

Evaluasi dan Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar Timbunan Jalan Kereta Api Mojokerto-Sepanjang KM. 48+800 s.d 48+850 dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

Muhammad Alfiyan Zulfa, Indrasurya Budisatria Mochtar, dan Mustain Arif
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: indrasurya@ce.its.ac.id

Abstrak—Proyek pembangunan jalur ganda lintas selatan yang merupakan Proyek Strategis Nasional (PSN) adalah salah satu bentuk upaya pemerintah untuk meningkatkan kapasitas transportasi kereta api di Pulau Jawa. Pada section Mojokerto – Sepanjang pekerjaan paket delapan (8) atau tepatnya pada ruas KM. 48+800 s.d KM. 48+850, direncanakan timbunan tinggi tanpa dilakukan perbaikan tanah terlebih dahulu. Kondisi tersebut perlu dievaluasi untuk mengetahui bagaimana keamanan tanah dasar terhadap pemampatannya. Sekaligus direncanakan bagaimana perbaikan tanah dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* untuk mempercepat pemampatan. Berdasarkan hasil analisis data tanah, tanah dasar pada KM 48+800 s.d 48+850 didominasi oleh tanah kohesif berkonsistensi sangat lunak hingga sedang dengan kedalaman 8,8 meter. Berdasarkan hasil analisis, tanah dasar timbunan pada ruas yang ditinjau tidak aman terhadap pemampatan tanah dasar yang terjadi, karena rate of settlementnya melebihi batas izin yang telah ditentukan oleh Kementerian PUPR (> 2 cm/tahun) selama lebih dari 4 tahun pertama proses konstruksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan perbaikan tanah menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* pola persegi jarak 0,8 meter dengan kedalaman 9 meter. Dibutuhkan waktu 10 minggu untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dan 24 minggu untuk mencapai derajat konsolidasi mendekati 100%. Proses pemampatan akan berlangsung ketika beban *preloading* berupa tanah timbunan setinggi 6,8 meter dengan rencana kecepatan penimbunan setinggi 0,6 meter/minggu telah berlangsung.

Kata Kunci—Jalan Kereta Api, Pemampatan, Perbaikan Tanah, *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN zaman menuntut efisiensi dan efektivitas dalam segala aspek, tak terkecuali pada moda transportasi. Salah satu moda transportasi umum yang banyak diminati adalah kereta api. Kereta api dinilai efisien dan efektif dalam memenuhi kebutuhan pengangkutan barang serta mampu mengimbangi mobilitas masyarakat yang tinggi. Hal tersebut melatar belakangi meningkatnya tren penggunaan kereta api akhir-akhir ini. Berdasarkan data dari PT. KAI, volume pengguna kereta api di semester pertama 2022 mengalami peningkatan yang signifikan dengan jumlah 119,8 juta pengguna, jumlah tersebut meningkat sebesar 42% dibanding semester pertama 2021. Peningkatan tersebut tentunya mendukung pergeseran kebiasaan bertransportasi yang lebih positif. Pasalnya, pemilihan kereta api sebagai alternatif bertransportasi ini memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh moda transportasi umum lain, seperti kapasitas angkut yang besar, rendah emisi, dan pemberhentian yang menjangkau pusat perekonomian. Fenomena peningkatan

demand akan transportasi kereta api mendorong pemerintah untuk membangun dan mengembangkan infrastruktur kereta api di Pulau Jawa. Salah satu pengembangan yang sedang berlangsung adalah Proyek Pembangunan Jalur Ganda KA Lintas Selatan.

Proyek tersebut merupakan Proyek Strategis Nasional yang bertujuan meningkatkan kapasitas transportasi kereta api di Pulau Jawa bagian selatan, dengan rencana panjang 361 kilometer yang mencakup Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat. Proyek ini dibagi menjadi sejumlah *section*, salah satunya adalah jalur ganda Mojokerto – Sepanjang. *Section* tersebut dibagi kembali menjadi 9 paket pekerjaan, di mana untuk paket 8 pada KM. 43+800 s.d 49+500 dikerjakan oleh PT. Wijaya Karya – NTL KSO dengan lingkup pekerjaan meliputi perkuatan tanah asli, pembangunan *railway track* sepanjang 5,7 kilometer, pembangunan Stasiun Tarik, dan pembangunan jembatan kereta api dengan bentang 250 meter.

Data pengujian sondir yang dilakukan di sepanjang KM. 43+800 s.d 49+500 menunjukkan bahwa proyek pembangunan jalur ganda KA Mojokerto – Sepanjang paket 8 ini dilakukan di atas tanah lunak dengan kedalaman yang variatif. Pada ruas KM. 48+800 s.d 48+850, secara spesifik terdapat tanah kohesif dengan konsistensi sangat lunak hingga sedang dan tanah non-kohesif dengan konsistensi sangat lepas hingga sedang dengan kedalaman mencapai 10 meter. Pada ruas tersebut direncanakan timbunan dengan tinggi 5,7 meter tanpa dilakukan perbaikan tanah dasar terlebih dahulu. Kondisi tersebut berisiko menimbulkan ketidakamanan akibat kemungkinan terjadinya pemampatan tanah dasar yang melebihi batas standar. Berdasarkan ketentuan oleh Kementerian PUPR, disyaratkan *rate of settlement* tanah dasar tidak boleh melebihi 2 cm/tahun dengan total derajat konsolidasi sebesar 90% [1].

Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi untuk mengetahui keamanan tanah dasar terhadap kemungkinan terjadinya pemampatan akibat beban timbunan jalan kereta api di atasnya. Sekaligus direncanakan perbaikan tanah menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* untuk mempercepat pemampatan tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jalan Kereta Api

Struktur jalan kereta api pada dasarnya dibagi menjadi dua, yakni struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah terdiri dari sub balas, badan jalan, drainase, konstruksi perkuatan lereng dan pilar jembatan. Sedangkan untuk struktur atas

Tabel 1.
Hasil pengujian sondir

Depth m	qc kg/cm ²	FR %	Depth m	qc kg/cm ²	FR %
0,2	2	6,7	5,2	15	2,2
0,4	2	6,7	5,4	15	4,4
0,6	5	4	5,6	20	3,3
0,8	5	4	5,8	20	3,3
1	10	4	6	20	3,3
1,2	10	4	6,2	20	2,3
1,4	12	4,4	6,4	20	2,3
1,6	10	6,7	6,6	17	2
1,8	7	3,8	6,8	15	4,4
2	4	3,3	7	15	4,4
2,2	8	2,5	7,2	15	4,4
2,4	8	2,5	7,4	20	1,7
2,6	8	2,5	7,6	27	2,5
2,8	8	3,3	7,8	20	3,3
3	8	3,3	8	30	2,2
3,2	10	3,3	8,2	25	2,7
3,4	17	2	8,4	25	2,7
3,6	17	2	8,6	35	1,9
3,8	20	3,3	8,8	55	1,2
4	20	3,3	9	80	0,8
4,2	20	2,3	9,2	100	0,7
4,4	20	2,3	9,4	150	0,4
4,6	15	3,1	9,6	180	0,7
4,8	10	6,7	9,8	250	
5	10	6,7			

Tabel 2.
Hasil analisis jenis lapisan tanah

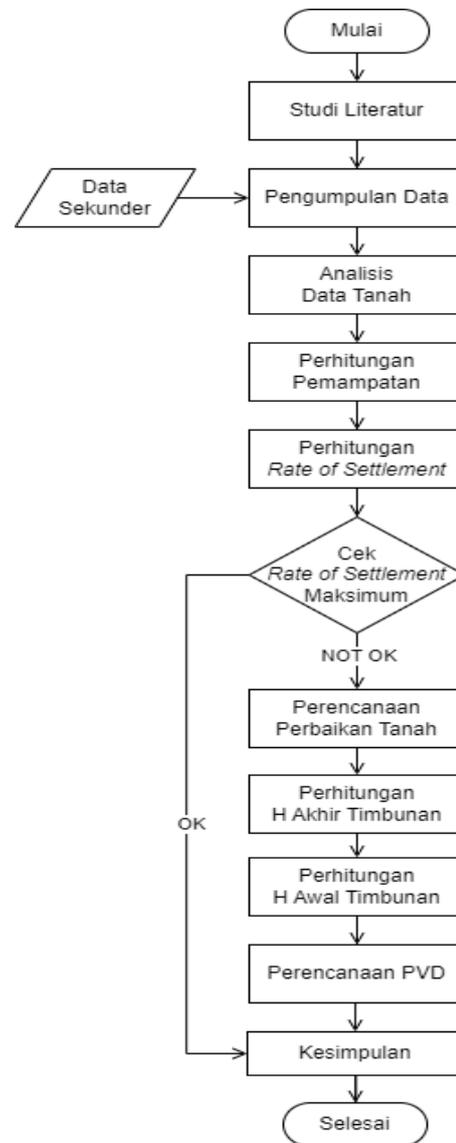
Depth m	Jenis Tanah	Konsistensi
0.4 - 7.2	Silty Clay - Clay	Sangat Lunak - Lunak
7.2 - 8.8	Clayey Silt	Sedang
8.8 - dst	Sand	Sedang - Padat

meliputi rel, bantalan, penambat, balas, dan wesel. Lebar rel dibedakan menjadi 3 kategori yakni, *standard gauge* (1435 mm), *broad gauge* (> 1435 mm), dan *narrow gauge* (< 1435 mm). Di Indonesia, model yang digunakan adalah *narrow gauge* dengan lebar 1067 mm. Profil rel kereta api terdiri dari beberapa jenis berdasarkan peruntukan kapasitas angkut lintas (juta ton/tahun) dan kecepatan maksimum kereta api yang melewati, yakni profil R33, R42, R50, R54, dan R60 [2].

B. Pemampatan Tanah

Pemampatan tanah merupakan proses keluarnya air dari dalam pori tanah yang disertai dengan berkurangnya volume tanah, sehingga menyebabkan menurunnya lapisan tanah. Pemampatan tersebut terjadi akibat adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, atau keluarnya air/udara dalam pori. Umumnya hal-hal tersebut terjadi apabila terdapat beban dengan berat tertentu di atas permukaan tanah. Pemampatan (*settlement*) pada tanah dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan pembebanan yang terjadi, yakni *immediate settlement* dan *consolidation settlement*.

Intermediate settlement berlangsung seketika setelah dilakukan pembebanan. Proses pemampatan ini umumnya terjadi pada lapisan tanah pasir dan biasanya berlangsung dalam jangka waktu yang singkat dan tidak cukup signifikan. Perhitungan pemampatan segera umumnya didasarkan pada penurunan teori elastisitas. Sedangkan *consolidation settlement* terjadi pada lapisan tanah lempung dengan nilai derajat kejenuhan yang tinggi. Penurunan yang terjadi akibat pemampatan konsolidasi umumnya cukup besar, namun prosesnya berlangsung sangat lama.



Gambar 1. Alur perencanaan pengerjaan tugas akhir.

C. Perbaikan Tanah

Salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat proses penurunan tanah yang disebabkan oleh pemampatan atau konsolidasi adalah dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* kombinasi dengan *preloading*. *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* merupakan sistem drainase buatan yang dipasangkan secara vertikal di dalam lapisan tanah lunak. PVD memiliki bentuk seperti sabuk dengan penampang persegi panjang yang terbuat dari bahan sintetik seperti halnya *geotextile*. Tujuan dari penggunaan PVD adalah untuk memperpendek *drainage path* dari air pori pada lapisan tanah lunak yang akan keluar ke permukaan, sehingga dapat mempercepat waktu pemampatan konsolidasi. *Preloading* atau pemberian beban awal adalah metode perbaikan tanah yang dilakukan dengan cara memberikan beban di atas muka tanah yang akan dilakukan proses konstruksi. Umumnya beban yang diberikan berupa beban tanah timbunan. Tinggi beban timbunan yang diberikan direncanakan berdasarkan besarnya pemampatan tanah dasar dan tinggi akhir timbunan yang direncanakan. Dengan adanya beban tersebut menyebabkan tanah lempung di bawahnya mengalami pemampatan dan meminimalisir terjadinya kerusakan struktur atas akibat *settlement*.

Tabel 3.
Hasil perhitungan *cone resistance* (qc) pakai

Jenis Tanah	Konsistensi	qc rata-rata kg/cm ²	Standar Deviasi	CoV	qc pakai kg/cm ²
<i>Silty Clay - Clay</i>	Sangat Lunak - Lunak	12,7	5,7	45%	8,0
<i>Clayey Silt</i>	Sedang	29,6	10,7	36%	19,0
<i>Sand</i>	Sedang - Padat	152,0	60,5	40%	92,0

Tabel 4.
Hasil korelasi parameter tanah

Jenis Tanah	Konsistensi	qc pakai kg/cm ²	N-SPT	γ sat kN/m ³	Cu kN/m ²	ϕ °
<i>Silty Clay - Clay</i>	Sangat Lunak - Lunak	8	2	16,00	12	0
<i>Clayey Silt</i>	Sedang	19	4	16,00	24	0
<i>Sand</i>	Sedang - Padat	92	21	19,43	-	39

III. METODOLOGI

Tahapan pengerjaan tugas akhir sesuai dengan diagram alir pada Gambar 1. Perencanaan perbaikan tanah dilakukan dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan timbunan *preloading* sebagai beban. Perencanaan tersebut dilakukan apabila hasil *rate of settlement* tanah dasar melebihi standar yang ditentukan oleh Kementerian PUPR. Berikut adalah detail informasi proyek dan spesifikasi material serta bahan yang digunakan dalam perencanaan:

- Data Perencanaan Modifikasi
 - Nama Proyek : Proyek Jalur Ganda KA Mojokerto – Sepanjang
 - Lokasi Proyek : Kecamatan Tarik, Sidoarjo
 - Ruas Jalan : KM. 48+800 s.d 48+850
 - Tinggi Timbunan : 5,7 m
- Data Material dan Bahan
 - Material Timbunan : Timbunan Tanah Pilihan ($\gamma_{sat} = 19,73$ kN/m³)
 - Tipe PVD : CT – D812 (a = 0,1 m; b = 0,005 m)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perencanaan Struktur Sekunder

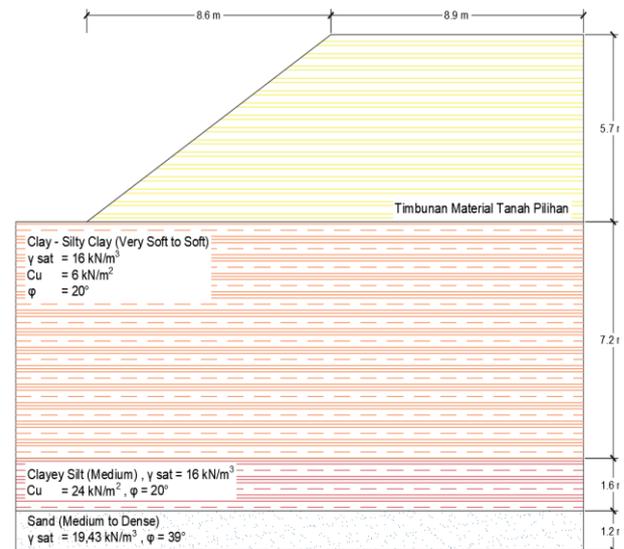
1) Analisis Data Tanah

Uji penyelidikan tanah yang dilakukan oleh pihak kontraktor pada ruas yang ditinjau adalah uji sondir, yang disajikan pada Tabel 1. Hasil uji sondir tersebut dianalisis untuk mengetahui jenis tanah untuk setiap lapisannya menggunakan grafik Schmertmann tahun 1978. Hasil analisis jenis lapisan tanah disajikan pada Tabel 2.

Setelah didapatkan jenis lapisan tanah, maka dilakukan perhitungan nilai *cone resistance* (qc) pakai untuk setiap lapis tanah dengan jenis yang sama. Perhitungan qc pakai dilakukan dengan memerhitungkan standar deviasi dan *Co-Varians* untuk nilai qc pada lapisan tanah yang sama. Hasil perhitungan qc pakai disajikan pada Tabel 3. Korelasi parameter tanah dilakukan berdasarkan nilai qc pakai yang

Tabel 5.
Hasil korelasi parameter tanah (lanjutan)

Jenis Tanah	Konsistensi	e	LL %	Cc	Cs	Cv cm ² /s
<i>Silty Clay - Clay</i>	Sangat Lunak - Lunak	1,85	68,6	0,726	0,156	0,00040
<i>Clayey Silt</i>	Sedang	1,85	68,6	0,726	0,156	0,00040
<i>Sand</i>	Sedang - Padat	0,79	29,4	0,128	0,021	0,00100



Gambar 2 Dimensi timbunan dan lapisan tanah dasar.

sudah diperhitungkan untuk setiap lapisan tanah, korelasi tersebut didasarkan pada teori milik Ardana-Mochtar, Kosasih-Mochtar, Bowless, dan Biarez & Favre. Hasil korelasi parameter disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Berdasarkan analisis data tanah di atas, maka didapatkan hasil bahwa terdapat dua lapisan tanah *compressible*, yakni *silty clay - clay* dan *clayey silt*. Oleh karena itu, besarnya pemampatan yang terjadi diperhitungkan untuk dua lapis tanah tersebut.

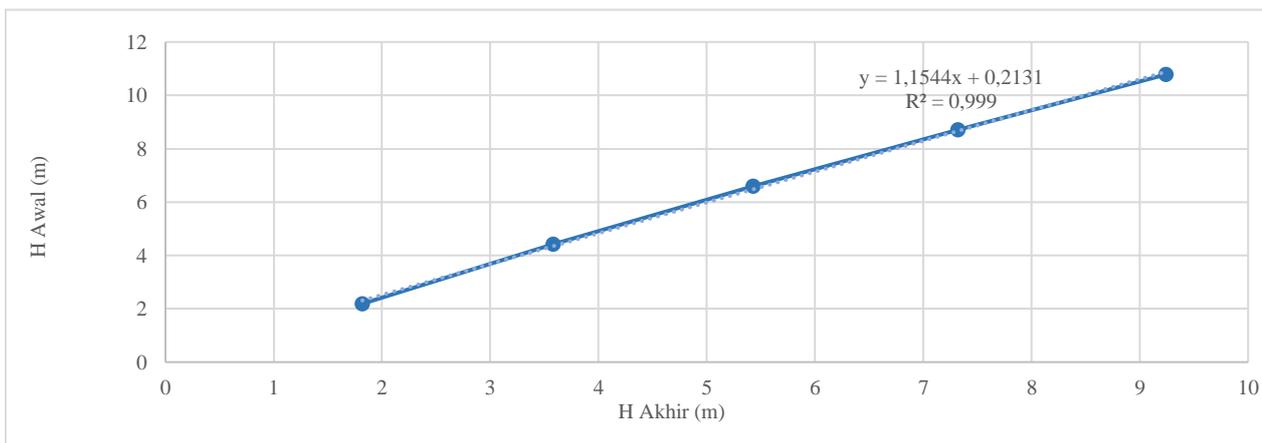
2) Perhitungan Pemampatan

Perhitungan pemampatan tanah dasar dilakukan dengan data tanah sebagai berikut:

- Lapisan 1
 - Jenis tanah : *Silty Clay - Clay*
 - γ_{sat} tanah : 16,00 kN/m³
 - γ_{air} : 10,00 kN/m³
 - H lapisan : 7,5 m
 - Cc : 0,726
 - Cs : 0,156
 - e₀ : 1,85
 - Cv : 0,00040 cm²/s
- Lapisan 2
 - Jenis tanah : *Clayey Silt*
 - γ_{sat} tanah : 16,00 kN/m³
 - γ_{air} : 10,00 kN/m³
 - H lapisan : 0,5 m
 - Cc : 0,726
 - Cs : 0,156
 - e₀ : 1,85
 - Cv : 0,00040 cm²/s
- Timbunan
 - B1 : 8,9 m
 - B2 : 8,6 m

Tabel 6.
Hasil perhitungan besar pemampatan tanah dasar

Depth m	Jenis Tanah	$\sum \sigma'z$ kN/m ²	Cc	Cs	e0	Sc m
0						
0,5		112,52				0,107
1	Silty Clay – Clay	112,51	0,726	0,156	1,85	0,092
1,5		112,47				0,083
2		112,38				0,077
2,5		112,23				0,073
3		112,01				0,069
3,5		111,70				0,065
4		111,31				0,062
4,5		110,81				0,059
5	Silty Clay – Clay	110,22	0,726	0,156	1,85	0,056
5,5		109,53				0,054
6		108,75				0,052
6,5		107,89				0,049
7		106,94				0,047
7,5		105,92				0,045
8		104,83				0,044
8,5	Clayey Silt	103,69	0,726	0,156	1,85	0,042
9		102,50				0,040
TOTAL						1,116



Gambar 3. Grafik tinggi akhir terhadap tinggi awal timbunan.

Tinggi : 5,7 m
 γ timbunan : 19,73 kN/m³
 ΔH : 3 m

Detail dimensi timbunan dan lapisan tanah dasar disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan data perhitungan di atas, didapatkan bahwa besarnya tegangan prakonsolidasi lebih besar dibandingkan tegangan overburden efektif. Sehingga jenis konsolidasi tanah dasarnya adalah *over consolidated soil*, dengan tegangan efektif akibat beban timbunan dan overburden lebih besar dibanding tegangan prakonsolidasi yang terjadi. Hal tersebut mempengaruhi persamaan pemampatan, dimana digunakan rumusan yang menggunakan *swelling index* (Cs) dan *consolidation index* (Cc). Didapatkan total pemampatan sebesar 1,116 meter. Perhitungan pemampatan disajikan pada Tabel 6.

3) Perhitungan Rate of Settlement

Rate of Settlement merupakan besarnya pemampatan tanah dasar yang terjadi setiap tahunnya. Hasil perhitungan *Rate of Settlement* tanah dasar dari besarnya pemampatan sebesar 1,116 meter disajikan pada Tabel 7.

Berdasarkan Tabel 7, didapatkan bahwa *rate of settlement* tanah dasar melebihi standar yang diizinkan oleh Kementerian PUPR (< 2 cm/tahun) dengan lama waktu hampir 14 tahun untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90%. Waktu tersebut melebihi batas waktu konstruksi dan

garansi oleh pihak konstruksi selama 4 tahun. Sehingga berisiko terjadinya kerusakan struktur jalan kereta api di atasnya. Pada dasarnya pemampatan yang besar dan *rate of settlement* yang tidak memenuhi ketentuan Kementerian PUPR diperbolehkan terjadi di lapangan dengan catatan pihak *owner* melakukan pengukuran elevasi jalan kereta api secara berkala setiap tahunnya dan melakukan menyesuaikan kembali elevasi yang mengalami penurunan dengan peninggian lapisan balas. Tetapi solusi tersebut memerlukan biaya yang cukup tinggi dan berisiko mengganggu operasi kereta api. Oleh karena itu, diusulkan perbaikan tanah dasar untuk mempercepat waktu pemampatannya.

4) Perencanaan Tinggi Akhir dan Awal Timbunan

Perencanaan tinggi akhir timbunan didasarkan pada *shop drawing* proyek, yakni setinggi 5,7 meter. Perencanaan tinggi awal timbunan dilakukan dengan memerhitungkan besarnya pemampatan untuk lima variasi tinggi timbunan. Besarnya pemampatan menjadi acuan untuk memerhitungkan tinggi awal timbunan. Hasil perhitungan tinggi awal dan tinggi akhir timbunan dengan variasi tinggi timbunan disajikan pada Tabel 8. Grafik tinggi akhir timbunan (H Akhir) terhadap tinggi awal timbunan (H Awal) disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan rumus pada Gambar 3, dengan tinggi akhir timbunan 5,7 meter, maka didapat tinggi awal timbunan 6,8 meter. Proses penimbunan direncanakan dengan kecepatan

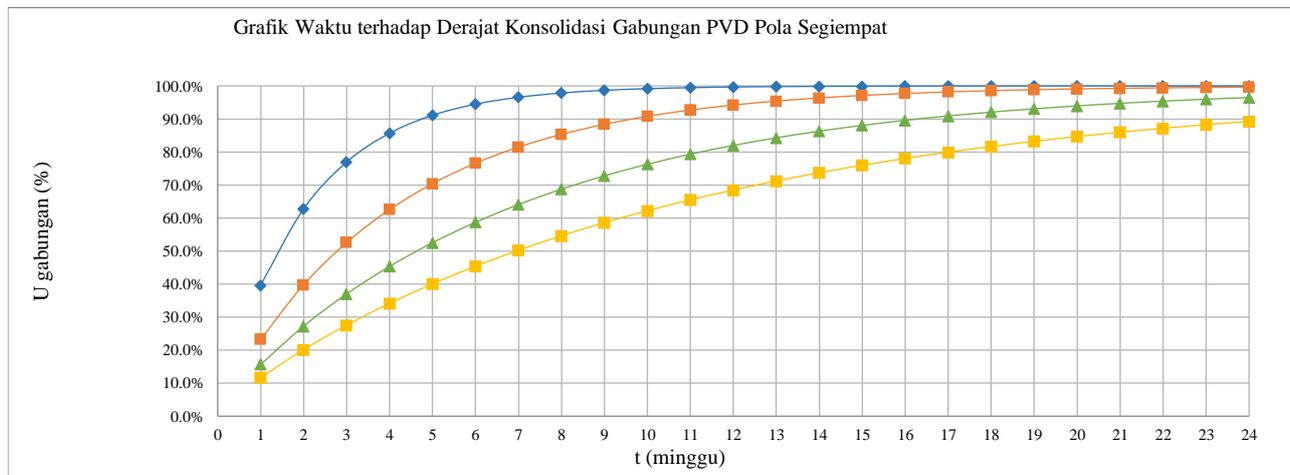
Tabel 7.
Hasil perhitungan *rate of settlement*

t tahun	Uv %	Sc m	Sc dalam tahun - m	Sc dalam tahun - cm	RoS cm/tahun	Kontrol RoS <2 cm/tahun
0	0%	1,116	0,000	0,00	0,00	
1	28%	1,116	0,314	31,44	31,44	NOT OK!
2	40%	1,116	0,445	44,47	13,02	NOT OK!
3	49%	1,116	0,545	54,46	9,99	NOT OK!
4	56%	1,116	0,629	62,89	8,43	NOT OK!
5	62%	1,116	0,697	69,68	6,79	NOT OK!
6	68%	1,116	0,757	75,66	5,98	NOT OK!
7	72%	1,116	0,808	80,79	5,13	NOT OK!
8	76%	1,116	0,852	85,19	4,40	NOT OK!
9	80%	1,116	0,890	88,96	3,77	NOT OK!
10	83%	1,116	0,922	92,19	3,23	NOT OK!
11	85%	1,116	0,950	94,96	2,77	NOT OK!
12	87%	1,116	0,973	97,34	2,38	NOT OK!
13	89%	1,116	0,994	99,38	2,04	NOT OK!
14	91%	1,116	1,011	101,13	1,75	OK!

Tabel 8.
Hasil perhitungan tinggi awal timbunan

Variasi	q timbunan kN/m2	Sc m	H Awal m	H Akhir m
Variasi 1	39,46	0,369	2,187	1,818
Variasi 2	78,92	0,845	4,428	3,583
Variasi 3	118,38	1,157	6,586	5,429
Variasi 4	157,84	1,382	8,701	7,318
Variasi 5	197,30	1,540	10,781	9,240

Grafik Waktu terhadap Derajat Konsolidasi Gabungan PVD Pola Segiempat



*Berurutan dari kiri ke kanan: 0,6 m; 0,8 m; 1 m; 1,2 m

Gambar 4. Grafik waktu terhadap derajat konsolidasi gabungan dengan Prefabricated Vertical Drain (PVD).

0,6 meter/minggu, sehingga diperlukan 12 tahapan.

5) Perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Perencanaan perbaikan tanah dasar dengan PVD dilakukan dengan data perencanaan sebagai berikut:

1. Data Tanah
 - Cv gab : 0,0040 cm²/s
 - Hdr : 450 cm
 - kh/kv : 4
2. Spesifikasi PVD
 - Tipe PVD : CT – D812
 - a : 0,1 meter
 - b : 0,005 meter

Dilakukan perencanaan PVD dengan pola pemasangan persegi dan variasi jarak 0,6 meter, 0,8 meter, 1 meter, dan 1,2 meter. Hasil perencanaan PVD disajikan pada grafik waktu (minggu) terhadap derajat konsolidasi gabungan (%) pada Gambar 4.

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, maka dipilih perencanaan PVD dengan pola pemasangan persegi dengan

jarak 0,8 meter. Hal tersebut dikarenakan jarak tersebut memiliki waktu yang ideal untuk mencapai derajat konsolidasi gabungan sebesar 90% yakni selama 10 minggu, sekaligus pada minggu ke-24 derajat konsolidasi gabungan telah mencapai 99,64%. Nilai tersebut sangat mendekati angka 100%. Kedalaman PVD yang direncanakan adalah sedalam 9 meter dengan pertimbangan setebal lapisan tanah *compressible* yang memiliki konsistensi *very soft* sampai *medium*, dengan catatan bahwa pada lapisan tanah pada kedalaman 9 meter masih terpengaruh oleh distribusi tegangan akibat beban timbunan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan data sondir, kondisi tanah dasar timbunan baru pada Proyek Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api Mojokerto – Sepanjang KM 48+800 s.d 48+850 dominan tanah kohesif berkonsistensi sangat lunak hingga sedang dengan kedalaman 8,8 meter. Kondisi tersebut membuat tanah dasar tidak aman dalam aspek *rate of settlement* karena

berdasarkan analisis yang dilakukan, ruas tersebut memiliki rate of settlement > 2 cm/tahun selama 13 tahun.

Direncanakan perbaikan tanah dasar menggunakan PVD dengan pola persergi jarak 0,8 meter dan kedalaman 9 meter. Dibutuhkan waktu selama 10 minggu untuk mencapai derajat konsolidasi 90%. Disaat yang bersamaan juga dilakukan timbunan bertahap dengan kecepatan penimbunan 60

cm/minggu setinggi H_{awal} , yakni 6,8 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. M. Tamim, *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, 2nd ed. Bandung: ITB Press, 2000. ISBN: 979-8591-67-4.
- [2] B. M. Das and N. Sivakugan, *Principles of Foundation Engineering*, 7th ed. Stamford: Cengage Learning, 2011. ISBN: 32-00-020-6.