

Alternatif Perkuatan Timbunan Existing Railway Track STA 141+100 – 141+600 Bojonegoro – Surabaya Pasar Turi

Yudha Pratama, Yudhi Lastiasih dan Putu Tantri Kumalasari

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: tantrigeoteknik@gmail.com

Abstrak—Padatnya lalu lintas kereta api di utara pulau Jawa menyebabkan Pemerintah memrintahkan PT. KAI untuk membangun jalur rel ganda. Setelah beberapa hari pemasangan perkuatan di samping timbunan rel baru, terjadi tanda-tanda pergerakan tanah pada timbunan rel lama berupa tiang yang miring dan kelongsoran. Melihat kondisi lapangan maka PT. KAI juga meminta adanya uji stabilitas lereng pada timbunan rel lama. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa SF di beberapa lokasi kurang dari 1, dimana kondisi ini menyebabkan terjadinya kelongsoran. Oleh karena itu, untuk mencegah kelongsoran dan mencegah kerusakan rel maka perlu direncanakan perkuatan timbunan rel lama tanpa membongkar rel yang sudah ada. Alternatif perkuatan yang direncanakan tidak boleh membongkar rel lama. Maka ditawarkan 4 alternatif yang pertama menggunakan perkuatan dengan cerucuk (micropile), timbunan tambahan (counterweight), dan turap beton (free standing dan berjangkar) di sisi timbunan rel lama. Pada tahap akhir dilakukan analisis perbandingan biaya material antara 4 alternatif untuk system perkuatan timbunan. Dari hasil analisis keempat perkuatan, diketahui alternatif pertama yaitu menggunakan cerucuk Prestressed Concrete Spun Pile diameter 300 mm dari PT Wijaya Karya Beton. Untuk zona 1 kedalaman cerucuk 10 m dengan jarak 1 m dan berjumlah 603 buah. Untuk zona 2 dan zona 3 kedalaman cerucuk 10 m, jarak 1 m dan jumlah 300 buah. Alternatif kedua menggunakan counterweight sebanyak 4256 m³ pada zona 1, 2430 m³ pada zona 2 dan 2162 m³ pada zona 3. Alternatif perkuatan ketiga menggunakan turap beton freestanding Corrugated Type W600 A1000 sedalam 21m untuk ketiga zona. Alternatif keempat turap berjangkar dengan teknik grouting menggunakan turap beton Corrugated Type W400 A1000 sedalam 10 m, diameter baja anker berukuran 6 cm panjang 7.5 m, dan beton grouting f_c' 50 Mpa diameter 0.3 m tinggi 1 m di ketiga zona. Dilihat dari biaya material yang ekonomis maka dipilih perkuatan cerucuk (micro pile) dengan total biaya material yang dibutuhkan pada zona 1 adalah Rp 223.688.434, untuk zona 2 adalah Rp 111.287.778, dan untuk zona 3 Rp 111.287.778. Jumlah semua biaya material cerucuk adalah Rp 446.263.990

Kata Kunci—Jalan rel Bojonegoro-Surabaya Pasar Turi, Safety Factor, Cerucuk, Turap Beton, Counterweight

I. PENDAHULUAN

PADA lintas jalan rel antara Bojonegoro sampai dengan Surabaya Pasar Turi yang merupakan bagian jalan rel dari lintas utara Pulau Jawa juga dilaksanakan pembangunan jalur rel ganda. Jalur rel baru direncanakan dibangun diatas timbunan dan berada di sisi rel lama. Setelah dilakukan penimbunan jalur baru di sebelah jalur lama, tidak terjadi permasalahan pada mulanya. Dilanjutkan dengan pemasangan rel dan dilakukan pemasangan perkuatan yaitu dengan pemasangan turap beton (*sheet pile*) yang di letakan di samping timbunan rel baru. Setelah

beberapa hari pemasangan perkuatan turap beton tersebut terjadi pergerakan tanah pada tanah timbunan rel lama.

Pada timbunan rel lama yang selama ini beroperasi terjadi beberapa masalah yang terkait dengan pergerakan tanah. Salah satu tanda-tanda yang menunjukkan ada pergerakan tanah adalah tiang listrik yang terletak di sebelah rel lama yang mendadak miring dan terjadi kelongsoran pada beberapa lokasi. Karena adanya masalah pada timbunan rel lama maka PT KAI sebagai pengelola kereta api pada jalur ini yang berencana mengoperasikan 2 jalur secara bersamaan terpaksa tidak dapat dilakukan sehingga PT KAI mengalami kerugian yang tidak sedikit. Jalur dari Jakarta sampai Bojonegoro dapat dilayani dengan cepat dengan 2 jalur sedangkan dari Bojonegoro sampai Surabaya hanya 1 jalur. Maka terjadi keterlambatan dan penumpukan penumpang pada jalur ini. Lokasi jalur yang dikelola oleh PT KAI ini mengalami kelongsoran tanah timbunan pada STA 141+100 sampai dengan 141+600. Indikasi pergerakan tanah pada lokasi tersebut ditunjukkan dengan kemiringan tiang listrik seperti pada Gambar 1 dan kelongsoran tanah timbunan seperti pada Gambar 2 menunjukkan tanda-tanda pergerakan tanah yang ditunjukkan dengan kelongsoran tanah.



Gambar 1. Kemiringan Tiang Listrik



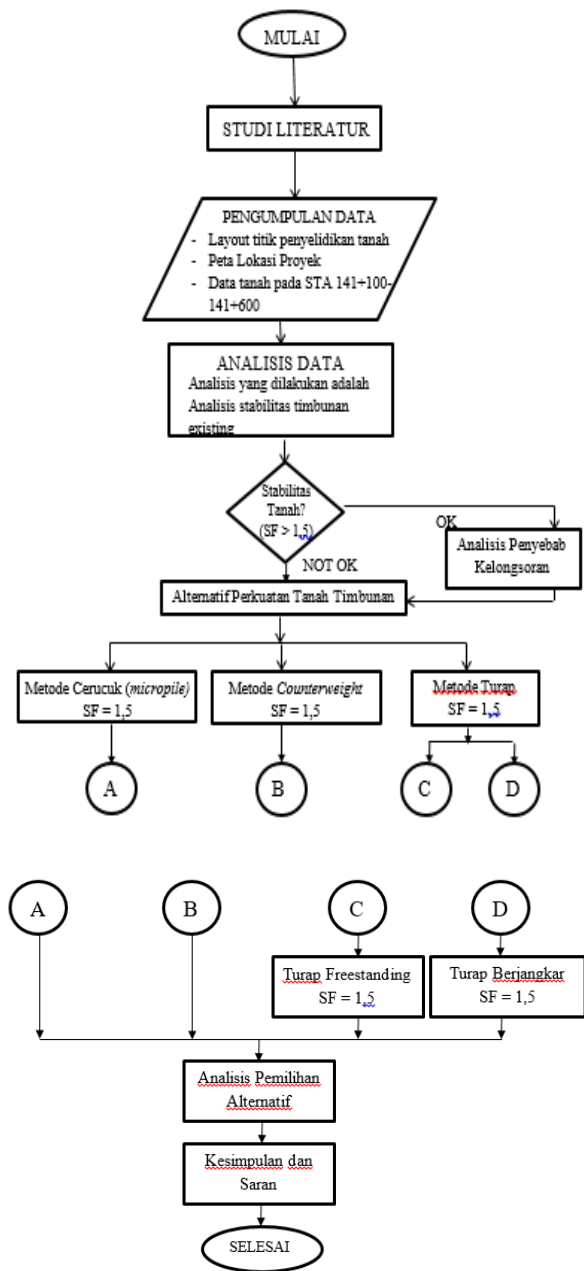
Gambar 2. Kelongsoran Tanah Timbunan

Dari kondisi seperti pada Gambar 1 dan 2 di atas maka tanah timbunan rel lama perlu diberi perkuatan tanah untuk mencegah terjadinya kelongsoran yang akan timbul dan menjamin kondisi badan jalan rel yang baik selama dilewati kereta api. Terdapat banyak alternatif perkuatan tanah timbunan seperti *terramesh*, *geotextile*, *counterweight*, turap beton, dan cerucuk. Dalam hal ini perkuatan dengan

menggunakan *terramesh* dan *geotextile* tidak dapat di aplikasikan karena harus membongkar rel yang sudah ada untuk pemasangan perkuatan tersebut. Sedangkan dari pihak PT. KAI menghendaki tidak adanya pembongkaran rel lama. Maka dari itu perkuatan yang dapat di gunakan adalah perkuatan *counterweight*, turap beton, dan cerucuk. Studi ini membahas tentang bagaimana perencanaan dinding penahan tanah, cerucuk, dan *counterweight* untuk perkuatan tanah timbunan rel Bojonegoro-Pasar Turi STA 141-100 s/d 141-600 serta memilih perencanaan terbaik dari segi biaya.

II. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam perencanaan adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Metodologi Perencanaan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data dan Analisis

1. Data Tanah Dasar

Data tanah yang dipergunakan dalam Studi ini adalah data hasil pekerjaan penyelidikan tanah oleh Laboratorium Mekanika Tanah dan Batuan Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS untuk proyek perkuatan timbunan rel eksisting *railway track* Bojonegoro – Surabaya Pasar Turi. Data tanah dasar diketahui pada point S-7 STA 141+170 Jalur Eksisting, terletak di desa Sumberrejo Bojonegoro. Data tanah ditampilkan dalam bentuk Sondir (*cone penetration test*) dan dilampirkan pada buku Studi Penulis [1]. Data tanah di korelasi dengan tabel parameter tanah, rekap data tanah dapat dilihat pada buku Studi Penulis [1].

Analisis kelongsoran timbunan rel dilakukan sebelum penentuan alternative perkuatan yang akan dipasang. Analisis awal ini dilakukan untuk mengetahui nilai *safety factor* yang ada pada timbunan rel existing. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan data tanah yang berasal dari uji sondir yang telah dibahas sebelumnya pada Bab IV. Analisis *safety factor* timbunan dilakukan pada 3 zona sebagai berikut yaitu zona 1 (STA 141+100 – STA 141+300) yang diwakili oleh STA 141+150, zona 2 (STA 141+300 – STA 141+450) yang diwakili oleh STA 141+350, dan zona 3 (STA 141+450 – STA 141+600) yang diwakili oleh STA 141+600. Tiga titik STA terpilih tersebut dianggap mewakili dari setiap bentuk geometri pada STA 141+100 sampai dengan STA 141+600 dan selanjutnya akan di gunakan dalam analisis dan perencanaan perkuatan.

Tabel 1. Nilai SF Analisis Stabilitas Timbunan

Titik	SF
STA 141+150	0.99
STA 141+350	1.02
STA 141+600	1.06

B. Perencanaan Alternatif

1. Turap

Pada perencanaan turap tanpa anker ini diasumsikan bahwa timbunan yang berada di sisi kanan turap dianggap tidak ada. Hal ini dimaksudkan untuk mengabaikan tekanan pasif yang diakibatkan oleh timbunan sehingga hasilnya lebih aman.

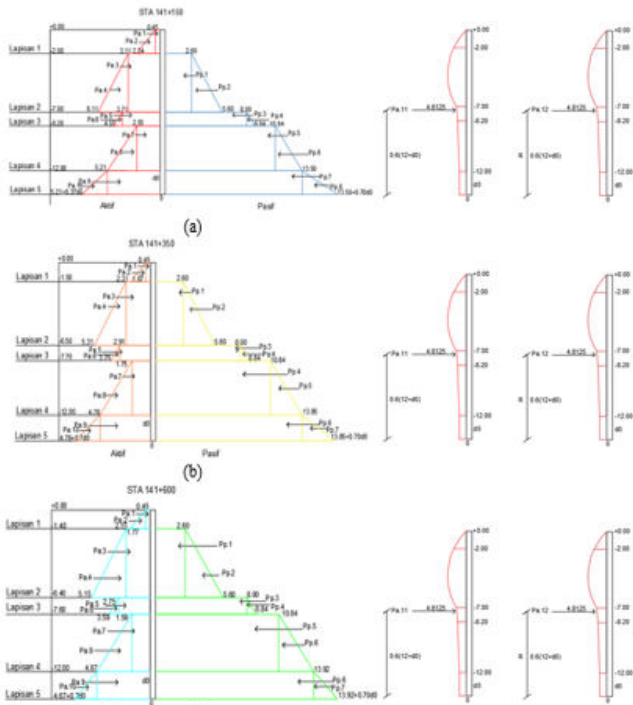
Adapun tahapan dalam merencanakan turap tanpa anker adalah sebagai berikut:

1. Menghitung Tegangan Horizontal Aktif dan Pasif.

Dalam menghitung tegangan horizontal aktif pasif diperhitungkan juga beban terpusat akibat kereta api dan beban bantalan rel yang merupakan beton dengan $f_c' 50$. Hasil hasil perhitungan tegangan horizontal untuk kereta api langsung berupa gaya yang ditampilkan pada gambar 4. Hasil tegangan aktif pasif dapat dilihat pada Lampiran 4 Studi Penulis [1].

2. Mencari Nilai ϕ .

Untuk mencari nilai ϕ , setelah didapatkan tegangan horizontal aktif, selanjutnya dihitung gaya-gaya yang bekerja pada turap. Perhitungan gaya dimaksudkan untuk mendapatkan persamaan momen aktif dan pasif pada Tabel 2. Perhitungan gaya dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu perhitungan gaya dari tegangan horizontal aktif pasif akibat beban timbunan dan bantalan rel, dengan perhitungan gaya akibat beban kereta api. Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada turap ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Tegangan Turap Tanpa Angker Beban Timbunan dan Bantalan Rel.

Tabel 2. Perhitungan Gaya Horizontal yang Bekerja pada Turap dan Persamaan Momen Aktif Pasif

(a)

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pa.1	2	0.45	0.91	11.00	+ 1.00 do + 10.00 + 0.91 do +
Pa.2	2	1.88	1.88	10.67	+ 1.00 do + 20.10 + 1.88 do +
Pa.3	5	3.11	15.55	7.50	+ 1.00 do + 116.63 + 15.55 do +
Pa.4	5	3.00	7.50	6.67	+ 1.00 do + 50.00 + 7.50 do +
Pa.5	1.2	3.71	4.45	4.40	+ 1.00 do + 19.59 + 4.45 do +
Pa.6	1.2	0.84	0.50	4.20	+ 1.00 do + 2.12 + 0.50 do +
Pa.7	3.8	2.55	9.69	1.90	+ 1.00 do + 18.41 + 9.69 do +
Pa.8	3.8	2.66	5.05	1.27	+ 1.00 do + 6.40 + 5.05 do +
Pa.9	do	5.21	5.21 do	0.50 do	+ 2.61 do ² +
Pa.10	do	0.70 do	0.35 do ²	0.33 do	+ 0.12 do ³
Persamaan Momen Aktif =					243.25 + 45.54 do + 2.61 do ² + 0.12 do ³

(b)

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pp.1	5	2.60	13	7.50	+ 1.00 do + 97.50 + 13.00 do +
Pp.2	5	3.00	7.50	6.67	+ 1.00 do + 50.00 + 7.50 do +
Pp.3	1.2	8.00	9.60	4.40	+ 1.00 do + 42.24 + 9.60 do +
Pp.4	1.2	0.84	0.50	4.20	+ 1.00 do + 2.12 + 0.50 do +
Pp.5	3.8	10.84	41.19	1.90	+ 1.00 do + 78.26 + 41.19 do +
Pp.6	3.8	2.66	5.05	1.27	+ 1.00 do + 6.40 + 5.05 do +
Pp.7	do	13.90	13.90 do	0.50 do	+ 6.95 do ² +
Pp.8	do	0.70 do	0.35 do ²	0.33 do	+ 0.12 do ³
Persamaan Momen Pasif =					276.52 + 76.85 do + 6.75 do ² + 0.12 do ³

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif		
Ph = 0.55 Ql	4.8125	
Momen = Ph	34.65 +	2.8875 do

Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif		
Ph = 0.55 Ql	4.8125	
Momen = Ph	34.65 +	2.8875 do

(c)

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pa.1	1.5	0.45	0.68	11.25	+ 1.00 do + 7.67 + 0.68 do +
Pa.2	1.5	1.41	1.06	11.00	+ 1.00 do + 11.66 + 1.06 do +
Pa.3	5	2.31	11.55	8.00	+ 1.00 do + 92.40 + 11.55 do +
Pa.4	5	3.00	7.50	7.17	+ 1.00 do + 53.75 + 7.50 do +
Pa.5	1.2	2.91	3.49	4.90	+ 1.00 do + 17.11 + 3.49 do +
Pa.6	1.2	0.84	0.50	4.70	+ 1.00 do + 2.37 + 0.50 do +
Pa.7	4.3	1.75	7.53	2.15	+ 1.00 do + 16.18 + 7.53 do +
Pa.8	4.3	3.01	6.47	1.43	+ 1.00 do + 9.28 + 6.47 do +
Pa.9	do	4.75	4.75 do	0.50 do	+ 2.38 do ² +
Pa.10	do	0.70 do	0.35 do ²	0.33 do	+ 0.12 do ³
Persamaan Momen Aktif =					210.42 + 38.78 do + 2.38 do ² + 0.12 do ³

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif		
Ph = 0.55 Ql	4.8125	
Momen = Ph	34.65 +	2.8875 do

Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif		
Ph = 0.55 Ql	4.8125	
Momen = Ph	34.65 +	2.8875 do

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pa.1	1.5	0.45	0.68	11.30	+ 1.00 do + 7.19 + 0.64 do +
Pa.2	1.5	1.32	0.90	11.07	+ 1.00 do + 10.22 + 0.92 do +
Pa.3	5	2.15	10.75	8.10	+ 1.00 do + 87.08 + 10.75 do +
Pa.4	5	3.00	7.50	7.27	+ 1.00 do + 54.50 + 7.50 do +
Pa.5	1.2	2.75	3.30	5.00	+ 1.00 do + 36.50 + 3.30 do +
Pa.6	1.2	0.84	0.50	4.80	+ 1.00 do + 2.42 + 0.50 do +
Pa.7	4.3	1.59	7.00	2.20	+ 1.00 do + 15.39 + 7.00 do +
Pa.8	4.3	3.08	6.78	1.47	+ 1.00 do + 9.94 + 6.78 do +
Pa.9	do	4.67	4.67 do	0.50 do	+ 2.34 do ² +
Pa.10	do	0.70 do	0.35 do ²	0.33 do	+ 0.12 do ³
Persamaan Momen Aktif =					203.23 + 37.39 do + 2.34 do ² + 0.12 do ³

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pp.1	5	2.60	13	8.10	+ 1.00 do + 105.30 + 13.00 do +
Pp.2	5	3.00	7.50	7.27	+ 1.00 do + 54.50 + 7.50 do +
Pp.3	1.2	8.00	9.60	5.00	+ 1.00 do + 48.00 + 9.60 do +
Pp.4	1.2	0.84	0.50	4.80	+ 1.00 do + 2.42 + 0.50 do +
Pp.5	4.3	10.84	47.70	2.20	+ 1.00 do + 104.93 + 47.70 do +
Pp.6	4.3	3.08	6.78	1.47	+ 1.00 do + 6.78 do +
Pp.7	do	13.92	13.92 do	0.50 do	+ 6.96 do ² +
Pp.8	do	0.70 do	0.35 do ²	0.33 do	+ 0.12 do ³
Persamaan Momen Pasif =					325.09 + 85.38 do + 6.96 do ² + 0.12 do ³

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif		
Ph = 0.55 Ql	4.8125	
Momen = Ph	34.65 +	2.8875 do

Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif		
Ph = 0.55 Ql	4.8125	
Momen = Ph	34.65 +	2.8875 do

Tabel 3. Perhitungan Persamaan Momen $\Sigma M = 0$: (a) STA 141+150; (b) STA 141+350; (c) STA 141+600

Persamaan Momen					
AKTIF	0.12 do ³ +	2.61 do ² +	51.32 do +	312.55 =	0
PASIF	0.12 do ³ +	6.75 do ² +	76.85 do +	276.52 =	0
TOTAL	0.00 do ³ +	-4.15 do ² +	-25.53 do +	36.02 =	0
TOTAL PANJANG TURAP (m) :					14.00

Persamaan Momen					
AKTIF	0.12 do ³ +	2.38 do ² +	44.56 do +	279.72 =	0
PASIF	0.12 do ³ +	6.93 do ² +	83.69 do +	316.65 =	0
TOTAL	0.00 do ³ +	-4.55 do ² +	-39.13 do +	-36.93 =	0
TOTAL PANJANG TURAP (m) :					12.00

Persamaan Momen					
AKTIF	0.12 do ³ +	2.34 do ² +	43.16 do +	272.53 =	0
PASIF	0.12 do ³ +	6.96 do ² +	85.08 do +	325.09 =	0
TOTAL	0.00 do ³ +	-4.63 do ² +	-41.92 do +	-52.55 =	0
TOTAL PANJANG TURAP (m) :					12.00

3. Menghitung Panjang Total Turap.

Setelah menghitung faktor dari persamaan pangkat tiga pada Tabel 3, maka didapatkan nilai do untuk zona 1 adalah 1.21 m dan 0 untuk zona 2 dan 3. Nilai do ini kemudian dikalikan dengan angka keamanan, SF yaitu 1,2 lalu dijumlahkan dengan tebal lapisan tanah yang ada di atasnya. Sehingga total panjang turap yang dibutuhkan pada zona satu 14 m, zona dua 12 m, dan zona tiga 12 m. Karena pada peraturan SF yang diminta adalah 1,5 maka perlu adanya kontrol menggunakan software untuk mengetahui berapa SF yang dihasilkan oleh perkuatan turap beton tersebut. Setelah dianalisis menggunakan program bantu didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Safety Factor Turap

Titik STA	Profil Turap	Panjang Turap (m)	SF	Keterangan
141+150	W500 A1000	14	1.12	Not Ok
	W600 A1000	21	1.27	Not Ok
141+350	W500 A1000	12	1.16	Not Ok
	W600 A1000	21	1.33	Not Ok
141+600	W500 A1000	12	1.2	Not Ok
	W600 A1000	21	1.37	Not Ok

Dicoba perencanaan dikombinasikan dengan counterweight dan dianalisis menggunakan program bantu.

Tabel 5. Rekapitulasi SF Perkuatan Kombinasi

Titik STA	Profil Turap	Panjang Turap (m)	Panjang Timbunan (m)	Lebar Timbunan (m)	Tinggi Timbunan (m)	SF	Keterangan
141+150	W600 A1000	21	200	3	1.9	1.29	Not Ok
141+350	W600 A1000	21	150	3	1.4	1.37	Not Ok
141+600	W600 A1000	21	150	3	1.3	1.39	Not Ok

4. Perencanaan Turap Berangker

Pada perencanaan turap dengan angker dilakukan di ketiga zona, dengan tujuan memperpendek turap yang dibutuhkan.

Tabel 6.

Perhitungan Gaya Horizontal yang Bekerja pada Turap dan Persamaan Momen Aktif Pasif

(a)

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pa.1	2	0.45	0.91	0.00	0.00 +
Pa.2	2	1.88	1.88	0.33	0.63 +
Pa.3	4	3.11	12.44	3.00	37.32 +
Pa.4	4	2.40	4.80	3.67	17.60 +
Pa.5	do	3.11	3.11 do	5.00	+ 0.50 do
Pa.6	do	0.70 do	0.35 do ²	5.00	+ 0.67 do
Persamaan Momen Aktif =					55.55 + 15.55 do + 3.31 do ² + 0.23 do ³

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pp.1	4	2.60	10.40	3.00	31.20 +
Pp.2	4	2.40	4.80	3.67	17.60 +
Pp.3	do	7.40	7.40 do	5.00	+ 0.50 do
Pp.4	do	0.70 do	0.35 do ²	5.00	+ 0.67 do
Persamaan Momen Pasif =					48.80 + 37.00 do + 5.45 do ² + 0.23 do ³

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif

Ph = 0.55 Ql 4.8125

Momen = Ph 10.55 + 2.8875 do

Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif

Ph = 0.55 Ql 4.8125

Momen = Ph 10.55 + 2.8875 do

(b)

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pa.1	1.5	0.45	0.68	-0.25	-0.17 +
Pa.2	1.5	1.41	1.06	0.00	0.00 +
Pa.3	4.5	2.31	10.40	2.75	28.59 +
Pa.4	4.5	2.70	6.08	3.50	21.26 +
Pa.5	do	2.61	2.61 do	5.00	+ 0.50 do
Pa.6	do	0.70 do	0.35 do ²	5.00	+ 0.67 do
Persamaan Momen Aktif =					49.68 + 13.05 do + 3.06 do ² + 0.23 do ³

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pp.1	4.5	2.60	11.70	2.75	32.18 +
Pp.2	4.5	2.70	6.08	3.50	21.26 +
Pp.3	do	7.70	7.70 do	5.00	+ 0.50 do
Pp.4	do	0.70 do	0.35 do ²	5.00	+ 0.67 do
Persamaan Momen Pasif =					53.44 + 38.50 do + 5.60 do ² + 0.23 do ³

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif

Ph = 0.55 Ql 4.8125

Momen = Ph 10.55 + 2.8875 do

Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif

Ph = 0.55 Ql 4.8125

Momen = Ph 10.55 + 2.8875 do

(c)

GAYA AKTIF	Ketebalan (m)	dh Aktif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pa.1	1.4	0.45	0.64	-0.30	-0.19 +
Pa.2	1.4	1.32	0.92	-0.07	-0.06 +
Pa.3	4.6	2.15	9.89	2.70	26.70 +
Pa.4	4.6	2.76	6.35	3.47	22.01 +
Pa.5	do	2.51	2.51 do	5.00	+ 0.50 do
Pa.6	do	0.70 do	0.35 do ²	5.00	+ 0.67 do
Persamaan Momen Aktif =					48.46 + 12.55 do + 3.01 do ² + 0.23 do ³

GAYA PASIF	Ketebalan (m)	dh Pasif/Lebar (t/m ²)	Gaya (ton)	Jarak ke o (m)	Momen (Lm)
Pp.1	4.6	2.60	11.96	2.70	32.29 +
Pp.2	4.6	2.76	6.35	3.47	22.01 +
Pp.3	do	7.76	7.76 do	5.00	+ 0.50 do
Pp.4	do	0.70 do	0.35 do ²	5.00	+ 0.67 do
Persamaan Momen Pasif =					54.30 + 38.80 do + 5.63 do ² + 0.23 do ³

Persamaan Aktif Beban 1(jarak 2m dari turap) $m = 0.17 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif

Ph = 0.55 Ql 4.8125

Momen = Ph 10.55 + 2.8875 do

Persamaan Aktif Beban 2(jarak 3m dari turap) $m = 0.25 < 0.4 R = 0.6H$

Aktif

Ph = 0.55 Ql 4.8125

Momen = Ph 10.55 + 2.8875 do

Letak angker berada 1 m di bawah permukaan tanah timbunan.

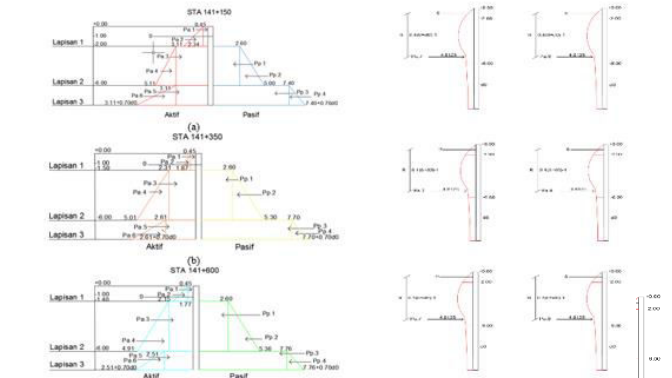
Menghitung Tegangan Horizontal Aktif dan Pasif.

1. Dalam menghitung tegangan horizontal aktif pasif
 Dalam menghitung tegangan horizontal aktif pasif diperhitungkan juga beban terpusat akibat kereta api dan beban bantalan rel yang merupakan beton dengan $f_c' = 50$. Hasil hasil perhitungan tegangan horizontal untuk kereta api langsung berupa gaya yang ditampilkan pada gambar

5. Hasil tegangan aktif pasif dapat dilihat pada Lampiran 4 Studi Penulis [1].

2. Mencari Nilai do.

Untuk mencari nilai do, setelah didapatkan tegangan horizontal aktif, selanjutnya dihitung gaya-gaya yang bekerja pada turap. Perhitungan gaya dimaksudkan untuk mendapatkan persamaan momen aktif dan pasif pada Tabel 6. Perhitungan gaya dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu perhitungan gaya dari tegangan horizontal aktif pasif akibat beban timbunan dan bantalan rel, dengan perhitungan gaya akibat beban kereta api. Sketsa gaya-gaya yang bekerja pada turap ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Tegangan Turap Tanpa Angker Beban Timbunan dan Bantalan Rel

Tabel 7.

Perhitungan Persamaan Momen $\Sigma M = 0$: (a) STA 141+150; (b) STA 141+350; (c) STA 141+600

Persamaan Momen					
AKTIF	0.23 do ³	+ 3.31 do ²	+ 21.33 do	+ 76.65 =	0
PASIF	0.23 do ³	+ 5.45 do ²	+ 37.00 do	+ 48.80 =	0
TOTAL	0.00 do ³	+ -2.15 do ²	+ -15.68 do	+ 27.85 =	0
TOTAL PANJANG TURAP (m) : 8.00					

Persamaan Momen					
AKTIF	0.23 do ³	+ 3.06 do ²	+ 18.83 do	+ 70.78 =	0
PASIF	0.23 do ³	+ 5.60 do ²	+ 38.50 do	+ 53.44 =	0
TOTAL	0.00 do ³	+ -2.55 do ²	+ -19.68 do	+ 17.34 =	0
TOTAL PANJANG TURAP (m) : 7.00					

Persamaan Momen					
AKTIF	0.23 do ³	+ 3.01 do ²	+ 18.33 do	+ 69.56 =	0
PASIF	0.23 do ³	+ 5.63 do ²	+ 38.80 do	+ 54.30 =	0
TOTAL	0.00 do ³	+ -2.63 do ²	+ -20.48 do	+ 15.26 =	0
TOTAL PANJANG TURAP (m) : 7.00					

3. Menghitung Panjang Total Turap.

Setelah menghitung faktor dari persamaan pangkat tiga pada Tabel 7, maka didapatkan nilai do untuk ketiga STA. Nilai do ini kemudian dikalikan dengan angka keamanan, SF yaitu 1,2 lalu dijumlahkan dengan tebal lapisan tanah yang ada di atasnya. Sehingga total panjang turap yang dibutuhkan pada zona satu 8 m, zona dua 7 m, dan zona tiga 7 m.

4. Menentukan Jumlah Turap yang akan Dipasang.

Jumlah turap yang akan dipasang ditentukan dari perbandingan antara *section modulus* yang terjadi akibat momen yang bekerja pada turap dibandingkan dengan *section modulus* dari jenis turap yang digunakan.

5. Menentukan Diameter Baja Angker

Diameter baja angker direncanakan menggunakan baja berdiameter 6 cm. Baja angker diasumsikan tidak ikut menahan gaya gesek akibat gaya aktif turap. Dengan demikian turap seharusnya menjadi lebih aman.

6. Menentukan Volume Beton Grouting

Dalam perencanaan turap angker ini baja angker dianggap tidak ikut menahan gaya gesek akibat gaya aktif turap, maka gaya harus dapat ditahan semua oleh beton grouting. Beton grouting menggunakan beton f_c' 50 Mpa.

7. Menentukan Panjang Baja Angker

Letak angker harus terletak pada daerah di zona stabil. Jari-jari kelongsoran maksimal timbunan adalah $45^\circ - \phi/2$. Maka didapatkan panjang baja angker 7 m. Rekapitulasi kekuatan turap berangker dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Rekapitulasi Kekuatan Turap Berangker

Titik STA	Profil Turap	Panjang Turap (m)	Panjang Angker (m)	Diameter Angker (m)	Panjang Grouting (m)	Diameter Grouting (m)	Keterangan
141+150	W325 A1000	9	7	0.06	0.7	0.3	Perhitungan
	W400 A1000	10	7.5	0.06	1	0.3	Dipasang
141+350	W325 A1000	8	7	0.06	0.6	0.3	Perhitungan
	W400 A1000	10	7.5	0.06	1	0.3	Dipasang
141+600	W325 A1000	8	7	0.06	0.4	0.3	Perhitungan
	W400 A1000	10	7.5	0.06	1	0.3	Dipasang

Perencanaan Kekuatan dengan Counterweight

Perencanaan kekuatan timbunan dengan Counterweight direncanakan dengan menggunakan konsep *foundation stability*.

1. Mencari tegangan tanah

Menghitung tegangan tanah menggunakan Persamaan $(\sigma_{vo} = q + H \cdot \gamma_{timbunan})$.

2. Mencari gaya aktif pasif

Gaya yang ditimbulkan hanya sedalam tanah lunak, untuk menghitungnya menggunakan Persamaan $Pa_2 = (\sigma_{vo} - 2Cu) \cdot h + 0.5 \cdot h^2 \cdot \gamma_t$ (ton/m') dan Persamaan $Pp = 0.5 \cdot h^2 \cdot \gamma_t + 2 \cdot Cu \cdot h$ (ton/m').

3. Menghitung lebar timbunan

Menghitung lebar timbunan counterweight menggunakan Persamaan $Pa \leq \frac{Pp+2Su \cdot L}{SF}$ dan $S_2 \geq (Su \cdot L) \cdot SF$ dimana SF 1,5. Rekap titik STA dan lebar yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 9. Hasil lengkap perhitungan perencanaan lebar counterweight dapat dilihat pada Lampiran 4 Studi Penulis [1].

Tabel 9. Rekap Lebar Counterweight yang dibutuhkan

STA	Kedalaman (0-5m)	Gamma Tanah Lunak (t/m2)	Beban		Sigma V	Pa	Pp	SF	L	
			Kereta	Timbunan						
141+150	5	1.60	1.96	8.75	5.2	13.95	57.7	27	1.5	15.14668
141+350	5	1.60	1.96	8.75	4.3	13.05	53.2	27	1.5	13.42474
141+600	5	1.60	1.96	8.75	4.12	12.87	52.3	27	1.5	13.08036

Perencanaan Kekuatan dengan Cerucuk

Berikut tahapan dalam merencanakan cerucuk:

1. Menghitung faktor modulus tanah (f)

Dihitung dengan melihat grafik hubungan antara q_u ($2Cu$) dengan faktor modulus tanah (f) (NAVFAC DM-7, 1971) [2].

2. Menghitung modulus elastisitas (E) dan momen inersia(I) bahan

Modulus elastisitas didapatkan dari $4700\sqrt{f_c}$, dengan cerucuk f_c 50 sedangkan momen inersia dihitung dengan persamaan $\frac{\pi}{8} (d^3t - 3d^2t^2 + 4dt^3 - 2t^4)$ [2]

3. Menghitung faktor kekakuan relatif (T) Faktor kekakuan relative (T) dihitung dengan persamaan $T = (\frac{EI}{L})^{\frac{1}{5}}$ [2]

4. Menghitung koefisien momen akibat gaya lateral (Fm)

Koefisien momen akibat gaya lateral (Fm) didapatkan dari grafik pada (NAVFAC DM-7, 1971).

5. Mencari momen maksimum lentur micropile (Mp)

Momen maksimum lentur untuk micropile PC Spun Pile dapat dilihat pada Lampiran 4 Studi Penulis [1].

6. Menghitung faktor koreksi gabungan (Fkg)

Perhitungan faktor koreksi gabungan menggunakan persamaan $Fkg = 2,51 \cdot Y_t \cdot Y_s \cdot Y_n \cdot Y_D$. [1]

8. Menghitung gaya horizontal 1 cerucuk

Dari variable yang telah di dapatkan maka dihitung gaya horizontal yang mampu dipikul 1 buah cerucuk dengan

$$P_{max(1cerucuk)} = \frac{M_{pmax(1cerucuk)}}{F_M \cdot T} \cdot Fkg$$

9. Menghitung jumlah cerucuk yang di butuhkan

Setelah didapatkan gaya horizontal 1 cerucuk maka di cari jumlah cerucuk yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus $n = (SF \text{ yang diinginkan} - SF \text{ yang ada}) \cdot OM / (P_{max} \text{ 1cerucuk} \cdot R)$. Tabel 10 (a) Menunjukkan jumlah variasi SF dan variasi jari-jari kelongsoran yang digunakan dalam perhitungan.

Perhitungan dilanjutkan dengan asumsi jumlah cerucuk yang ditampilkan pada Tabel 10 (b, c, d)

Tabel 10. Perhitungan Cerucuk (a)

STA 141+150			STA 141+350			STA 141+600		
SF	R (m)	Mr (kNm)	SF	R (m)	Mr (kNm)	SF	R (m)	Mr (kNm)
0.994	7.07	1832.94	1.021	5.7	1113.95	1.066	5.89	1149.42
1.023	7.21	1907.34	1.031	5.96	1194.18	1.104	5.6	1153.71
1.026	6.86	1850.29	1.043	5.6	1168.66	1.158	5.5	1173.43
1.039	8	2020.11	1.054	5.48	1115.47	1.175	6.9	1318.6
1.039	6.89	1894.85	1.073	5.36	1166.84	1.183	6.4	1271.9

(b)

SF 0.994	SF 1.023	SF 1.026	SF 1.039	SF 1.039
Xn	n	Xn	n	Xn
0	1.902968	0	1.77858	0
1	1.991888	1	1.86169	1
2	2.089525	2	1.95295	2
3	2.197228	3	2.05361	3
4	2.316637	4	2.16521	4
5	2.44971	5	2.28964	5
6	2.599139	6	2.42925	6
7	2.767905	7	2.58698	7
8	2.960109	8	2.76663	8
9	3.180999	9	2.97308	9
10	3.437513	10	3.21282	10

(c)

SF 1.021	SF 1.031	SF 1.043	SF 1.054	SF 1.073
Xn	n	Xn	n	Xn
0	1.138971	0	1.13227	0
1	1.192192	1	1.18518	1
2	1.25063	2	1.24327	2
3	1.315093	3	1.30735	3
4	1.386562	4	1.3784	4
5	1.466245	5	1.45762	5
6	1.555646	6	1.54649	6
7	1.656656	7	1.64691	7
8	1.771695	8	1.76127	8
9	1.903903	9	1.8927	9
10	2.057433	10	2.04533	10

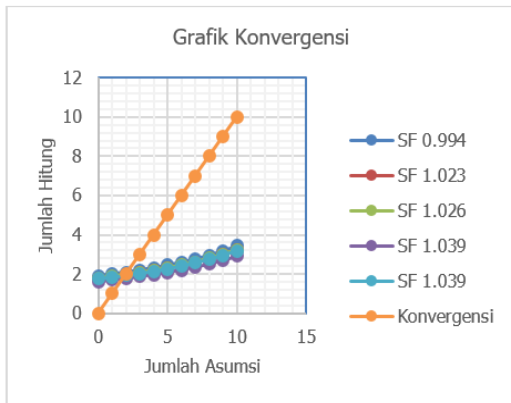
(d)

SF 1.066	SF 1.104	SF 1.158	SF 1.175	SF 1.183
Xn	n	Xn	n	Xn
0	0.986979	0	0.918	0
1	1.033098	1	0.9609	1
2	1.083738	2	1.008	2
3	1.139598	3	1.06	3
4	1.20153	4	1.1176	4
5	1.27058	5	1.1818	5
6	1.34805	6	1.2538	6
7	1.435581	7	1.3353	7
8	1.535269	8	1.428	8
9	1.649834	9	1.5345	9
10	1.782875	10	1.6583	10

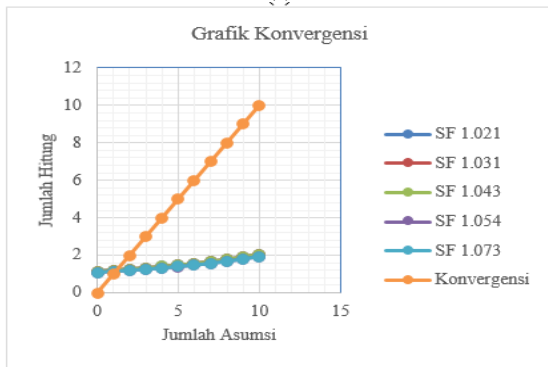
Dari Gambar 6 dapat ditentukan jumlah cerucuk yang dibutuhkan untuk kekuatan di setiap zona.

Tabel 11. Jumlah Cerucuk yang Dibutuhkan

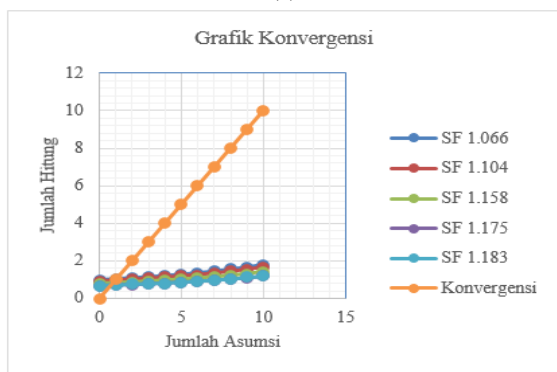
STA	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Jumlah Per Meter	3	2	2
Total Jumlah	603	300	300
Panjang Cerucuk	10	10	10



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Grafik Konvergensi Jumlah Cerucuk.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dalam perencanaan Studi ini didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil analisis timbunan sebelum diberi perkuatan menggunakan program bantu adalah terdapat *safety factor* (SF) yang kurang dari 1 (0.99) yakni pada zona 1 (STA 141+100 – STA 141+300), sedangkan pada zona 2 (STA 141+300 – STA 141+450) dan zona 3 (STA 141+450 – STA 141+600) kondisi SF yang didapatkan kritis (1.02 pada zona 2 dan 1.06 pada zona 3) maka tanah timbunan mengalami kelongsoran pada zona 1, dan perlu adanya perkuatan pada zona 1 sampai zona 3.
2. Alternatif perencanaan perkuatan timbunan menggunakan cerucuk (*micropile*) *Prestressed Concrete Spun Pile* diameter 300 mm dari PT Wijaya Karya Beton. Dipasang sedalam 10 m dengan jarak 1

Tabel 11. Rekapitulasi Harga Material (Turap tanpa Angkur (a), Turap Berjangkar (b), *Counterweight* (c), Cerucuk (d))

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Beton Precast/m ³	Rp820,000.00	Biaya Beton Precast/m ³	Rp820,000.00	Biaya Beton Precast/m ³	Rp820,000.00
Luas Turap (cm ²)	2078	Luas Turap (cm ²)	2078	Luas Turap (cm ²)	2078
Luas Turap (m ²)	0.2078	Luas Turap (m ²)	0.2078	Luas Turap (m ²)	0.2078
Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996
Tinggi Turap	21	Tinggi Turap	20	Tinggi Turap	20
Jumlah Turap	201	Jumlah Turap	150	Jumlah Turap	151
Total/Zona	Rp 716,364,549.94		Rp 509,143,248.00		Rp 512,537,536.32
Total					Rp 1,738,045,334.26

(a)

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Beton Precast/m ³	Rp 820,000.00	Biaya Beton Precast/m ³	Rp 820,000.00	Biaya Beton Precast/m ³	Rp 820,000.00
Luas Turap (cm ²)	1598	Luas Turap (cm ²)	1598	Luas Turap (cm ²)	1598
Luas Turap (m ²)	0.1598	Luas Turap (m ²)	0.1598	Luas Turap (m ²)	0.1598
Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996	Lebar Turap (m)	0.996
Tinggi Turap	10.00	Tinggi Turap	10.00	Tinggi Turap	10.00
Jumlah Turap	201	Jumlah Turap	150	Jumlah Turap	151
Biaya Rod Angkur/kg	Rp7,100.00	Biaya Rod Angkur/kg	Rp7,100.00	Biaya Rod Angkur/kg	Rp7,100.00
Panjang Rod Angkur (m)	7.50	Panjang Rod Angkur (m)	7.50	Panjang Rod Angkur (m)	7.50
Diameter Rod Angkur (m)	0.06	Diameter Rod Angkur (m)	0.06	Diameter Rod Angkur (m)	0.06
Volume Grouting (m ³)	0.1	Volume Grouting (m ³)	0.1	Volume Grouting (m ³)	0.1
Jarak antar Angkur (m)	1	Jarak antar Angkur (m)	1	Jarak antar Angkur (m)	1
Jumlah Angkur	201	Jumlah Angkur	150	Jumlah Angkur	151
Berat Jenis Baja (kg/m ³)	7850	Berat Jenis Baja (kg/m ³)	7850	Berat Jenis Baja (kg/m ³)	7850
Total/Zona	Rp 499,973,232.90		Rp 373,045,282.75		Rp 374,226,586.08
Total					Rp 1,247,245,101.72

(b)

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Material Timbunan/m ³	Rp156,000.00	Biaya Material Timbunan/m ³	Rp156,000.00	Biaya Material Timbunan/m ³	Rp156,000.00
Panjang Timbunan (m)	15.2	Panjang Timbunan (m)	13.5	Panjang Timbunan (m)	13.1
Tinggi Timbunan (m)	1.4	Tinggi Timbunan (m)	1.2	Tinggi Timbunan (m)	1.1
Panjang Zona (m)	200	Panjang Zona (m)	150	Panjang Zona (m)	150
Total/Zona	Rp 663,936,000.00		Rp379,080,000.00		Rp 337,194,000.00
Total					Rp1,380,210,000.00

(c)

STA 141+150 (Zona 1)		STA 141+350 (Zona 2)		STA 141+600 (Zona 3)	
Biaya Beton Precast/m ³	Rp820,000.00	Biaya Beton Precast/m ³	Rp820,000.00	Biaya Beton Precast/m ³	Rp820,000.00
V cerucuk 30 cm	0.706858347	V cerucuk 30 cm	0.706858347	V cerucuk 30 cm	0.706858347
Kedalaman	10	Kedalaman	10	Kedalaman	10
V cerucuk 18 cm	0.254469005	V cerucuk 18 cm	0.254469005	V cerucuk 18 cm	0.254469005
V 1 cerucuk	0.452389342	V 1 cerucuk	0.452389342	V 1 cerucuk	0.452389342
Jumlah	603	Jumlah	300	Jumlah	300
Volume Total	272.7907733	Volume Total	135.7168026	Volume Total	135.7168026
Biaya 1 cerucuk	Rp 223,688,434.10	Biaya Total	Rp111,287,778.16	Biaya Total	Rp111,287,778.16
Biaya 1 cerucuk	Rp 370,959.26				
Total Semua Biaya	Rp 446,263,990.42				

(d)

Tabel 12. Rekapitulasi Biaya Total Perkuatan

Jenis Perkuatan	Biaya Total
Turap <i>Freestanding</i>	Rp 1,738,045,334.26
Turap Berjangker	Rp 1,247,245,101.72
<i>Counterweight</i>	Rp 1,380,210,000.00
Cerucuk	Rp 446,263,990.42

m dan tiap baris berjumlah 3 untuk zona 1, 2 untuk zona 2, dan 2 untuk zona 3. Jumlah total cerucuk yang dipasang pada zona 1 603 buah, pada zona 2 150 buah, dan pada zona 3 150 buah.

3. Alternatif perencanaan perkuatan timbunan menggunakan *Counterweight* atau tanah yang di timun disamping timbunan *existing*, dengan beberapa percobaan SF sudah mendekati persyaratan (lihat Tabel 5.26), maka dipilihlah jumlah volume *Counterweight* yang paling efektif pada zona 1 adalah 4256 m³ (panjang 200m, lebar 15.2 m, dan tinggi 1.4 m), zona 2 2430 m³ (panjang 150m, lebar 13.5 m, dan tinggi 1.2 m) dan 2162 m³ (panjang 150m, lebar 13.1 m, dan tinggi 1.1 m).
4. Alternatif perencanaan perkuatan timbunan menggunakan perkuatan turap menggunakan W600 A1000 dengan panjang 21 m untuk turap tanpa angkur, dan W400 A1000 panjang 10 m, dengan baja angker

diameter 6 m, panjang 7.5 m, dan dimensi beton grouting diameter 0.3 m, panjang 1 m untuk turap berangker.

5. Total biaya material yang dibutuhkan untuk alternative menggunakan turap beton tanpa angkur adalah Rp 1.738.045.334, turap beton berangkur Rp 1.247.245.101, *counterweight* adalah Rp 1.380.210.000, dan cerucuk (*micropile*) adalah Rp 466.263.990. Maka dengan perbandingan harga tersebut alternatif yang digunakan adalah perkuatan tanah dengan menggunakan cerucuk (*micropile*).

B. Saran

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan, penulis memberikan saran yaitu:

1. Perlu dilakukan pemberian perkuatan pada timbunan existing STA 141+100 – 141+600 dengan menggunakan perkuatan cerucuk.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut mengenai optimasi perencanaan cerucuk.
3. Perhitungan manual terkadang jauh berbeda dengan analisis software maka digunakan yang terkritis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Pratama, "Alternatif Perkuatan Timbunan Existing Railway Track STA 141+100 – STA 141+600 Bojonegoro-Surabaya Pasar Turi," Surabaya, 2017.
- [2] N. E. Mochtar, "Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah," *Jur. Tek. Sipil*, 2012.