

**ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN  
METODE *GROUND PENETRATING RADAR* PADA *SUBGRADE*  
YANG DIINJEKSI AIR SEMEN  
(*ANALYSIS OF THE SUBSURFACE LAYER USING GROUND  
PENETRATING RADAR METHOD ON SUBGRADE INJECTED WITH  
CEMENT WATER*)**

**Edwin Mehator Situngkir<sup>1,\*</sup>, Trihanyndio Rendy Satria<sup>2</sup>, Ria Asih Aryani Soemitro<sup>2</sup>,  
Vidi Ferdian<sup>3</sup>**

- <sup>1</sup>Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Nusa Tenggara Timur, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Kupang, Indonesia  
<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia  
<sup>3</sup>Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur-Bali, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Sidoarjo, Indonesia  
\*) e-mail: edwin.ms@pu.go.id

Diterima: 23 November 2023 ; direvisi: 11 Desember 2023; disetujui: 18 Desember 2023.

**ABSTRAK**

*Kerusakan dini jalan disebabkan antara lain oleh lalu lintas harian (LHR) yang tinggi, kendaraan dengan dimensi dan beban berlebih (ODOL) yang melintas, dan kondisi tanah yang problematik dan lunak. Perbaikan subgrade yang dapat dilakukan untuk mengatasi kerusakan adalah dengan penerapan metode grouting water cement. Untuk menganalisis kondisi lapisan bawah permukaan setelah diinjeksi air semen dilakukan uji lapangan dengan akuisisi data Ground Penetrating Radar (GPR). Hasil analisis data GPR pada Sta 34+700 dan Sta 37+850 di jalan nasional Tuban–Babat–Lamongan–Gresik menunjukkan pada radargram material grouting naik akibat tekanan balik. Material tidak dapat menembus lapisan subgrade sehingga material grouting menyebar pada lapisan agregat dan keluar melalui lubang grouting di titik lain pada permukaan aspal. Pada radargram terlihat reflector berupa horizon kecil tajam dan seragam sepanjang trace sampai lapisan paling bawah sehingga tidak ada perubahan kondisi lapisan subgrade setelah dilakukan grouting water cement. Dari penelitian ini, perbaikan tanah dengan menggunakan injeksi air semen pada jenis tanah kohesif tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kepadatan tanah karena air semen yang diinjeksi tidak masuk kedalam mikropori tanah.*

**Kata Kunci:** *injeksi air semen, lapisan bawah permukaan, subgrade, ground penetrating radar, radargram, reflector*

**ABSTRACT**

*Early road damage was caused, among other things, by high daily traffic (ADT), vehicles with excessive dimensions and load (ODOL) passing through, and problematic and soft ground conditions. Subgrade repairs can be carried out to overcome damage by applying the water-cement grouting method. To analyze the state of the subsurface layer after cement water was injected, a field test was carried out using Ground Penetrating Radar (GPR) data acquisition. The results of GPR data analysis on Sta 34+700 and Sta 37+850 on the Tuban–Babat–Lamongan–Gresik national road have shown that on the radargram, the grouting materials rise due to back pressure. The materials cannot penetrate the subgrade layer so that the grouting material spreads over the aggregate layer and comes out through the grouting holes at other points on the asphalt surface. In the radargram, the reflector can be seen as a small, sharp and uniform horizon along the trace to the bottom layer so that there is no change in the condition of the subgrade layer after water cement grouting. From this research, soil improvement using cement water injection in cohesive soil types does not significantly increase soil density because the injected cement water does not enter the soil micropores.*

**Key words:** *grouting water cement, subsurface layer, subgrade, ground penetrating radar, radargram, reflector*

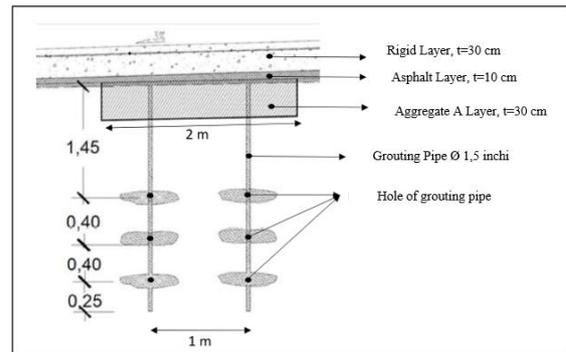
## PENDAHULUAN

Penanganan kerusakan jalan dapat dilakukan mulai dari perbaikan *subgrade*, lapis fondasi agregat, preventif, *overlay* hingga pelebaran. Kerusakan struktur jalan berupa retakan, lubang, penurunan dan aspal bergelombang umum terjadi pada ruas jalan nasional, antara lain di ruas jalan Tuban–Babat–Lamongan–Gresik. Kerusakan yang terjadi pada permukaan perkerasan aspal kemungkinan disebabkan oleh lalu lintas harian (LHR) yang tinggi, kendaraan dengan dimensi dan beban berlebih (ODOL) yang melintas, kondisi tanah problematik dan lunak (Yunita, 2022). Sebagai contoh, pada ruas jalan Tuban–Babat–Lamongan–Gresik dilakukan perbaikan tanah dasar pada ruas jalan ini dilakukan dengan metode *grouting water cement*. Metode ini menyuntikkan cairan semen ke dalam tanah melalui lubang bor (Gambar. 1)



**Gambar 1.** Pola injeksi air semen di lapangan

Dengan *grouting water cement*, formasi lapisan tanah menjadi lebih kuat dan lapisan *subgrade* lebih padat (meningkatkan nilai modulus tanah) dan daya dukung tanah (Dwiyanto, 2005). Akibatnya, lapisan mampu mendukung beban dengan maksimal, dan potensi kembang-susut serta penurunan (*settlement*) dapat diminimalkan dengan rekahan *grouting* yang menyebar di dalam lapisan tanah (Dwiyanto, 2005). Detail pelaksanaan metode *grouting water cement* pada ruas jalan ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Sumber: BBPJN Jatim-Bali (2021)

**Gambar 2.** Detail Penanganan *Grouting Water Cement*

Pipa *grouting* terbuat dari pipa besi berlubang dengan panjang 2,5 m dan diameter 1,5 inci yang dimasukkan ke dalam tanah (Gambar 2). Jarak ujung atas pipa ke lubang pertama adalah 1,45 meter. Konfigurasi jarak antarlubang ini bertujuan agar material *grouting* cair masuk ke lapisan *subgrade*, bukan ke dalam lapisan fondasi agregat perkerasan jalan. Jarak lubang kedua dengan lubang pertama adalah 0,4 m dan seterusnya. Jumlah lubang horizontal pada setiap modul pipa *grouting* adalah satu lubang. Setelah titik-titik *grouting* di lapangan diberi tanda sesuai dengan pola injeksi, pada titik-titik tersebut dilakukan pengeboran hingga menembus lapisan aspal yang ada. Setelah di bor, pipa *grouting* dimasukkan ke dalam tanah dan di injeksi air semen dengan tekanan 5 bar. Injeksi berhenti setelah cairan *grouting* keluar dari titik lain yang berdekatan dan diinjeksikan pada titik berikutnya.

Sebaran material cairan *grouting* sulit diketahui setelah dilakukan *grouting* pada lapisan *subgrade* sehingga perlu dilakukan pemeriksaan langsung di lapangan dengan menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR). Metode GPR merupakan teknik elektromagnetik dengan resolusi tinggi yang dirancang khusus menggambarkan bawah permukaan bumi dangkal baik digunakan untuk kebutuhan pembangunan jalan, jembatan, dan material bangunan (Daniels, 2000). GPR merupakan salah satu metode yang bersifat *non-destructive* atau tidak merusak dengan kisaran frekuensi yang digunakan sekitar (10 MHz – 1 GHz) (Elfarabi, 2017). Penetrasi yang dihasilkan metode ini relatif dangkal tetapi dapat menghasilkan resolusi yang tinggi terhadap kontras dielektrik material. Konsep metode GPR hampir sama dengan metode seismik refleksi, yang didasarkan pada perambatan gelombang untuk memberikan citra bawah permukaan (Budiono, 2010).

Metode GPR telah digunakan untuk survei geoteknik berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Venkateswarlu (2014) bahwa GPR telah diperluas penggunaannya seperti pembangunan konstruksi, hidrologi, pertambangan, dan arkeologi. GPR dapat mencapai kedalaman 30 meter pada konduktivitas redah seperti pasir ataupun granit. Kedalaman GPR ini dibatasi oleh kelistrikan dan konduktivitas di bawah permukaan bumi, Bila meningkatnya konduktivitas bawah permukaan, penetrasi kedalaman akan menurun karena energi dari elektromagnetik teratenuasi (Venkateswarlu, 2014). Dalam penelitian ini, penggunaan GPR diuji coba untuk analisis lapisan *subgrade* yang diinjeksi dengan semen dengan pertimbangan metode ini bersifat nondestruktif sehingga pengambilan data dapat dilakukan dari atas permukaan perkerasan aspal eksisting dan perkerasan beton yang sudah terpasang di lapangan.

## HIPOTESIS

Metode GPR dapat mendeteksi penyebaran material *grouting water cement* pada lapisan *subgrade*. Pada jenis tanah kohesif seperti tanah lempung, cairan *grouting* sulit untuk masuk dan menembus lapisan *subgrade* karena permeabilitas tanah sangat rendah. Campuran air dan semen akan meningkatkan viskositas

dan kohesi dan menghasilkan pasta semen yang sangat kental sehingga tidak mampu mengalir pada jenis tanah kohesif.

## METODOLOGI

Untuk menganalisis kondisi lapisan bawah permukaan setelah dilakukan *grouting water cement*, uji laboratorium dan uji lapangan dilakukan. Uji laboratorium dengan melakukan pengujian *soil properties* terhadap sampel tanah yang belum dilakukan *grouting water cement* sedangkan uji lapangan dilakukan dengan Akuisisi data *Ground Penetrating Radar* (GPR) pada lokasi titik *grouting*.

Sampel tanah diambil dari lokasi *u-turn* di Sta 35+000 (E: 665632 S: 9210210) dan Sta 37+850 (E: 663092 S: 9211765). Tujuan pengujian *soil properties* ini untuk mengetahui jenis tanah, sifat fisis dan mekanis tanah.

Akuisisi data GPR dilakukan sebanyak dua titik di Sta 34+700 (E: 666060 S: 9209947) dan Sta 37+850 (E: 663092 S: 9211765) Pengolahan data GPR menggunakan alat bantu atau *software*, kemudian dilakukan interpretasi data dan dikorelasikan dengan data SPT dan jenis konstruksi perkerasan yang terpasang di ruas jalan tersebut sehingga didapat gambaran kondisi lapisan bawah permukaan setelah dilakukan *grouting* pada *subgrade* jalan.

## HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian *soil properties* sampel tanah *subgrade* Sta 35+000 dan Sta 37+850 adalah dominan tanah jenis lanau dan lempung.

**Tabel 1.** Data soil properties tanah lapisan subgrade

No	Type Of Test	Unit	Sta 35+000	Sta 37+850
1.	<b>Soil Physical Properties</b>			
a	<b>Sieve Analysis</b>			
	Gravel	%	0.68	0.59
	Sand	%	9.52	7.71
	Silt	%	76.09	78.49
	Clay	%	13.71	13.21
b	<b>Consistency</b>			
	Liquid Limit (LL)	%	75.27	70.60
	Plastic Limits (PL)	%	30.18	30.42
	Plasticity Index (PI)	%	45.09	40.18
c	<b>Volumetric-Gravimetry</b>			
	Water content	%	60.98	35.24
	Specific Gravity (Gs)		2.56	2.60
	Volume Weight	gr/cm <sup>3</sup>	1.59	1.78
	Dry Volume Weight	gr/cm <sup>3</sup>	0.99	1.32
	Pore Number		1.59	0.98
	Porosity	%	61.28	49.48
2.	<b>Soil Mechanical Properties</b>			
a	<b>Free Compressive Strength (qu)</b>			
	Strength (qu)	kg/cm <sup>2</sup>	1.25	1.47
	Cohesion (Cu)	kg/cm <sup>2</sup>	0.62	0.74
b	<b>Density</b>			
	$\gamma_{dmax}$	gr/cm <sup>3</sup>	1.60	1.71
	W optimum	%	20.18	18.41
3.	<b>CBR at field density</b>			
		%	0.14	1.41
4.	<b>Soil Classification</b>			
	USCS		CH	CH
	ASSHTO		A-7-5	A-7-5
5.	<b>Activity</b>			
			3.29	3.04
6.	<b>Swelling Test</b>			
	Swelling Potential	%	5.00	6.30
	Swelling Pressure	kPa	20.99	24.53
7.	<b>Permeability (k)</b>			
	k value	cm/second	$2,4 \times 10^{-8}$	$1,12 \times 10^{-9}$

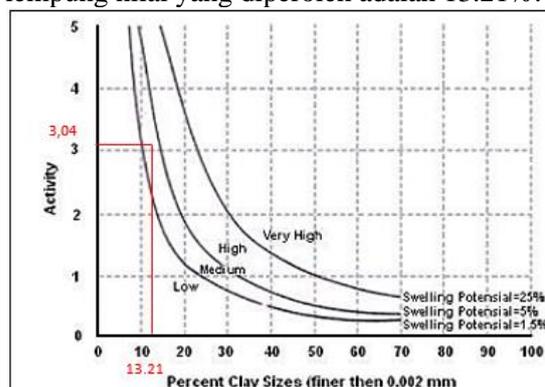
Sumber: Hasil Analisis (2022)

Menurut aturan USCS sampel tanah Sta 37+850 dikategorikan sebagai tanah berbutir halus karena tanah yang lolos ayakan No. 200 di diloatas 50% (tabel 1). Batas cair dan indeks plastisitas diplot ke bagan plastisitas sistem USCS (*Cassagrande*) sehingga diklasifikasikan sebagai tanah CH yaitu lempung organik dengan plastisitas tinggi. Sampel tanah Sta 35+000 juga diklasifikasikan sebagai tanah CH.

Klasifikasi tanah sistem AASHTO pada sampel tanah Sta 37+850 persentase tanah yang lolos No.200 berkisar 91,70% (>35%) sehingga tanah ini termasuk dalam klasifikasi lanau atau lempung. Apabila melihat nilai batas cair dan indeks plastisitas maka tanah ini termasuk dalam klasifikasi A-7-5 karena nilai  $PI \leq LL-30$  ( $40,18\% \leq 40,60\%$ ). Sampel tanah Sta 35+000 juga termasuk dalam klasifikasi A-7-5. Tanah dimana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 diklasifikasikan kedalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai dengan A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung (Das, 1995). Sehingga tanah A-7-5 merupakan jenis tanah berlempung dimana sifat fraksi lolos saringan nomor 4 dengan nilai Indeks Plastisitas (PI) minimal 11% dan Batas Cair (LL) minimal 41%.

*Analisis Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar pada Subgrade yang Diinjeksi Air Semen*  
(Edwin Mehator Situngkir, Trihanyndio Rendy Satria, Ria Asih Aryani Soemitro, Vidi Ferdian)

Salah satu cara untuk membuktikan bahwa sampel tanah yang digunakan adalah apakah jenis lempung ekspansif atau bukan dilakukan penyesuaian hasil uji dengan beberapa literatur. Dalam menentukan potensi pengembangan sampel tanah, penulisan ini menggunakan acuan pada penelitian Seed (1962) yang mengaitkan tingkat keaktifan dengan presentase fraksi lempung (gambar 3). Berdasarkan pengujian batas Atterberg dan analisa ukuran butiran diperoleh tingkat keaktifan adalah 3,04. Untuk persentase lempung nilai yang diperoleh adalah 13.21%.



Sumber: Hasil Analisis (2022)

**Gambar 3.** Potensi Pengembangan tanah lempung Sta 37+850 berdasarkan klasifikasi Seed 1962

Derajat pengembangan tanah lempung pada sampel tanah 2 Sta 37+850 adalah medium dengan nilai potensi kembang susut kurang dari 5% atau diantara 1,5% sampai 5%. Berdasarkan hasil pengujian *swelling potential* pada kedua sampel tanah ini menghasilkan persentase *swelling* pada sampel Sta 35+000 sebesar 5,0% dan pada sampel Sta 37+850 sebesar 6,30% dan *swelling pressure* pada sampel Sta 35+000 sebesar 20,99 kPa dan pada sampel Sta 37+850 sebesar 24,53 kPa.

### Akuisisi Data Ground Penetrating Radar (GPR)

Akuisisi data GPR diambil dari arah Gresik di sisi kiri jalan. Pengukuran dilakukan pada badan jalan di atas perkerasan beton diambil arah memanjang dan melintang jalan. Lokasi akuisisi data GPR di Sta 34+700 dan Sta 37+850 (gambar 4). Pengukuran data GPR setiap titik dilakukan sebanyak 2 (dua) lintasan, dengan lintasan 1 dilakukan pengukuran secara melintang jalan selebar lajur pada tiap-tiap segmen perkerasan rigid beton, kemudian

lintasan 2 memanjang jalan di badan jalan perkerasan rigid beton sepanjang 50 meter.



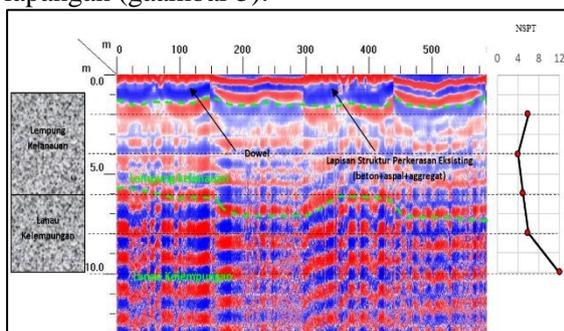
Sumber: Hasil Analisis (2022)

**Gambar 4.** Posisi Akuisisi Data GPR dalam Foto Satelit

### Interpretasi dan Analisis Data GPR

#### Sta 34+700 Melintang Jalan

Dari hasil pengolahan data GPR dapat dilihat pada kedalaman 0 sampai 1,0 meter terdapat *reflector* berupa *layer* yang tebal memanjang, *layer* ini dapat diinterpretasikan sebagai lapisan struktur perkerasan berupa lapisan perkerasan *rigid* beton, lapisan aspal dan lapisan pondasi agregat eksisting. Lapisan yang ditunjukkan oleh radargram ini sesuai dengan lapisan konstruksi perkerasan di lapangan (gambar 5).



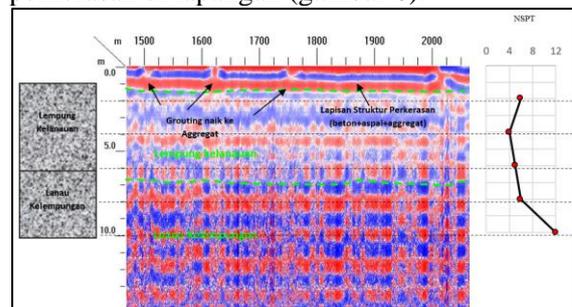
Sumber: Hasil Analisis (2022)

**Gambar 5.** Radargram Sta 34+700 melintang jalan

Pada lapisan permukaan radargram terdapat hiperbola kecil. Karena lintasan ini diambil pada sambungan antarsegmen perkerasan *rigid*, hiperbola ini dapat diinterpretasikan sebagai dowel, yaitu baja yang dipasang antarsegmen *rigid*. Dowel sendiri adalah material penghubung antara dua komponen struktur atau segmen berupa batang baja polos sebagai sarana penyambung atau pengikat pada perkerasan *rigid* beton. Pada *trace* 150 sampai 300 dan 450-575 tidak ditemukan hiperbola kecil karena lintasan diambil di tengah segmen *rigid* yang tidak terpasang dowel. Pada kedalaman 1,0 sampai 13 meter terlihat *reflector* yang bergelombang dan tidak seragam, terdapat sedikit perbedaan ketajaman kontras antarlapisan. Perbedaan ini dapat diakibatkan perbedaan jenis lapisan yang menyelingi lapisan tanah. Namun, jika diamati *reflector* sedikit tidak teratur beberapa seperti horizon tajam, kemungkinan pada lintasan ini kandungan lempung relatif besar dan jenuh sehingga sangat mempengaruhi respon radar karena air merupakan medium yang sangat konduktif dan memiliki konstanta dielektrik yang sangat tinggi. Horizon tajam juga dapat diinterpretasi sebagai lapisan pasir dan lanau. Dari data bor (SPT) jenis tanah pada lokasi ini didominasi lempung, lanau dan sedikit terdapat pasir.

#### Sta 34+700 Memanjang Jalan

Dari hasil pengolahan data GPR terlihat pada kedalaman 0 sampai 1,0 meter terdapat *reflector* berupa beberapa *layer* yang tebal dan menerus, *layer* ini dapat diinterpretasikan sebagai lapisan struktur perkerasan *rigid* beton, lapisan aspal dan lapis pondasi agregat *eksisting*. Lapisan yang ditunjukkan oleh radargram ini sesuai dengan lapisan konstruksi perkerasan di lapangan (gambar 6).



Sumber: Hasil Analisis (2022)

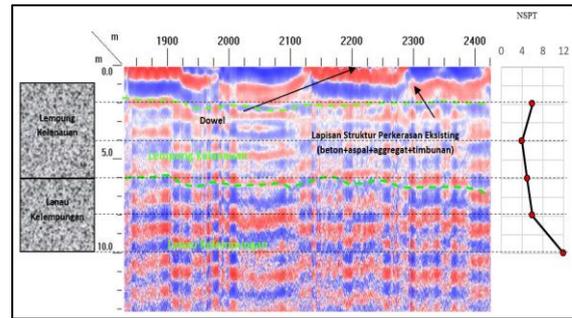
**Gambar 6.** Radargram Sta 34+700 memanjang

Pada *trace* 1500, 1625, 1750 dan 2000 terdapat *reflector* menyerupai garis tegak dan solid yang memutus *layer* tebal menerus pada permukaan lapisan radagram, ini menunjukkan respons radar yang berbeda pada kedalaman penetrasi yang sama karena adanya perbedaan material lapisan. Garis tegak dan *solid* dapat diinterpretasikan material *grouting* naik saat diinjeksi karena tidak dapat menembus lapisan di bawahnya sehingga menyebar melalui lapisan pondasi agregat kemudian keluar ke permukaan aspal melalui lubang *grouting* pada titik lain yang berdekatan, seperti yang terjadi saat pelaksanaan injeksi *grouting* di lapangan. Pada *trace* ini material *grouting* yang naik ke permukaan lapisan agregat lebih banyak ditemukan. Kemungkinan lapisan fondasi agregat di lintasan ini banyak yang mengalami kerusakan dan berongga sehingga mudah untuk dilalui material *grouting* saat diinjeksi.

Lapisan *subgrade* pada lintasan ini kedalaman 1,0 sampai 13,0 meter terlihat *reflector* yang dihasilkan bergelombang dan sedikit teratur menyerupai horizon yang tajam dan seragam. Terdapat sedikit perbedaan ketajaman, kemungkinan pada lintasan ini kandungan lempung relatif besar dan jenuh. Horizon tajam juga dapat diinterpretasi sebagai lapisan pasir dan lanau. Dari data bor (SPT) jenis tanah pada lokasi ini didominasi lempung, lanau, dan sedikit terdapat pasir.

### Sta 37+850 Melintang Jalan

Dari hasil pengolahan data GPR dapat dilihat pada kedalaman 0 sampai 2,0 meter terlihat *reflector* berupa beberapa *layer* yang tebal dan memanjang, *layer* ini dapat diinterpretasikan sebagai lapisan struktur perkerasan *rigid* beton, lapisan aspal, lapis fondasi agregat dan timbunan eksisting. Lapisan yang ditunjukkan oleh radargram ini sesuai dengan lapisan konstruksi perkerasan di lapangan (gambar 7).



Sumber: Hasil Analisis (2022)

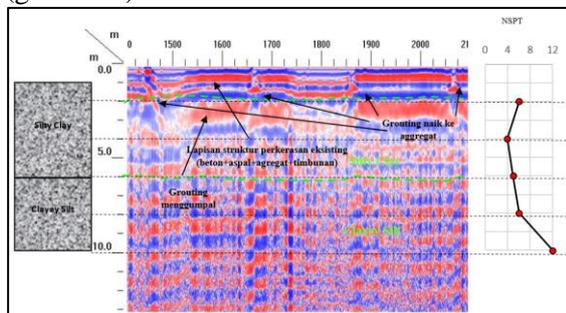
**Gambar 7.** Radargram Sta 37+850 melintang jalan  
 Pada lapisan permukaan terdapat hiperbola kecil walaupun tidak terlalu jelas seperti pada lintasan di Sta 34+700. Lintasan ini diambil pada sambungan antarsegmen sehingga hiperbola ini dapat diinterpretasikan sebagai dowel yaitu baja yang dipasang antarsegmen *rigid*. Sementara itu, pada *trace* 2000 sampai 2125 dan 2300 sampai 2425 tidak ditemukan hiperbola kecil karena lintasan diambil di tengah segmen *rigid* yang tidak terpasang dowel.

Pada kedalaman 2,0 sampai 13 meter merupakan lapisan *subgrade* terlihat *reflector* yang bergelombang, tetapi tidak seragam, jika diamati *reflector* sedikit tidak teratur dan terlihat seperti horizon tajam hampir di sepanjang *trace*, dimungkinkan pada lintasan ini kandungan lempung sangat besar dan jenuh sehingga mempengaruhi respons radar. Horizon tajam juga dapat diinterpretasi sebagai lapisan pasir dan lanau. Dari data bor (SPT) jenis tanah pada lokasi ini didominasi lempung, lanau dan sedikit terdapat pasir.

### Sta 37+850 Memanjang Jalan

Dari hasil pengolahan data dapat dilihat pada kedalaman 0 sampai 2,0 meter terlihat *reflector* berupa beberapa *layer* tebal dan kontiniu. *Layer* ini terlihat seperti susunan lapisan memanjang dan terdapat lebih banyak *layer* daripada Sta 34+700. Perbedaan ketajaman kontras sangat jelas antarlapisannya menandakan perbedaan jenis material. Jika melihat topografi daerah ini yang di sisi kiri dan kanan lokasi ini adalah tambak, kemungkinan dahulu sudah pernah dilakukan peninggian badan jalan dengan timbunan terhadap jalan eksisting. *Layer* ini dapat diinterpretasikan sebagai lapisan struktur berupa lapisan struktur perkerasan *rigid* beton pada permukaan paling atas, lapisan aspal eksisting, lapisan fondasi

agregat dan timbunan eksisting. Lapisan yang ditunjukkan oleh radargram ini sesuai dengan lapisan konstruksi perkerasan di lapangan (gambar 8).



Sumber: Hasil Analisis (2022)

**Gambar 8** Radargram Sta 37+850 memanjang jalan

Pada kedalaman 2 sampai 3 meter di bawah lapisan struktur terdapat *layer* yang lebih tebal dan menerus seperti gumpalan dengan model *reflector* sedikit berbeda dengan *layer* di bawahnya dan *reflector* di bawahnya seperti horizon tajam, kemungkinan *layer* tebal ini adalah material *grouting* yang keluar dari lubang pipa *grouting*, tetapi tidak dapat menembus lapisan di bawahnya karena kepadatan tanah yang tinggi sehingga material *grouting* menggumpal dan membentuk lapisan. Pada *trace* 1650, 1850 dan 2075 terdapat *reflector* yang menyerupai garis tegak dan *solid* yang memutus *layer* tebal menerus pada permukaan lapisan radagram. Kemungkinan *trace* ini titik lemah lapisan fondasi dan dapat diinterpretasikan material *grouting* naik saat diinjeksi karena tidak dapat menembus lapisan lempung di bawahnya sehingga menyebar melalui lapisan fondasi agregat kemudian keluar ke permukaan aspal melalui lubang *grouting* pada titik lain yang berdekatan seperti yang terjadi saat pelaksanaan injeksi *grouting* di lapangan.

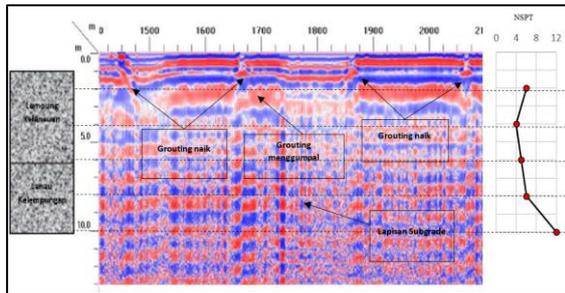
Pada kedalaman 3,0 sampai 13 meter juga terlihat *reflector* yang seragam dan teratur terdapat sedikit perbedaan ketajaman. Namun, jika diamati *reflector* terlihat seperti horizon tajam hampir sepanjang *trace* sampai pada kedalaman paling bawah dimungkinkan pada lintasan ini kandungan lempung relatif tebal dan jenuh sehingga mempengaruhi respons radar. Horizon tajam juga dapat diinterpretasi sebagai lapisan pasir dan lanau. Dari data bor (SPT) jenis tanah pada lokasi ini didominasi lempung, lanau, dan sedikit terdapat pasir.

## PEMBAHASAN

Kondisi lapisan bawah permukaan (*subgrade*) pada ruas jalan nasional Tuban–Babat–Lamongan–Gresik berdasarkan data geoteknik didominasi tanah jenis lempung dengan kadar air yang tinggi, lanau, dan dijumpai sedikit pasir. Lapisan lempung ini sangat tebal dan konsisten ditemukan pada tiap lapisan sampai kedalaman 10 meter jika dilihat dari hasil pengeboran SPT. Dari data GPR juga menunjukkan lapisan *subgrade* didominasi oleh satu jenis *reflector* yang seragam dan menerus. *Reflector* tersebut menyerupai horizon kecil dan tajam sepanjang *trace* dan sampai kedalaman 13 meter.

Dari hasil interpretasi dan analisis data GPR pada Sta 34+700 dan Sta 37+850 material *grouting* yang diinjeksi dengan tekanan sebesar 5 bar ( $5 \text{ kg/cm}^2$ ) melalui pipa *grouting* ke dalam tanah tidak dapat masuk dan menyebar pada lapisan *subgrade* karena permeabilitas tanah lempung sangat rendah yaitu  $k=2,4 \times 10^{-8} \text{ cm/detik}$  pada lokasi Sta 34+700 dan  $k=1,12 \times 10^{-9} \text{ cm/detik}$  pada lokasi Sta 37+850 sehingga material *grouting* naik saat diinjeksi akibat tekanan balik karena tidak mampu menembus lapisan *subgrade*, kemudian menyebar pada lapisan fondasi agregat dan keluar dari permukaan aspal eksisting seperti pelaksanaan di lapangan. Hal ini dapat dilihat dari *reflector* menyerupai garis tegak dan *solid* yang memutus *layer* tebal menerus pada permukaan lapisan radagram. *Layer* tebal menerus ini sendiri dapat diinterpretasi sebagai lapisan konstruksi, lapisan fondasi agregat, dan timbunan. Garis tegak dan *solid* tersebut tampak seperti garis yang menembus tiap lapisan (*layer*) dan naik ke permukaan radagram.

Selain itu, pada Sta 37+850, material *grouting* keluar dari lubang bawah pipa *grouting* yang tertanam sepanjang 2,5 meter di dalam tanah, tetapi tidak dapat menembus lapisan di bawahnya atau *subgrade* sehingga sebagian material *grouting* menggumpal dan membentuk lapisan. Hal ini dapat dilihat dari *reflector* tebal menerus di bawah lapisan fondasi seperti gumpalan yang berbeda dengan *layer subgrade* di bawahnya yang seperti *reflector* horizon kecil tajam dan seragam (Gambar 9).



Sumber: Hasil Analisis (2022)

**Gambar 9.** Lapisan *subgrade* pada radargram

Berdasarkan hasil pengamatan dilapangan material *grouting* tidak dapat masuk ke dalam lapisan *subgrade* saat diinjeksi dengan tekanan 5 bar ( $5 \text{ kg/cm}^2$ ) sehingga material *grouting* menyebar pada lapisan agregat, kemudian keluar ke permukaan aspal melalui lubang *grouting* pada titik lain yang berdekatan sama seperti terjadi saat pelaksanaan injeksi *grouting* di lapangan (Gambar 10).



**Gambar 10.** Air semen keluar dari lubang pada titik lain dipermukaan aspal saat pelaksanaan injeksi di lapangan

Material *grouting* naik melalui pipa *grouting* atau celah antara pipa dan tanah karena terdapat rongga saat pengeboran untuk memasukkan pipa *grouting* ke dalam tanah.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil analisis data *Ground Penetrating Radar* (GPR) disimpulkan bahwa material *grouting water cement* yang diinjeksi tidak dapat menembus dan menyebar pada lapisan *subgrade* sehingga material *grouting* sebagian menggumpal dan membentuk lapisan di bawah lapisan fondasi. Pada lapisan *subgrade* juga tidak terjadi penyebaran material *grouting* karena tidak tampak perubahan lapisan tanah setelah dilakukan *grouting water cement*.

*Analisis Lapisan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar pada Subgrade yang Diinjeksi Air Semen*

(Edwin Mehator Situngkir, Trihanyndio Rendy Satria, Ria Asih Aryani Soemitro, Vidi Ferdian)

Metode perbaikan tanah *grouting water cement* kurang efektif dilakukan pada jenis tanah kohesif karena material *grouting* tidak dapat masuk dan menembus lapisan tanah akibat permeabilitas tanah lempung yang rendah yaitu  $k=2,4 \times 10^{-8} \text{ cm/detik}$  pada lokasi Sta 35+000 dan  $k=1,12 \times 10^{-9} \text{ cm/detik}$  pada lokasi Sta 37+850. Campuran air dan semen akan meningkatkan viskositas dan kohesi dan menghasilkan pasta semen kental sehingga tidak mampu masuk ke dalam pori jenis tanah kohesif. Metode perbaikan *grouting water cement* ini lebih cocok digunakan pada jenis tanah granular seperti tanah berbatu dan tanah berpasir (*coarse and fine sand*).

### Saran

Untuk memperkuat analisis penyebaran *grouting water cement* dari data GPR maka perlu dilakukan *coring* pada lokasi titik *grouting water cement* guna mengetahui penyebaran dan kedalaman material *grouting* yang diinjeksi di lapangan sebagai pembandingan. Di samping itu perlu dikaji kembali metode perbaikan tanah yang lain sesuai dengan jenis tanah karena metode perbaikan tanah *grouting water cement* kurang efektif dilakukan pada jenis tanah kohesif.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai wujud penghargaan terhadap pihak-pihak yang terlibat dalam penyusunan naskah atau dalam penelitian dan/atau pengembangan dan selesainya tulisan ini, kami mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M. Eng, Dr. Trihanyndio Rendy Satria, S.T, M.T, Vidi Ferdian, S.T, M.Eng, M.Sc dan Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si atas bimbingan yang telah diberikan kepada kami.

## DAFTAR PUSTAKA

Al-Shukri, Haydar, Mahdi, Hanan, H. and Tuttle, Martia. 2006. Three Dimensional Imaging Of Earthquake-Induced Liquefaction Features with Ground Penetrating Radar Near Marianna, Arkansas, *Seismo. Res. Lett., Vol.77, pp.505-513*.

- Budiono, K., Handoko., Hermawan, U. 2010. "Penafsiran Struktur Geologi Bawah Permukaan di Kawasan Semburan Lumpur Sidoarjo, Berdasarkan Penampang Ground Penetrating Radar (GPR)". *Jurnal Geologi Indonesia*, vol. 5, pp. 187-195.
- Bristow, CS dan Jol, HM. 2003. "Ground Penetrating Radar in Sediments". *Geological Society London Special Publication*, 211
- Francke, J. dan Yelf, R. 2003. "Applications of GPR for Surface Mining". *Proc of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Advanced GPR. A Yarovoy (ed). Published by IEEE International Research Centre for Telecommunication and radar, Delft University, Netherlands* pp.115-119.
- Gross, R., Holliger, K., Green, A., Seitz, G. and Baldwin, J. 1999. "Ground Penetrating Radar On The San Andreas Fault". *A Complementary Paleoseismological Tool, abstract, AGU Fall Meeting*.
- Gross, R., Holliger, Klaus, Alan, GG dan Begg, Jhon. 2000. "3D Ground Penetrating Radar Applied To Paleoseismology: examples from the wellington Fault, New Zealand". *Proceedings Of Spie Volume, 4084*.
- Indrawati, E, Indarto, Soemitro, RAA., & Permadi, N. 2022. "Pengaruh Perkuatan Grouting Terhadap Beban Maksimum Yang Dapat Diterima Tanah Dasar Pada Ruas Jalan Lamongan – Gresik". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 6*.
- Ni, James C., and Wen-Chieh Cheng. "Monitoring and Modeling Grout Efficiency of Lifting Structure in Soft Clay." *International Journal of Geomechanics* 10, no. 6 (December 1, 2010): 223–29. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0000026](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000026).
- Lehmann, Frank dan Green, Alam G. 1999. "Semi-Automated Georadar Data Acquisition In Three Dimensions". *Switzerland Swiss Federal Institute Of Technology, Institute Of Geophysics, ETH-Honggerberg, CH-8093 Zurich*.
- Mitchell, JK 1981. "Soil Improvement State of Art" *Proc. of Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Stockholm, Sweden, (1981), pp. 509-565*.
- Naudts, A., Eric, L., Stephen, H., and Ward, N. 2003. "Additives and admixtures in cement-based grouts". Paper online: <http://www.ecogROUT.com>, pp. 1-14.
- Omoto, S., dan Nebeto, N. 1998. "Reinforcement effect on bearing capacity of existing asphalt pavement by compaction grouting and structural evaluation". *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Pavement Engineering, Volume 3, (1998), pp. 165-174*.
- Parnadi, W. Wahyudi., Warsa, W., Laensapura. A., dan Parnadi, G. Rizandi., 2018. "Correlating Ground-Penetrating Radar Data With Geotechnical Data". *International Conference on Applied Electromagnetic*.
- Reynolds, JM 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Chichester: John Wiley and Sons Ltd. 796*.
- Vankateswarlu. B., Vinod, CT. 2014. "Geotechnical Applications of Ground Penetrating Radar (GPR)". *Journal, Ind, Geol., Vol. 6 (1). Wadia Institute Himalayan (WIHG) Uttarakhand*.
- Yuanita, I, Indarto, Soemitro, RAA., & Permadi, N. 2022. "Analisis Penurunan Tanah dengan Perkuatan Water cement Grouting Pada Proyek Preservasi Ruas Tuban – Babat – Lamongan – Gresik". *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas, Vol. 6*.