

ANALISIS PENURUNAN DAN STABILITAS TIMBUNAN JALAN JALUR GANDA KERETA API DI MOJOKERTO

Studi Kasus: Jalur Kereta Km 36+900 - Km 37+100

(Analysis Of Decreasing And Stability Of Down Fillings On Double Train Train Roads In Mojokerto
Case Study: Km 36+900 - Km 37+100)

Ahmad Riyasyul Huda¹, Paksitya Purnama Putra¹, Luthfi Amri Wicaksono¹, Rini Trisno Lestari²

¹Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Jember, Jember, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

E-mail: paksitya.putra@unej.ac.id

Diterima 31 Februari 2024 Disetujui 25 Mei 2024

ABSTRAK

Pembangunan Jalur Ganda Sepanjang - Mojokerto menjadi salah satu upaya pemerintah dalam meningkatkan penggunaan kereta api sebagai moda transportasi penumpang maupun barang. Lokasi pembangunan double track kereta api KM36+900 - KM 37+100 berada di Kabupaten Sidoarjo merupakan daerah yang terbentuk akibat proses sedimentasi yang termasuk didalam formasi alluvium (Qa). Tanah aluvial merupakan salah satu jenis lapisan tanah dari proses endapan, dibentuk dari lumpur dan pasir halus yang mengalami erosi tanah karena aliran sungai. Tanah aluvial atau tanah berpasir lainnya memiliki daya dukung rendah yang memungkinkan terjadinya penurunan tanah dan mempengaruhi kestabilan timbunan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode analisa terhadap besar penurunan konsolidasi, waktu konsolidasi, dan stabilitas timbunan, untuk mendapatkan kestabilan tanah yang sesuai dengan angka *safety factor* (SF) diperlukan perbaikan terhadap tanah dasar dan timbunan. *Preloading* merupakan salah satu metode untuk meningkatkan daya dukung terdapat tanah dasar dan geotextile sebagai perkutan timbunan untuk mencapai angka keamanan SF > 1,5. Sedangkan untuk mengatasi lama waktu penurunan karena konsolidasi dapat menggunakan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD).

Kata kunci: *penurunan, pemberian beban awal, geotekstil, PVD, stabilitas*

ABSTRACT

The construction of the Sepanjang - Mojokerto Railway Double Track became one of the government's efforts to increase the use of trains as a mode of passenger and freight transportation. The KM 36+900 - KM 37+100 double track construction site in Sidoarjo Regency is an area formed by the sedimentation process included in the alluvium (Qa) formation. Alluvial soil is a type of soil layer formed from silt and fine sand that erodes due to the flow of rivers. Alluvial soil or other sandy soils have low support that allows soil to decrease and affect the stability of the embankment. Therefore, large analysis of consolidation decreases, consolidation times, and stack stability is required. In order to obtain soil stability that matches the safety factor (SF) figures, improvements to the soil base and the piles are required. Preloading is one method of increasing the base soil and geotextile support power as a heap percolation to achieve SF > 1.5. Meanwhile, to overcome the length of time of decline due to consolidation, it can use Prefabricated Vertical Drains (PVD).

Keywords: *settlement; preloading; geotextile, PVD, stability*

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia berencana untuk meningkatkan jumlah perjalanan penumpang menggunakan moda kereta api sebesar 858,5 juta orang/tahun dan perjalanan barang sebesar 534 juta ton/tahun di Pulau Jawa pada tahun 2030 [1]. Oleh karena itu, pemerintah berencana untuk mengembangkan jaringan jalan rel di Jawa dengan program *Double Track* atau jalur ganda kereta api.



Gambar 1. Peta Geologi Surabaya & Sepulu Jawa

Jalur Ganda Sepanjang - Mojokerto salah satu program pengembangan jaringan jalan rel, yang pada KM 36+900 – KM 37+100 merupakan jalur kereta berupa timbunan tanah dengan jenis tanah aluvial seperti pada Gambar 1. Sehingga, memiliki daya dukung rendah dan berpotensi mengalami penurunan tanah. Oleh karena itu, perlu adanya tinjauan analisa penurunan dan kestabilan timbunan. Tujuan analisa penurunan untuk menentukan tinggi timbunan awal (H inisial) sebagai solusi mengatasi penurunan agar timbunan sesuai dengan tinggi rencana,.

Analisa kestabilan timbunan sangat penting untuk dilakukan sebelum pelaksanaan pekerjaan lapangan karena menyangkut keselamatan orang dengan kapasitas besar. *Output* dari penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain rencana timbunan yang aman dari kelongsoran atau kegagalan kontruksi dengan angka keamanan $SF > 1,5$.

Selain itu, peninjauan terhadap lokasi menjadi salah satu hal penting dalam pemenuhan kebutuhan analisa timbunan badan jalan kereta api. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan mengenai kebutuhan data seperti gambar cross section, data penyelidikan tanah, data material bahan, dan lainnya sebagai penunjang kebutuhan analisa.

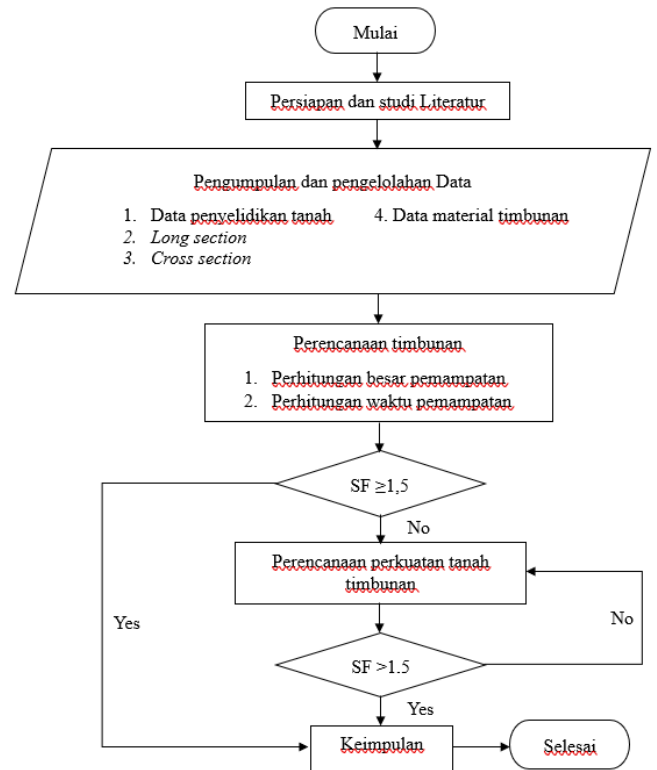
METODE

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan menggunakan metode analisa teknis untuk mencapai kelayakan dan stabilitas timbunan. Adapun beberapa tahapan dalam penelitian ini antara lain: pengumpulan dan pengolahan data, analisa penurunan, analisa stabilitas timbunan, hingga pengambilan kesimpulan terhadap penelitian ini.

Bagan Alir dan Detail Tahapan Penelitian

Bagan alir untuk menyelesaikan tugas akhir ini disajikan dalam bentuk bagan alir di bawah ini:



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh berupa data sekunder berupa data sondir yang diambil setiap 50 m pada lokasi Jalur Ganda ereta Api Sepanjang - Mojokerto KM 36+900 - 37+100. Karena pada analisa stabilitas timbunan dengan program bantu geoslope menggunakan beberapa parameter tanah. Maka perlu dilakukan pendekatan dan korelasi berdasarkan ahli untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah dan parameter tanah pada lokasi penelitian.

Responden Penelitian

(tidak menggunakan responden, melainkan data sekunder)

Metode Analisa Data Analisa Penurunan

Tanah pada lokasi penelitian yang merupakan jenis Tanah Aluvial yang rentan mengalami penurunan. maka perlu dilakukan analisa terhadap penurunan. Lapisan tanah akan mengalami regangan dan penurunan (*settlement*) ketika ada beban vertikal yang bekerja diatas lapisan tanah [2]. Penurunan segera merupakan kondisi dimana lapisan tanah mengalami deformasi atau perubahan susunan dengan segera setelah beban diatasnya bekerja. Penurunan konsolidasi (*Consolidation Settlement*) merupakan proses berkurangnya volume atau rongga pori pada tanah disebabkan akibat beban vertikal yang bekerja diatasnya.

Analisa penurunan dilakukan untuk mengetahui besar penurunan yang terjadi dan lama waktu tanah mengalami penurunan. Analisa penurunan dilakukan untuk mengetahui perlu atau tidaknya dilakukan percepatan terhadap waktu penurunan pada lokasi tersebut. Untuk mengetahui besar dan waktu penurunan

pada lokasi tersebut [10].

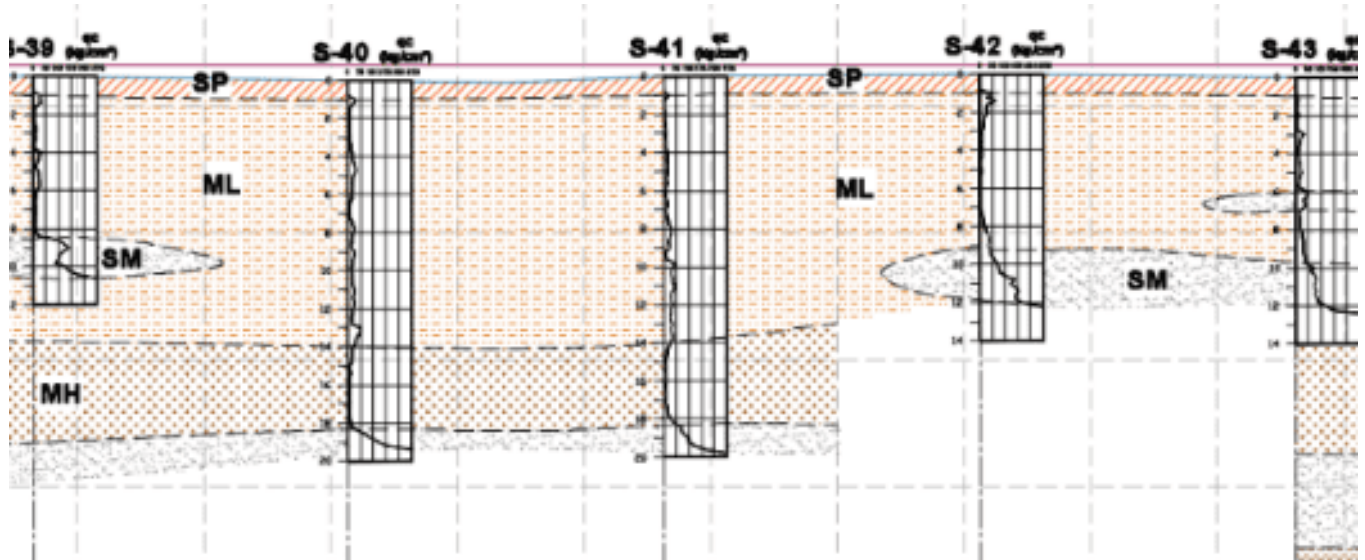
Analisa Stabilitas Timbunan

Setelah dilakukan analisa penurunan selanjutnya adalah analisa stabilitas timbunan. Analisa ini dilakukan agar struktur timbunan dapat dikatakan aman sebelum digunakan sebagai jalur kereta dengan nilai Faktor Keamanan > 1,5. Apabila timbunan belum dikatakan aman. Maka, perlu dilakukan penambahan perkuatan timbunan.

Analisa Data Tanah

Pendekatan atau korelasi data sondir dapat dilakukan untuk mengetahui klasifikasi jenis tanah dan parameter laboratorium tanah [3][4][5][6][7][8]. Hasil pendekatan dapat dilihat pada Gambar 3, Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, tabel 4, dan Tabel 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Stratigrafi Tanah

Keterangan :

- SP = Poorly graded sand and gravel
- ML = Sandy SILT to clayey SILT with low plasticity. Soft to stiff consistency
- SM = Silty SAND, very loose to very dense
- MH = Clayey SILT with high plasticity, very soft to stiff consistency

Tabel 1. Nilai parameter tanah KM 36+900

Depth	Soil Type	N SPT	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	ϕ	Cu	eo	Es (kN/m ³)	Cv (cm ² /s)
0-1	SP	7	15.588	18.070	28.21	0.00	1.10	5296	0.00083
2-8	ML	3	17.037	18.691	0.00	16.11	1.13	7582	0.00094
9-11	SM	31	19.858	21.486	36.46	0.00	0.48	24390	0.07

Tabel 2. Nilai parameter tanah KM 36+950

Depth	Soil Type	N SPT	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	ϕ	Cu	eo	Es (kN/m ³)	Cv (cm ² /s)
0-1	SP	8	15.719	18.175	29.08	0.00	0.91	5884	0.00085
2-13	ML	5	17.269	18.846	0.00	23.08	0.76	10863	0.00097
14-18	MH	3	16.581	18.388	0.00	13.88	0.93	6531	0.0009
19-20	SM	33	20.259	21.807	37.42	0.00	0.42	26184	0.097

Tabel 3. Nilai parameter tanah KM 37+000

Depth	Soil Type	N SPT	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	ϕ	Cu	eo	Es (kN/m ³)	Cv (cm ² /s)
0-1	SP	5	15.281	17.825	26.17	0.00	1.08	3923	0.0008
2-13	ML	5	17.340	18.894	0.00	25.21	0.92	11868	0.00098
14-18	MH	3	17.069	18.713	0.00	17.13	0.88	8061	0.00096
19-20	SM	29	19.436	21.149	35.45	0.00	0.47	22506	0.0013

Tabel 4. Nilai parameter tanah KM 37+050

Depth	Soil Type	N SPT	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	ϕ	Cu	eo	Es (kN/m ³)	Cv (cm ² /s)
0-1	SP	13	16.596	18.877	34.92	0.00	0.84	9807	0.00096
2-9	ML	4	17.121	18.747	0.00	16.11	0.86	8767	0.00097
10-12	SM	27	19.082	20.865	34.60	0.00	0.50	20921	0.01000

Tabel 5. Nilai parameter tanah KM 37+100

Depth	Soil Type	N SPT	γ unsat (kN/m ³)	γ sat (kN/m ³)	ϕ	Cu	eo	Es (kN/m ³)	Cv (cm ² /s)
0-1	SP	2	14.667	17.333	22.08	0.00	1.24	1177	0.00072
2-6	ML	4	17.095	18.730	0.00	17.85	0.86	8402	0.00097
7	SM	8	15.807	18.246	26.74	0.00	1.14	6276	0.00087
8-9	ML	7	17.714	19.143	0.00	36.42	0.81	17142	0.0011
10-13	SM	30	19.745	21.396	36.19	0.00	0.48	23885	0.015

Berdasarkan Gambar 3 jenis tanah pada lokasi penelitian dominan pasir, lanau dan lempung. Tanah keras berada pada lapisan tanah dengan jenis pasir kelanauan (SM) dengan nilai tahanan konus (q_c) 250 kg/cm².

Hubungan H final, H inisial dan Penurunan

Penurunan yang terjadi akibat beban merupakan penurunan total dari penjumlahan antara penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Untuk mengetahui besar penurunan digunakan beban yang bekerja pada timbunan jalan rel. Beban berupa kereta sebagai beban dinamis dan beban struktur rel sebagai beban statis yang terdistribusi [9]. Beban diasumsikan menjadi material tanah timbunan sebagai beban awal (preloading). Besar penurunan segera yang ditinjau setiap lapisan tanah dapat diketahui menggunakan persamaan 1 diperoleh besar penurunan segera pada Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Penurunan Segera (Si)

No	KM	Si (m)
1	36+900	0.012
2	36+950	0.014
3	37+000	0.014
4	37+050	0.008
5	37+100	0.011

Tanah pada lokasi penelitian merupakan tanah terkonsolidasi secara normal karena tekanan pada tanah saat ini adalah maksimum. Perhitungan penurunan konsolidasi akibat beban timbunan dilakukan dengan menggunakan (Braja M.Das, 2002) yang kemudian ditambahkan dengan nilai penurunan segera. Sehingga diperoleh nilai penurunan total pada KM 36+900 pada Tabel 7.

Tabel 7. Penurunan Total

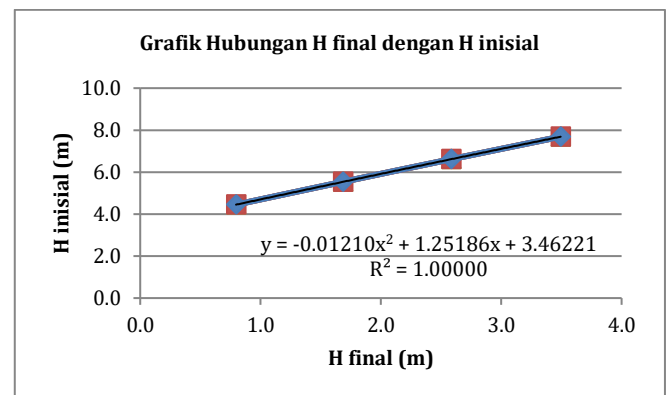
H coba	Si (m)	Sc (m)	Stot (m)
4	0.012	1.01	1.025
5	0.012	1.21	1.223
6	0.012	1.39	1.402
7	0.012	1.55	1.565

Berdasarkan besar penurunan total pada Tabel 8 dapat diketahui tinggi rencana untuk timbunan awal (Hinisial) akibat penurunan menggunakan variasi tinggi timbunan H

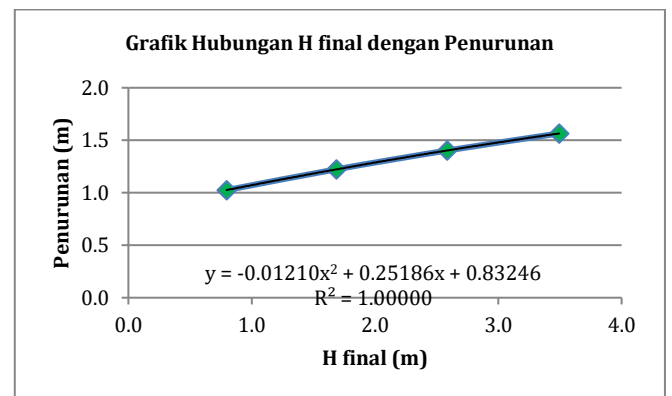
= 4 m, 5 m, 6 m, dan 7 m. Pada KM 36+900 diperoleh nilai (H inisial) dan Penurunan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan H inisial KM 36+900

H (m)	q (kN/m ²)	Hinisial (m)	Stot (m)	Hbongkar (m)	Hfinal (m)
4	69.48	4.561	1.276	2.630	0.655
5	86.85	5.648	1.474	2.630	1.545
6	104.22	6.724	1.647	2.630	2.448
7	121.59	7.792	1.800	2.630	3.362



Gambar 4. Grafik antara Hfinal dengan Hinisial



Gambar 5. Grafik antara Hfinal dengan penurunan

Variasi tinggi timbunan menghasilkan sebuah persamaan antara H final dengan H inisial dan H final dan Penurunan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Menggunakan persamaan tersebut dengan besar H final pada KM 36+900 sebesar 0,61 m. Diperoleh H inisial dan H final pada Tabel 9. Untuk hasil perhitungan perencanaan tinggi timbunan

awal (H inisial) dan besar penurunan seluruh KM yang ditinjau disajikan pada Tabel 10.

KM	H inisial (m)	Stot (m)	H final (m)
36 +900	4.22	0.98	0.61

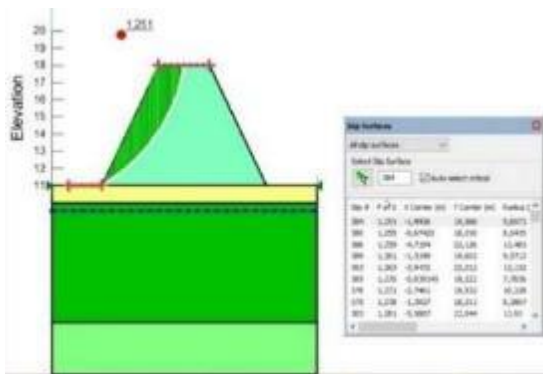
Tabel 9. Hasil H inisial dan H final KM 36+900

Tabel 10. Nilai H inisial dan Sc terhadap H final tiap KM yang ditinjau

KM	Persamaan	H _{final} (m) (x)	H _{inisial} (m) (y)
36 +900	$y = - 0.0121x^2 + 1.25186x + 3.46221$	0.61	4.22
36 +950	$y = - 0.00718x^2 + 1.47292x + 3.76982$	0.66	4.74
37 +000	$y = - 0.01091x^2 + 1.55126x + 3.99151$	0.71	5.09
37 +050	$y = - 0.00981x^2 + 1.23637x + 3.34318$	0.74	4.25
37 +100	$y = - 0.01077x^2 + 1.25805x + 3.42454$	0.43	3.96

KM	Persamaan	H _{final} (m) (x)	Penurunan (m) (y)
36 +900	$y = - 0.0121x^2 + 0.25186x + 0.83246$	0.61	0.98
36 +950	$y = - 0.00718x^2 + 0.47292x + 1.14007$	0.66	1.45
37 +000	$y = - 0.01091x^2 + 0.55126x + 1.36177$	0.71	1.75
37 +050	$y = - 0.00981x^2 + 0.23637x + 0.71343$	0.74	0.88
37 +100	$y = - 0.01077x^2 + 0.25805x + 0.79479$	0.43	0.90

Setelah diketahui tinggi timbunan awal (H inisial). Maka perlu diketahui Tinggi timbunan kritis (H kritis) untuk mengetahui kemampuan tanah menahan timbunan pada ketinggian tertentu. H Kritis dapat diketahui dengan menggunakan program bantu *geoslope* untuk mencari nilai faktor keamanan. Pada KM 36 + 900 untuk ketinggian H inisial sebesar 4,29 m didapatkan nilai H kritis sebesar 7 m dengan nilai *Safety Factor* pada Gambar 6 sebesar 1,251. Untuk nilai *Safety Factor* seluruh KM yang ditinjau pada Tabel 11.



Gambar 6. SF H Kritis Menggunakan Geoslope KM 36+900

Tabel 11. Nilai faktor keamanan untuk tinggi awal timbunan

KM	H _{inisial} (m)	H _{kritis} (m)	SF	SF ijin
36 +900	4.22	7.00	1.251	1.2
36 +950	4.74	7.00	1.252	1.2
37 +000	5.09	7.00	1.251	1.2
37 +050	4.25	7.00	1.250	1.2
37 +100	3.96	7.00	1.251	1.2

Rekomendasi faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia tingkat sedang sebesar 1,2 [11]. Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 11 SF H inisial < H kritis, dengan ini penimbunan pada seluruh KM dapat dilakukan tanpa ada penundaan.

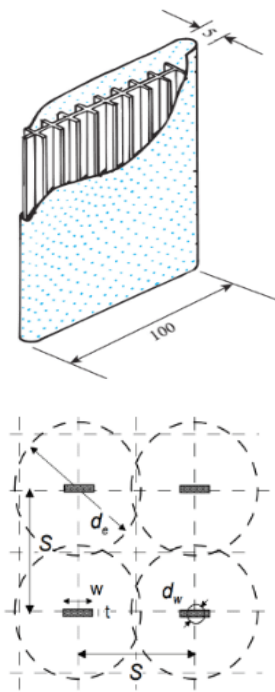
Perhitungan Waktu Konsolidasi

Perhitungan waktu konsolidasi dilakukan untuk mengetahui apakah perlu atau tidaknya tanah dasar mepercepat waktu konsolidasi. Waktu yang diperlukan tanah untuk konsolidasi U = 90% dapat diketahui menggunakan persamaan baroon (1948) dengan faktor waktu sebesar 0,848 [4]. Hasil perhitungan waktu tanah dasar mengalami penurunan pada Tabel 12.

Tabel 12. Waktu Konsolidasi seluruh KM yang ditinjau

KM	Tv	Hdr (m)	Cv m ² /th	t (tahun)
36+900	0.848	4.0	2.97	4.56
36+950	0.848	8.5	2.99	20.48
37+000	0.848	8.5	3.07	19.95
37+050	0.848	4.0	3.06	4.44
37+100	0.848	5.5	3.17	8.09

Berdasarkan hasil analisa, lama waktu tanah melakukan konsolidasi pada lokasi penelitian berbeda-beda yang disebabkan oleh perbedaan ketebalan lapisan lempung, karena waktu pemampatan pada lapisan lempung relatif lama [12], semakin tebal lapisan lempung semakin lama waktu tanah mengalami penurunan. Waktu pelaksanaan pekerjaan penimbunan badan jalan kereta api memiliki jangka waktu 38 minggu, Oleh karena itu, diperlukan percepatan kosolidasi yang dapat menggunakan metode *Prefabricated Vertical Drains* (PVD). Perencanaan PVD menggunakan pola pemasangan segiempat dengan perbandingan jarak 1 m dan 1,5 m dengan ukuran seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Ukuran dan Pola Pemasangan (PVD)

Waktu konsolidasi dengan PVD dipengaruhi oleh diameter equivalent PVD dan besar hambatan karena jarak

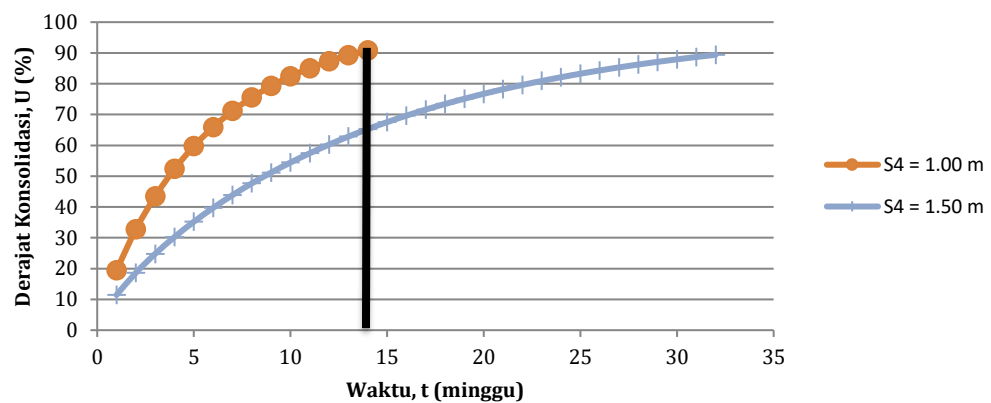
dan pola pemasangan PVD. Pada penelitian ini digunakan pola segiempat. Untuk mengetahui besar hambatan akibat variasi jarak PVD dilakukan perbandingan jarak pemasangan antara 1 m dan 1,5 m untuk mengetahui jarak yang digunakan relevan dengan waktu pelaksanaan penimbunan. Besar faktor hambatan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Faktor hambatan oleh PVD pola pemasangan segiempat

S	D (mm)	a (mm)	b (mm)	Dw	D/d w	F(n)
1	1130	100	5	66.879	16.90	2.077
1.5	1695	100	5	66.879	25.34	2.483

Derajat konsolidasi dan waktu konsolidasi yang dipengaruhi oleh jarak pemasangan PVD. Nilai derajat konsolidasi dapat diketahui menggunakan persamaan oleh Barron (1948). Hasil perhitungan waktu dan derajat konsolidasi pada KM 36+900 untuk mencapai U=90% pada Gambar 8.

Kurva Hubungan Waktu Vs Derajat Konsolidasi untuk PVD Pola Segitiga dan segiempat KM 36+900



Gambar 8. Kurva Hubungan Waktu dengan Derajat Konsolidasi

Berdasarkan Gambar 8 maka digunakan PVD jarak 1 m karena waktu yang konsolidasi tidak melebihi waktu rencana pelaksanaan timbunan badan jalan. Untuk perhitungan percepatan waktu penurunan menggunakan PVD pada semua KM untuk mencapai U=90% sebesar antara 12 - 14 minggu seperti pada Tabel 14.

Tabel 14. Waktu Tanah mencapai konsolidasi U=90%

KM	t (minggu)
36 +900	14
36 +950	13
37 +000	13
37 +050	12
37 +100	12

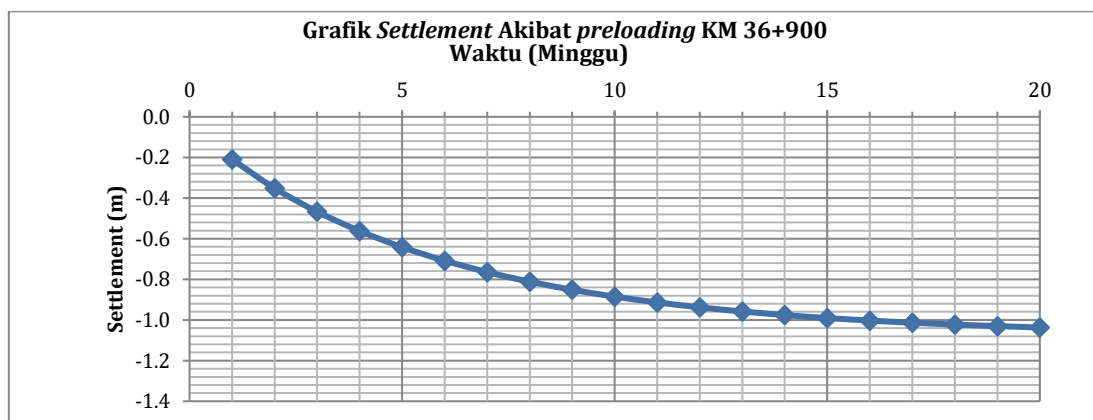
Penurunan akibat *preloading* perlu ditinjau untuk mengetahui apakah tinggi timbunan awal (H inisial) sudah mencapai penurunan (U=90%) akibat beban timbunan. perhitungan besarnya penurunan akibat *preloading* pada KM 36+900 dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Braja M.Das, (2002) dan diperoleh hasil pada Tabel 15.

Tabel 15. Penurunan Akibat Preloading KM 36+900

Depth	e	Cc	Po'	ΔP (kN/m ²)	Sc (m)
1	1.10	0.25	7.794	73.109	0.060
2	1.13	0.26	14.226	69.494	0.153
3	1.13	0.26	18.572	62.756	0.270
4	1.13	0.26	22.917	55.535	0.399
5	1.13	0.26	27.263	48.985	0.550
6	1.13	0.26	31.608	43.384	0.686
7	1.13	0.26	35.954	38.692	0.821
8	1.13	0.26	40.300	34.776	0.952
9	0.48	0.06	46.043	31.495	0.995
10	0.48	0.06	51.786	28.727	1.036
11	0.48	0.06	57.529	26.372	1.074

Tabel 16. Hubungan Waktu Konsolidasi dan Penurunan KM 36+900

Minggu	U (%)	Sc
		1.074
1	19.48	-0.209
2	32.73	-0.352
3	43.46	-0.467
4	52.33	-0.562
5	59.73	-0.641
6	65.93	-0.708
7	71.15	-0.764
8	75.54	-0.811
9	79.26	-0.851
10	82.40	-0.885
11	85.06	-0.914
12	87.31	-0.938
13	89.21	-0.958
14	90.83	-0.976
15	92.21	-0.990
16	93.37	-1.003
17	94.36	-1.013
18	95.21	-1.023
19	95.92	-1.030
20	96.53	-1.037



Gambar 9. Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Penurunan

Berdasarkan Gambar 9 untuk mencapai penurunan konsolidasi Sc=90% sebesar 0,98 m dibutuhkan waktu 15 minggu. Hasil perhitungan pada semua KM yang ditinjau pada Tabel 17.

Tabel 17. Waktu tanah mengalami penurunan

KM	Penurunan (m)	t (minggu)
36 +900	0.98	15
36 +950	1.45	14
37 +000	1.75	14
37 +050	0.88	13
37 +100	0.90	13

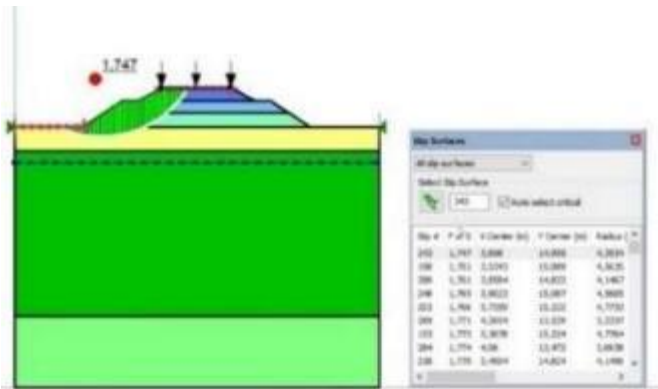
Perubahan Nilai Cu

Perubahan tegangan pada derajat konsolidasi akibat preloading menyebabkan meningkatnya nilai Cu pada lapisan tanah [10]. Perubahan nilai Cu baru bergantung dari nilai indeks plastisitas dan besar nilai tegangan [13] didapatkan harga Cu pada Tabel 18.

Tabel 18. Nilai Cu Setelah Preloading

KM	Kedalaman (m)	Cu Baru
36+900	0 - 1	0.00
	2 - 8	25.53
	9 - 11	0.00
36+950	0 - 1	0.00
	1 - 13	33.36
	13 - 18	25.64
	18 - 20	0.00
37+000	0 - 1	0.00
	1 - 13	35.61
	13 - 18	28.14
37+050	18 - 20	0.00
	0 - 1	0.00
	2 - 8	25.60
37+100	9 - 12	0.00
	0 - 1	0.00
	2 - 6	26.81
37+100	7	0.00
	8 - 9	45.11
	10 - 13	0.00

Analisa stabilitas timbunan dilakukan untuk mengetahui faktor keamanan (SF) akibat *preloading* setelah tanah selesai mengalami konsolidasi. Analisa ini menggunakan data Cu hasil dari *preloading*. Beban yang digunakan merupakan beban kereta yang didistribusikan terhadap bantalan (Muthohar & Santoso, 2015) sebesar 178,84 kN/m². Diperoleh nilai angka keamanan (SF) pada KM 36+900 pada Gambar 10, untuk nilai SF seluruh KM pada Tabel 19.



Gambar 10. Timbunan Jalan Rel KM 36+900

Tabel 19. Nilai faktor keamanan setelah waktu konsolidasi selesai

KM	SF
36+900	1.747
36+950	1.775
37+000	1.680
37+050	1.865
37+100	1.611

Berdasarkan Tabel 19 nilai faktor keamanan pada KM 36+900 – 37+100 diperoleh nilai SF < 1,5. Menurut (Menteri Perhubungan, 2012) nilai faktor keamanan yang diijinkan harus lebih dari 1,5 diperkuat lagi dengan (Pekerjaan Umum, 2005) merekomendasikan nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia tingkat tinggi harus lebih dari 1,5 [1]. Maka, timbunan dinyatakan aman.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa didapatkan nilai penurunan sebesar antara 0,90 m – 1,80 m dan waktu konsolidasi tanah antara 4 tahun sampai 20 tahun, sehingga digunakan metode *preloading* dengan PVD pola segiempat jarak 1 m sebagai solusi untuk mengatasi penurunan yang terjadi dan lama waktu tanah mengalami konsolidasi. Berdasarkan analisa dengan menggunakan metode *preloading*, timbunan mengalami kenaikan daya dukung tanah dan dinyatakan aman dan stabil dengan nilai SF > 1,5, yaitu antara 1,6 – 1,9.

DAFTAR PUSTAKA

[1] [1] Menteri Perhubungan, "Rencana Induk Perkeretaapian Nasional, Pub. L. No. PM 43 Tahun 2011." Diakses desember 2023 [online], dari https://djka.dephub.go.id/uploads/201908/pm_no.

_43_tahun_2011.pdf.
 [2] Prakoso, Agung, et al, "Analisis penurunan timbunan tanah silt pada proyek jalan ruas giriwoyo-duwet wonogiri." *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil* 24.2 (2019): 153-165.
 [3] Schmertmann, John H. *Guidelines for cone penetration test: performance and design*. No. FHWA-TS-78-209. United States. Federal Highway Administration, 1978.
 [4] V. Sunggono Kh, Ir., *Buku Teknik Sipil*. Bandung. Nova, 1995.
 [5] Terzaghi, Karl, Ralph B. Peck, and Gholamreza Mesri. *Soil mechanics in engineering practice*. John wiley & sons, 1996.
 [6] Look, Burt G. *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. Taylor & Francis, 2007.
 [7] Bowles, Joseph E., and Yingzhong Guo. *Foundation analysis and design*. Vol. 5. New York: McGraw-hill, 1996.
 [8] Biarez, J., and J. L. Favre. "Parameters filing and statistical analysis of data in soil mechanics." *Proceedings of the 2nd International Conference On Application of Statistics and Probabilities in Soil Mechanics. Aachen*. Vol. 2. 1975.
 [9] Muthohar, I., & Santoso, N. B. (2015). Analisis Distribusi Beban Kereta Api Pada Konstruksi Timbunan Jalur Kereta Api. *The 18th FSTPT International Symposium, Unila, Bandar Lampung, August 28th, 2015*, 1418–1431.
 [10] Das, Braja M., and Nagaratnam Sivakugan. *Principles of foundation engineering*. Cengage learning, 2018.
 [11] Umum, Departemen Pekerjaan. "Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng Pada Tanah Residual dan Batuan." (2004).
 [12] Kuswanda, Wahyu P. "Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda *Preloading* Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan." *INFO-TEKNIK* (2016): 188-207.
 [13] Look, Burt G. *Handbook of geotechnical investigation and design tables*. Taylor & Francis, 2007.