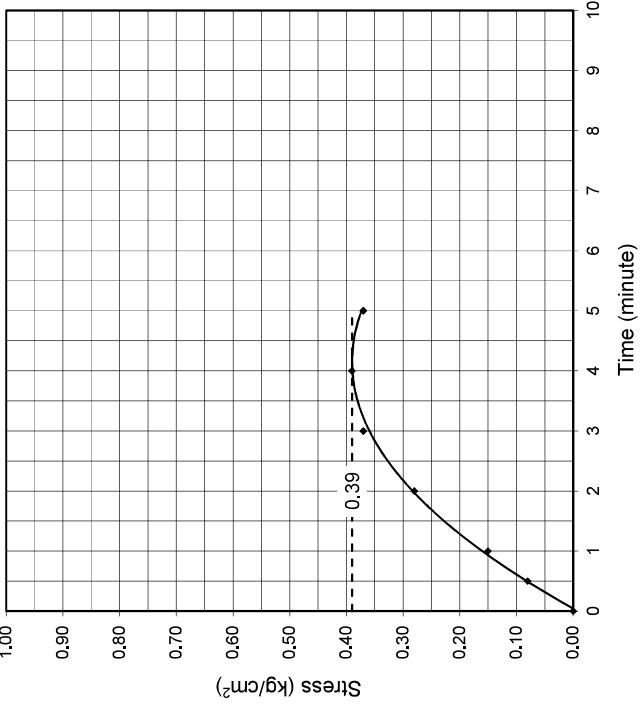
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 1.50 - 2.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0							
0.5	70	4	0.58	2.32	1.000	30.18	0.08
1	140	8		4.64	1.010	30.48	0.15
2	280	15		8.70	1.020	30.78	0.28
3	420	20		11.60	1.031	31.11	0.37
4	560	21		12.18	1.042	31.44	0.39
5	700	20		11.60	1.053	31.77	0.37
6							

Soil Type		%
Humid Unit Weight	= 1.671 gr/cc	Water Content = 161.20 gr
Diameter of Sample	= 6.20 cm	Weight of Dry Sample+ Soil = 243.80 gr
Height of Sample	= 14.00 cm	Weight of Humid Sample+ Soil = 28.90 gr
Initial Area	= 30.18 cm <sup>2</sup>	Weight of Cup M7 = 82.60 gr
Volume of Sample	= 422.46 cm <sup>3</sup>	Weight of Water = 132.30 gr
Weight of Sample	= 705.92 gr	Weight of Sample = 62.43 %
<b>Dry Unit Weight</b>	<b>= 1.029 gr/cc</b>	<b>Water Content</b> = 62.43 %



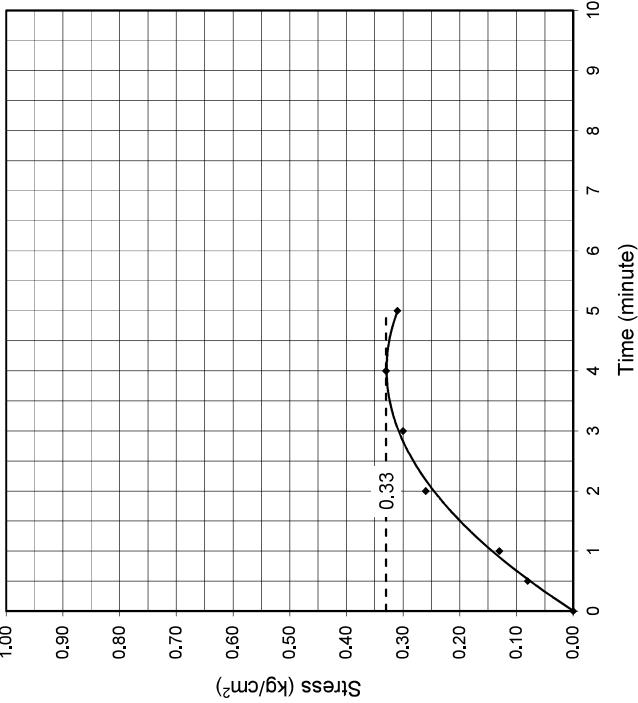
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 3.50 - 4.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0	70	4	0.58	2.32	1.000	30.18	0.08
0.5	140	7		4.06	1.005	30.33	0.13
1	280	14		8.12	1.020	30.78	0.26
2	420	16		9.28	1.031	31.11	0.30
3	560	18		10.44	1.042	31.44	0.33
4	700	17		9.86	1.053	31.77	0.31
5							
6							

Soil Type		%
Humid Unit Weight	= 1.573 gr/cc	Water Content = 143.50 gr
Diameter of Sample	= 6.20 cm	Weight of Dry Sample+ Soil = 231.00 gr
Height of Sample	= 14.00 cm	Weight of Humid Sample+ Soil = 28.70 gr
Initial Area	= 30.18 cm <sup>2</sup>	Weight of Cup R8 = 87.50 gr
Volume of Sample	= 422.46 cm <sup>3</sup>	Weight of Water = 114.80 gr
Weight of Sample	= 664.52 gr	Weight of Sample = 76.22 %
Dry Unit Weight	= 0.893 gr/cc	Water Content



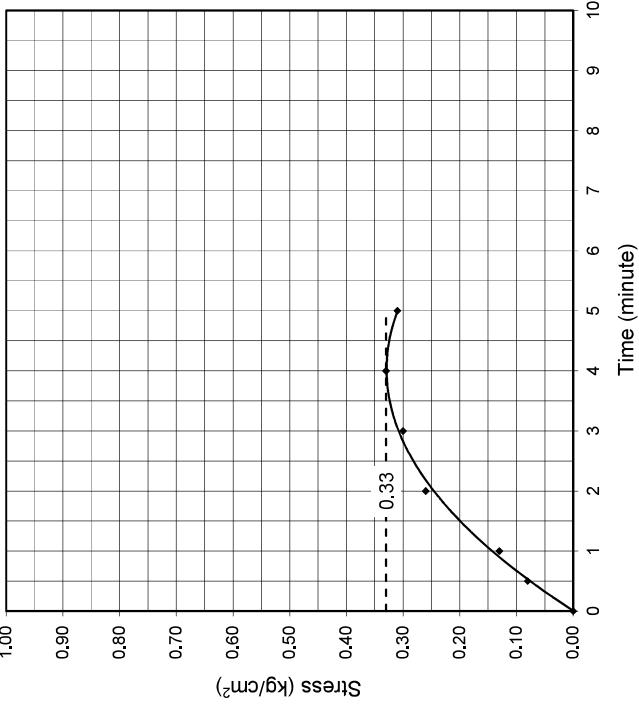
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 5.50 - 6.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0							
0.5	70	4	0.58	2.32	1.000	30.18	0.08
1	140	7		4.06	1.010	30.48	0.13
2	280	14		8.12	1.020	30.78	0.26
3	420	16		9.28	1.031	31.11	0.30
4	560	18		10.44	1.042	31.44	0.33
5	700	17		9.86	1.053	31.77	0.31
6							

Soil Type		%
Humid Unit Weight	= 1.576 gr/cc	Water Content = 145.90 gr
Diameter of Sample	= 6.20 cm	Weight of Dry Sample+ Soil = 232.10 gr
Height of Sample	= 14.00 cm	Weight of Humid Sample+ Soil = 29.40 gr
Initial Area	= 30.18 cm <sup>2</sup>	Weight of Cup L8 = 86.20 gr
Volume of Sample	= 422.46 cm <sup>3</sup>	Weight of Water = 116.50 gr
Weight of Sample	= 665.79 gr	Weight of Sample = 0.906 gr/cc
Dry Unit Weight	= 73.99 %	Water Content



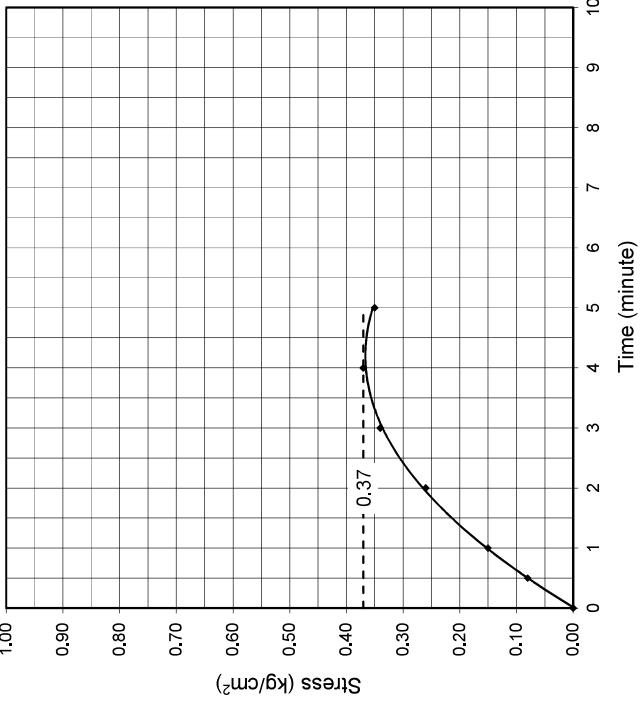
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 7.50 - 8.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0							
0.5	70	4	0.58	2.32	1.000	30.18	0.08
1	140	8		4.64	1.010	30.48	0.15
2	280	14		8.12	1.020	30.78	0.26
3	420	18		10.44	1.031	31.11	0.34
4	560	20		11.60	1.042	31.44	0.37
5	700	19		11.02	1.053	31.77	0.35
6							

Soil Type		%
Humid Unit Weight	= 1.632 gr/cc	Water Content = 157.50 gr
Diameter of Sample	= 6.20 cm	Weight of Dry Sample+ Soil = 238.00 gr
Height of Sample	= 14.00 cm	Weight of Humid Sample+ Soil = 28.10 gr
Initial Area	= 30.18 cm <sup>2</sup>	Weight of Cup J10 = 80.50 gr
Volume of Sample	= 422.46 cm <sup>3</sup>	Weight of Water = 129.40 gr
Weight of Sample	= 689.45 gr	Weight of Sample = 1.006 gr/cc
Dry Unit Weight	= 1.006 gr/cc	Water Content = 62.21 %



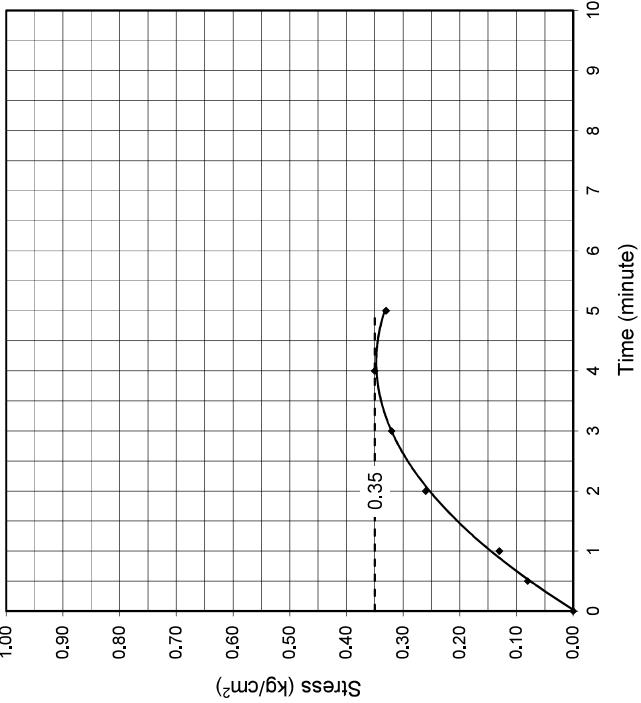
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 9.50 - 10.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0					1.000	30.18	
0.5	70	4	0.58	2.32	1.005	30.33	0.08
1	140	7		4.06	1.010	30.48	0.13
2	280	14		8.12	1.020	30.78	0.26
3	420	17		9.86	1.031	31.11	0.32
4	560	19		11.02	1.042	31.44	0.35
5	700	18		10.44	1.053	31.77	0.33
6							

Soil Type									
Humid Unit Weight	=	1.615 gr/cc	Water Content	=	157.30 gr				
Diameter of Sample	=	6.20 cm	Weight of Dry Sample+ Soil	=	236.10 gr				
Height of Sample	=	14.00 cm	Weight of Humid Sample+ Soil	=	28.40 gr				
Initial Area	=	30.18 cm <sup>2</sup>	Weight of Cup R1						
Volume of Sample	=	422.46 cm <sup>3</sup>	Weight of Water	=	78.80 gr				
Weight of Sample	=	682.27 gr	Weight of Sample	=	128.90 gr				
Dry Unit Weight	=	1.002 gr/cc	Water Content	=	61.13 %				



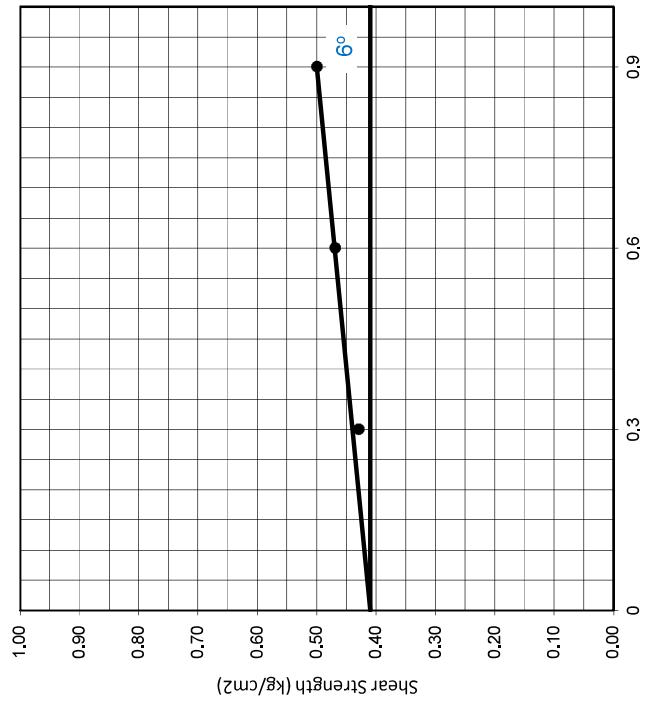
## DIRECT SHEAR TEST

### PB-0116-76

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 1.50 - 2.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
15 Agustus 2020

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>	P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>	
15"	25	5	5	Shear Strength
30"	50	9	10	Dial Reading
45"	75	15	16	Shear Force
60"	100	19	20	Dial Reading
75"	125	24	25	Shear Force
90"	150	27	29	Dial Reading
105"	175			Shear Force
120"	200			Dial Reading
135"	225			Shear Force



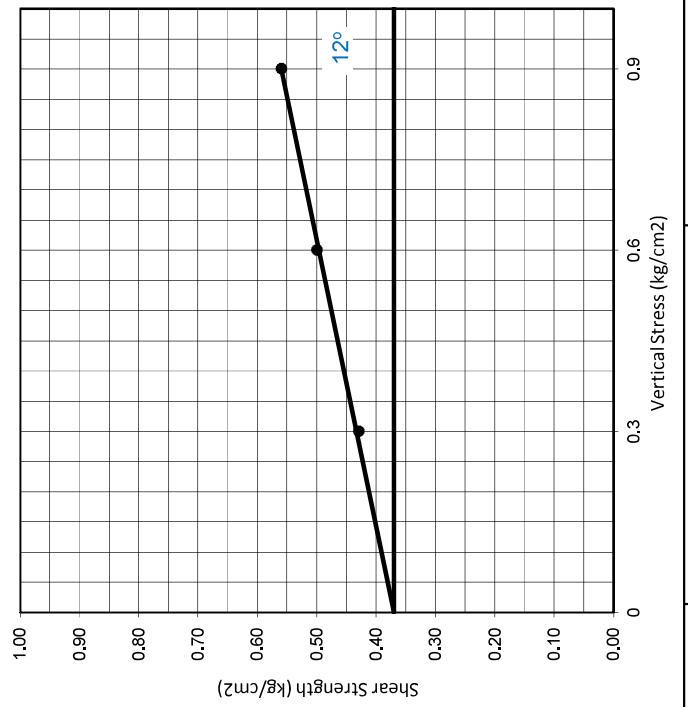
Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 -	Area = 31.17 cm <sup>2</sup>
C	= 0.41 kg/cm <sup>2</sup>	Q = 6 °

**DIRECT SHEAR TEST**  
**PB-0116-76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 3.50 - 4.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
15 Agustus 2020

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>	P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>	
Time	Dial Reading	Dial Reading	Dial Reading	Shear Strength
15"	25	5	5	6
30"	50	9	10	12
45"	75	15	17	19
60"	100	19	22	24
75"	125	24	27	30
90"	150	27	31	35
105"	175			
120"	200			
135"	225			



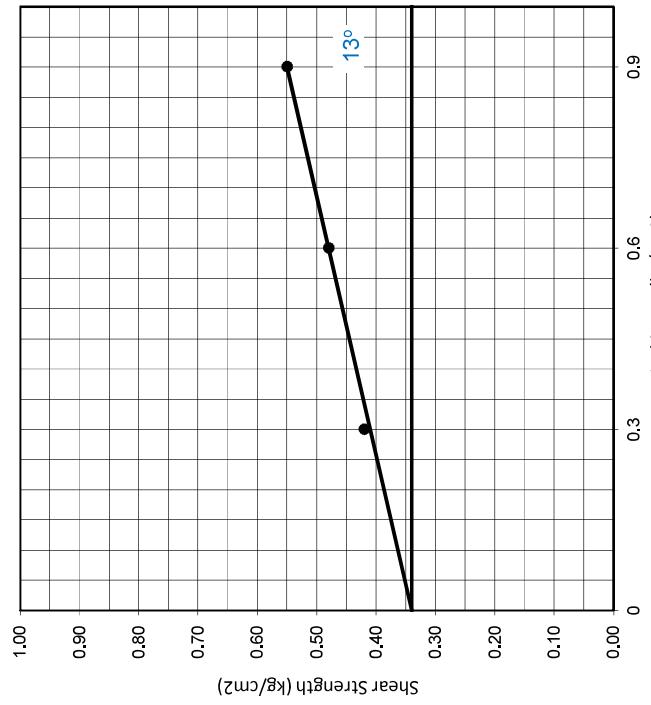
Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 -	Area = 31.17 cm²
C	= 0.37 kg/cm²	Q = 12 °

**DIRECT SHEAR TEST**  
**PB-0116-76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 5.50 - 6.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
15 Agustus 2020

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>		P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>		P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>	
	Time	Dial Reading	Shear Force	Dial Reading	Shear Force	Dial Reading
15"	25	4		5		6
30"	50	9		10		11
45"	75	14		16		18
60"	100	18		21		24
75"	125	23		26		29
90"	150	26		30	15.00	0.48
105"	175				34	17.00
120"	200				34	0.55
135"	225					



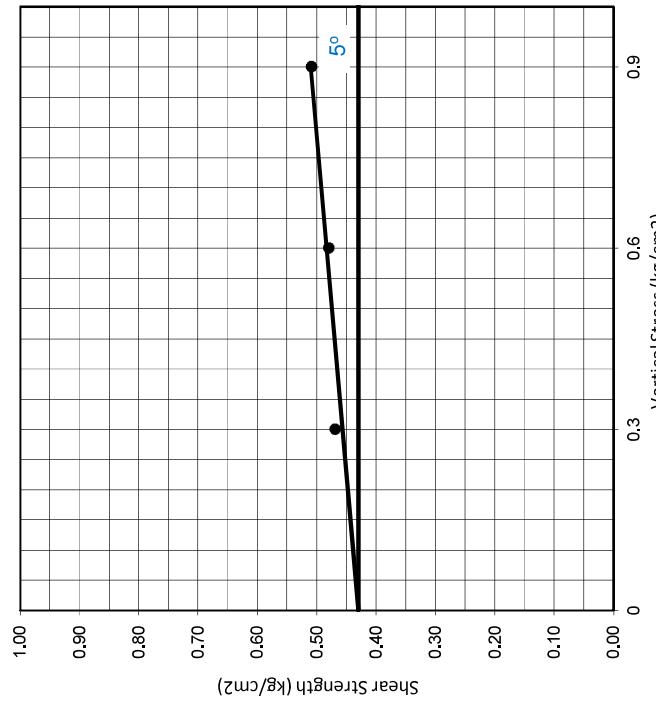
Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 - C = 0.34 kg/cm <sup>2</sup>	Area = 31.17 cm <sup>2</sup>
		Q = 13 °

**DIRECT SHEAR TEST**  
**PB-0116-76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 7.50 - 8.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
15 Agustus 2020

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>	P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>		
Time	Dial Reading	Dial Reading	Dial Reading	Shear Force	Shear Strength
15"	25	5	5	5	
30"	50	10	10	11	
45"	75	16	16	17	
60"	100	20	21	22	
75"	125	25	26	28	
90"	150	29	14.50	0.47	30
105"	175				
120"	200				
135"	225				



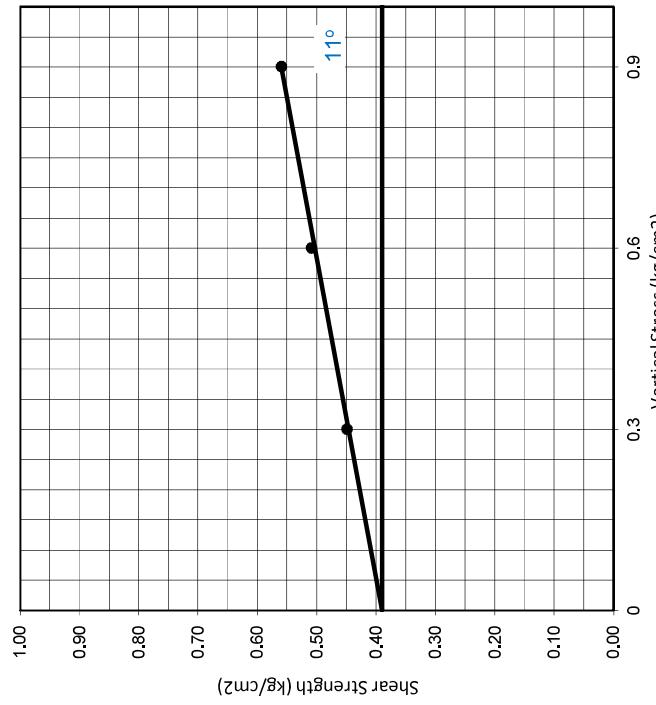
Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 -	Area = 31.17 cm <sup>2</sup>
C	= 0.43 kg/cm <sup>2</sup>	Q = 5 °

**DIRECT SHEAR TEST**  
**PB-0116-76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
3. Bore No : BH-2
4. Depth : 9.50 - 10.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
15 Agustus 2020

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>	P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>		
Time	Dial Reading	Dial Reading	Dial Reading	Shear Force	Shear Strength
15"	25	5	5	6	
30"	50	9	11	12	
45"	75	15	17	19	
60"	100	20	22	24	
75"	125	24	28	30	
90"	150	28	32	35	17.50 0.56
105"	175				
120"	200				
135"	225				



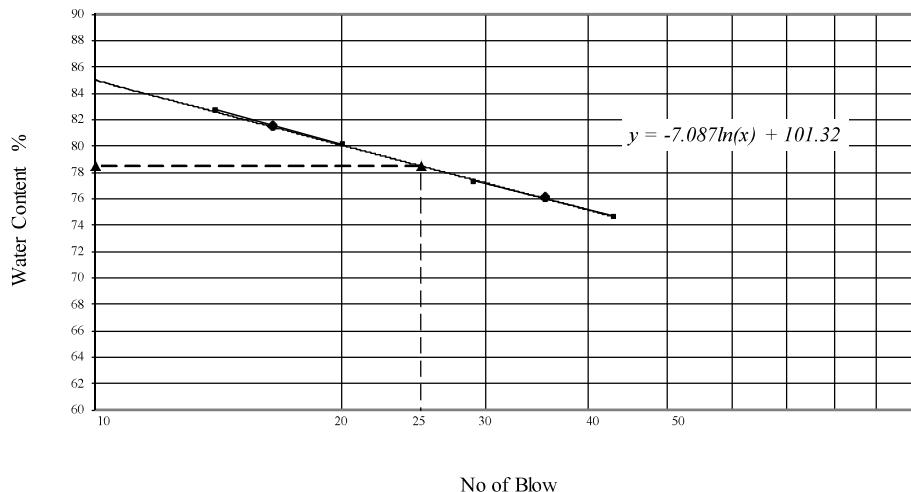
Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 - C = 0.39 kg/cm <sup>2</sup>	Area = 31.17 cm <sup>2</sup>
		Q = 11 °

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 3. Bore No : BH-2  
 4. Depth : 1.50 - 2.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Liquid Limits (LL)	43	29	20	14	Plastic limits	
Krus No :	K11	K7	R26	R5	R24	R7
Krus weight + humid sample (gram)	70.92	73.27	75.38	78.41	31.75	32.20
Krus weight + dry soil (gram)	46.57	47.42	47.92	49.19	27.27	27.70
Weight of water (gram)	24.35	25.85	27.46	29.22	4.48	4.50
Krus weight (gram)	13.97	14.00	13.66	13.88	14.01	14.00
Dry sample weight (gram)	32.60	33.42	34.26	35.31	13.26	13.70
Water Content %	74.69	77.35	80.15	82.75	33.79	32.85



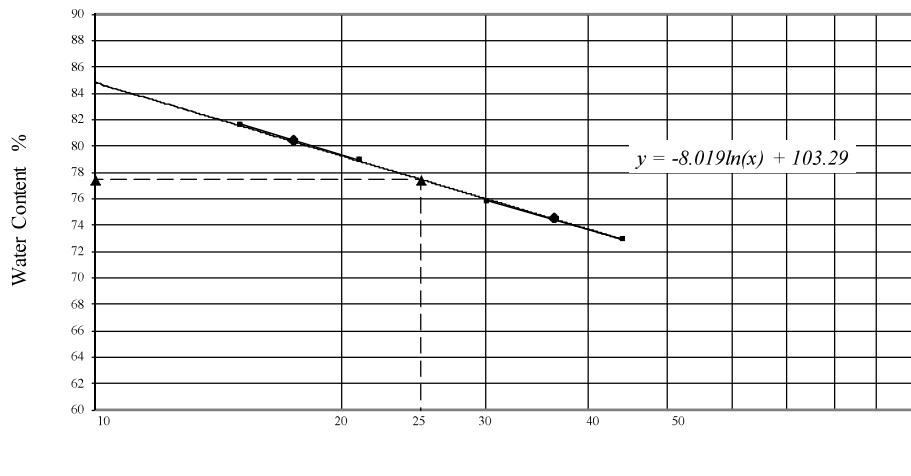
LL	PL	PI
78.51	33.32	45.19

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 3. Bore No : BH-2  
 4. Depth : 3.50 - 4.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Liquid Limits (LL)	44	30	21	15	Plastic limits	
Krus No :	R25	K9	R11	K4	K2	R6
Krus weight + humid sample (gram)	70.42	73.22	75.24	77.89	32.09	33.03
Krus weight + dry soil (gram)	46.55	47.69	48.17	49.21	27.41	28.06
Weight of water (gram)	23.87	25.53	27.07	28.68	4.68	4.97
Krus weight (gram)	13.85	14.05	13.90	14.10	13.91	14.10
Dry sample weight (gram)	32.70	33.64	34.27	35.11	13.50	13.96
Water Content %	73.00	75.89	78.99	81.69	34.67	35.60



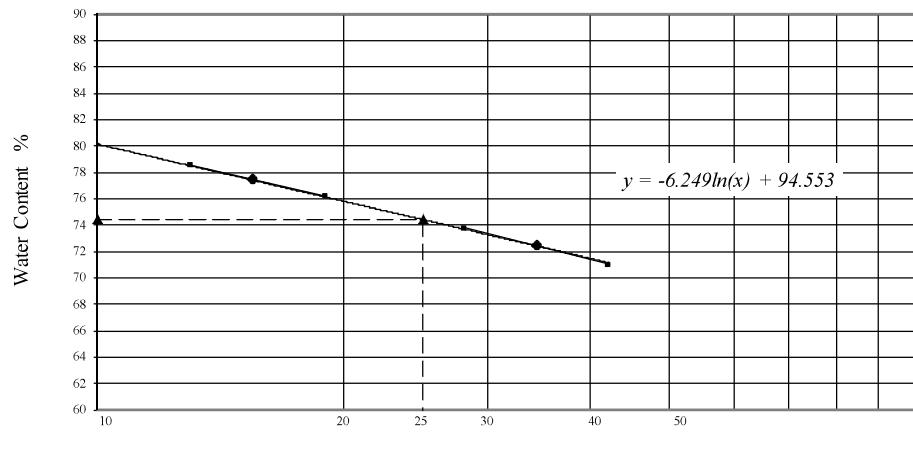
LL	PL	PI
77.48	35.14	42.34

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 3. Bore No : BH-2  
 4. Depth : 5.50 - 6.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Liquid Limits (LL)	42	28	19	13	Plastic limits	
Krus No :	R1	R32	R18	R4	R31	R12
Krus weight + humid sample (gram)	69.02	71.64	74.57	77.26	31.81	32.13
Krus weight + dry soil (gram)	46.16	47.09	48.41	49.42	27.26	27.54
Weight of water (gram)	22.86	24.55	26.16	27.84	4.55	4.59
Krus weight (gram)	13.98	13.83	14.10	14.00	14.14	13.98
Dry sample weight (gram)	32.18	33.26	34.31	35.42	13.12	13.56
Water Content %	71.04	73.81	76.25	78.60	34.68	33.85



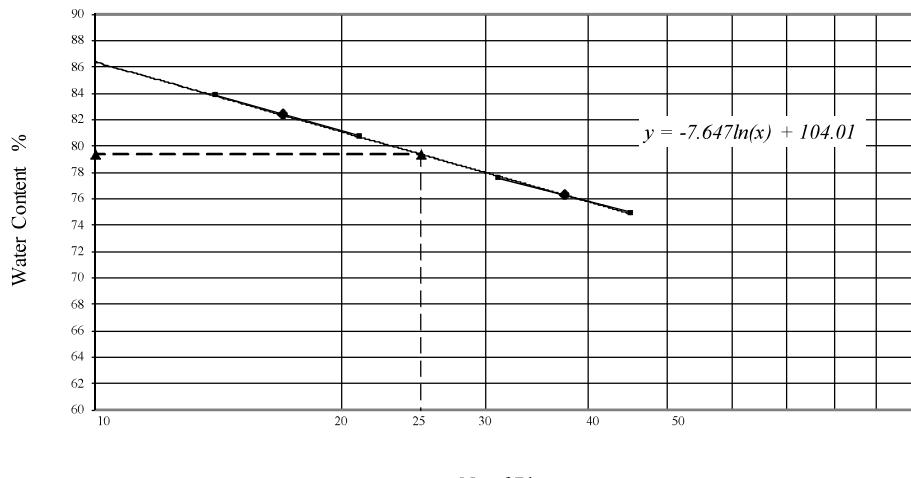
LL	PL	PI
74.44	34.27	40.17

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 3. Bore No : BH-2  
 4. Depth : 7.50 - 8.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Liquid Limits (LL)	45	31	21	14	Plastic limits	
Krus No :	K8	R19	R23	R34	R14	R29
Krus weight + humid sample (gram)	71.46	73.83	76.57	78.45	31.30	31.62
Krus weight + dry soil (gram)	46.84	47.65	48.61	48.92	26.94	27.24
Weight of water (gram)	24.62	26.18	27.96	29.53	4.36	4.38
Krus weight (gram)	14.01	13.91	14.00	13.72	14.00	13.90
Dry sample weight (gram)	32.83	33.74	34.61	35.20	12.94	13.34
Water Content %	74.99	77.59	80.79	83.89	33.69	32.83



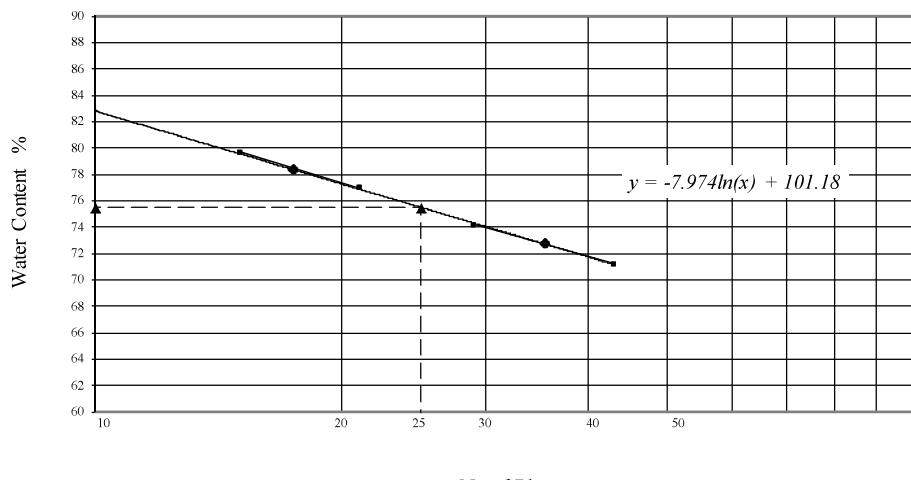
LL	PL	PI
79.40	33.26	46.14

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 2. Location : Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 3. Bore No : BH-2  
 4. Depth : 9.50 - 10.00

Tanggal : 10 Agustus 2020  
 15 Agustus 2020

Liquid Limits (LL)	43	29	21	15	Plastic limits	
Krus No :	R3	K12	R30	R16	K10	R36
Krus weight + humid sample (gram)	67.92	70.67	72.64	75.24	31.07	31.41
Krus weight + dry soil (gram)	45.53	46.51	47.02	48.01	26.86	27.18
Weight of water (gram)	22.39	24.16	25.62	27.23	4.21	4.23
Krus weight (gram)	14.10	13.95	13.75	13.85	13.93	13.83
Dry sample weight (gram)	31.43	32.56	33.27	34.16	12.93	13.35
Water Content %	71.24	74.20	77.01	79.71	32.56	31.69



LL	PL	PI
<b>75.51</b>	<b>32.13</b>	<b>43.39</b>

**LAMPIRAN 2  
DATA SONDIR**

# SOIL INVESTIGATION BORING LOG AND LABORATORY ANALYSIS

Koordinat UTM:	
X :	660407.00
Y :	9212795.00
Project :	Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
Location :	Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
Method :	Hand Boring & Sampling
Bore No.	BD - 02
STA/KM :	KM 41
Tanggal :	10 Agustus 2020

TECHNICAL BORING

### WATER CONTENT

Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39

Bore No : BD - 02

Depth (m)	1.50 - 2.00	4.50 - 5.00
Sample No.	D6	C8
1. Krus weight + soil humid (gr)	251.00	249.00
2. Krus weight + dry soil (gr)	183.00	175.30
3. Weight of water [ 1 - 2 ] (gr)	68.00	73.70
4. Krus weight (gr)	28.20	28.60
5. Dry soil weight [ 2 - 4 ] (gr)	154.80	146.70
6. Water content (%)	43.93	50.24

### DRY DENSITY

Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik

Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39

Bore No : BD - 02

Depth (m)	1.50 - 2.00	4.50 - 5.00
1. Soil weight + mould (gr)	251.00	249.00
2. Weight mould (gr)	28.20	28.60
3. Soil weight (gr)	222.80	220.40
4. Volume of mould (cc)	128.61	128.61
5. Humid unit weight ( $\gamma_t$ ) (gr/cc)	1.732	1.714
6. Water content (%)	43.93	50.24
7. Dry density ( $\gamma_d$ ) (gr/cc)	1.203	1.141



### SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 & SNI-03-3423-1994

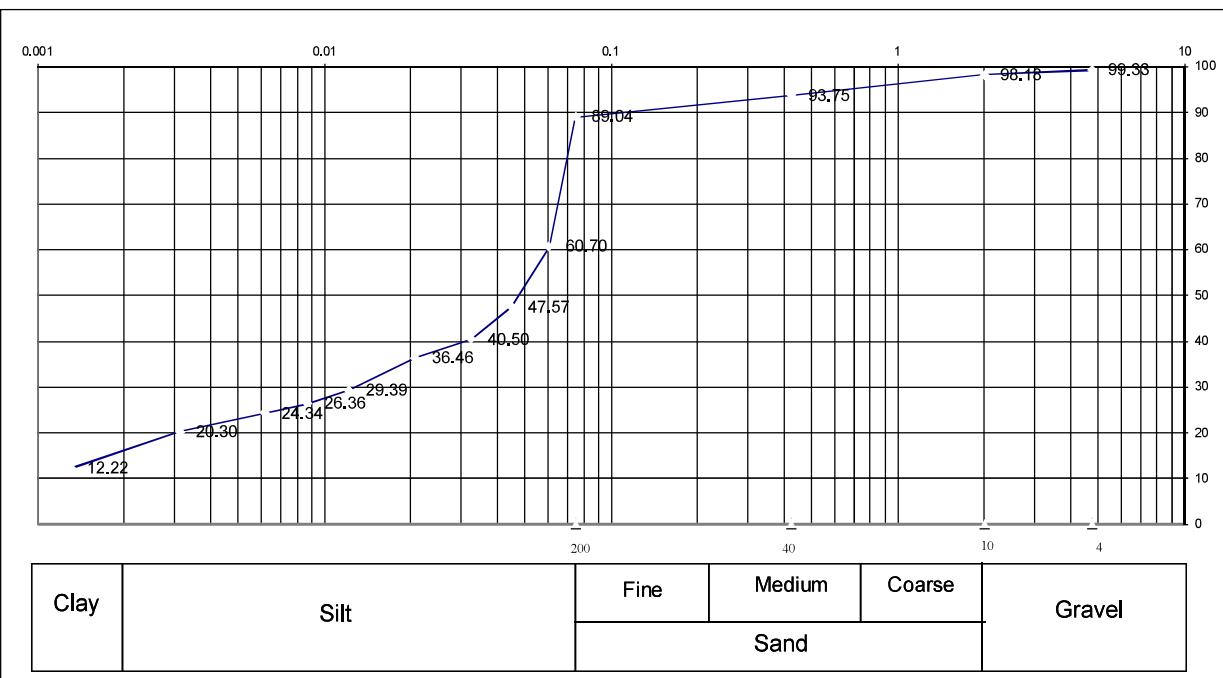
PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 LOCATION : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39  
 BORE NO. : BD - 02  
 KEDALAMAN : 1.50 - 2.00

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.621  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1.01

Weight of Dry Material = **154.80** gram

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	1.04	1.04	0.67	99.33	
No. 8					
No. 10	1.78	2.82	1.82	98.18	
No. 40	6.85	9.67	6.25	93.75	
No. 100					
No. 200	7.30	16.97	10.96	89.04	

Date / Time ( minute )	t time	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	$d = KV^{\frac{L}{T}}$
	0								
	0.5	29	26.0	30.05	27.0	11.87	0.01243	60.70	0.0606
	1		19.5	23.55	20.5	12.94		47.57	0.0447
	2		16.0	20.05	17.0	13.51		40.50	0.0323
	5		14.0	18.05	15.0	13.84		36.46	0.0207
	15		10.5	14.55	11.5	14.41		29.39	0.0122
	30		9.0	13.05	10.0	14.66		26.36	0.0087
	60		8.0	12.05	9.0	14.82		24.34	0.0062
	240		6.0	10.05	7.0	15.15		20.30	0.0031
	1440		2.0	6.05	3.0	15.81		12.22	0.0013



% Gravel = 0.67%  
 % Sand = 9.14%

% Silt = 74.87%  
 % Clay = 15.32%



### SIEVE ANALYSIS & HYDROMETER TEST

SNI-03-1968-1990 & SNI-03-3423-1994

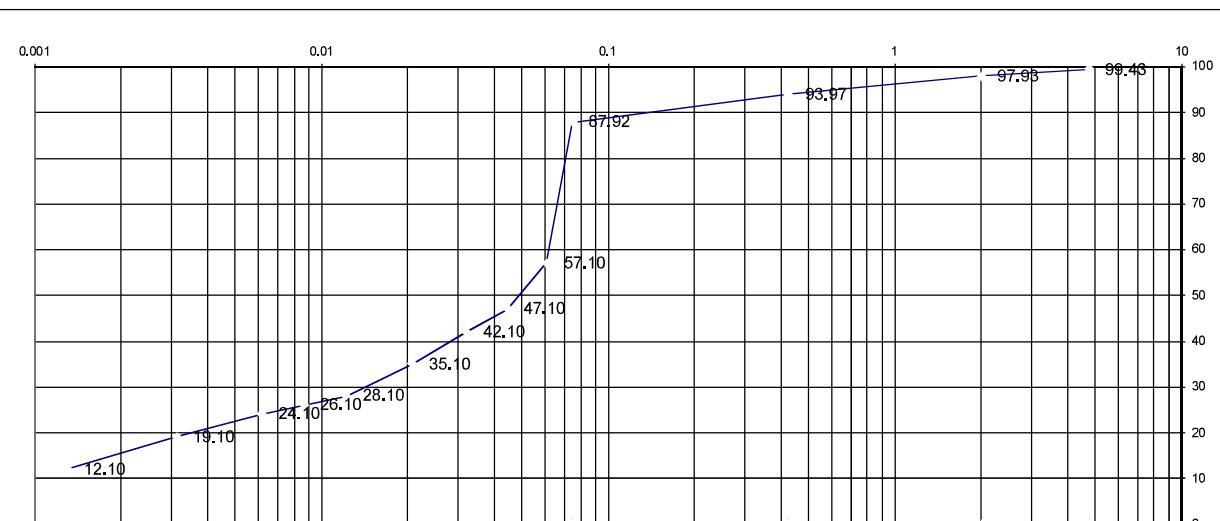
PROJECT : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik  
 LOCATION : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39  
 BORE NO. : BD - 02  
 KEDALAMAN : 4.50 - 5.00

Berat tanah : 50 gram  
 Berat jenis : 2.632  
 Koreksi meniskus : 1  
 Koreksi bacaan Nol, Fz : -1  
 Koreksi temperatur, Ft : 3.05  
 $a = ((2.65-1)/2.65) \times ((Gs/(Gs-1)))$  : 1

Weight of Dry Material = **146.70** gram

Sieve	Weight Retained	Total Weight Retained	% Retained	% Passing	% Total Passing
No. 4	0.83	0.83	0.57	99.43	
No. 8					
No. 10	2.20	3.03	2.07	97.93	
No. 40	5.82	8.85	6.03	93.97	
No. 100					
No. 200	8.87	17.72	12.08	87.92	

Date / Time	t time ( minute )	T°C	R	Rcp (R+Ft-Fz)	Rc1 (R+Fm)	L Tabel.5	K Tabel.6	$\frac{a \cdot Rcp}{W} \times 100$	$d = K\sqrt{\frac{L}{T}}$
	0								
	0.5	29	24.5	28.55	25.5	12.12	0.01239	57.10	0.0610
	1		19.5	23.55	20.5	12.94		47.10	0.0446
	2		17.0	21.05	18.0	13.35		42.10	0.0320
	5		13.5	17.55	14.5	13.92		35.10	0.0207
	15		10.0	14.05	11.0	14.50		28.10	0.0122
	30		9.0	13.05	10.0	14.66		26.10	0.0087
	60		8.0	12.05	9.0	14.82		24.10	0.0062
	240		5.5	9.55	6.5	15.23		19.10	0.0031
	1440		2.0	6.05	3.0	15.81		12.10	0.0013



Clay	Silt	Fine	Medium	Coarse	Gravel
		Sand			

% Gravel = 0.57%  
 % Sand = 10.01%

% Silt = 74.63%  
 % Clay = 14.79%



**CV RUBIKON**

*Soil Investigation & Land Survey*

## SPECIFIC GRAVITY

SNI-03-1964-1990

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02

Depth (m)	1.50 - 2.00	4.50 - 5.00	
No. Piknometer	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>
Weight of Piknometer + Soil ( W <sub>2</sub> ) gr	74.61	77.35	79.42
Weight of Piknometer ( W <sub>1</sub> ) gr	40.21	41.72	41.31
Soil Weight ( W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> ) gr	34.40	35.63	38.11
Temperatur ( T ) °C	29	29	29
Weight of Piknometer + Water ( pada T ) ( W <sub>4</sub> ) gr	140.56	141.87	141.80
( W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> + W <sub>4</sub> ) gr	174.96	177.50	179.91
Weight of Piknometer+Water+Soil ( W <sub>3</sub> ) gr	161.82	163.92	165.41
Soil Volume W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> ± W <sub>4</sub> - W <sub>3</sub>	13.14	13.58	14.50
Specific Gravity $\frac{W_2 - W_1}{W_2 - W_1 + W_4 - W_3}$	2.618	2.624	2.628
<b>Average specific gravity</b>	<b>2.621</b>		<b>2.632</b>

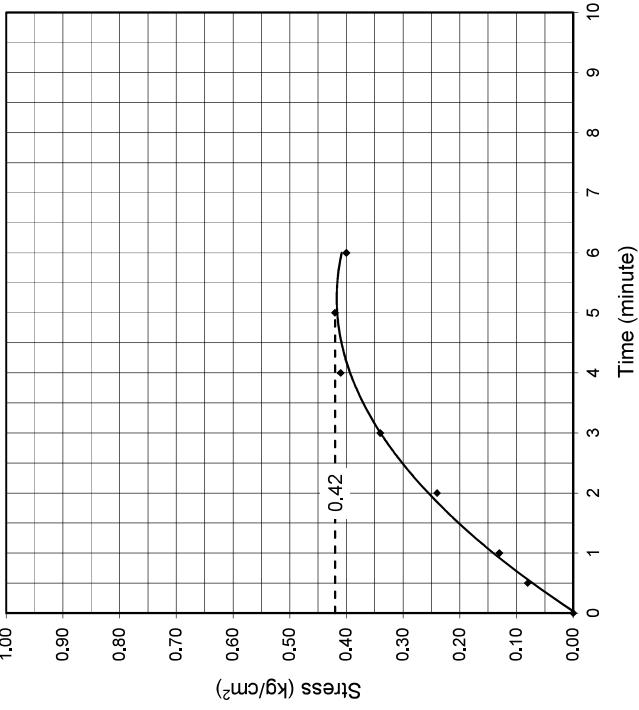
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02
4. Depth : 1.50 - 2.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0	0						
0.5	70	4	0.58	2.32	1.000	30.18	0.08
1	140	7		4.06	1.010	30.48	0.13
2	280	13		7.54	1.020	30.78	0.24
3	420	18		10.44	1.031	31.11	0.34
4	560	22		12.76	1.042	31.44	0.41
5	700	23		13.34	1.053	31.77	0.42
6	840	22		12.76	1.064	32.11	0.40

Soil Type	
Humid Unit Weight	= 1.732 gr/cc
Diameter of Sample	= 6.20 cm
Height of Sample	= 14.00 cm
Initial Area	= 30.18 cm <sup>2</sup>
Volume of Sample	= 422.46 cm <sup>3</sup>
Weight of Sample	= 731.69 gr
Dry Unit Weight	= 1.203 gr/cc
Water Content	= 43.93 %



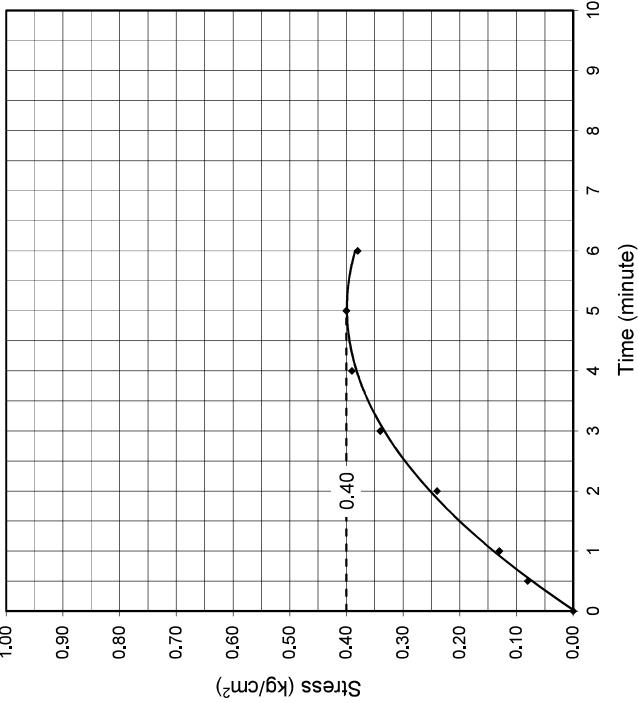
## UNCONFINED TEST

**PB - 0114 - 76**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02
4. Depth : 4.50 - 5.00

Time Minute	Strain Dial reading (%)	Dial reading	Load Ring Calibration	Load (Kg)	Factor Correction	Area Correction (cm <sup>2</sup> )	Stress kg/cm <sup>2</sup>
0	0				1.000	30.18	0.24
0.5	70	4	0.58	2.32	1.005	30.33	0.08
1	140	7		4.06	1.010	30.48	0.13
2	280	13		7.54	1.020	30.78	
3	420	18		10.44	1.031	31.11	0.34
4	560	21		12.18	1.042	31.44	0.39
5	700	22		12.76	1.053	31.77	0.40
6	840	21		12.18	1.064	32.11	0.38

Soil Type		Water Content	
Humid Unit Weight	= 1.714 gr/cc	Weight of Dry Sample + Soil	= 175.30 gr
Diameter of Sample	= 6.20 cm	Weight of Humid Sample + Soil	= 249.00 gr
Height of Sample	= 14.00 cm	Weight of Cup C8	= 28.60 gr
Initial Area	= 30.18 cm <sup>2</sup>	Weight of Water	= 73.70 gr
Volume of Sample	= 422.46 cm <sup>3</sup>	Weight of Sample	= 146.70 gr
Weight of Sample	= 724.09 gr	Water Content	= 50.24 %
Dry Unit Weight	= 1.141 gr/cc		

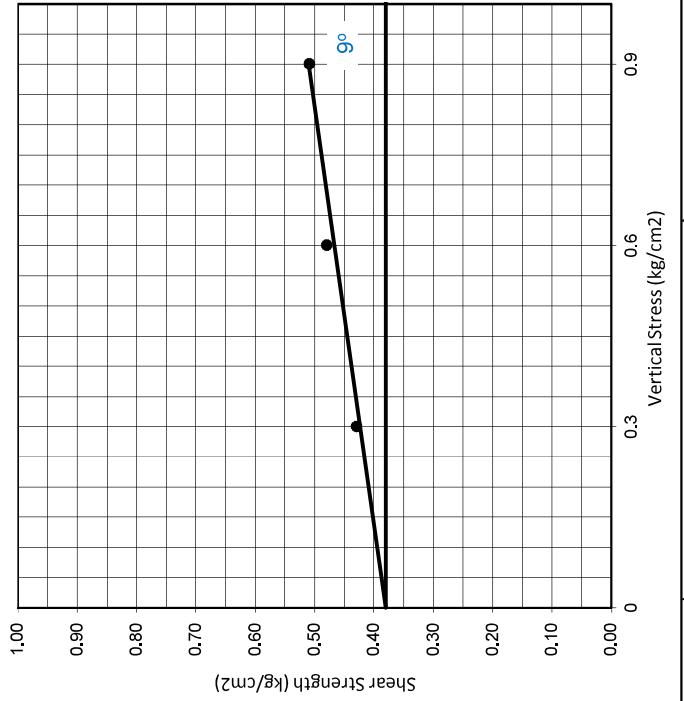


## DIRECT SHEAR TEST

### PB-0116-76

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02
4. Depth : 1.50 - 2.00

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>	P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>	Shear Strength
Time	Dial Reading	Shear Force	Dial Reading	Shear Force
15"	25	5	5	5
30"	50	9	10	11
45"	75	15	16	17
60"	100	19	21	22
75"	125	24	26	28
90"	150	27	30	32
105"	175			
120"	200			
135"	225			



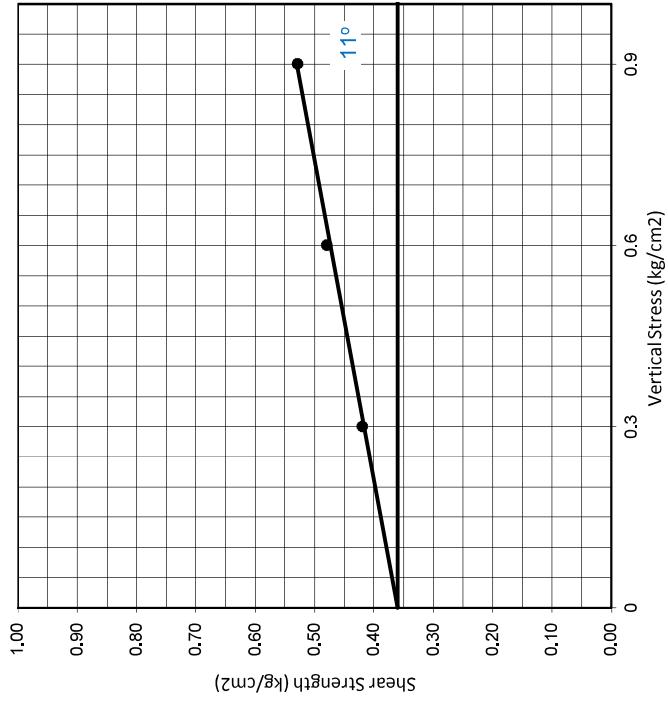
Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 cm C = 0.38 kg/cm <sup>2</sup>	Area = 31.17 cm <sup>2</sup> Q = 9 °
		0.9

## DIRECT SHEAR TEST

### PB-0116-76

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02
4. Depth : 4.50 - 5.00

Normal Stress	P1 = 10 kg T1 = 0.3 kg/cm <sup>2</sup>	P2 = 20 kg T2 = 0.6 kg/cm <sup>2</sup>	P3 = 30 kg T3 = 0.9 kg/cm <sup>2</sup>	Shear Strength
Time	Dial Reading	Dial Reading	Dial Reading	Shear Force
15"	25	4	5	6
30"	50	9	10	11
45"	75	14	16	18
60"	100	18	21	23
75"	125	23	26	29
90"	150	26	30	33
105"	175			
120"	200			
135"	225			

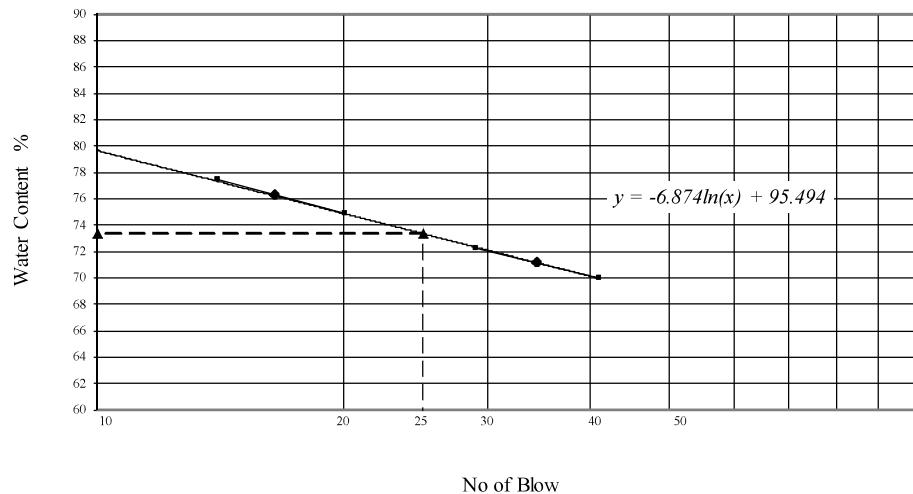


Sample	Diameter = 6.5 cm	Height = 2.5 cm
Equip. Result	Calibration proving = 0.5 -	Area = 31.17 cm <sup>2</sup>
C	= 0.36 kg/cm <sup>2</sup>	Q = 11 °

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02
4. Depth : 1.50 - 2.00

Liquid Limits (LL)	41	29	20	14	Plastic limits	
Krus No :	K6	R9	R3	K12	R30	R16
Krus weight + humid sample (gram)	38.21	38.39	38.77	38.71	31.71	31.82
Krus weight + dry soil (gram)	28.30	28.20	28.20	27.90	27.50	27.70
Weight of water (gram)	9.91	10.19	10.57	10.81	4.21	4.12
Krus weight (gram)	14.15	14.10	14.10	13.95	13.75	13.85
Dry sample weight (gram)	14.15	14.10	14.10	13.95	13.75	13.85
Water Content %	70.04	72.27	74.96	77.49	30.62	29.75

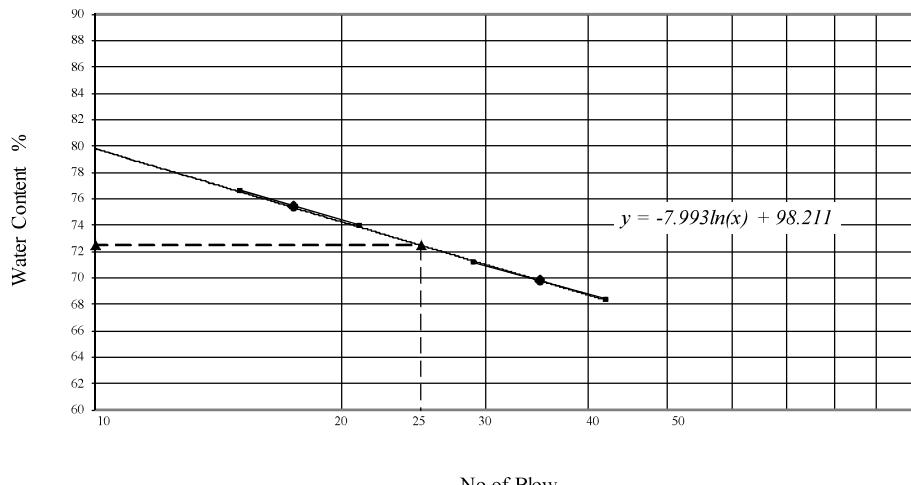


LL	PL	PI
<b>73.37</b>	<b>30.19</b>	<b>43.18</b>

**ATTERBERG TEST**  
**SNI. 03-1966-1990 & SNI.03-1967-1990**

1. Project : Preservasi Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik
2. Location : Jalan Tuban - Babat - Lamongan - Gresik, KM 39
3. Bore No : BD - 02
4. Depth : 4.50 - 5.00

Liquid Limits (LL)	42	29	21	15	Plastic limits	
Krus No :	K10	R36	K11	K7	R26	R5
Krus weight + humid sample (gram)	68.54	70.77	73.50	76.06	31.06	31.74
Krus weight + dry soil (gram)	46.36	47.09	48.18	49.13	26.87	27.53
Weight of water (gram)	22.18	23.68	25.32	26.93	4.19	4.21
Krus weight (gram)	13.93	13.83	13.97	14.00	13.66	13.88
Dry sample weight (gram)	32.43	33.26	34.21	35.13	13.21	13.65
Water Content %	68.39	71.20	74.01	76.66	31.72	30.84



LL	PL	PI
72.48	31.28	41.20

**LAMPIRAN 3  
POTONGAN MELINTANG**

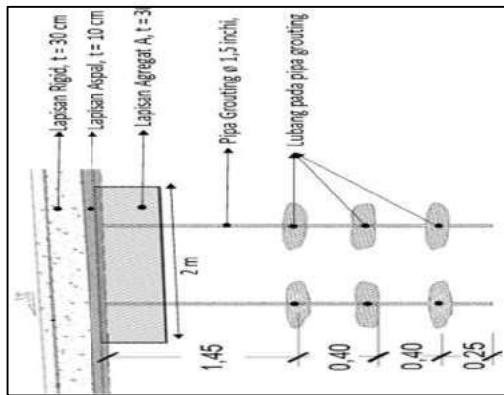
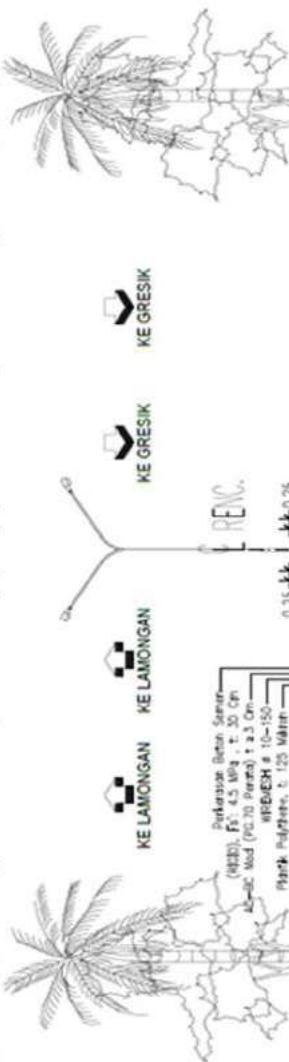
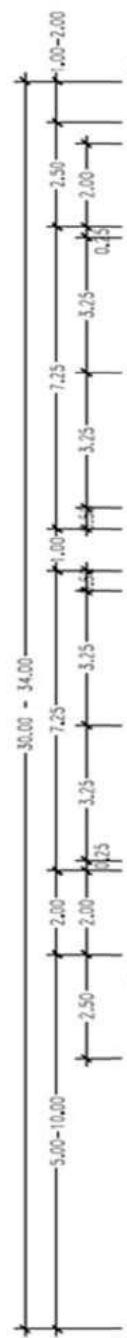


REPUBLIK INDONESIA  
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA  
DALAM KEMENTERIAN PUPR

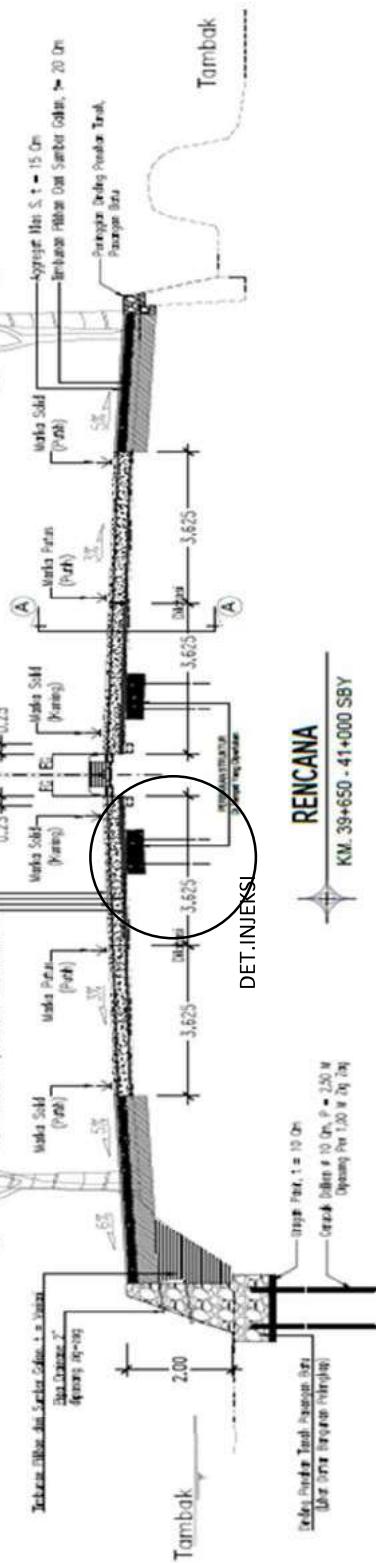
SURVEI DAN PEMERIKSAAN  
JALAN RAYA  
PROVINSI JAWA TIMUR  
LAMONGAN

PT PRIMA CITRA LINDRAWATTA  
Detail Injeksi

Name Project	Start Date	End Date	Client Name	Project Manager
SURVEI DAN PEMERIKSAAN JALAN RAYA PROVINSI JAWA TIMUR LAMONGAN	01/01/2018	01/02/2018	CV. PRIMA CITRA LINDRAWATTA	Prima Citra Lindra Wattha



### DETAIL INJEKSI



### RENCANA

KM. 39+650 - 41+000 SBY