

Analisis Penurunan Tanah dengan Perkuatan *Water Cement Grouting* Pada Proyek Preservasi Ruas Tuban – Babat – Lamongan – Gresik

Soil Settlement Analysis with Water Cement Grouting Reinforcement On Tuban – Babat – Lamongan – Gresik Preservation Project

Intan Yuanita^{1,a)}, Indarto^{2,b)}, Ria Asih Aryani Soemitro^{2,c)} & Nanang Permadi^{3,d)}

¹⁾Magister Superspesialis Preservasi Jalan Pada Kondisi Geoteknik Tanah Sulit, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

²⁾Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

³⁾Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga, Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur – Bali, Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah IV Provinsi Jawa Timur.

Koresponden : ^{a)}intan.yuanita@pu.go.id, ^{b)}indarto1992@gmail.com, ^{c)}ria@ce.its.ac.id & ^{d)}nanangpermadi@pu.go.id

ABSTRAK

Struktur lapisan tanah dasar pada ruas jalan Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan (Km.Sby.39+650 – 41+000) berupa tanah kohesif lempung kelanauan sampai kedalaman 10 meter dengan potensi mengembang tinggi dan daya dukung tanah dasar rendah. Perkuatan tanah dasar dengan metode *water cement grouting* diharapkan dapat memperkuat formasi lapisan tanah dan menjadikan lapisan tanah lebih padat sehingga mampu mendukung beban dengan maksimal dan penurunan (*settlement*) dapat diminimalkan. Untuk mengetahui pengaruh efektifitas penggunaan *water cement grouting* pada badan jalan, ditinjau dari penyebaran dan besar penurunan akibat beban kendaraan dilakukan analisis permodelan pada aplikasi Plaxis. Analisis penurunan disimulasikan dengan variasi panjang sebaran *grouting* 0,5 m, 2,5 m, 5,5 m dan variasi komposisi campuran parameter tanah asli dengan material *water cement grouting* yaitu 10% dan 20% material *grout*. Hasil analisis menunjukkan nilai penurunan tanah pada jalan eksisting sebelum dilakukan perkuatan adalah sebesar 2,892 cm. Pada permodelan dengan variasi panjang sebaran *grouting* menunjukkan bahwa semakin panjang sebaran *grouting* maka penurunan yang terjadi semakin kecil. Pada panjang sebaran *grouting* 0,5 meter rata-rata penurunan semakin mengecil sebanyak 38% dari penurunan tanah asli, pada panjang sebaran *grouting* 2,5 meter rata-rata penurunan tanah mengecil 46% dan pada panjang sebaran 5,5 meter rata-rata penurunan mengecil 72% sedangkan pada permodelan dengan variasi komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli menunjukkan bahwa penurunan tanah memiliki nilai yang hampir sama walaupun panjang sebaran bervariasi, namun cenderung meningkat jika komposisi campuran *grouting* semakin banyak. Secara keseluruhan variasi diatas, penurunan tanah dengan perkuatan *water cement grouting* cenderung mengecil jika dibandingkan dengan penurunan tanah pada kondisi eksisting sehingga perkuatan tanah dengan *water cement grouting* ditinjau efektif dalam mereduksi penurunan tanah.

Kata Kunci : *water cement grouting, penurunan tanah, sebaran grouting, material campuran grouting, plaxis, manajemen aset jalan, preservasi jalan*

PENDAHULUAN

Infrastruktur Jaringan Jalan pada dasarnya diadakan untuk mengalirkan Lalu-Lintas (Soemitro & Suprayitno, 2020; Suprayitno & Soemitro, 2018). Jalan merupakan prasarana transportasi yang menghubungkan satu tempat tertentu dengan yang lain dalam suatu sistem jaringan jalan. Sistem tersebut secara utuh harus dapat memberikan pelayanan akan kebutuhan pergerakan orang dan barang antar wilayah secara efisien. Efisiensi pergerakan tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi ruas-ruas jalan dalam jaringan jalan. Bila efisiensi tersebut dicapai, diharapkan pertumbuhan ekonomi akan membaik, yang pada akhirnya dapat menunjang tercapainya kesejahteraan masyarakat.

Dalam Jaringan Jalan Nasional Provinsi Jawa Timur khususnya di Tuban, Babat, Lamongan, Gresik dan Wilayah Lainnya, Ruas Jalan memiliki peran penting dalam menunjang kelancaran pergerakan lalu lintas, sekaligus sebagai prasarana aksesibilitas antar wilayah yang lebih luas berskala Nasional.

Pada tahun 2020 berdasarkan survey lapangan yang dilaksanakan oleh Pelaksana Kegiatan Penanganan Jalan yaitu PPK 4.5 Kondisi ruas Jalan eksisting Tuban – Babat – Lamongan – Gresik, khususnya pada ruas Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby.39+650 – 41+000 mengalami kerusakan berupa retak, bergelombang, terjadi penurunan setempat dan berlubang. Dari hasil pengujian laboratorium, didapatkan informasi bahwa tanah pada ruas tersebut didominasi oleh jenis tanah kohesif lempung kelanauan sampai kedalaman 10 meter dimana persentase butiran lolos saringan no. 200 lebih dari 90%. Nilai Indeks Plastisitas berkisar antara 40% - 45%, masuk dalam kategori potensi mengembang tinggi dan daya dukung tanah dasar rendah.



Gambar 1. Peta Lokasi Dan Kondisi Jalan Eksisting Bts.Kab.Gresik – Bts.Kota Lamongan Km.Sby.39+650 – 41+000

Berdasarkan pertimbangan permasalahan diatas, pada awal Tahun Anggaran 2021, Pejabat Pembuat Komitmen 4.5 Pelaksanaan Jalan Nasional Tuban – Babat – Lamongan – Gresik (PPK 4.5), melaksanakan Paket Pekerjaan Preservasi Jalan Tuban – Babat – Lamongan – Gresik dengan skema *long segment* yaitu penanganan Preservasi Jalan dalam batasan satu panjang segmen yang menerus (bisa lebih dari satu ruas) yang dilaksanakan dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi jalan yang seragam yaitu jalan mantab dan standart sepanjang Segment. Pekerjaan ini meliputi rekonstruksi perkerasan jalan dari *flexible pavement* menjadi *rigid pavement*, membuat saluran drainase dan Tembok Penahan Tanah (TPT), serta perkuatan *subgrade* tanah menggunakan metode *water cement grouting*, yaitu suatu model injeksi semen dan air dengan tekanan tertentu menggunakan kolom pipa baja berlubang sebagai penyalur bahan *grouting* yang ditanam sampai lapisan *subgrade* kedalam rongga, pori, rekahan tanah yang selanjutnya cairan tersebut dalam waktu tertentu menjadi padat secara fisika maupun kimiawi.

Dengan adanya perkuatan *water-cement grouting* ini diharapkan dapat memperkuat formasi lapisan tanah dan menjadikan lapisan tanah lebih padat sehingga mampu mendukung beban dengan maksimal dan penurunan (*settlement*) dapat diminimalkan dengan adanya sebaran *water cement grouting* didalam lapisan tanah.

Untuk melihat pengaruh efektifitas penggunaan *water cement grouting* pada badan jalan, ditinjau dari penyebaran dan besar penurunan akibat beban kendaraan, dilakukan analisis permodelan pada aplikasi Plaxis. Pada penelitian ini akan dianalisis besar penurunan tanah pada kondisi tanah sebelum dan setelah dilakukan perkuatan *water cement grouting* dengan permodelan menggunakan program Plaxis terhadap komposisi campuran parameter tanah dengan material *water cement grouting* dan sebarannya. Kemudian dari hasil analisis tersebut akan disusun grafik hubungan penurunan tanah terhadap komposisi campuran parameter tanah dan material *water cement grouting* beserta sebarannya. Hasil dari studi ini diharapkan dapat dijadikan referensi dan bahan evaluasi penanganan ruas jalan dengan perbaikan struktur tanah dasar menggunakan metode *grouting*.

METODA PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisa numerik dengan Metode Elemen Hingga menggunakan bantuan program Plaxis 2D. Beberapa tahapan metode yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pengamatan Lapangan

Melakukan pengamatan lapangan dengan mengkaji permasalahan kondisi di jalan eksisting serta pengamatan pelaksanaan perkuatan *water cement grouting* di lapangan. Pelaksanaan perkuatan *water cement grouting* dilapangan diawali dengan mengebor lubang yang akan ditanam pipa *grouting* sepanjang 2,5 m dari lapisan tanah sirtu. Diameter pipa *grouting* sebesar 1,25 dim (3,18 cm) dan diberi lubang pada sisi pipa agar material *grouting* dapat menyebar ke dalam tanah. kemudian pada pelaksanaan *grouting* tekanan injeksi *grouting* diberikan sebesar 5 bar (500 Kpa) sampai material *grouting* menembus ke pipa terdekat.

Pengumpulan Data Lapangan

Data yang didapat adalah data sekunder berupa data SPT dari pengujian bor dalam, data karakteristik fisik dan mekanik tanah existing dari pengujian pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*undisturb sample*) dan data gambar detail potongan melintang pekerjaan *grouting*.

1. Data SPT dari pengujian bor dalam

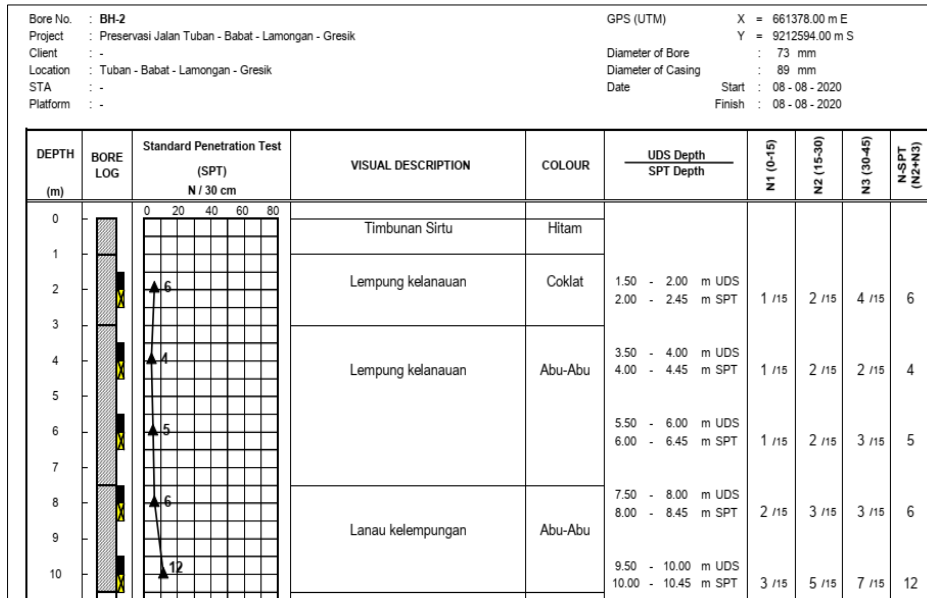


Gambar 2. Lokasi Penyelidikan Tanah BD dan BH

Tabel 1. Lokasi Penyelidikan Tanah Bor Dalam (BD) dan Bor Dangkal (BH)

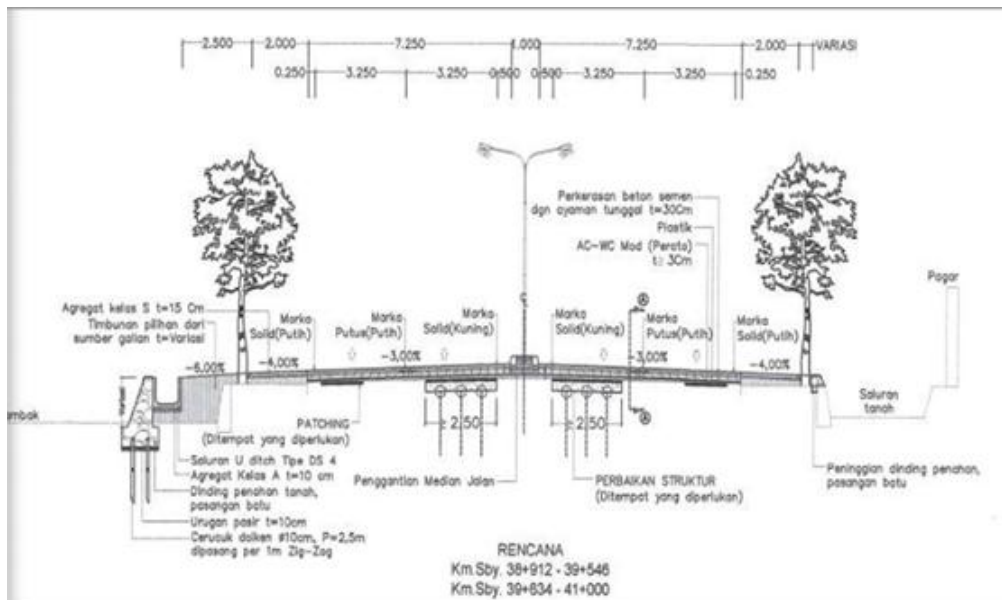
Titik	Lokasi	Koordinat UTM	
BD	Km. 39+990	661378	9212594
BH	Km. 41+000	660407	9212795

sumber : PPK.4.5 TBLG



Gambar 3. Nilai N-SPT Pengujian Bor Dalam pada titik BH
Sumber: PPK 4.5 TBLG

2. Gambar desain potongan melintang pekerjaan *grouting* Km.Sby 39+634 - 41+000



Gambar 4. Potongan Melintang Km.Sby 39+634 - 41+000

3. Data karakteristik fisik dan mekanik tanah existing dari pengujian pengambilan contoh tanah tidak terganggu (*undisturb sample*)
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*.

Tabel 2. Data Properties Tanah

Deskripsi Tanah	Timbunan Sirtu	Lempung	Lempung	Lanau		
		Kelanauan Coklat	Kelanauan Abu	Kelempungan Abu		
Kedalaman UDS	0 - 1	1 - 3	3 - 5	5 - 7,5	7,5 - 9,5	9,5 - 10,5
Tebal Lapisan (m)	1,00	2,00	4,50		3,00	
Uji Sifat Fisik Tanah						
Fraksi Kerikil (<i>Gravel</i>)	(%)	0,00	3,09	12,47	0,00	0,00
Fraksi Pasir (<i>Sand</i>)	(%)	2,94	10,54	10,00	0,31	7,97
Fraksi Lanau (<i>Silt</i>)	(%)	80,19	71,56	62,30	83,81	76,33
Fraksi Lempung (<i>Clay</i>)	(%)	16,87	14,80	15,23	15,88	15,71
Uji Sifat Mekanik Tanah						
Uji Kuat Tekan Bebas (<i>Unconfined test</i>)	q_u (kg/cm^2)	0,39	0,33	0,33	0,37	0,35
	ϕ ($^\circ$)	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

Penentuan Permodelan Pada Program Plaxis

Pemodelan dilakukan berdasarkan potongan melintang sesuai gambar desain (Gambar4). Permodelan dilakukan dengan *tipe plane strain* dengan element 15 nodes. Tahap permodelannya yaitu input parameter tanah, input parameter material *grouting*, penggambaran potongan melintang jalan, input beban, input muka air tanah, *stage construction* dan *calculation*. Permodelan pada lapisan sirtu dan agregat dipilih Mohr Coulomb dalam kondisi *drained* karena berada diatas muka air tanah dan permodelan tanah dasar pada plaxis 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 pembebanan sudah tidak terjadi perubahan volume tanah yang signifikan. Sedangkan permodelan untuk lapisan perkerasan aspal dan beton dipilih menggunakan *Non Porous* dengan kondisi *Linear elastic*.

Tabel 3. Permodelan dan Kondisi dalam Plaxis

Deskripsi	Permodelan	Kondisi
Rigid	Non Porous	Linear Elastic
Aspal	Non Porous	Linear Elastic
Agregat A	Mohr Coulomb	Drained
Sirtu	Mohr Coulomb	Drained
Lanau Kelempungan Coklat	Mohr Coulomb	Undrained B
Lanau Kelempungan Abu	Mohr Coulomb	Undrained B
Lempung Kelanauan Abu	Mohr Coulomb	Undrained B

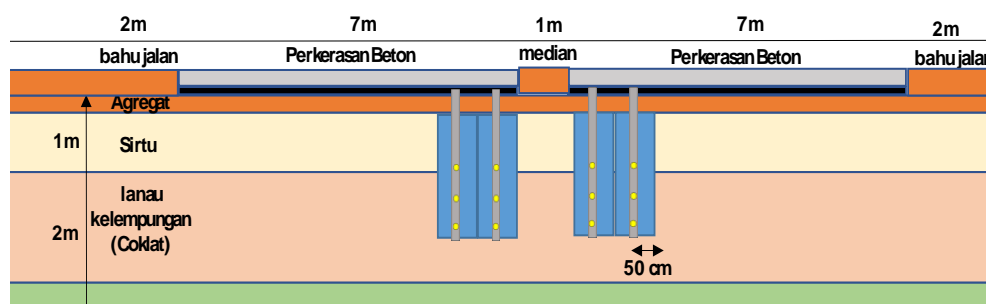
Analisis penurunan tanah (*settlement*) disimulasikan berdasarkan variasi komposisi campuran material *water cement grouting* dengan tanah asli dan variasi sebaran *grouting*.

Komposisi campuran material ini berdasarkan data pada pelaksanaan *water cement grouting* di lapangan, dimana kapasitas tangki pencampur bahan material sebanyak 500 ml digunakan untuk 2 sampai 3 kali injeksi atau paling banyak sekitar 20 persen dari luasan tanah. Ada dua variasi komposisi campuran yang akan digunakan, yaitu :

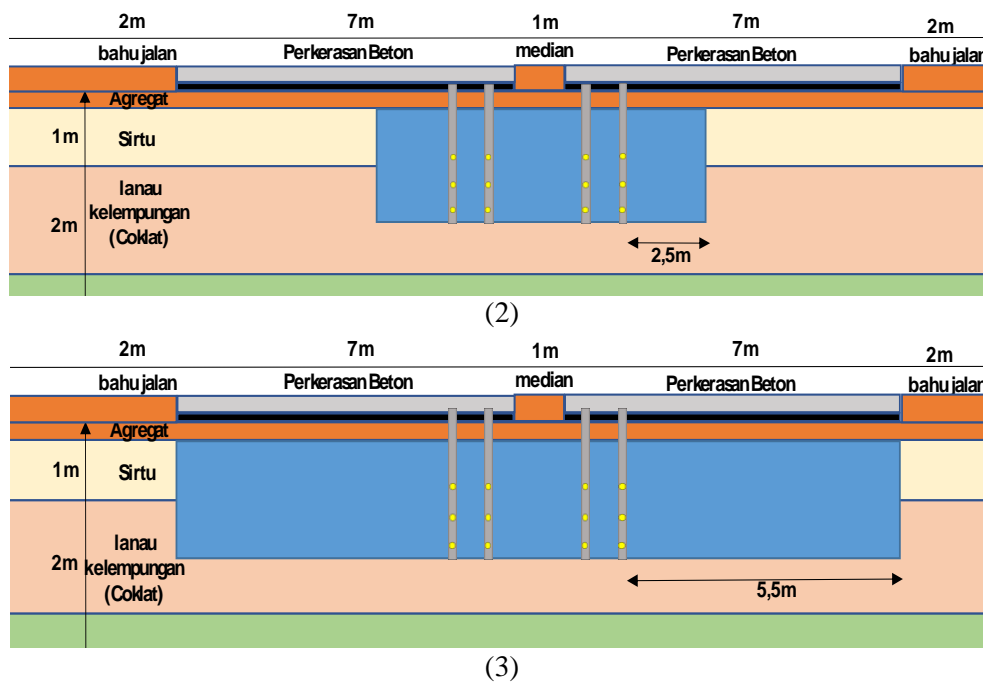
1. Parameter Tanah Asli (90%) + Parameter *Water cement grouting* (10%)
2. Parameter Tanah Asli (80%) + Parameter *Water cement grouting* (20%)

Penyelidikan tanah untuk mengetahui sebaran *grouting* tidak dilakukan pada pelaksanaan proyek ini, maka sebaran *grouting* akan dimodelkan bervariasi berdasarkan pengamatan di lapangan yaitu sebaran *grouting* dari pipa *grouting* di jalur yang dekat dengan median jalan pada beberapa lokasi jalan meluber sampai ke bahu jalan tetapi pada beberapa bagian jalan penyebaran *grouting* hanya meluber disekitar pipa saja, sehingga potensi penyebaran *grouting* lebih mendominasi pada lapisan timbunan/sirtu. Dengan demikian akan dibuat tiga variasi panjang sebaran *grouting* dengan tebal masing – masing variasi yaitu sedalam 2,5 meter sesuai kedalaman pipa *grouting* yaitu :

1. Variasi sebaran *grouting* dengan panjang 0,5 m (di sekitar pipa *grouting* saja)
2. Variasi sebaran *grouting* dengan panjang 2,5 m (setengah badan jalan) dari pipa *grouting* terluar.
3. Variasi sebaran *grouting* dengan panjang 5,5 m (sampai bahu jalan) dari pipa *grouting* terluar.



(1)



Gambar 5. Variasi Sebaran *Grouting*

Penentuan *Material Properties* Pada Program Plaxis

Setelah didapatkan data sekunder dari tahap pengumpulan data dan penentuan permodelan variasi pada plaxis selanjutnya dilakukan penentuan data material yang akan diinput pada program plaxis. Data material yang dibutuhkan adalah data parameter perkerasan jalan, parameter tanah dasar dan parameter campuran material *grouting* dengan tanah asli.

1. Parameter lapisan perkerasan jalan

Perkerasan jalan sebelum dilakukan perkuatan *water cement grouting* adalah *flexible pavement* dengan material aspal AC-WC tebal 4 cm dan AC-BC tebal 6 cm dan pada lapisan base terdapat material agregat A dengan tebal 15 cm, setelah perkuatan *water cement grouting*, perkerasan ditambah dengan *rigid Pavement* diatas perkerasan eksisting tebal 30 cm. Berikut adalah nilai parameter perkerasan jalan.

Tabel 4. Nilai Parameter Perkerasan Jalan

Nama Layer	γ_{sat}	γ_{unsat}	k	E'	ν'	c	ϕ
Perkerasan	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(m/day)	(kN/m^2)		(kN/m^2)	($^\circ$)
Agregat A	23	23	$8,64 \times 10^{-1}$	500000	0,35	25	35
Aspal	23	23	-	2000000	0,35	-	-
Beton	24	24	-	28000000	0,15	-	-

2. Parameter lapisan tanah dasar

Pada lapisan tanah dasar parameter yang digunakan didapatkan berdasarkan korelasi dan data N-SPT. Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) didapat dari tabel korelasi empiris nilai N-SPT dan berat Jenis tanah Jenuh (γ_{sat}) untuk Tanah Kohesif (Bowles, JE, 1979). Modulus elastisitas (E') didapatkan dari tabel korelasi jenis tanah dan nilai modulus juga persamaan koreksi modulus elastis (E_s) dan N-SPT (Bowles, 1996). Permeabilitas tanah (K) juga didapatkan dari tabel korelasi deskripsi tanah dengan nilai koefisien permeabilitas (Wesley, L.D, 1997). Poisson ratio didapat dari tabel korelasi jenis tanah dan poisson rasion (Bowles, JE, 1979) . Nilai Kuat Geser *Undrained*

(Cu=Su) didapatkan dari tabel korelasi antara CI, N, dan Cu (Szechy dan Varga, 1978). Nilai Tipikal c' dan ϕ pada kondisi *drained* didapatkan dari tabel Australian Standarts for Retaining Walls (As 4678). Sudut geser dalam (ϕ) pada kondisi *undrained* adalah 0.

Tabel 5. Nilai Parameter Tanah Asli

Nama Layer	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	K _{x,y} (m/day)	E' (kN/m ²)	v'	c (kN/m ²)	cu (kN/m ²)	ϕ (°)
Sirtu	18	18	8,64x10 ⁻¹	50000	0,3	1	-	35
Lempung Kelanauan (Coklat)	17	17	8,64x10 ⁻⁴	3000	0,4	-	15	-
Lempung Kelanauan (Abu)	17	17	8,64x10 ⁻⁴	3000	0,4	-	14	-
Lanau Kelempungan (Abu)	19	19	8,64x10 ⁻³	7000	0,4	-	40	-

3. Parameter Campuran *Grouting*

Material *Grouting* yang digunakan pada Proyek Preservasi Tuban – Babat – Lamongan - Gresik ini merupakan semen type *Portland Composite Cement* (PCC) untuk bahan pengikat yang dicampur dengan air. Komposisi perbandingan faktor Semen : Air adalah 1 : 3 = 50 kg semen (15,92 liter) : 150 liter air. Karena tidak tersedia data sekunder maupun primer untuk propertis material semen *grout*, maka sebagai bahan input parameter *water cement grouting* di program plaxis menggunakan pendekatan parameter material beton mortar.

Tabel 6. Nilai Parameter *Grouting*

Nama Parameter	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{unsat} (kN/m ³)	k (m/day)	E' (kN/m ²)	V'	c (kN/m ²)	cu (kN/m ²)	ϕ (°)
<i>Grouting</i>	23	23	-	17000000	0,1	533,33	800	20

ANALISIS PENELITIAN

Analisis komposisi Komposisi Campuran Material *Water Cement Grouting* Dengan Tanah Asli

Analisis Komposisi campuran material ini berdasarkan data pada pelaksanaan *water cement grouting* di lapangan. Penyebaran *grouting* hanya mencapai lapisan sirtu dan lempung kelanauan coklat saja sedalam 2,5 meter. Berikut adalah tabel komposisi campuran parameter *water cement grouting* dengan tanah asli.

1. Parameter Tanah Asli (90%) + Parameter *Water Cement Grouting* (10%)
2. Parameter Tanah Asli (80%) + Parameter *Water Cement Grouting* (20%)

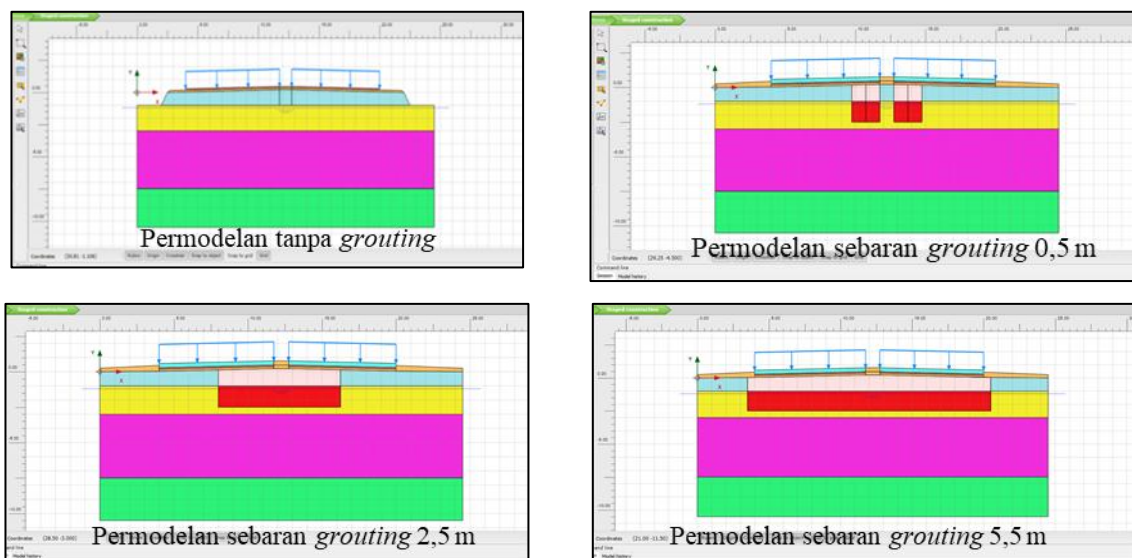
Tabel 7. Tabel Komposisi Campuran Parameter *Grouting* Dengan Tanah Asli

Komposisi Campuran Material	$\gamma_{sat} / \gamma_{unsat}$ (kN/m ³)	K _{x,y} (m/day)	E (kN/m ²)	v' (kN/m ²)	c (kN/m ²)	cu (kN/m ²)	ϕ (°)
10% grout +90% Timbunan	18,5	0,864	1.745.000	0,28	54,2	-	33,5
10% grout +90% LK	17,6	0,000864	1.702.700	0,37	-	93,50	-
20% grout +80% Timbunan	19	0,00864	3.440.000	0,26	107,5	-	32
20% grout +80% LK	18,2	0,000864	3.402.400	0,34	-	172,00	-

Keterangan : LK = Lapisan ke 2 Lempung Kelanauan (Coklat)

Analisis Permodelan Tanpa *Grouting* Dan Dengan Variasi Sebaran *Grouting*

Pemodelan pada Plaxis dilakukan berdasarkan Potongan melintang berdasarkan gambar desain (Gambar 2). Hasil pemodelan pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Permodelan sebaran *grouting*

Setelah pemodelan 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. Kemudian proses analisis dilanjutkan dengan input muka air tanah.

Proses analisis terakhir pada aplikasi Plaxis ini adalah *staged construction*. Pada tahap ini dilakukan variasi terhadap panjang sebaran yang di analisis. Masing-masing fase memiliki *calculation type* yang sama yaitu *K0 Procedure* karena kondisi lapisan tanah lurus horizontal, *Phase Rigid* merupakan tahap mengaktifkan perkerasan *rigid* dengan *calculation type plastic*. *Phase load* merupakan tahap mengaktifkan beban dengan *calculation type plastic*. Beban yang diinput adalah sama pada setiap *phase* yaitu beban maksimal lalu lintas yang disyaratkan untuk jalan Nasional yaitu 20 kN/m². Kemudian masing – masing *phase* campuran *grout* dan panjang sebaran diaktifkan dan diganti materialnya sesuai prosentase campurannya. Pada setiap campuran *grout* dan panjang sebaran, ditambahkan satu *phase load* dengan *calculation type plastic*. Setelah seluruh *phase* telah di input, dilakukan *calculation* terhadap seluruh *phase* tersebut. *Calculation* dilakukan dengan tidak memilih *nodes* karena tidak diperlukan menganalisis menggunakan grafik *output* dari Plaxis. Setelah proses *calculation* seluruh *phase* selesai, masing-masing *phase* tersebut ditinjau total deformasi vertikalnya (U_y) pada

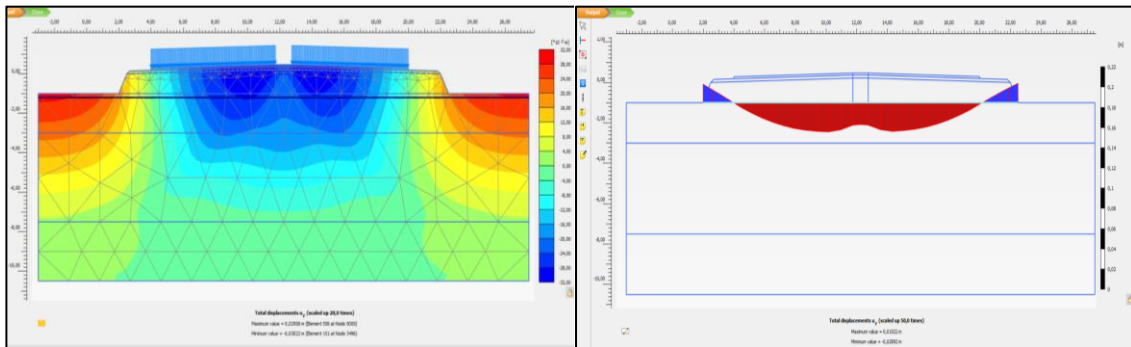
lapisan yang mengalami perkuatan *grouting* yaitu pada kedalaman 1 meter dari permukaan tanah dasar yaitu pada lapisan lanau kelempungan (coklat)

Analisis Penurunan Tanah

Pada masing-masing variasi panjang sebaran *grouting* dan campuran materialnya ditinjau penurunan tanahnya. Berikut keluaran (*output*) dari aplikasi plaxis pada tanah asli dan masing - masing variasi sebaran *grouting*.

1. *Output* penurunan pada eksisting jalan tanpa perkuatan *grouting*

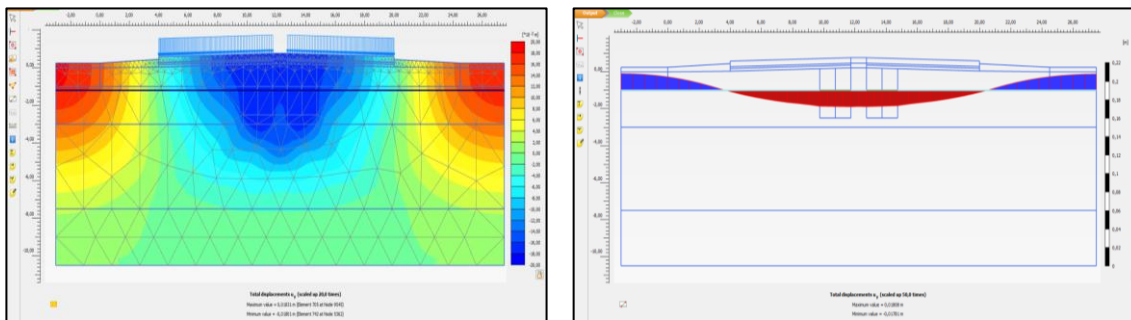
Analisis deformasi vertikal (U_y) ditinjau pada kedalaman – 1 meter pada lapisan tanah lanau kelempungan (coklat) menunjukkan terjadi penurunan tanah 0,02892 meter



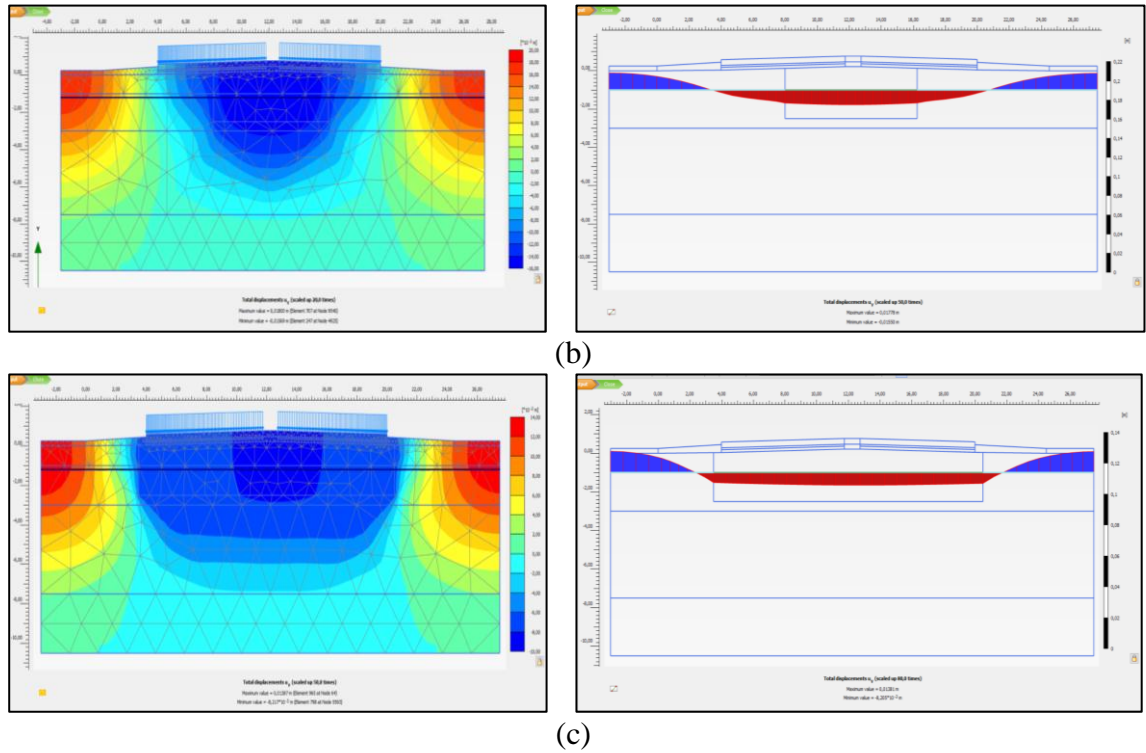
Gambar 7. *Output* penurunan (U_y) pada jalan eksisting tanpa perkuatan *grouting* pada kedalaman – 1 meter pada lapisan tanah lanau kelempungan

2. *Output* penurunan pada variasi komposisi campuran material *water cement grouting* 10 % dengan tanah asli 90% ditinjau pada kedalaman – 1 meter pada tanah lanau kelempungan (coklat)

- a. Analisis deformasi vertikal (U_y) pada sebaran 0,5 meter menunjukkan terjadi penurunan tanah sebesar 0,01781 meter
- b. Analisis deformasi vertikal (U_y) pada sebaran 2,5 meter menunjukkan terjadi penurunan tanah sebesar 0,01550 meter
- c. Analisis deformasi vertikal (U_y) pada sebaran 5,5 meter menunjukkan terjadi penurunan $8,205 \times 10^{-3}$ meter

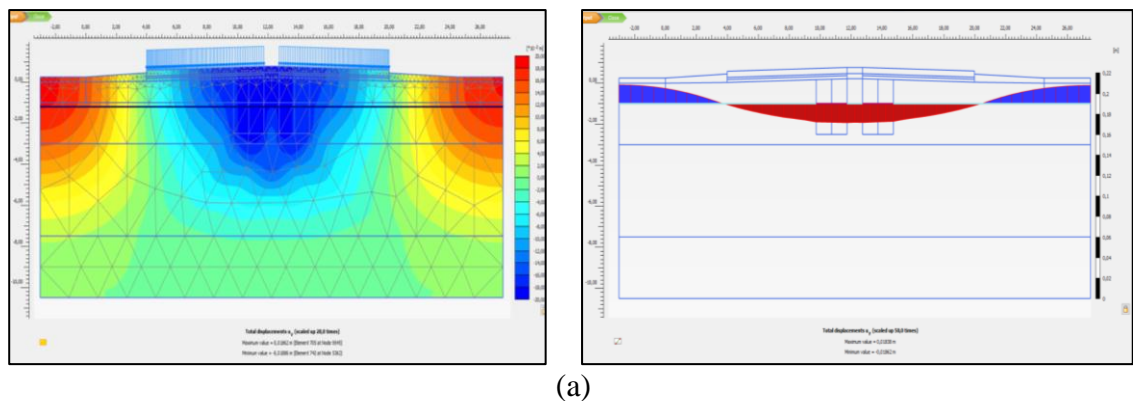


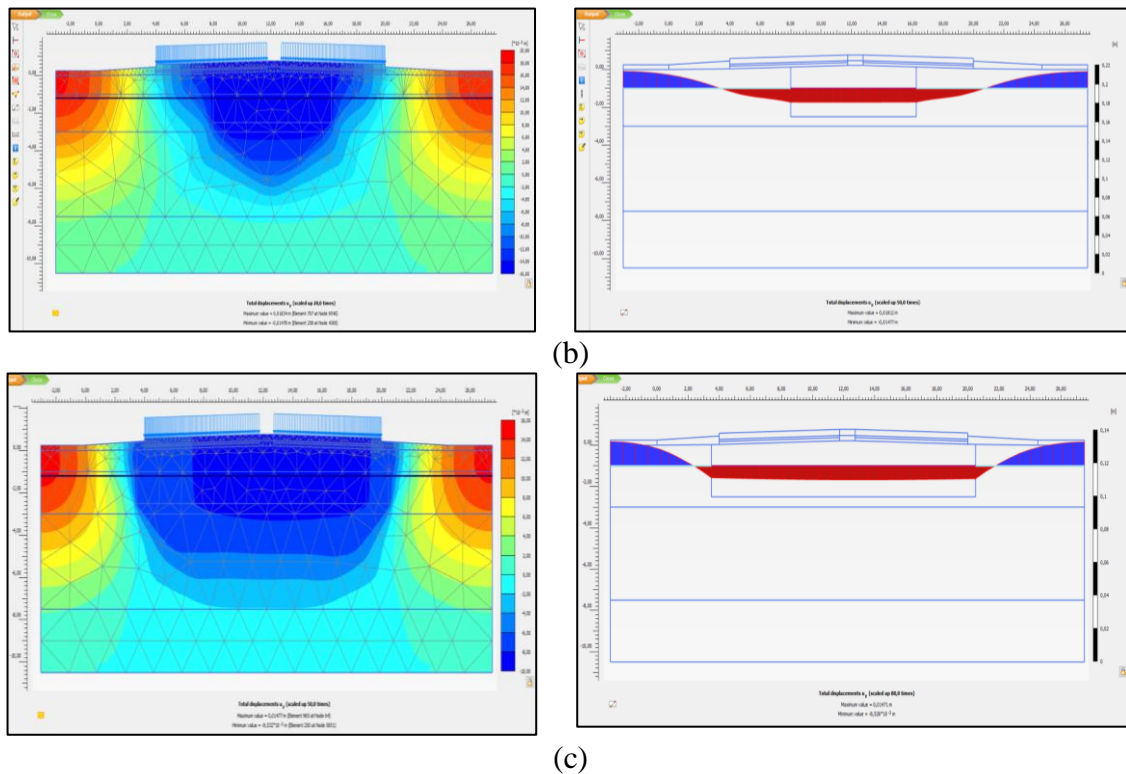
(a)



Gambar 8. Output penurunan (U_y) pada variasi komposisi campuran material *water cement grouting* 10 % dengan tanah asli 90%

3. Output penurunan pada variasi komposisi campuran material *water cement grouting* 20 % dengan tanah asli 80% ditinjau pada kedalaman – 1 meter pada tanah lanau kelepungan
- a. Analisis deformasi vertikal (U_y) pada sebaran 0,5 meter menunjukkan terjadi penurunan tanah sebesar 0,01862 meter
 - b. Analisis deformasi vertikal (U_y) pada sebaran 2,5 meter menunjukkan terjadi penurunan tanah sebesar 0,01477 meter
 - c. Analisis deformasi vertikal (U_y) pada sebaran 5,5 meter menunjukkan terjadi penurunan $8,526 \times 10^{-3}$ meter





Gambar 9. Output penurunan (U_y) pada variasi komposisi campuran material *water cement grouting* 20 % dengan tanah asli 80%

Dapat dilihat pada gambar hasil potongan melintang pada setiap variasi terlihat bahwa penurunan tanah sebelum adanya perkuatan *water cement grouting* cenderung tidak merata dan tidak stabil sehingga dapat mengakibatkan penurunan yang berbeda pada beberapa bagian jalan, setelah dilakukan perkuatan *water cement grouting*, penurunan terlihat lebih stabil dan merata pada bagian jalan terutama bila sebaran *grouting* sampai ke bahu jalan.

Analisis deformasi dilanjutkan pada analisis hubungan kombinasi variasi komposisi campuran material *water cement grouting* dengan tanah asli dan sebaran *grouting* Terhadap penurunan tanah. Rekapitulasi deformasi vertikal (U_y) pada berbagai kondisi variasi dapat dilihat pada Tabel 8.

Gambar 10 menunjukkan grafik hubungan jangkauan sebaran *grouting* dan campuran variasi *grouting* dengan total penurunan yang menyatakan bahwa semakin panjang sebaran *grouting* maka penurunan semakin kecil dan semakin banyak komposisi campuran *grouting* maka penurunan meningkat.

Tabel 8. Rekapitulasi hubungan variasi komposisi campuran material *water cement grouting* dengan tanah asli dan sebaran *grouting* terhadap penurunan tanah

No	Komposisi Campuran Grouting dengan Tanah Asli dan Panjang Sebarannya	Penurunan (U_y) m
1	Eksisting	0,02892
2a	Grout 10 % Sebaran 0,5 m	0,01781
2b	Grout 10 % Sebaran 2,5 m	0,01550
2c	Grout 10 % Sebaran 5,5 m	0,00821
3a	Grout 20 % Sebaran 0,5 m	0,01862
3b	Grout 20 % Sebaran 2,5 m	0,01477
3c	Grout 20 % Sebaran 5,5 m	0,00852



Gambar 10. Output penurunan (U_y) pada variasi komposisi campuran material *water cement grouting* dengan tanah asli dan panjang sebaran *grouting* terhadap penurunan tanah

Pada jalan eksisting sebelum perkuatan *water cement grouting*, penurunan total yang terjadi adalah 0,02892 meter. Pada komposisi campuran *grout* 10 % dengan variasi panjang sebaran *grouting* 50 cm nilai penurunan menjadi 0,01781 m mengecil 38,79 %, dengan variasi panjang sebaran 2,5 meter penurunan menjadi 0,01550 meter mengecil 49,39%, dan dengan variasi panjang sebaran 5,5 meter penurunan menjadi 0,005821 meter mengecil 77,73% . Penurunan tanah pada analisis ini memiliki hasil yang bervariasi ditinjau dari peningkatan panjang sebarannya, namun penurunan tanah cenderung mengecil jika jangkauan sebaran *grouting* semakin panjang.

Sedangkan berdasarkan komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli dapat dilihat pada panjang sebaran 0,5 meter dengan komposisi campuran *grout* 10 % penurunan tanah adalah 0,0781 meter, dengan komposisi campuran *grout* 20 % penurunan tanah meningkat menjadi 0,01862 meter, tetapi dengan penambahan panjang sebaran 2,5 meter pada komposisi campuran *grout* 10 % penurunan tanah menjadi 0,0155 meter dan pada campuran *grout* 20% penurunan tanah mengecil menjadi 0,01477 meter, hingga pada panjang sebaran 5,5 meter campuran *grouting* 10% dan 20% mendekati nilai penurunan yang hampir sama yaitu 0,00821 meter dan 0,00853 meter. Penurunan tanah pada analisis komposisi campuran *grouting* memiliki nilai yang bervariasi, namun cenderung mengecil jika komposisi campuran *grouting* semakin banyak.

Pendekatan penelitian tentang sebaran *grouting* dalam mereduksi penurunan tanah pernah dilakukan oleh Hewen Ma, Wanghua Sui, dan Jianming Ni 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 pembebanan. 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 pembebanan.

Penelitian tentang sebaran *grouting* juga pernah dilakukan oleh Muhsion Chang, et.al, 2015 dalam Jurnal “*Ground Response and Grout Distribution by Field Soil Grouting*” membahas mengenai perilaku tanah, mekanisme injeksi dan distribusi *grout* yang dihasilkan dari pengamatan *grouting* dilapangan. Uji coba *grouting* dilakukan dengan melakukan

penggalian poros kerja selebar 6m x 6m dengan kedalaman 8,5 m. *Sheet pile wall* dipasang sebelum pelaksanaan *grouting* untuk membatasi penyebaran *grout*. 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: pemadatan, permeasi dan rekahan 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. 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 rekahan hidrolik *grout*. Rekahan 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.

Umumnya, efektivitas *grouting* tergantung pada kontrol yang tepat dari mekanisme injeksi, serta prediksi yang baik dari luas *grout* dan respon tanah. Namun, tidak satu pun di atas yang mudah diperoleh karena fakta bahwa kondisi bawah tanah biasanya kompleks dan operasi *grouting* melibatkan beberapa ketidakpastian.

KESIMPULAN

Pada analisis penurunan tanah dengan perkuatan *water cement grouting* jika ditinjau dari komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli dan panjang sebarannya dapat disimpulkan bahwa:

- Pada kondisi jalan eksisting Km. Sby 39+990, nilai penurunan tanah dari permodelan plaxis ditinjau pada kedalaman -1 meter dari *original ground* adalah didapatkan sebesar 0,02892 meter. Sesuai dengan permasalahan yang ditinjau bahwa pada beberapa tempat di jalan eksisting mengalami penurunan tanah.
- Berdasarkan hasil potongan melintang pada permodelan, penurunan tanah pada kondisi eksisting sebelum adanya perkuatan *water cement grouting* cenderung tidak merata dan tidak stabil sehingga dapat mengakibatkan penurunan yang berbeda pada beberapa bagian jalan, setelah dilakukan perkuatan *water cement grouting*, penurunan terlihat lebih merata dan stabil terutama bila sebaran *grouting* sampai ke bahu jalan, hal ini menunjukkan bahwa perkuatan *water cement grouting* dapat mengurangi menstabilkan penurunan tanah yang tidak merata.
- Pada permodelan dengan variasi panjang sebaran *grouting* menunjukkan bahwa semakin panjang sebaran *grouting* maka penurunan yang terjadi semakin kecil. Pada panjang sebaran *grouting* 0,5 meter rata-rata penurunan semakin mengecil sebanyak 38% dari penurunan tanah asli. Pada panjang sebaran *grouting* 2,5 meter rata-rata penurunan tanah mengecil 46% dan pada panjang sebaran 5,5 meter rata-rata penurunan mengecil 72% .
- Pada Permodelan dengan variasi komposisi campuran *grouting* 10%, 15% dan 20% dengan tanah asli menunjukkan bahwa penurunan tanah memiliki nilai yang hampir sama walaupun panjang sebaran bervariasi, namun cenderung meningkat jika komposisi campuran *grouting* semakin banyak, dapat dilihat pada panjang sebaran 0,5 meter dengan komposisi campuran *grout* 10 % penurunan tanah adalah 0,01781 meter, dengan komposisi campuran *grout* 20 % penurunan tanah meningkat menjadi 0,01862 meter sedangkan jika panjang sebaran 7 meter, komposisi campuran *grout* 10% dan 20% mendapatkan nilai penurunan yang sama yaitu 0,00821 meter dan komposisi campuran *grout* 20% mendapatkan nilai penurunan 0,00852 meter.
- Berdasarkan hasil analisis diatas, permodelan penurunan tanah dengan perkuatan *water cement grouting* memiliki hasil yang bervariasi ditinjau dari panjang sebaran dan komposisi campuran *grouting* dengan tanah asli, namun penurunan tanah dengan

perkuatan *water cement grouting* cenderung mengecil jika dibandingkan dengan penurunan tanah pada kondisi eksisting sehingga perkuatan tanah dengan *water cement grouting* efektif dalam mereduksi penurunan tanah.

- Pengujian dan pengamatan terhadap hasil grouting sangat penting dilaksanakan karena besarnya pengaruh panjang sebaran grouting dalam membantu meningkatkan kapasitas daya dukung tanah dan meminimalkan penurunan tanah. Pengujian lanjutan sebaiknya dilakukan dengan pembuatan model dilaboratorium atau pengujian langsung di lapangan agar dapat diketahui komposisi campuran grouting yang pada tanah asli dan panjang sebarannya

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph. E. (1979). *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. McGraw-Hill, Inc, USA.
- Bowles, Joseph E. (1996). *Foundation Analysis and Design Fifth Edition*, McGraw-Hill International Edition.
- Chang, Muchsiung (2015). “Ground Response and Grout Distribution by Field Soil Grouting”. *Ice Publishing, Vol. 169*. Issue GE1.
- Committee CE-032 (2002). *Reinforced Soils and Retaining Structures*. Australian Standards for Retaining Walls (As 4678).
- Dhani, Noor (2013). Karakteristik Kolom Pasir Grouting Sebagai Metode Perkuatan Tanah Lempung Kepasiran. *Tesis Pasca Sarjana*. Jurusan Teknik Sipil. Universitas Hasanuddin.
- Dirjen Bina Marga (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Pondasi*. Kementerian PUPR. Jakarta.
- Dwiyanto, et. al. (2009). Penanggulangan Tanah Longsor Dengan Metode Grouting. *Laporan Hibah Penelitian Strategi Nasional Semarang*. Program Studi Teknik Geologi. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- 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. *A Thesis Submitted For The Degree of Master of Engineering*. Department Of Civil Engineering. National University of Singapore.
- Lambe. T.W, Whitman R.V. (1962). *Soil Mechanics*. A Wiley-Interscience Publication. John wiley & Sons, Inc. Canada.
- Mansyur, et. al. 2020. “Penentuan Kohesi dan Sudut Geser Dalam Pada Beton Busa”. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Prosiding Online*. Hal. 104.
- 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.
- SNI 6882:2014. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Unit Pasangan*.
- Suherman, M. (2005). “Potensi Sifat Kelempungan”. *Jurnal Jalan dan Jembatan*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Sukirman Silvia (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova, Bandung.
- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2018). “Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2(1), Maret 2018.
- Soemitro, R.A.A. & Suprayitno, H. (2020). “Preliminary Reflection on Basic Principle of Operation Management Public Work Infrastructure Asset Management”. *Journal of Infrastructure & Facility Asset Management*, 2(2), September 2020.

Tutorial Manual (2020). *Tutorial Manual Connect Edition V20*. Bentley Systems, Incorporated. Terzaghi, Peck (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc. Canada.

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.