

Pengaruh Perkuatan *Grouting* Terhadap Beban Maksimum Yang Dapat Diterima Tanah Dasar Pada Ruas Jalan Lamongan - Gresik

The Effect of Grouting Reinforcement on the Maximum Acceptable Load of Subgrade on the Lamongan-Gresik Road Section

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

¹⁾Karyasiswa Magister Super Spesialis Kerjasama PUPR, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

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

³⁾Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Provinsi Jawa Timur-Bali, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Surabaya.

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

ABSTRAK

Salah satu metode perbaikan tanah pada tanah lempung cenderung *ekspansif* adalah *Water-Cement grouting*. Pertimbangan teknis dilaksanakannya pekerjaan *grouting* sepanjang 1,35 Km di ruas jalan Batas Kota Lamongan – Batas Kabupaten Gresik (Link 028.7) Km. Sby. 39+650 – 41+000 adalah struktur badan jalan banyak mengalami deformasi permanen dengan kondisi kestabilan *subgrade* diduga mempunyai CBR rendah sehingga badan jalan menjadi getas jika dilewati kendaraan bermuatan berat. Tujuan pelaksanaan *grouting* adalah untuk mengatasi deformasi permanen dengan perkuatan lapisan *subgrade* untuk meningkatkan kemampuan jalan dalam menahan beban yang melintas. Untuk mengetahui kemampuan *subgrade* di lokasi studi dalam menahan pembebanan *existing* maka dilakukan analisa terhadap besar beban maksimum (Pmak) yang dapat ditahan oleh lapisan *subgrade* pada kondisi sebelum dan setelah *grouting*. Analisa dilakukan secara numerik menggunakan Program *Plaxis Versi.21*. Faktor dari perkuatan *water-cement grouting* yang disimulasikan pada penelitian ini yaitu asumsi ketebalan lapisan *grouting* dengan 6 type jenis ketebalan sebaran *grouting* dan nilai parameter tanah campuran yang berasal dari 90% material tanah asli Lapis 1 Lempung Kelanauan dan 10% material *grouting*. Hasil analisa pemodelan menunjukkan nilai beban maksimum (Pmak) semakin meningkat pada tanah yang terdapat lapisan *grouting*. Nilai Pmak pada *subgrade* sebelum *grouting* sebesar 80,379 kN/m² meningkat menjadi 347,582 kN/m² pada tanah *subgrade* yang terdapat lapisan *grouting* setebal 2m. Semakin tebal lapisan *grouting* di *intra layer subgrade* maka semakin besar nilai Pmak yang diperlukan tanah untuk mencapai *ultimate bearing capacity* dan semakin kecil nilai penurunan tanahnya. Hal ini mengindikasikan tanah *subgrade* mengalami kenaikan daya dukung setelah dilakukan *grouting*.

Kata Kunci : Manajemen Aset jalan, Preservasi Jalan, Tanah Dasar, Grouting, Beban Maksimum, Plaxis

PENDAHULUAN

Manajemen Aset Infrastruktur sangat penting. Manajemen Aset Infrastruktur didefinisikan sebagai program dan pengetahuan untuk mengelola infrastruktur melalui siklus

hidupnya agar dapat berfungsi berkelanjutan dengan baik, ekonomis, efisien, efektif dan sesuai dengan prinsip berkelanjutan (prinsip hijau: sosial, ekonomi, lingkungan) (Soemitro & Suprayitno 2018). Prinsip dasar manajemen aset infrastruktur merupakan tugas, pengetahuan dan sains untuk mengelola infrastruktur selama umur siklus hidupnya agar infrastruktur dapat berfungsi secara efektif, efisien, dan berkelanjutan (Suprayitno & Soemitro, 2018). Fungsi dan kinerja infrastruktur tergantung pada kualitas operasionalnya, sedangkan kualitas operasional ini tergantung pada kondisi fisik, termasuk kualitas pemeliharannya (Suprayitno & Soemitro, 2019). Melihat dari pernyataan tersebut, kegiatan pemeliharaan (preservasi jalan) menjadi hal yang penting dilakukan supaya kualitas operasional jalan tetap terjaga dan selalu fungsional.

Dari hasil survey lapangan yang dilaksanakan oleh Pelaksana Kegiatan Penanganan Jalan yaitu PPK 4.5 Provinsi Jawa Timur didapatkan kondisi Ruas Jalan Bts. Kota Lamongan - Bts. Kab. Gresik (Link 028.7) adalah badan jalan banyak yang mengalami deformasi permanen dengan kondisi kestabilan tanah dasar yang diduga mempunyai CBR rendah (kurang dari 6%) sehingga badan jalan menjadi getas atau goyang jika dilewati kendaraan bermuatan berat. 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 (Rubikon CV, 2020)

Deformasi Permanen selain terjadi pada lapisan aspal juga dapat terjadi pada lapisan tanah dasar (*subgrade*). Deformasi permanen pada struktur jalan terjadi ketika perkerasan mengalami perubahan bentuk saat dibebani dan tidak dapat kembali ke posisi semula (*unrecoverable*). Tanah dasar (*subgrade*) sebagai pondasi struktur perkerasan memiliki peranan penting dalam menopang struktur di atasnya dan menahan beban yang melintas sehingga harus memiliki daya dukung tanah yang kuat. Tanah dasar sebagai penopang beban akan mengalami kehancuran bila beban yang terjadi di atasnya telah mencapai batas maksimum atau *ultimate bearing capacity* telah terlampaui. Besar pembebanan yang menyebabkan terjadinya *ultimate bearing capacity* disebut beban *ultimate* atau Beban batas struktur. Beban ini merupakan beban maksimum yang dapat dipikul suatu struktur sebelum hancur, atau disebut juga *ultimate strength*.

Untuk mengatasi penurunan kualitas jalan akibat kondisi di atas pada Tahun Anggaran 2020 Pejabat Pembuat Komitmen 4.5 Provinsi Jawa Timur melaksanakan Paket Pekerjaan Preservasi Jalan Tuban – Babat – Lamongan – Gresik dengan salah satu lingkup pekerjaannya adalah penanganan rekonstruksi jalan dengan perbaikan struktur pada tanah dasar berupa pekerjaan *water cement grouting*. Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk mengatasi deformasi permanen dengan perkuatan lapisan tanah dasar (*subgrade*) yang diindikasikan dengan kenaikan nilai CBR setelah *grouting*, dan membuat lapisan tanah dasar lebih padat (meningkatkan nilai modulus tanah) sehingga kemampuan jalan dalam menahan beban meningkat yang diindikasikan dengan naiknya nilai beban batas maksimum (P_{mak}) yang dapat di tahan oleh lapisan *subgrade*.

Berdasarkan hal tersebut di atas perlu dilakukan analisa teknis terhadap kemampuan tanah dasar lokasi studi dalam menahan beban pada kondisi *existing* sebelum dan setelah dilakukan *grouting*. Analisa dilakukan secara numerik menggunakan Program *Plaxis V.21*. Faktor dari perkuatan *water-cement grouting* yang dianggap dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan kekuatan tanah *subgrade* akan disimulasikan pada penelitian ini yaitu asumsi ketebalan lapisan *grouting* dan nilai parameter tanah campuran. Dari penelitian ini akan diperoleh nilai beban *ultimate* (P_{mak}) yang dapat diterima tanah *subgrade* pada kondisi tanah asli dan setelah *grouting*. Melalui grafik korelasi akan didapatkan pola hubungan antara besar beban *ultimate* (P_{mak}) dengan besar penurunan tanah pada berbagai simulasi ketebalan *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 *grouting*.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Analisa numerik dengan Metode Elemen Hingga menggunakan bantuan software *Plaxis 2D Versi 21*. Ada beberapa metode analisa yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Pengamatan Lapangan

Dari hasil penyelidikan tanah diperoleh informasi jenis tanah dilokasi *grouting* berjenis lempung kelanauan yang masuk dalam kategori potensi mengembang tinggi atau tanah lempung ekspansif. Tanah ekspansif adalah jenis tanah yang kandungan lempungnya memiliki potensi kembang susut akibat perubahan kadar air (Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Terdapat 8 ruas jalan di pulau Jawa yang melewati tanah ekspansif salah satunya adalah Ruas Jalan Bojonegoro-Babat-Lamongan-Gresik-Surabaya (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

Grouting adalah penyuntikan bahan semi kental (slurry material) ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor, dengan tujuan menutup diskonstruksi terbuka, rongga-rongga dan lubang-lubang pada lapisan yang dituju untuk meningkatkan kekuatan tanah (Dwiyanto, et.al, 2009). Pelaksanaan *grouting* dilapangan diawali dengan pembuatan lubang untuk menanam tiang *grouting* sepanjang 2,5 m dari lapisan tanah timbunan sirtu. Diameter tiang *grouting* sebesar 1,25 dim (3,18 cm) dan pada badan pipa diberi lubang kecil untuk mengalirkan material grout ke dalam tanah. Tekanan injeksi *grout* sebesar 5 bar (500 Kpa) dengan durasi injeksi pada satu tiang adalah sampai material *grouting* menembus ke pipa terdekat.



Kondisi Existing Ruas Jalan
Km. 40+900 dan 40+800 Sebelum Grouting

Gambar 1. Lokasi Pekerjaan *Grouting* dan Kondisi Jalan *Existing* Sebelum *Grouting*

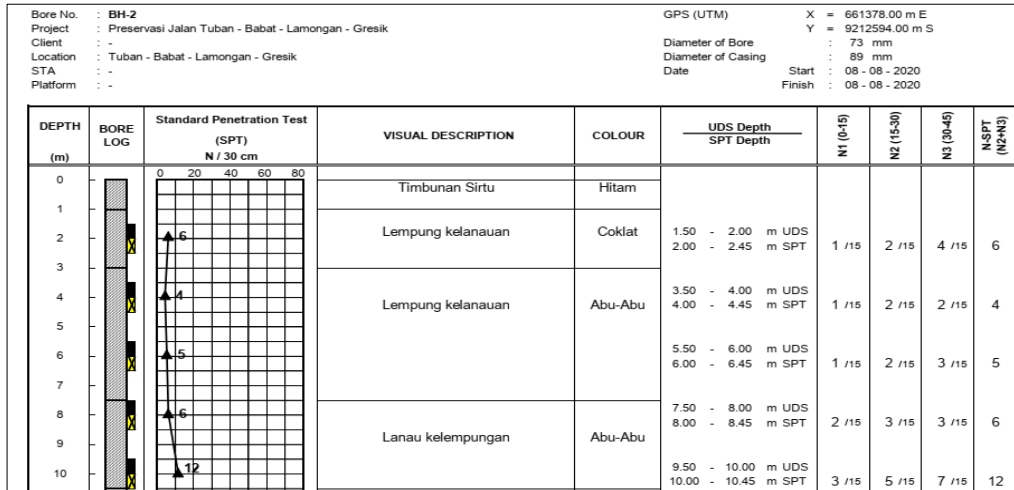
Sumber : PPK 4.5 Provinsi Jawa Timur

Pekerjaan *Grouting* dilakukan sepanjang 1,35 Km di ruas jalan Bts. Kota Lamongan – Bts. Kab. Gresik (Link 028.7) Km. Sby. 39+650 – 41+000. Titik koordinat awal pekerjaan $x=661709, y=9212795$ dan titik akhir $x=660407, y=9212795$.

Pengumpulan Data Sekunder

1. Data SPT dari *Borelog*

Didalam lokasi *grouting*, pada titik BH2 Km. Sby. 39+990 adalah lokasi penyelidikan tanah dengan bore log. Nilai *Standart Penetration Test* (SPT) didapat dari hasil *bore log* yang dilakukan sampai kedalaman 10 m.

**Gambar 2.** Nilai N-SPT dari Pengujian Bore Log Titik BH 2

Sumber: Rubikon. CV, 2020

2. Data karakteristik fisik dan mekanik tanah *existing* dari pengujian *Undisturb Sample Undisturb Sampel* diambil pada tiap interval kedalaman 1,5 m, dari kedalaman 2 m sampai 10 m.

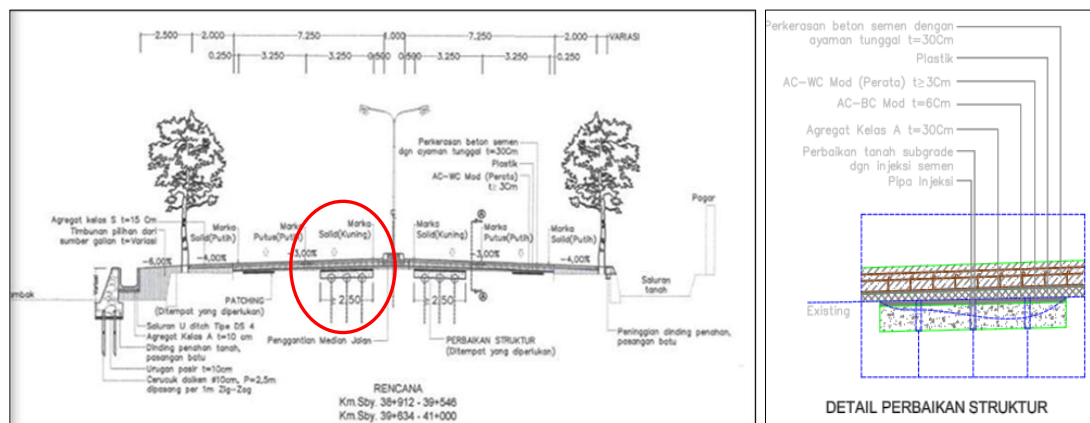
Tabel 1. Data Properties Tanah dari *Undisturb Sample* di Titik BH2

No	Jenis Pengujian	Satuan	Kedalaman UDS				
			1.5 - 2 m	3.5 - 4 m	5.5 - 6 m	7.5 - 8 m	9.5 - 10 m
			Layer 1	Layer 2	Layer 2	Layer 3	Layer 3
1 Uji Sifat Fisik Tanah							
a	Analisa Pembagian Butir						
	Fraksi Kerikil (Gravel)	%	0	3.09	12.47	0	0
	Fraksi Pasir (Sand)	%	2.94	10.54	10	0.31	7.97
	Fraksi Lanau (Silt)	%	80.19	71.56	62.3	83.81	76.33
	Fraksi Lempung (Clay)	%	16.87	14.8	15.23	15.88	15.71
b	Konsistensi						
	Liquid Limit (LL)	%	78.51	77.48	74.44	79.4	75.51
	Plastic Limit (PL)	%	33.32	35.14	34.27	33.26	32.13
	Plasticity Index (PI)	%	45.19	42.34	40.17	46.14	43.38
2 Uji Sifat Mekanik Tanah							
a	Kuat Tekan Bebas						
	Kuat Tekan Bebas (qu)	kg/cm ²	0.39	0.33	0.33	0.37	0.35

Sumber : Rubikon. CV, 2020

3. DED Pekerjaan *Grouting*.

Berikut adalah gambar potongan melintang Pekerjaan *Grouting*



Gambar 3. Gambar *DED* Pekerjaan Perbaikan Struktur dengan *Grouting*

Sumber: PPK 4.5 Provinsi Jawa Timur

Metode Analisa Data Sekunder

1. Penentuan Nilai Parameter Tanah

Terlebih dahulu dilakukan analisa klasifikasi tanah menggunakan system klasifikasi USCS dan AASHTO. Analisa konsistensi tanah dilakukan berdasarkan nilai N_{SPT} dilokasi tersebut. Untuk penentuan nilai parameter tanah yang akan diinput pada program Plaxis menggunakan formula empiris, tabel, dan grafik korelasi hubungan seperti berikut:

- Berat volume tanah jenuh (γ_{sat}) didapat dari tabel korelasi empiris nilai N_{SPT} dan berat Jenis tanah Jenuh (Y_{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).

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

Dimana :

N = Nilai N_{SPT}

(Sumber: Bowles, 1996 dalam Arfan, 2016)

- Permeabilitas tanah (K) juga didapatkan dari tabel korelasi deskripsi tanah dengan nilai koefisien permeabilitas (Wesley, L.D, 1997).
- Voisson ratio didapat dari tabel korelasi jenis tanah dan poisson rasion (Bowles, JE, 1979)
- Nilai Kuat Geser Undrained ($C_u = S_u$) didapatkan dari formula, dimana nilai q_u didapat dari hasil pengujian Kuat Tekan Bebas, dan dari tabel korelasi antara C_I , N , dan C_u (Szechy dan Varga, 1978).

$$C_u = \frac{q_u}{2} \quad \dots\dots(2)$$

Dimana :

C_u = Kohesi Undrained (kN/m^2)

Q_u = Kuat Tekan Bebas (kN/m^2)

(Soemitro dan Warnana, 2020)

- Sudut geser dalam (ϕ) adalah 0, karena pemodelan pada kondisi *undrained B*.

- Sudut Dilatasi (ψ) adalah 0

2. Penentuan Variabel *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*. Variabel *grouting* yang akan disimulasikan pada studi ini adalah yang dianggap memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan daya dukung tanah, yaitu:

- Nilai parameter tanah campuran (parameter tanah yang mengalami *grouting*)

Diperoleh dari persentase campuran antara parameter material water cement *grouting* (10%) dan parameter tanah asli (90%). Parameter material *grouting* menggunakan pendekatan parameter material beton karena dilapangan tidak tersedia data properties material *grouting*.

Tabel 2. Properties Material Beton

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

Sumber : J.M. Gere dan B.J Goodno, 2009

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.

$$y = 0,1528x + 0,433 \tag{3}$$

Dimana:

y = Kohesi Beton (Mpa)

x = Kuat Tekan Beton (Mpa)

(Sumber: Mansyur, 2020)

Nilai kuat tekan beton pada penelitian ini diasumsi menggunakan beton kualitas rendah sehingga dipakai nilai kuat tekan beton mortar semen sebesar 2,4 MPa (SNI 6882:2014).

b. Pola sebaran *grouting*

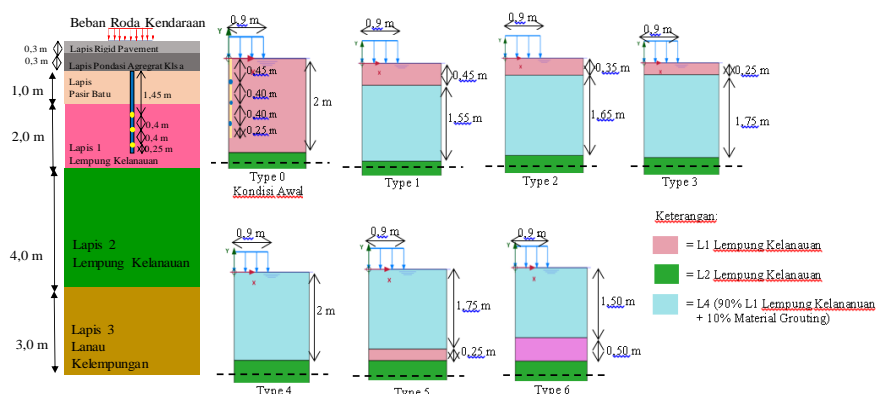
Untuk Perkiraan pola sebaran *grouting* ditinjau dari satu tiang (*single grouting*) dengan pola sebaran *grouting* kesamping (*horizontal*) diasumsikan memenuhi bidang pemodelan dan pola sebaran *grouting* vertikal (*ketebalan grouting*) divariasikan menjadi 6 type:

Type sebaran pada *Inter Layer Subgrade*:

- Type 1: Ketebalan *grouting* 1,55 m dari – 0,45 *upper layer*
- Type 2: Ketebalan *grouting* 1,65 m dari – 0,35 *upper layer*
- Type 3: Ketebalan *grouting* 1,75 m dari – 0,25 *upper layer*

Type sebaran pada *Upper Layer Subgrade*

- Type 4: Ketebalan *grouting* 2,00 m dari *upper layer*
- Type 5: Ketebalan *grouting* 1,75 m dari *upper layer*
- Type 6: Ketebalan *grouting* 1,5 m dari *upper layer*



Gambar 4. Struktur Perkerasan Jalan *Existing* dan Sketsa Variasi 6 Type Ketebalan *Grouting*

3. Penentuan Bidang Pembebanan

Dari hasil analisa Donald, 2017 dalam Tesis “Kajian Kerusakan Perkerasan Ruas Jalan Nasional Lintas Timur Simpang Bukit Timah Km 236 Kabupaten Rokan Hilir” telah didapatkan perkiraan diameter bidang pembebanan pada tanah dasar (*subgrade*) yang dihasilkan dari tekanan ban roda ganda (*dual wheel*) yaitu sebesar 1,8 m.

Metode Pemodelan

Analisis penentuan Beban Maksimum (Pmak) dan besar penurunan ini menggunakan aplikasi *Plaxis V21*. Menggunakan type pemodelan struktur Geoteknik axysymetri dengan element 15 Nodes. Model aliran dipilih type Undrained B dengan pertimbangan yaitu:

- Usia struktur jalan bagian bawah (lapisan *subgrade* dan pondasi) sudah berumur > 10 tahun, proses konsolidasi dianggap sudah selesai sehingga saat mengalami pembebanan sudah tidak terjadi perubahan volume tanah yang signifikan dan
- Tanah dilokasi studi didominasi oleh jenis soft soil dengan plastisitas tinggi (*fat clays*) yang memiliki kuat geser kecil sehingga lebih sesuai menggunakan parameter tegangan total.

Untuk membuat pemodelan di *Plaxis* terdiri dari beberapa tahapan yaitu pertama membuat sketsa bentuk pemodelan pada kondisi tanah sebelum dan setelah *grouting*, juga input *material soil* pada *Tools Bore Hole*. Dilanjutkan proses *generate mesh* pada level *element distribution medium*. 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. Dilakukan variasi besar pembebanan yang diberikan diatas tanah pada *phase* selanjutnya, mulai dari nilai beban terkecil bertahap ke beban terbesar sampai tanah *collapse*. Setelah itu ditentukan titik-titik *node* pada *select point for curves* sebelum proses *calculate*. Untuk melihat besar beban maksimum (Pmak) yang dihasilkan dipilih *view calculation result* dilanjutkan ke *curve* untuk menampilkan Kurva besar nilai Pmak (kN/m²) dan besar deformasinya IuI.

Kemudian nilai beban maksimum dan penurunan tanah dari hasil pemodelan diekspor ke *MS Excel* untuk penggambaran bentuk kurva pada semua type ketebalan *grouting* dan merekapitulasi besar beban maksimum (Pmak) dan penurunan tanah IuI.

ANALISIS PENELITIAN

Nilai Parameter Tanah

Dari data *borelog* diatas 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.

Tabel 3. Nilai N-SPT Rata-Rata, Konsistensi, dan Klasifikasi Tanah

Layer	Kedalaman (m)	Tebal (m)	Visual Description	N-SPT Rata-rata	Konsistensi	Klasifikasi Tanah	
						USCS	AASHTO
	0 - -1	1	Sirtu				
1	-1 - -3	2	Lempung Kelanauan	6	Medium	CH	A-7-5
2	-3 - -7	4	Lempung Kelanauan	5	Medium	CH	A-7-5
3	-7 - -10	3	Lanau Kelempungan	10	Stiff	CH	A-7-5

Keterangan :

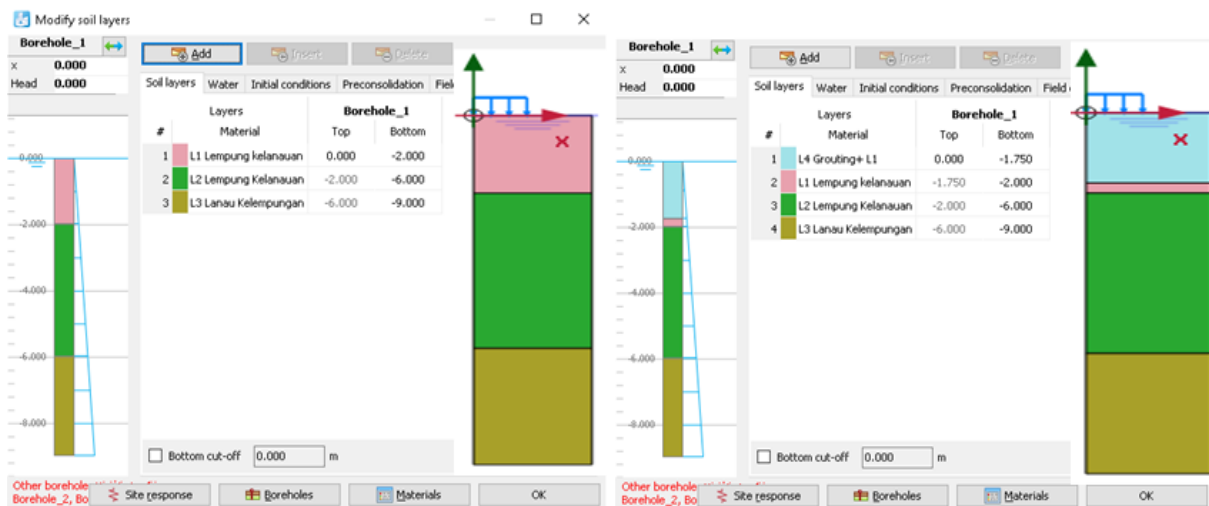
CH : Lempung organik dengan plastisitas tinggi, lempung gemuk (*fat clays*)

A-7-5 : Kelompok tanah lempung yang lebih bersifat plastis yang mempunyai sifat perubahan volume besar dengan nilai $PI \leq LL-30$

Tabel 4. Nilai Parameter Tanah

Layer	Jenis Tanah	Berat Vol. Tanah		Permeabilitas k_x, k_v m/day	Modulus E' kN/m ²	Voissons Ratio V'	Cohesi Undrain C_u kN/m ²
		γ_{sat} kN/m ³	γ_{unsat} kN/m ³				
L1	Lempung Kelanauan	17,00	17,00	0,000864	3600	0,40	19,12
L2	Lempung Kelanauan	17,00	17,00	0,000864	3300	0,40	16,18
L3	Lanau Kelempungan	19,00	19,00	0,00864	7000	0,40	40,00
	Material Grouting	23,00	23,00	0	17.000.000	0,10	800,00
L4	Tanah Campuran (90% L1 Lempung Kelanauan+10% Material Grouting)	17,60	17,60	0,000778	1.703.240	0,37	97,21

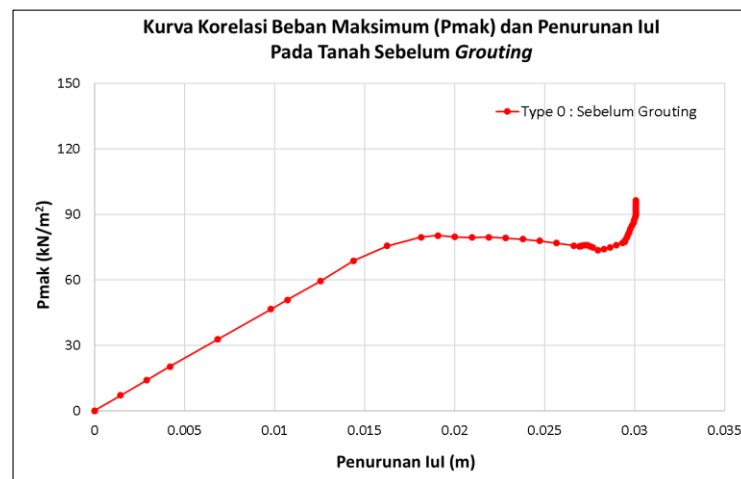
Bentuk Pemodelan Pada Program Plaxis



Gambar 5. Bentuk Pemodelan Pada Program *Plaxis* Versi 21

Analisa Hasil Pemodelan

1. Perilaku deformasi tanah dasar kondisi *existing* sebelum *grouting* saat dikenakan gaya (pembebanan) dapat dilihat pada **gambar 6**.



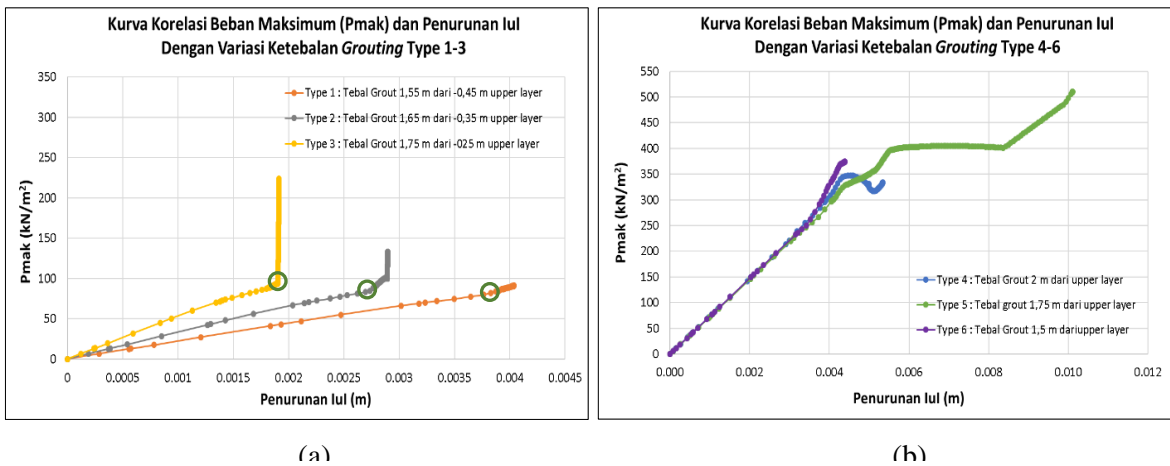
Gambar 6. Kurva Korelasi Beban Maksimum (Pmak) dan Penurunan Iul pada Tanah Sebelum *Grouting*

Dari hubungan tegangan-regangan terlihat regangan ikut meningkat dengan meningkatnya tegangan, sampai saat tegangan mencapai maksimum (*peak*). Setelah *peak*, tegangan menurun tetapi regangan masih terus meningkat, dimana pada kondisi ini menandai material mulai mengalami keruntuhan. Dalam kondisi ini kemungkinan material mengalami dilatasi. Tetapi karena pembebanan terus dilakukan maka material memadat yang akhirnya tegangan meningkat kembali sebentar yang kemudian material mengalami keruntuhan.

2. Perilaku deformasi tanah dasar pada kondisi sebaran *grouting* type 1-3 (type pola sebaran bervariasi pada *inter layer subgrade*) dapat dilihat pada **gambar 7a**.
 - Saat garis kurva berada difase akhir garis miring menandakan tanah diatas lapisan *grouting* mengalami fase keruntuhan (tanda lingkaran hijau adalah tanda *ultimate bearing capacity* telah tercapai untuk lapisan tanah diatas tanah *grouting*) telah tercapai. Nilai Pmak pada fase ini tidak berkisar jauh dengan nilai Pmak pada kondisi sebelum *grouting*, berkisar dibawah 100 kN/m².
 - Pada ketiga kurva nampak setelah garis miring berakhir, garis kurva menunjukkan trend kenaikan lurus arah vertikal yang menandakan setelah lapisan tanah diatas *grouting* mengalami keruntuhan, lapisan tanah *grouting* (tanah campuran) mulai bekerja melawan gaya pembebanan. Difase ini tanah campuran memiliki kekuatan yang cukup besar dalam melawan gaya pembebanan.
 - Selanjutnya nampak semakin ke kiri garis kurva lurus vertikal semakin panjang (*grouting* type 3) yang menandakan lapisan *grouting* semakin tebal sehingga nilai Pmak yang diperlukan semakin besar untuk tanah sampai pada fase kehancuran.

Material tanah campuran pada fase ini menjadi bersifat “getas”, tidak dapat berdeformasi plastis dalam melawan pembebanan yang terjadi karena regangan sudah tidak ada pada saat tanah campuran bekerja melawan pembebanan.

3. Perilaku deformasi tanah dasar pada saat dikenakan gaya (pembebanan) untuk *grouting* type 4-6 (type pola sebaran bervariasi pada *upper layer subgrade*) dapat dilihat pada **gambar 7b**. Pada kondisi sebaran *grouting* seperti ini kekuatan tanah dasar sangat ditentukan oleh karakteristik tanah campurannya. Karakteristik tanah pada *grouting* type 4-6 terlihat sudah mendekati karakteristik material beton dimana kondisi tanah dasar pada type *grouting* ini sudah bersifat “elastoplastis” dimana tanah mengalami deformasi dan tidak dapat kembali ke bentuk semula lagi meskipun pembebanan sudah selesai.

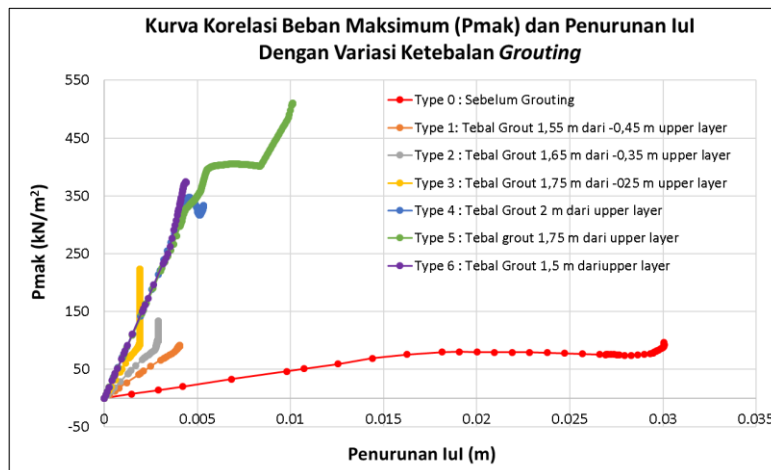


Gambar 7. Kurva Korelasi Beban Maksimum (Pmak) dan Penurunan IuI pada (a) Variasi Ketebalan *Grouting* Type 1-3, (b) Variasi Ketebalan *Grouting* Type 4-6

4. Rekapitulasi nilai beban maksimum yang diperoleh dari analisa dengan Plaxis V.21 untuk setiap type ketebalan *grouting* adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Besar Beban Maksimum (Pmak) dan Penurunan Tanah IuI Pada Setiap Type Ketebalan *Grouting*

No	Type	Variasi Tebal Sebaran <i>Grouting</i>	Beban Maksimum (Pmax) (kN/m ²)	Penurunan Tanah IuI cm
1	Type 0	Kondisi Tanah Sebelum <i>Grouting</i> Type sebaran pada <i>interlayer subgrade</i>	80.379	1.907
2	Type 1	Ketebalan <i>grouting</i> 1,55 m dari – 0,45 <i>upper layer</i>	90.902	0.404
3	Type 2	Ketebalan <i>grouting</i> 1,65 m dari – 0,35 <i>upper layer</i>	100.344	0.287
4	Type 3	Ketebalan <i>grouting</i> 1,75 m dari – 0,25 <i>upper layer</i> Tye sebaran pada <i>upperlayer subgrade</i>	222.140	0.191
5	Type 4	Ketebalan <i>grouting</i> 2,00 m dari <i>upper layer</i>	347.582	0.453
6	Type 5	Ketebalan <i>grouting</i> 1,75 m dari <i>upper layer</i>	510.332	1.100
7	Type 6	Ketebalan <i>grouting</i> 1,5 m dari <i>upper layer</i>	374.250	0.438



Gambar 8. Kurva Korelasi Beban Maksimum (Pmak) dan Penurunan IuI pada Semua Type Ketebalan *Grouting*

Trend Kurva Korelasi Beban maksimum (Pmak) dan Penurunan IuI pada **Gambar 8** menunjukkan bahwa:

- Nilai Beban Maksimum (Pmak) akan mengalami peningkatan pada tanah setelah *digrouting*. Nilai Pmak pada tanah sebelum *grouting* sebesar $80,379 \text{ kN/m}^2$, setelah dilakukan *grouting* nilai Pmak mengalami peningkatan secara bervariasi. Nilai Pmak terbesar terlihat pada *grouting* type 5 sebesar $510,33 \text{ kN/m}^2$ dan Nilai Pmak terkecil $90,90 \text{ kN/m}^2$ pada *grouting* Type1. Nilai parameter tanah setelah *grouting* mengalami peningkatan khususnya pada nilai parameter Modulus Elastisitas Tanah (E) dan Kuat Geser Tanah (Cu).
 - Pada *grouting* type 1-3 (type pola sebaran bervariasi pada *inter layer subgrade*), nilai Pmak yang diperlukan untuk tanah sampai pada fase keruntuhan tidaklah sebesar pada *grouting* type 4-6 (type pola sebaran bervariasi pada *upper layer subgrade*). Pada *grouting* type 1 dengan ketebalan 1,55 m dari – 0,45 *upper layer* memerlukan Pmak sebesar $90,902 \text{ kN/m}^2$ sedangkan pada *grouting* type 3 dengan ketebalan 1,75 m dari – 0,25 *upper layer* memerlukan Pmak sebesar $222,14 \text{ kN/m}^2$. Hal ini menjelaskan bahwa pada tanah lempung dengan sebaran *grouting* berada pada *inter layer subgrade* akan semakin cepat tanah pada layer atas *grouting* untuk sampai pada fase keruntuhan saat diberi pembebanan karena daya dukung tanah bagian atas lebih kecil. Sedangkan pada *grouting* type 4-6 (type pola sebaran bervariasi pada *upper layer subgrade*) lapisan tanah lempung pada bagian permukaan telah tercampur dengan material *grouting* membuat lapisan tanah bagian atas menjadi lebih *rigid*, sehingga diperlukan beban yang lebih besar untuk tanah sampai pada fase keruntuhan.
 - Ketebalan *grouting* berpengaruh terhadap besar Beban Maksimum (Pmak) yang diperlukan untuk tanah mencapai fase keruntuhan. Pada ketebalan *grouting* type 1-3 (type pola sebaran bervariasi pada *inter layer subgrade*) terlihat pola linier bahwa semakin tebal lapisan *grouting* semakin kecil nilai P mak yang diperlukan untuk membuat tanah sampai pada fase keruntuhan. Pada ketebalan *grouting* type 4-6 (type pola sebaran bervariasi pada *upper layer subgrade*) bahwa ketebalan *grouting* tidak berpengaruh terhadap besar nilai P mak yang diperlukan untuk membuat tanah sampai pada fase keruntuhan.
5. Terlihat nilai penurunan tanah IuI akan mengalami penurunan setelah dilakukan *grouting*. Nilai IuI pada tanah kondisi awal sebelum *grouting* sebesar 1,91 cm, setelah dilakukan *grouting* nilai IuI terbesar berada pada *grouting* type 5 sebesar 1,1 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Pada Tanah yang mengalami *grouting* nilai parameter tanah khususnya nilai Modulus Elastisitas Tanah (E) dan Kuat Geser Tanah (Cu) mengalami peningkatan sehingga nilai Beban Maksimum (Pmak) supaya tanah mencapai fase daya dukung batas tanah (*Ultimate Bearing Capacity*) juga akan meningkat dibandingkan pada tanah sebelum *grouting* dan sebaliknya nilai Penurunan Tanah IuI akan mengalami penurunan pada tanah yang dilakukan *grouting*.
- Pola sebaran *grouting*, khususnya ketebalan *grouting* dan posisi sebaran *grouting* sangat berpengaruh terhadap besar pembebanan yang dapat ditahan oleh tanah dasar. Semakin tipis lapisan tanah asli diatas lapisan tanah *grouting* (tanah campuran) semakin besar kapasitas daya dukung tanah dalam menerima beban, sehingga semakin besar pula nilai Pmak yang dibutuhkan untuk tanah mencapai fase kehancuran.

- Lapisan tanah dengan posisi sebaran *grouting* sampai di *upper layer* membuat lapisan tanah permukaan bersifat komposit (mendekati karakteristik material beton) sehingga memerlukan beban Maksimum (Pmak) yang lebih besar untuk mencapai keruntuhan daripada lapisan tanah dengan posisi sebaran *grouting inter layer* pada lapisan tanah asli.

SARAN

Pengujian dan pengamatan terhadap hasil *grouting* sangat penting dilaksanakan karena besarnya pengaruh sebaran *grouting* dalam membantu meningkatkan kapasitas daya dukung tanah. Pengujian dapat dilakukan dengan pembuatan model dilaboratorium dan pengamatan setelah pelaksanaan *grouting* dilapangan dapat dilakukan dengan Uji N SPT.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfan, Muhammad. (2016). “Studi Stabilitas Pada Abutment Jembatan Dengan Menggunakan Beronjong (Gabion) pada sungai Jernih Kabupaten Muaraenim Provinsi Sumatera Selatan”. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil, Universitas Muhamadiyah Palembang, Vol. 4, No. 4, (2016)*.
- Bentley. *Plaxis 2D-Tutorial Manual Connect Edition V20.04*. USA.
- Bowles, E. Joseph. (1996). *Foundation Analysis and Design Fifth Edition*. Mc Graw Hill, Inc, International Edition. USA.
- Bowles, E. Joseph. (1979). *Physical and Geotechnical Propertoes of Soils*. McGraw Hill, Inc, International Edition. USA.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Pedoman Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Donald. (2017). Kajian Kerusakan Perkerasan Ruas Jalan Nasional Lintas Timur Simpang Bukit Timah Km 236 Kabupaten Rokan Hilir. *Master Thesis*. Universitas Islam Riau. Pekanbaru.
- Dwiyanto, et. al. (2009). “Penanggulangan Tanah Longsor Dengan Metode Grouting”. *Laporan Hibah Penelitian Strategi Nasional*. Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- Gere, M. James, dan Goodno, J. Barry. (2009). *Mechanics of Material Seventh Edition*. Cengage Learning. Canada.
- Lambe, T.W & Whitman, R.V. (1962). *Soil Mechanics*. A Wiley-Interscience Publication. John wiley & Sons, Inc.Canada
- Mansyur, dkk. (2020). “Penentuan Kohesi dan Sudut Geser Dalam Pada Beton Busa”. *Seminar Nasional Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta, Prosiding Online e-ISSN: 2715-5668*. Jakarta.
- PPK 4.5 Provinsi Jawa Timur. (2020). *Bahan Presentasi Pre Construction Meeting Paket Preservasi Jalan Babat-Lamongan-Gresik..* Surabaya, Jawa Timur.
- Rubikon, CV. (2020). *Laporan Survey Soil Investigation (Deep Boring,) Project: Preservasi Jalan Tuban-Babat-Lamongan-Gresik*. Lamongan, Jawa Timur.
- SNI 6882:2014. *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Unit Pasangan*. Jakarta.
- Soemitro, R.A.A & Warnana D. Desa. (2020). *Karakteristik Tanah Tidak Jenuh*. ITB Press. Bandung.
- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2018). “Preliminary Reflexion on Basic Principle of Infrastructure Asset Management”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 2, No. 1, Maret 2018*.

- Suprayitno, H. & Soemitro, R.A.A. (2019). “Reflection on Basic View of Public Infrastructure for Infrastructure Asset Management in Indonesia”. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 3, Sup. 1, Juni 2019.*
- Terzaghi, P. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc. Canada.
- Wesley, L.D. (2017). *Mekanika Tanah Edisi Baru*. Andi Publisher. Jakarta.

