

Evaluasi Struktur Jalan Rel Kereta Api pada Fasilitas Perawatan Angkutan Batu Bara Wilayah DIVRE IV TNK

Yulisna Anggi¹⁾

Iswan²⁾

Fikri Alami³⁾

Abstract

This is to determine the condition of the railroad structure that has been built at STA 28 + 221.52 to STA 30 + 269.80 at the Rejosari station, Natar sub-district, South Lampung. The purpose of this study was to evaluate the existing design of railroad structure both in terms of dimensions and quality of materials using FEA (Finite Element Analysis) software, namely SAP 2000 and Plaxis version 8.6 applications. From the results of the discussion, it was found that the evaluation of the railroad structure at STA 28 + 221.52 to STA 30 + 269.80 80% met the existing regulatory standards in terms of material quality. Obtained the value of the safety factor, namely the STA 29 + 575 of 0.856. At STA 30 + 125 it was 1.047, at STA 30 + 250 it was 1.198. This value does not meet the soil stability requirements, namely the safety factor > 1.25, so the next analysis is carried out using the sheet pile design installed on the soil slide that occurs. STA 29 + 575 is 1.971, STA 30 + 125 is 1.454, STA 30 + 250 is 1.471 which means that the increase in the safety factor occurs by 20% and meets the soil stability requirements. Then in SAP 2000 analysis carried out on concrete bearings to determine the cracks in the bearings that occur. From the results of the analysis carried out, it is found that the concrete bearing does not crack if it is given a jacking force of 74 kN.

Keywords : Train, Analysis of concrete bearings, plaster, avalanche.

Abstrak

Untuk mengetahui kondisi struktur jalan rel yang telah dibangun pada STA 28+221,52 sampai dengan STA 30+269,80 di stasiun rejosari kecamatan Natar, Lampung Selatan. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi desain existing struktur jalan rel kereta api baik dari segi dimensi ataupun mutu bahan menggunakan software FEA (*Finite Element Analysis*) yaitu aplikasi SAP 2000 dan Plaxis versi 8.6. Dari hasil pembahasan didapatkan evaluasi struktur jalan rel pada STA 28+221,52 sampai dengan STA 30+269,80 80% memenuhi standar peraturan yang ada secara mutu bahan material. Didapatkan nilai faktor keamanan yaitu pada STA 29+575 sebesar 0,856. Pada STA 30+125 sebesar 1,047, pada STA 30+250 sebesar 1,198. Nilai ini tidak memenuhi syarat kestabilan tanah yaitu faktor keamanan > 1,25 sehingga dilakukan analisis berikutnya menggunakan desain turap yang dipasang pada kelongsoran tanah yang terjadi. STA 29+575 sebesar 1,971, STA 30+125 sebesar 1,454, STA 30+250 sebesar 1,471 yang artinya peningkatan faktor keamanan terjadi sebesar 20% dan memenuhi syarat kestabilan tanah. Kemudian pada analisa SAP 2000 dilakukan pada bantalan beton untuk mengetahui keretakan pada bantalan yang terjadi. Dari hasil analisis yang dilakukan didapat : bantalan beton tidak retak jika diberikan jacking force sebesar 74 kN.

Kata kunci : Kereta Api, Analisis bantalan beton, Turap, Longsoran.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel: yulisnaanggi5@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Pulau Sumatera merupakan pulau penghasil batu bara terbesar di Indonesia. Salah satu daerah penghasil batu bara terbesar di pulau Sumatera adalah Tanjung Enim Palembang Sumatera Selatan. Kereta api batu bara rangkaian panjang merupakan sarana transportasi utama yang digunakan untuk mengangkut hasil tambang batu bara relasi Tanjung Enim Sumatera Selatan-PLTU Tarahan. Kereta api batu bara rangkaian panjang (Babaranjang) adalah kereta api jenis barang yang mengangkut batu bara milik PT Bukit Asam, sebagai wujud kerja sama antara PT Bukit Asam dengan PT Kereta Api Indonesia.

Kereta api rangkaian panjang batu bara membutuhkan perawatan, perbaikan dan modifikasi sarana perkeretaapian. Dalam hal ini dikenal dengan istilah balaiyasa sebagai tempat perawatan kereta api babaranjang. PT Kereta Api Indonesia membagi daerah operasi pengelolaan kereta api di pulau Sumatera menjadi empat wilayah. Untuk pembagian daerah operasi wilayah Lampung disebut dengan Divisi Regional IV Tanjung Karang. Balai yasa untuk perawatan lokomotif, kereta, dan gerbong di Lampung masih berpusat di balai yasa Lahat yang berada di Divisi Regional III Kertapati. Akan tetapi, mengingat kapasitas balai yasa Lahat sulit untuk ditingkatkan dan bertambahnya *rollingstock* di wilayah Divisi Regional III, maka dari PT.KAI melaksanakan pengembangan dipo gerbong rejosari (RJS) menjadi balai yasa yang khusus melayani gerbong barang serta melayani bubut roda pada lokomotif dan kereta.

Tujuan dilakukan evaluasi infrastruktur jalan rel kereta api dan badan jalannya yang sering digunakan sehari-hari. Untuk mengetahui kondisi struktur jalan rel yang telah dibangun dari bulan September 2017- Desember 2018 pada STA 28+221,52 sampai dengan STA 30+269,80 di stasiun rejosari kecamatan Natar, Lampung Selatan sesuai standar yang ada. Mengevaluasi desain eksisting struktur jalan rel kereta api baik dari segi dimensi ataupun mutu bahan dengan standar yang berlaku dan menganalisis distribusi beban kereta api dan tegangan yang diterima struktur jalan rel sampai tanah dasar.

Metode elemen hingga atau FEA (*Finite Element Analysis*) adalah diskretisasi yaitu prosedur dimana masalah kompleks yang besar dibagi-bagi menjadi satu ekuivalen yang lebih kecil atau komponen. Metode ini merupakan metode yang dapat membantu mempercepat proses simulasi, analisa, dan desain, yang sebelumnya dilakukan manual serta cukup memakan waktu. Dengan menggunakan metode FEA (*Finite Element Analysis*) maka akan membantu menganalisis struktur jalan rel kereta api dengan mudah dan tidak memakan waktu yang lama.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur badan jalan rel kereta api

Struktur badan jalan rel kereta api merupakan bangunan bawah konstruksi jalan rel, berada tepat di bawah lapisan balas yang merupakan bagian terakhir atau terbawah dalam pemikulan beban jalan rel. Struktur badan jalan rel kereta api terdiri subgrade atau tanah dasar, tanah timbunan dan tanah asli, perataan tanah, pemadatan tanah serta pengujian standarkepadatan dari tanah itu sendiri (Peraturan Dinas No.10.1986). Penimbunan tanah meliputi pengumpulan material, pengangkutan, penempatan di lokasi baru, serta pemadatan tanah yang diinginkan

atau material granular untuk konstruksi timbunan. Selain itu penimbunan juga didefinisikan sebagai kegiatan meletakkan atau menambah volume material yang sejenis atau material lain dengan tujuan untuk meratakan permukaan yang berupa lubang sebelumnya atau meninggikan elevasi permukaan untuk mendapatkan kondisi permukaan tanah yang lebih baik (Clements, 1982).

2.2 Modulus Elastisitas Tanah (E)

Modulus elastisitas adalah angka yang digunakan untuk mengukur objek atau ketahanan bahan untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu. Nilai modulus young menunjukkan besarnya nilai elastisitas tanah yang merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi terhadap regangan. Nilai ini secara empiris dapat ditentukan seperti tabel berikut ini :

Tabel 1. Nilai E Tanah

Referensi	Hubungan	Digunakan
Heukolom dan Klomp (1998)	$E = 10 \text{ CBR (Psi)}$	$\text{CBR} < 10\%$
Croney dan Croney 1991)	$E = 6.6 \text{ CBR (MPa)}$	$\text{CBR} = 5 \%$
NAASRA (1950)	$E = 16.2 \text{ CBR}^{0.7} \text{ (Mpa)}$	$\text{CBR} < 5\%$
	$E = 22.4 \text{ CBR}^{0.5} \text{ (MPa)}$	$\text{CBR} > 5 \%$
Powel, Potter, Mayhew and	$E = 15.6 \text{ CBR}^{0.64} \text{ (MPa)}$	$\text{CBR} < 12\%$
Nunn (1984)		
Angell (1998)	$E = 19 \text{ CBR}^{0.68} \text{ (MPa)}$	$\text{CBR} < 15\%$

Sumber : (Look, Burt G.2007)

2.3 Poisson Rasio Tanah

Nilai poisson ratio ditentukan sebagai rasio kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai poisson ratio dapat ditentukan seperti yang terlihat tabel berikut ini :

Tabel 2. Hubungan antara jenis tanah dan poisson ratio

Jenis Tanah	Poisson Ratio (ν)
Lempung Jenuh	0,4 - 0,5
Lempung tak jenuh	0,1 - 0,3
Lempung berpasir	0,2 - 0,3

Sumber : buku mekanika tanah, Braja M.Das jilid 2

2.4 Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah.

Tabel 3. Hubungan antara sudut geser dalam dengan jenis tanah

Jenis tanah	Sudut geser dalam($^{\circ}$)
Kerikil kepasiran	35-40
Kerikil kerakal	35-40
Pasir padat	35-40
Pasir lepas	30
Lempung	20-25

2.5 Tekanan Tanah Aktif dan Tekanan Tanah Pasif

Jika suatu dinding turap mengalami keluluhan atau bergerak ke arah luar dari tanah urug di belakangnya, maka tanah urug akan bergerak ke bawah dan ke samping menekan dinding turap. Tekanan seperti ini disebut tekanan tanah aktif (*active earth pressure*). Nilai tekanan tanah aktif lebih kecil dari nilai tekanan saat diam, tekanan tanah aktif adalah gaya yang cenderung mengurangi keseimbangan dinding penahan tanah. Jika suatu gaya mendorong dinding penahan ke arah tanah urug, tekanan tanah dalam kondisi ini disebut tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*). Nilai tekanan tanah pasif lebih besar dari nilai koefisien tekanan tanah saat diam dan koefisien tekanan tanah aktif, atau persisnya $K_p > K_0 > K_a$. Tekanan tanah pasif menunjukkan nilai maksimum dari gaya yang dapat dikembangkan oleh tanah pada gerakan struktur penahan terhadap tanah urug, yaitu gaya perlawanan tanah sebelum dinding mengalami keruntuhan (Hardiyatmo, 2003b : 188-189).

2.6 Lereng dan Longsoran

Wesley (1977 : 461) membagi lereng menjadi 3 macam ditinjau dari segi terbentuknya, yaitu :

1. Lereng alam, yaitu lereng yang terbentuk akibat kegiatan alam, seperti erosi, gerakan tektonik dan sebagainya.
2. Lereng yang dibuat manusia, akibat penggalian atau pemotongan pada tanah asli.
3. Lereng timbunan tanah, seperti urugan untuk jalan raya.

2.7 Faktor Keamanan Lereng

Menurut Bowles (1998) faktor keamanan lereng dibagi menjadi tiga kelompok ditinjau dari intensitas kelongsorannya, seperti yang diperlihatkan tabel dibawah ini :

Tabel 4. Faktor Keamanan lereng (FK)

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Kemungkinan Longsor
$<1,07$	Kelongsoran biasa terjadi (labil)
$1,07 < FK < 1,25$	Kelongsoran pernah terjadi (kritis)
$>1,25$	Kelongsoran jarang terjadi (relatif stabil)

2.8 Teori Elastisitas untuk 2-Dimensi

Dalam praktek, karena kondisi struktur dan pembebanannya yang khusus, persoalan 3-dimensi dapat disederhanakan menjadi persoalan 2-dimensi sehingga solusinya pun akan lebih sederhana pula. Dikenal dengan 3 kondisi yaitu : *Plane Stress*, *Plane Strain*, *Plate Bending*.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Investigasi Lapangan

Adapun jalan kereta api yang ingin dievaluasi berada pada STA 28+221,52 sampai dengan STA 30+269,80 di stasiun rejosari kecamatan Natar, Lampung Selatan.

Alat pengujian tanah yang digunakan dilapangan adalah *Dynamic Cone Penetrometer* dan *California Bearing Ratio*.

3.2 Metode Teoritis

Berikut metode teoritis yang dipergunakan :

a) Turap Beton

Perhitungan turap beton dilakukan jika terjadi kelongsoran pada analisa tanah menggunakan plaxis dengan nilai faktor aman dibawah 1,25.

$$Pa = \frac{1}{2} q. ka.H + \frac{1}{2} q.ka.a$$

b) Tegangan Turap Beton

Tegangan turap beton ditujukan untuk melakukan pengecekan terhadap dimensi turap beton yang dipasang pada tanah yang terjadi kelongsoran.

$$\sigma = m.y/I$$

3.3 Konsep Perkuatan Lereng Struktur Jalan Rel Kereta Api

Setelah didapat hasil analisa kelongsoran lereng yang terjadi pada tanah struktur jalan rel kereta api kemudian dilakukan pemasangan turap beton. Dimensi turap beton didesain dan dipasang sesuai dengan kelongsoran yang terjadi dalam hasil analisa.

3.4 Langkah Penelitian

Langkah penelitian selengkapnya terdapat dalam bagan alir penelitian. Setelah mendapatkan data dari investigasi lapangan maka dilakukan analisa kelongsoran menggunakan PLAXIS V.8.6 dan analisa bantalan beton menggunakan SAP2000v14.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Investigasi Lapangan

a) Pengolahan Data Lapangan

Berikut hasil dari pengolahan data lapangan yang didapat :

Tabel 5. Hasil uji data lapangan

No	Description	Quarry
1	Water content	12,3 %
2	Specific Gravity	2,562 %
3	Sieve Analysis	36,82 %
4	Attenberg Limit	
	LL	37,92%
	PL	25,33%
	PI	12,59%
5	Maximum Dry Density	1,531 gr/cm ³
6	Optimum Moisture Content	23,70 %
7	CBR LAB	
	Unsoaked	13,60%
	Soaked	7,33%

4.4 Analisa Stabilitas Strukur Jalan Rel Kereta Api

Setelah didapatkan data lapangan selanjutnya dilakukan perhitungan analisis struktur jalan rel dengan menggunakan program plaxis dilokasi penelitian pada STA 29+575, STA 30+125, STA 30+250 untuk mendapatkan nilai faktor aman, deformasi, perpindahan, tegangan efektif pada kondisi tanah tidak jenuh.

Tabel 6.Parameter Input plaxis pada STA 29+575

Keterangan	Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Beban Terpusat	-	-	96,4322	kN
	Elastic Axial Stiffness	EA	6.963.854,9	kN/m
	Flexural ridigity	EI	141,4812	kN.m ² /m
Bantalan Beton	Berat	W	0,2246	kN/m/m
	Poisson Ratio	V	0,2	-
	Berat Isi tanah diatas garis freatik		20	kN/m ³
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik		22	kN/m ³
	Permeabilitas arah horizontal	Kx	0,0011574	m/hari
Balas	Permeabilitas arah vertikal	Ky	0,0011574	m/hari
	Modulus Young	E	24.500	kN/m

Tabel 7.Parameter Input plaxis pada STA 30+125

Keterangan	Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Beban Terpusat	-	-	96,4322	kN
	Elastic Axial Stiffness	EA	6.963.854,9	kN/m
	Flexural ridigity	EI	141,4812	kN.m ² /m
Bantalan Beton	Berat	W	0,2246	kN/m/m
	Poisson Ratio	V	0,2	-
	Berat Isi tanah diatas garis freatik		20	kN/m ³
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik		22	kN/m ³
	Permeabilitas arah horizontal	Kx	0,0011574	m/hari
Balas	Permeabilitas arah vertikal	Ky	0,0011574	m/hari
	Modulus Young	E	24.500	kN/m ²
	Poisson Ratio	V	0,4	-
	Sudut Geser	(phi)	40	o
	Sudut Dilatasi	(psi)	10	o

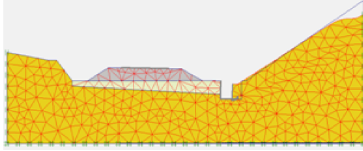
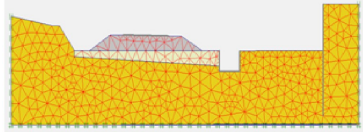
Tabel 7. Parameter Input plaxis pada STA 30+125 (lanjutan)

Keterangan	Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Subbala s (Sirtu)	Berat Isi tanah diatas garis freatik		18	kN/m ³
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik		20	kN/m ³
	Permeabilitas arah horizontal	Kx	0,0000115 74	m/hari
	Permeabilitas arah vertikal	Ky	0,0000115 74	m/hari
	Modulus Young	E	12.250	kN/m ²
	Poisson Ratio	V	0,15	-
	Sudut Geser	(phi)	35	°
	Sudut Dilatasi	(psi)	5	°
Tanah Timbun an	Berat Isi tanah diatas garis freatik		18	kN/m ³
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik		20	kN/m ³
	Permeabilitas arah horizontal	Kx	1,1574E- 09	m/hari
	Permeabilitas arah vertikal	Ky	1,1574E- 09	m/hari
	Modulus Young	E	12.818,98	kN/m ²
	Poisson Ratio	V	0,3	-
	Sudut Geser	(phi)	25	°
	Sudut Dilatasi	(psi)	0	°
Tanah Dasar	Berat Isi tanah diatas garis freatik		18	kN/m ³
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik		20	kN/m ³
	Permeabilitas arah horizontal	Kx	1,1574E- 09	m/hari
	Permeabilitas arah vertikal	Ky	1,1574E- 09	m/hari
	Modulus Young	E	13.430,7	kN/m ²
	Poisson Ratio	V	0,3	-
	Sudut Geser	(phi)	25	°
	Sudut Dilatasi	(psi)	0	°

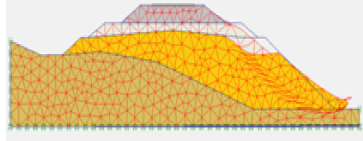
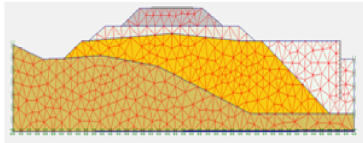
Tabel 8. Parameter Input plaxis pada STA 30+250 (lanjutan)

Keterangan	Parameter	Simbol	Nilai	Unit
	Poisson Ratio	V	0,2	-
	Berat Isi tanah diatas garis freatik			20
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik			22
	Permeabilitas arah horizontal	Kx		0,0011574
Balas	Permeabilitas arah vertikal	Ky		0,0011574
	Modulus Young	E		24.500
	Poisson Ratio	V		0,4
	Sudut Geser	(phi)		40
	Sudut Dilatasi	(psi)		10
	Berat Isi tanah diatas garis freatik			18
	Berat Isi tanah dibawah garis freatik			20
	Permeabilitas arah horizontal	Kx		0,000011574
Subbalas (Sirtu)	Permeabilitas arah vertikal	Ky		0,000011574
	Modulus Young	E		12.250
	Poisson Ratio	V		0,15
	Sudut Geser	(phi)		35
	Sudut Dilatasi	(psi)		5

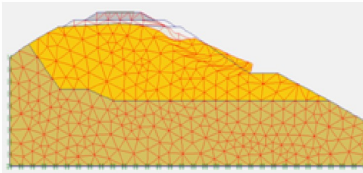
Tabel 9.Rekapitulasi hasil perhitungan STA 29+575

Keterangan	Gambar Deformasi	Nilai deformasi	Faktor keamanan	%Faktor Keamanan
Sebelum		0.53	0.856	
Sesudah		0.006	1.971	130.25

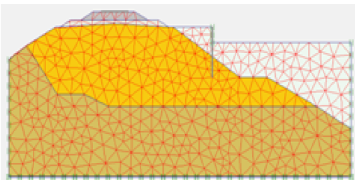
Tabel 10.Rekapitulasi hasil perhitungan STA 30+125

Keterangan	Gambar Deformasi	Nilai deformasi	Faktor keamanan	%Faktor Keamanan
Sebelum		0.83	1.04	
Sesudah		0.007	1.454	121.3

Tabel 11.Rekapitulasi hasil perhitungan STA 30+250

Keterangan	Gambar Deformasi	Nilai deformasi	Faktor keamanan	%Faktor Keamanan
Sebelum		1.25	1.198	

Tabel 11.Rekapitulasi hasil perhitungan STA 30+250 (lanjutan)

Keterangan	Gambar Deformasi	Nilai deformasi	Faktor keamanan	%Faktor Keamanan
Sesudah		0.083	1.471	22.7

Kesimpulan hasil perhitungan struktur jalan rel menggunakan program plaxis v.8.6 sebagai berikut :

Analisis struktur jalan rel menggunakan program plaxis dilakukan pada 3 potongan melintang yaitu STA 29+275, STA 30+125, STA 30+250 untuk mendapatkan nilai faktor aman, deformasi, perpindahan, tegangan pada kondisi tanah tidak jenuh. Pada STA 29+275, STA 30+125, STA 30+250 terjadi perubahan bentuk serta penurunan tanah pada kondisi setelah analisis perhitungan . Hal ini ditunjukkan pada nilai deformasi dan perpindahan tanah. Hasil nilai faktor keamanan yang didapat jauh dari nilai batas keamanan atau bisa disebut dengan tanah kondisi labil ($F_k < 1,25$) hal ini terjadi karena sudut kemiringan tanah yang cukup miring . Pada kondisi ini tanah harus dilakukan perkuatan pada lereng salah satu solusinya yaitu dipasang dinding penahan tanah.

4.5 Analisa Bantalan Rel

Analisa bantalan rel dilakukan dengan tujuan agar dapat mengetahui nilai keretakan pada bantalan beton rel. Dari hasil analisa program didapat hasil output F11 didapat nilai dengan gaya tertinggi yaitu sebesar 12 MPa. Sedangkan nilai S11 didapat nilai tekan terbesar sebesar 2,83 Mpa dan tarik sebesar 2,27 Mpa. Pada syarat standar SNI 2847 tahun 2013 nilai batas tekan beton yang diizinkan yaitu sebesar $0,45 f_{c'} (0,45 \times 41,5) = 18,675$ MPa dan nilai batas tarik yang diizinkan yaitu $0,5 (0,50 \times 41,5) = 3,221$ MPa . Nilai Stress pada S11 memenuhi syarat batas standar SNI yang ada yaitu nilai kuat tekan bantalan 2,83 Mpa tidak melebihi dari 18,675 MPa . Pada nilai kuat tarik 2,27 Mpa tidak melebihi dari 3,221 MPa. Dapat ditarik kesimpulan bantalan beton yang dianalisa dengan jacking force sebesar 7,4 Ton hasil nilai kuat tarik dan kuat tekanya memenuhi syarat batas SNI yang telah ditetapkan dan bantalan beton tidak retak jika diberikan gaya jacking force sebesar 7,4 Ton.

5. KESIMPULAN

Pada analisis pertama diketiga STA didapat nilai faktor keamanan :

- 1.STA 29+575 : 0,856
- 2.STA 30+125 : 1,047
- 3.STA 30+250 :1,198

Hasil analisis pertama ketiga STA tidak memenuhi persyaratan kestabilan tanah yaitu faktor keamanan $>1,25$ sehingga dilakukan perbaikan tanah dengan mendesain dinding penahan tanah/turap. Setelah dilakukan pemasangan turap pada analisis plaxis dengan turap diketiga STA didapat nilai faktor keamanan :

1.STA 29+575 : 1,971

2.STA 30+125 : 1,454

3.STA 30+250 : 1,471

Setelah dilakukan penanganan terhadap kelongsoran diketiga STA yaitu dengan pemasangan turap meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dan menurunkan deformasi lereng yang terjadi sehingga menjadi lebih aman dan lereng tanah timbunan berada pada kondisi stabil dengan nilai peningkatan diatas 20%. Analisis SAP 2000 dilakukan pada bantalan beton untuk mengetahui apakah ada keretakan pada beton atau tidak dianalisa dengan gaya sebesar 7,4 Ton, dengan hasil Nilai Stress pada S11 memenuhi syarat batas standar SNI yang ada yaitu nilai kuat tekan bantalan 2,83 Mpa tidak melebihi dari 18,675 MPa . Pada nilai kuat tarik 2,27 Mpa tidak melebihi dari 3,221 MPa. Sehingga bantalan beton tidak retak jika diberi gaya 7,4 Ton.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, J.E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*. Erlangga. Jakarta.

Clement, J., 1982. Student Preconception in Introductory Mechanics. *American Journal of Physics*, 50: 66-71.

Das, B.M., 1995, “*Mekanika Tanah*”, alih bahasa oleh Endah, N., dan Mochtar, I.B., Jilid ke-1, Penerbit: Erlangga, Jakarta.

Das, Braja M., Endah, Noor, Mochtar, Indrasurya B., *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)* Jilid 2, 1995, Erlangga, Jakarta.

Foth, H. D.1978. *Fundamental of Soils Science*. Diterjemahkan oleh Trimulatsih, R., Lukiwati, D. R., Purbayanti, E. D., 1984. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. 374 p.

Hardiyatmo, H.C.2003b. *Mekanika Tanah II*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Look, Burt G. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*.2007. London: CRC Press.

Wesley, L. D. 1977. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta

