

Analisis Pengaruh Gerusan Terhadap Perencanaan Turap pada Proyek Pelebaran Badan Jalan Bujangga STA 0+000 s.d 0+193,5, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur

Arzi Tectona Lutfirahman, Trihanyndio Rendy Satrya, dan Mahendra Andiek Maulana
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: trendysatrya@its.ac.id

Abstrak—Jalan raya merupakan salah satu prasarana penting dalam menunjang kegiatan sehari-hari masyarakat sehingga kondisinya harus selalu diperhatikan oleh pemerintah. Salah satu jalan kabupaten yang perlu diberi perhatian adalah jalan Bujangga STA 0+000 s.d STA 0+193,5 (Section A), Kabupaten Berau. Jalan ini mengalami kelongsoran saat sedang dilaksanakan proyek pelebaran badan jalan. Menurut pihak yang terkait, hal tersebut disebabkan oleh posisi badan jalan yang berada pada tikungan sungai Segah. Posisi tersebut memungkinkan struktur terkena arus sungai dengan kecepatan tinggi sehingga terjadi gerusan di dasar sungai bagian depan turap perkuatan badan jalan. Gerusan tersebut menyebabkan tanah di depan turap terus tergerus sehingga pada akhirnya turap tidak dapat menahan tekanan akibat timbunan jalan, dan terjadilah kelongsoran. Dari masalah di atas, direncanakan perkuatan turap berangker. Namun, perlu dihitung terlebih dahulu kedalaman gerusan yang terjadi akibat arus sungai Segah. Kedalaman gerusan ini akan menjadi pertimbangan dalam menentukan kedalaman tertanam turap. Untuk menghitung gerusan, dilakukan dengan dua cara, yaitu perhitungan manual dan pemodelan dengan program bantu HEC-RAS. Lalu, untuk perancangan turap digunakan perhitungan konvensional dan program bantu Geo5 dan PLAXIS untuk mengecek stabilitas timbunan dan turap. Selain itu, dilakukan juga perhitungan terhadap biaya materialnya. Berdasarkan hasil perhitungan, perkuatan turap yang dirancang memenuhi angka keamanan serta defleksi yang diizinkan. Adapun spesifikasi turap yang digunakan yaitu SP-10H dengan panjang total 39 m. Angker yang digunakan memiliki panjang total 40 m dengan *grout length* sepanjang 10 m, serta diameter *grouting* sebesar 0,65 m. Estimasi biaya material yang dibutuhkan senilai Rp47.072.016.000.

Kata Kunci—Kelongsoran, Gerusan, Turap, Angker, Tikungan Sungai

I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN penduduk di Kalimantan Timur mencapai 2,1% pada semester II 2021. Kabupaten Berau menempati peringkat pertama dengan persentase 4,45%. Pertumbuhan penduduk ini akan berdampak pada banyak sektor, salah satunya sektor transportasi. Dengan makin banyaknya penduduk, maka prasarana jalan sebagai penyalur lalu lintas sehari-hari harus diperhatikan. Berdasarkan administrasi pemerintahan, jalan dibagi menjadi beberapa kelompok yaitu jalan nasional, provinsi, kota, dan kabupaten. Pengelompokan itu bertujuan untuk mewujudkan kepastian hukum penyelenggara jalan sesuai dengan kelompok jalan yang dinaungi.

Kabupaten Berau yang menempati peringkat pertama dalam pertumbuhan penduduk tentunya perlu memperhatikan

kembali prasarana transportasi yang ada, khususnya jalan kabupaten. Salah satu jalan kabupaten yang mengalami permasalahan adalah Jalan Bujangga yang menjadi salah satu jalan penghubung antar Kecamatan Tanjung Redeb dan Kecamatan Teluk Bayur. Jalan ini mengalami kelongsoran saat sedang dilaksanakan proyek pelebaran Jalan Bujangga Section A yang dimulai dari STA 0+000 hingga STA 0+193,5.

Sebelum terjadi kelongsoran, pekerjaan pelebaran jalan telah berjalan lebih dari 90%. Kelongsoran terjadi secara bertahap dengan tanda keretakan hingga terjadi penurunan badan jalan. Turap jenis *SHEET PILE FSP IV A* yang telah terpasang sebagai perkuatan, terlihat terdorong karena tidak kuat menahan tekanan tanah akibat beban timbunan. Akibat dari kelongsoran ini, dilakukan pemancangan sementara menggunakan kayu ulin di sekitar rumah warga dan timbunan jalan diangkut kembali agar mengurangi beban pada turap sehingga tanah tidak turun terus-menerus.

Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh pihak terkait, lokasi jalan yang berada di tikungan sungai menjadi salah satu penyebab terjadinya kelongsoran. Arus sungai yang cukup deras dapat menyebabkan tanah di bagian depan turap tergerus sehingga makin dalam dan akhirnya tanah pasif di depan turap tidak mampu menahan tekanan tanah akibat timbunan jalan.

Rekapitulasi data tanah hasil korelasi menunjukkan tanah keras ($C_u > 49$ kPa) berada pada kedalaman 20 meter di BH-1 (STA 0+115). Sedangkan, pada STA yang lebih kecil didapatkan tanah keras pada kedalaman lebih dangkal (8-10 meter). Karena kondisi tanah yang beragam terhadap tiap STA, perlu dipertimbangkan zonasi (jika diperlukan) dalam perencanaan agar lebih efisien.

Dari uraian di atas, maka perlu diketahui seberapa dalam gerusan akibat arus sungai. Selain itu, perlu dilakukan perencanaan alternatif turap berangker sebagai perkuatan dengan memperhitungkan gerusan yang terjadi. Setelah itu, akan dilakukan analisis terhadap biaya materialnya sehingga didapatkan estimasi biaya pelaksanaan perkuatan di lapangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Distribusi Log Pearson Tipe III

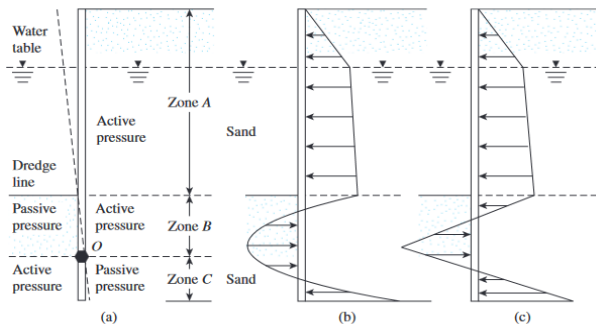
$$\log X_T = \overline{\log x} + k(\overline{S \log x}) \quad (1)$$

dimana:

$\log X_T$ = Nilai logaritma variabel X rencana

Tabel 1.
Nilai faktor f Lacey

No.	Tipe Material Dasar Sungai	Diameter Rata-rata (mm)	Faktor f
1	Lumpur sungai halus	0,052	0,400
2	Lumpur sungai setengah halus	0,081	0,500
3	Lumpur halus	0,120	0,600
4	Lumpur agak halus	0,158	0,700
5	Lumpur halus sedang	0,233	0,850
6	Lumpur standar	0,323	1,000
7	Pasir halus	0,505	1,250
8	Pasir sedang	0,725	1,500
9	Pasir kasar	0,888	1,750
10	Pasir sangat kasar	0,298	2,000



Gambar 1. Prinsip dasar turap kantilever.

$\log x$ = Nilai logaritma X rata-rata

k = Koefisien logaritmik

$\overline{S \log x}$ = Standart deviasi logaritma X

Untuk menentukan kurva distribusi, digunakan tahapan sebagai berikut:

1. Tentukan logaritma dari semua nilai variabel X
2. Hitung nilai rata-rata: $\overline{\log x} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x}{n}$
 n = jumlah data
3. Hitung standart deviasi dari logaritma X :

$$\overline{S \log x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x - \overline{\log x})^2}{n-1}}$$

4. Hitung koefisien kemencengan *Skewness*:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{S \log x})^3}$$

Sehingga didapatkan seluruh variabel persamaan:

$$\log X_T = \overline{\log x} + k(\overline{S \log x})$$

B. Metode Rasional

Metode rasional merupakan salah satu metode perhitungan debit banjir yang umum digunakan. Subarkah (1980) menyebutkan bahwa metode ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_t = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2)$$

dimana:

Q_t = Debit banjir rencana (m^3/dt)

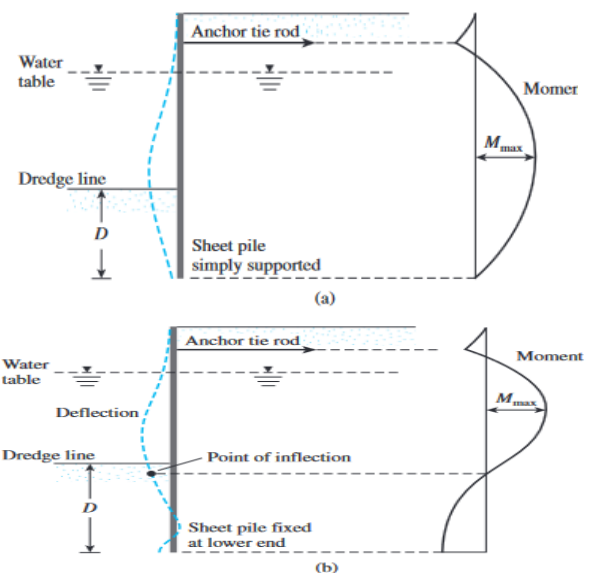
C = Koefisien run off (koefisien limpasan)

I = Intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km^2)

C. Persamaan Lacey

Salah satu persamaan resim (*regime equation*) yang

Gambar 2. Defleksi dan momen pada turap berangker: (a) metode *free earth support*; (b) metode *fixed earth support*.

merupakan rumus empiris untuk menghitung kedalaman gerusan oleh Lacey, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D = 0,473 \times \left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3} \times R \quad (3)$$

dimana:

D = dalam penggerusan (m)

Q = debit banjir (m^3/dt)

f = faktor Lacey = $1,7\sqrt{m}$

R = nilai akibat geometri sungai

= 1,27 untuk sungai lurus

= 1,50 untuk sungai dengan radius belokan sedang

= 1,75 untuk sungai dengan radius belokan tajam

= 2,00 untuk sungai dengan radius belokan siku

= 2,00 untuk ujung-ujung pilar jembatan

Dari hasil percobaan laboratorium yang telah dilakukan oleh peneliti, nilai f dapat dilihat pada Tabel 1.

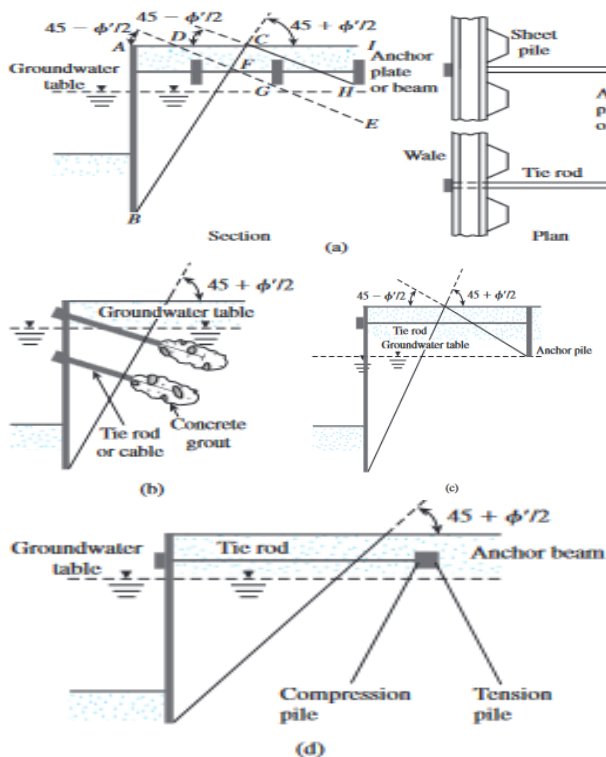
D. Turap

Turap merupakan perkuatan yang disusun membentuk suatu dinding memanjang dan berfungsi sebagai dinding penahan. Terdapat 2 jenis turap, yaitu turap kantilever dan turap berangker. Berikut penjelasan mengenai kedua jenis turap tersebut.

1) Dinding Turap Kantilever

Dinding turap kantilever biasanya direkomendasikan untuk dinding dengan ketinggian sedang, sekitar 6 m atau kurang, diukur di atas garis keruk. Dengan dinding seperti itu, turap berfungsi sebagai kantilever di atas garis keruk. Prinsip dasar untuk memperkirakan distribusi tekanan transversal bersih pada dinding kantilever dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 1 [1].

Gambar 1 menunjukkan aliran lateral dinding kantilever yang menembus lapisan pasir di bawah garis keruk. Dinding berotasi terhadap titik O. Karena tekanan hidrostatis pada kedua sisi dinding saling meniadakan pada setiap kedalaman, hanya tekanan tanah lateral yang diperhitungkan. Di Zona A, tekanan lateral hanya dari tekanan aktif tanah. Zona B memiliki tekanan aktif dari sisi darat dan tekanan pasif dari sisi air karena sifat leleh dinding. Situasinya terbalik di Zona C, yaitu di bawah titik rotasi O. Distribusi tekanan bersih



Gambar 4. Beberapa tipe anker untuk turap: (a) deadman anchor; (b) tie-backs anchor; (c) vertical anchor piles; (d) anker dengan tiang pancang.

aktual pada dinding sesuai dengan Gambar 1(b). Namun, untuk alasan desain, versi yang disederhanakan ditunjukkan pada Gambar 1(c). Perlu diperhatikan bahwa di beberapa bangunan tepi laut, ketinggian air dapat bervariasi karena efek pasang surut. Kehati-hatian harus diambil saat menentukan ketinggian air, yang mempengaruhi tekanan bersih. Selain itu, mengacu pada SNI, defleksi yang besar dari turap kantilever dapat menyebabkan *ground loss* dan penurunan tanah di belakang dinding serta dapat menyebabkan kebocoran dinding. Oleh karena itu, defleksi yang terjadi perlu diperhatikan dengan baik, sebagaimana disyaratkan dalam SNI, yaitu maksimal $0,5\% H$ jika lingkungan sekitar tidak mensyaratkan defleksi secara ketat [2].

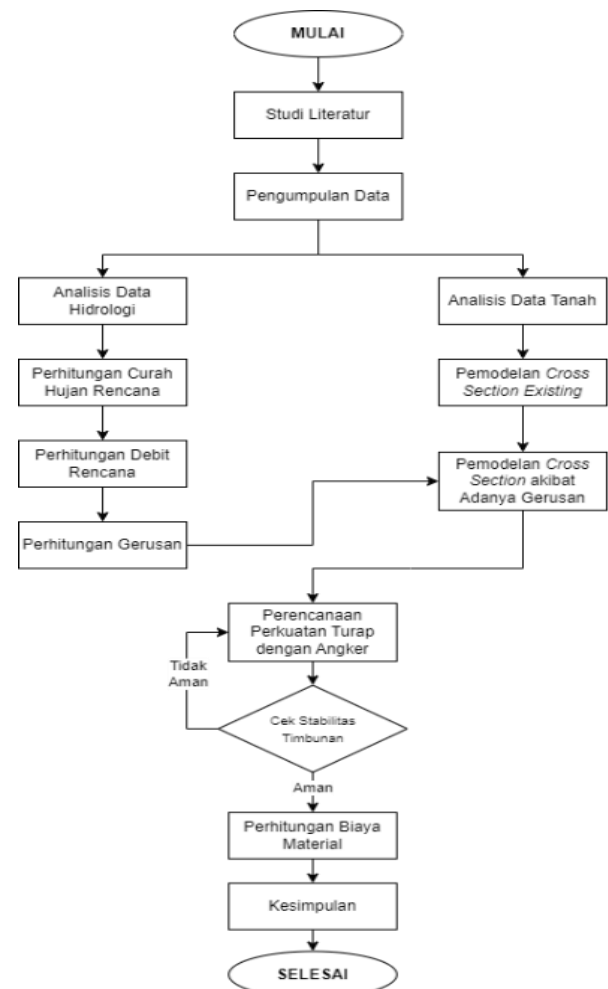
2) Dinding Turap Beranker

Ketika ketinggian timbunan di belakang turap kantilever melebihi 6 m, lebih ekonomis untuk mengikat turap ke anker. Jenis struktur ini disebut dengan turap beranker. Anker meminimalkan kedalaman penetrasi tiang yang dibutuhkan dan juga mengurangi luas penampang dan berat tiang yang dibutuhkan untuk konstruksi. Namun, rod dan anker harus dirancang dengan hati-hati. Dua metode dasar untuk membangun dinding turap beranker adalah (a) metode *free earth support* dan (b) metode *fixed earth support*. Gambar 2 menunjukkan asumsi defleksi untuk kedua metode ini [1].

Metode *free earth support* memiliki kedalaman penetrasi yang minimal. Tidak ada titik pivot di bawah garis keruk untuk sistem tetap statis. Gambar 2 juga menunjukkan sifat variasi momen lentur dengan kedalaman di kedua metode. Harap dicatat bahwa $D_{\text{free earth}} < D_{\text{fixed earth}}$.

E. Anker

Anker turap digunakan untuk mengurangi keperluan kedalaman tertanam pada turap. Ada beberapa tipe anker



Gambar 3. Diagram alir perencanaan alternatif.

pada turap yang sering digunakan, seperti anker pelat dan balok (*deadman anchor*), *tie backs anchor*, *vertical anchor piles*, anker dengan tiang pancang (tarik dan tekan). *Deadman anchor* biasanya terbuat dari balok beton dan dihubungkan pada turap menggunakan rod. Untuk melindungi rod dari korosi, biasanya dicat atau dilindungi dengan bahan aspal. Sedangkan, pada pelaksanaan *tie-backs anchor*, tulangan atau kabel dimasukkan pada lubang yang telah dibor dan di-grout pada ujungnya seperti pada Gambar 3(b) Contoh jenis anker yang lain dapat dilihat pada Gambar 3(c) dan Gambar 3(d) [1].

III. METODOLOGI

Tahapan perencanaan sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4. Perencanaan perkuatan alternatif dilakukan dengan menggunakan turap beranker. Adapun data-data yang diperlukan dalam perencanaan sebagai berikut:

1. Data umum proyek;
2. data sondir dan SPT;
3. *layout* Jalan Bujangga Section A STA 0+000 s.d STA 0+193,5;
4. *long section* dan *cross section* perencanaan *existing* Jalan Bujangga Section A STA 0+000 s.d STA 0+193,5;
5. *cross section* penampang Sungai Segah;
6. data tinggi hujan pada DAS Sungai Segah.

Setelah itu, data-data tersebut diolah sehingga didapatkan kedalaman gerusan untuk perencanaan. Kedalaman gerusan akan dihitung menggunakan perhitungan manual dan

Tabel 2.
Data Curah Hujan Tertinggi (2013-2022)

Tinggi Hujan (mm)							
2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
153,5	93,1	63,1	90,5	85,4	92,7	67,5	117

Tabel 3.
Nilai Rata-Rata Log X

Ranking	X	Log X	Log X _{bar}
1	153,5	2,186	1,973
2	117	2,068	
3	109,8	2,041	
4	95,4	1,980	
5	93,1	1,969	
6	92,7	1,967	
7	90,5	1,957	
8	85,4	1,931	
9	67,5	1,829	
10	63,1	1,800	

Tabel 4.
Tabulasi (log X-log X_{bar})²

Ranking	X	Log X	Log X _{bar}	(Log X-Log X _{bar}) ²
1	153,5	2,186	1,973	0,046
2	117	2,068		0,009
3	109,8	2,041		0,005
4	95,4	1,980		0,000
5	93,1	1,969		0,000
6	92,7	1,967		0,000
7	90,5	1,957		0,000
8	85,4	1,931		0,002
9	67,5	1,829		0,021
10	63,1	1,800		0,030
SUM				0,112

pemodelan program bantu HEC-RAS. Hasil yang digunakan adalah nilai yang paling masuk akal untuk terjadi di lapangan. Kedalaman gerusan akan menjadi dasar perhitungan kekuatan turap berangker untuk menentukan kedalaman tertanam serta spesifikasi turap yang direncanakan. Selain itu, perlu dihitung pula spesifikasi anker yang akan digunakan, dalam hal ini *ground anchor*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Hidrologi dan Gerusan

1) Curah Hujan Rencana

Untuk mendapatkan curah hujan periode ulang tertentu dibutuhkan data tinggi hujan minimal 10 tahun terakhir. Tabel 2 merupakan rekapitulasi tinggi hujan 10 tahun terakhir dalam DAS sungai Segah. Distribusi yang digunakan adalah Log Pearson Tipe III. Berikut merupakan langkah perhitungan penentuan curah hujan rencana:

1. Menghitung nilai $\log \bar{X}$, untuk menentukan nilai perlu mengubah curah hujan tahunan menjadi nilai logaritmik dan dirata-rata seperti pada Tabel 3. Selanjutnya, menghitung standard deviasi.

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{\sum (\log X - \log \bar{X})^2}{N-1}} \quad (4)$$

Sehingga,

$$S_{\log X} = \sqrt{\frac{0,112}{10-1}} = 0,111 \quad (5)$$

2. Mencari nilai K. Namun, terlebih dahulu harus dicari nilai C_s dari data logaritmik.

Tabel 5.
Rekapitulasi Tinggi Timbunan dan Kemiringan Tanah Pasif

STA	Tinggi Timbunan (m)	Slope	y : x	Derajat	Zona
0+000	4,73	0,420	1 : 2,38	22,758	A
0+025	4,19	0,335	1 : 2,99	18,508	
0+050	3,77	0,395	1 : 2,53	21,529	
0+075	4,47	0,170	1 : 5,89	9,629	
0+100	3,87	0,093	1 : 10,74	5,321	
0+125	4,17	0,075	1 : 13,35	4,284	B
0+150	4,47	0,076	1 : 13,10	4,366	
0+175	4,97	-0,012	1 : -80,33	-0,713	
0+188	4,93	0,095	1 : 10,50	5,438	
0+193	5	0,086	1 : 11,69	4,887	

Tabel 6.
Nilai N_{avg} Lapisan Tanah

No.	Depth	Soiltype	Consistency	N _{avg}
1	0-2	Gravel	-	-
2	2-4	CL	Soft	2
3	4-7	CH	Soft	3
4	7-11	CH	Soft	3
5	11-19	CH	Soft	4,5
6	19-25	CL	Stiff	9
7	25-32	CL	Stiff	9
8	32-38	CLAY	Stiff	15
9	38-40	CL	Hard	45

$$C_s = \frac{N \sum (\log X - \log \bar{X})^3}{(N-1)(N-2)S_{\log X}^3} = \frac{10(0,0027)}{(10-1)(10-2)0,111^3} = 0,27 \quad (6)$$

Berdasarkan Tabel 4 nilai K periode ulang 50 tahun, dengan interpolasi nilai C_s , didapatkan nilai K = 2,196. Sehingga curah hujan rencana menjadi

$$\log X = 1,973 + 2,196(0,111) = 2,216 \quad (7)$$

$$X = 165 \text{ mm ; periode ulang 50 tahun}$$

2) Debit Banjir Rencana

Dalam perhitungan debit banjir rencana, perlu dihitung terlebih dahulu intensitas hujan, dalam hal ini digunakan rumus Mononobe dengan rumus umum,

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (8)$$

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan curah hujan rencana periode ulang 50 tahun sebesar 165 mm. Lalu, dalam menentukan waktu konsentrasi menggunakan rumus Kirpich sebagai berikut:

$$t_c = 0,0195 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (9)$$

Dimana:

t_c = Waktu konsentrasi (menit)

L = Panjang sungai (meter)

S = Kemiringan sungai rata-rata

Berdasarkan data yang dimiliki, sungai Segah memiliki panjang $\pm 175,74$ km dengan total luas DAS Segah seluas 6891,21 km², serta kemiringan rata-rata menggunakan program bantu didapatkan sebesar 0,0007.

$$t_c = 0,0195 \times (175000)^{0,77} \times (0,0007)^{-0,385} \quad (10)$$

$$= 3481,86 \text{ menit} = 58,03 \text{ jam}$$

$$I = \frac{165}{24} \left(\frac{24}{58,03} \right)^{2/3} = 3,82 \text{ mm/jam} \quad (11)$$

Tabel 7.
Lapisan Tanah berdasarkan Konsistensi

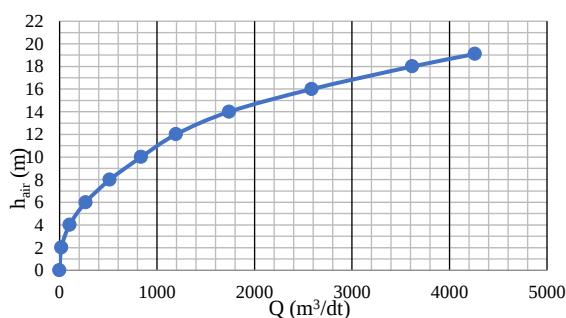
No	Depth	Soiltype	N _{avg}	γ _{sat} (t/m ³)	C (t/m ²)	φ (°)
1	0-2	-	-	-	-	-
2	2-19	Soft Clay	4	1,68	1,4	0
3	19-38	Medium Clay	8	1,78	2,3	0
4	38-dst	Hard Clay	29	1,84	4,0	0

Tabel 8.
Korelasi Nilai γ_{sat} (J.E. Bowles)

Cohesive Soil					
N (blows)	<4	4 – 6	6 - 15	16 - 25	>25
γ _{sat} (kN/m ³)	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	>20
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Tabel 9.
Korelasi Nilai C (Mochtar)

Consistency	N-SPT	q _c (kg/cm ²)	C _u (kPa)
Very soft	0	0	0
	2	7	12
Soft	2,5	8	13
	4	14	24
Medium	5	15	25
	8	29	49
Stiff	9	30	50
	15	59	99
Very stiff	16	60	100
	29	124	199
Hard	>30	>125	>200



Gambar 7. Grafik rating curve sungai Segah.

Selanjutnya, dapat dihitung debit banjir rencana. Karena debit yang direncanakan adalah periode ulang 50 tahun, maka perhitungan menjadi:

$$Q_{50} = C \times I \times A \quad (12)$$

$$Q_{50} = \frac{1}{3,6} \times 0,53 \times 3,82 \times 6891,21 = 3875,53 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Berdasarkan rating curve sungai Segah pada Gambar 5, dengan debit rencana didapatkan $h_{\text{air}} = 18,5$ m. Dari data perencanaan, diketahui elevasi dasar sungai = -10,71 m, sehingga elevasi M.A.B = -10,71 + 18,5 = +7,79 m.

3) Gerusan

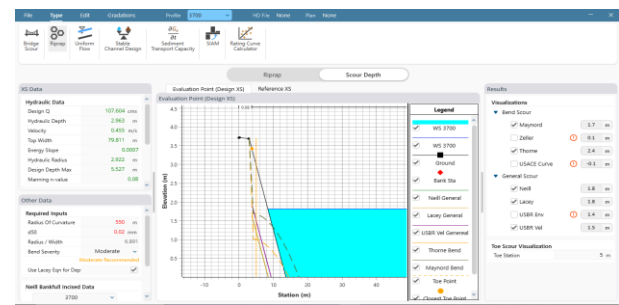
Kedalaman gerusan dihitung secara manual menggunakan persamaan Lacey sebagai berikut:

$$f = 1,7\sqrt{0,022} = 0,25 \quad (13)$$

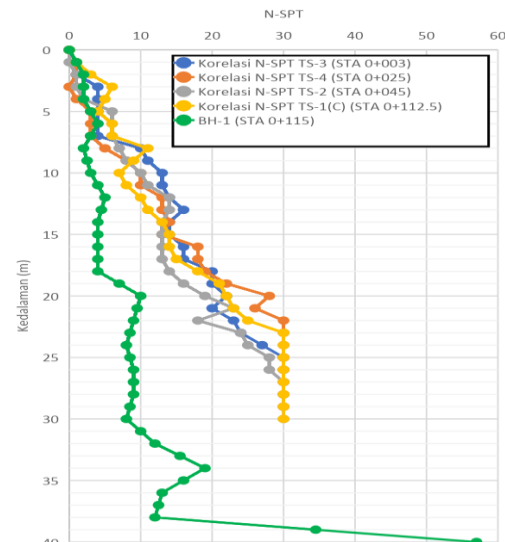
$$D = 0,473 \times \left(\frac{Q}{f}\right)^{1/3} \times R \quad (14)$$

$$= 0,473 \times \left(\frac{3875,53}{0,25}\right)^{1/3} \times 1,5 = 17,6 \text{ m}$$

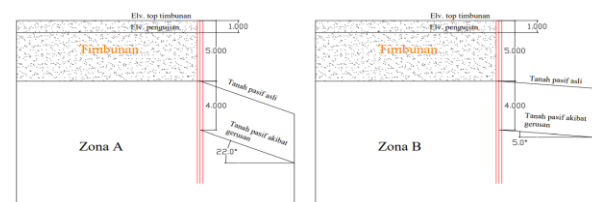
Nilai tersebut sangat besar untuk sebuah gerusan, sehingga dilakukan pula pemodelan dengan program bantu sebagai



Gambar 5. Hasil pemodelan gerusan (HEC-RAS).



Gambar 7. Grafik SPT vs kedalaman tiap titik pengujian.



Gambar 6. Cross section perencanaan zona A dan zona B.

perbandingan. Hasil pada Gambar 6, diambil nilai paling besar pada setiap jenis gerusan (*bend scour* dan *general scour*) sehingga kedalaman gerusan = 2,4 + 1,8 = 4,2 m. Oleh karena itu, nilai gerusan ini yang akhirnya diambil sebagai pertimbangan perencanaan turap.

B. Analisis Data Tanah

1) Penentuan Data Tanah

Data tanah yang tersedia perlu diolah terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai acuan perencanaan. Jika data yang diperoleh cukup banyak, maka perlu dilakukan penentuan zonasi (jika diperlukan) dan data yang mewakili zona tersebut. Data tanah yang didapatkan dalam proyek ini sebanyak 5, dengan rincian 4 data sondir dan 1 data SPT. Oleh karena itu, dilakukan korelasi nilai q_c menjadi N-SPT agar data dapat dibandingkan.

Berdasarkan Gambar 7, pada awalnya akan direncanakan menjadi 2 zona yaitu, zona 1 (STA 0+000-0+100) dan zona 2 (STA 0+100-0+193,5). Namun, dapat dilihat bahwa pada titik TS-1 dan BH-1 terdapat perbedaan nilai yang signifikan padahal hanya berjarak 2,5 m. Sehingga, diputuskan untuk menggunakan data BH-1 saja untuk seluruh perencanaan dengan alasan data lebih pesimis dan lebih lengkap (terdapat data laboratorium).

Tabel 10.
Rekapitulasi Parameter Tanah tiap Lapisan

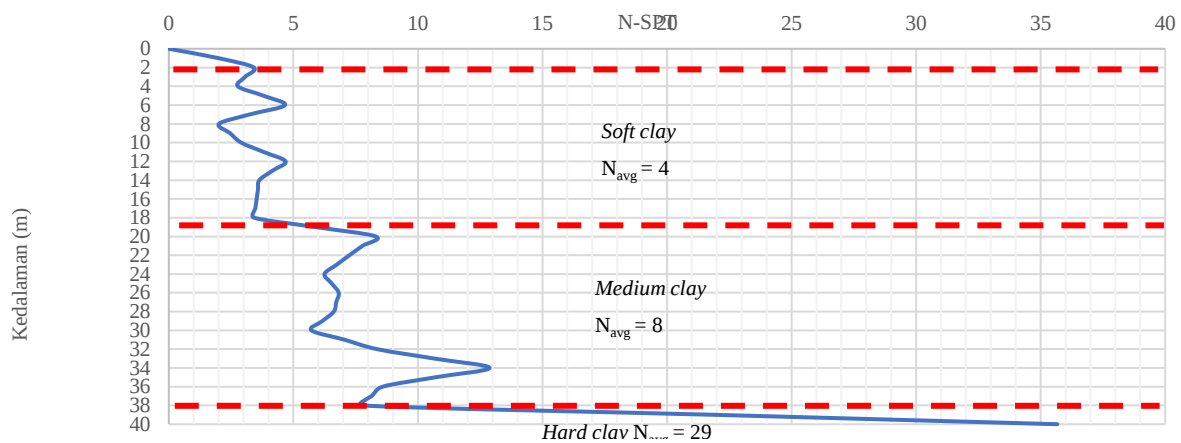
Soiltype	N	Laboratorium			Korelasi			Digunakan		
		γ_{sat}	C	ϕ	γ_{sat}	C	ϕ	γ_{sat} (t/m ³)	C (t/m ²)	ϕ (°)
Soft Clay	4	1,68	1,4	0	1,60	2,4	0	1,68	1,4	0
Medium Clay	8	1,78	2,3	0	1,65	4,9	0	1,78	2,3	0
Hard Clay	29	1,84	4,0	0	2,00	19,9	0	2,00	4,0	0

Tabel 11.
Rekapitulasi Parameter Tanah tiap Lapisan (Revisi)

No.	Depth	Soiltype	γ_{sat} (t/m ³)	C (t/m ²)	ϕ (°)
1	0-5	Pasir Urug	1.80	0	30
2	5-20	Soft Clay	1.68	2.4	0
3	20-39	Medium Clay	1.78	4.9	0
4	39-dst	Hard Clay	2.00	19.9	0

Tabel 112.
Rekapitulasi Koefisien Tekanan Tanah

No.	Depth	Soiltype	Consistency	ϕ (°)	Ka	Kp
1	0-5	Pasir	-	30	0,33	3
2	5-20	Clay	Soft	0	1	1
3	20-39	Clay	Medium	0	1	1
4	39-dst	Clay	Hard	0	1	1



Gambar 9. Hasil koreksi N-SPT lapisan berdasarkan konsistensi.

2) Zonasi Perencanaan

Karena dari hasil kesimpulan sebelumnya, data tanah yang digunakan untuk perencanaan hanya satu saja, BH-1, maka zonasi tidak perlu dipisahkan berdasarkan data tanah. Namun, tetap perlu di-cek kembali mengenai tinggi timbunan dan kemiringan tanah pasif di depannya.

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 5, karena tinggi timbunan relatif sama semua, diambil tinggi timbunan seragam, setinggi 5 m, yang akan digunakan untuk merencanakan turap. Selain itu, berdasarkan kemiringan tanah pasifnya akan dibagi menjadi 2 zona, yaitu:

1. Zona A, di-cek stabilitasnya dengan slope = 22°
2. Zona B, di-cek stabilitasnya dengan slope = 5°

Akibat adanya zonasi dan gerusan, *cross section* perencanaan akan menjadi seperti Gambar 8.

3) Korelasi Data Tanah

Dalam menentukan parameter tanah yang digunakan, diperlukan perbandingan antara parameter hasil korelasi dan parameter hasil pengujian laboratorium. Dari hasil klasifikasi tanah diketahui bahwa seluruh tanah, kecuali timbunan, merupakan tanah lempung. Oleh karena itu akan dilakukan korelasi nilai γ_{sat} dan C tanah lempung pada Gambar 9.

Berdasarkan Tabel 6, untuk simplifikasi, maka tanah akan digolongkan lagi terhadap jenis dan konsistensinya sehingga

akan menjadi seperti pada Tabel 7. Terjadi perubahan konsistensi tanah pada kedalaman 19-38 m akibat penyesuaian dengan koreksi nilai SPT terhadap muka air tanah dan *overburden pressure*. Karena jenis tanah merupakan lempung, maka hanya dikoreksi berdasarkan *overburden pressure* saja sehingga nilai rata-rata SPT menjadi seperti pada Tabel 7. Setelah itu dilakukan korelasi yang menghasilkan Tabel 8 dan Tabel 9. Nilai dari hasil korelasi dan data uji laboratorium dibandingkan untuk diambil nilai yang paling pesimis untuk perencanaan seperti pada Tabel 10.

Karena dalam perhitungan yang telah dilakukan, tidak terjadi kesetimbangan pada turap yang dirancang hingga tanah keras, maka diputuskan untuk menggunakan nilai C dari korelasi (lebih optimis) seperti pada Tabel 11. Selain itu, ditambahkan juga lapisan tanah pasir setebal 5 m yang merupakan rencana timbunan.

C. Perencanaan Turap Berangker

1) Perhitungan D_{actual}

Untuk menghitung kedalaman tertanam turap, perlu dimodelkan diagram tekanan tanah yang terjadi akibat tanah aktif maupun pasif. Berikut tahapan perhitungan D_{actual} :

Pertama, menghitung koefisien tekanan tanah Rankine yang didapatkan hasil pada Tabel 12.

Tabel 12.
Perhitungan Manual ΣM_{angker} ($z = 33,5$ m)

Lapisan	Aktif	Jarak	M_{aktif}	Pasif	Jarak	M_{pasif}
Pasir a	2,00	1,00	2,00			
	1,20	0,67	0,80			
Pasir b	6,60	-1,50	-9,90			
	1,20	-2,00	-2,40			
1	72,00	-10,50	-756,00	46,20	-12,50	-577,50
	76,76	-13,00	-997,94	41,28	-14,33	-591,71
2	148,98	-24,75	-3687,17	212,03	-24,75	-5247,73
	71,12	-27,00	-1920,13	71,12	-27,00	-1920,13
Air	496,13	-21,00	-10418,63	435,13	-21,67	-9427,71
$\Sigma M_{33,5}$			-24,58			

Tabel 134.
Perhitungan Manual ΣM_{angker} ($z = 34$ m)

Lapisan	Aktif	Jarak	M_{aktif}	Pasif	Jarak	M_{pasif}
Pasir a	2,00	1,00	2,00			
	1,20	0,67	0,80			
Pasir b	6,60	-1,50	-9,90			
	1,20	-2,00	-2,40			
1	72,00	-10,50	-756,00	46,20	-12,50	-577,50
	76,76	-13,00	-997,94	41,28	-14,33	-591,71
2	154,49	-25,00	-3862,35	219,88	-25,00	-5497,06
	76,48	-27,33	-2090,49	76,48	-27,33	-2090,49
Air	512,00	-21,33	-10922,67	450,00	-22,00	-9900,00
ΣM_{34}			17,81			

Tabel 15.
Perhitungan Manual ΣF_{angker} ($z = 34$ m)

Lapisan	Aktif	Pasif
Pasir a	2,00	
	1,20	
Pasir b	6,60	
	1,20	
1	72,00	46,20
	76,76	41,28
2	154,49	219,88
	76,48	76,48
Air	512,00	450,00
$\Sigma F_{\text{angker}} \text{ (ton)}$		68,89

Koefisien tekanan tanah aktif

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (15)$$

Koefisien tekanan tanah pasif

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (16)$$

Selanjutnya, dilakukan perhitungan tekanan tanah sehingga membentuk diagram tekanan seperti pada Gambar 10. Untuk mencari kedalaman tertanam turap, harus dicari kesetimbangan momen pada suatu titik kedalaman (z) tertentu, dimana $\Sigma M_{\text{angker}} = 0$. Pada perhitungan ini, digunakan program bantu Microsoft Excel untuk mencari kedalaman (z), dimana $\Sigma M_{\text{angker}} \approx 0$. Konsep perhitungannya adalah nilai $z = 2$ m diinput. Lalu, bisa dilihat posisi kedalaman dimana nilai $\Sigma M_{\text{angker}} \approx 0$. Perhitungan manual tertera pada Tabel 13 untuk $z = 33,5$ dan $z=34$ tertera pada Tabel 14.

Nilai ΣM_{angker} pada $z = 34$ m bernilai positif, sehingga dapat disimpulkan bahwa kesetimbangan terjadi diantara kedalaman 33,5 m – 34 m. Oleh karena itu, didapatkan nilai D_{actual} sebagai berikut:

$$DO = z - h_{\text{timbunan}} - h_{\text{gerusan}} = 34 - 5 - 4$$

$$= 25 \text{ m}$$

$$D_{\text{actual}} = 1,2DO = 30 \text{ m}$$

$$L = 30 + 5 + 4 = 39 \text{ m}$$

2) Perancangan Angker

Untuk mencari gaya angker digunakan rumus $\Sigma F = 0$. Perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 15. Selain itu, angker yang dirancang harus memotong bidang runtuh turap agar dapat bekerja secara maksimal. Bidang runtuh turap membentuk sudut sebesar $45 + (\phi/2)$, sehingga bidang runtuhnya menjadi seperti pada Gambar 11. Selanjutnya, ditentukan jarak antar *ground anchor* = 1 m. Maka,

$$T = \text{jarak pemasangan} \times T = 1 \times 68,89 = 68,89 \text{ ton}$$

Karena pemasangan angker memiliki kemiringan, maka gaya yang ditahan oleh angker sebesar,

$$T_{\text{pakai}} = T / \cos \alpha = 68,89 / \cos 30 = 79,55 \text{ ton}$$

Lalu, dirancang *anchor tendon* dengan strand grade 270 sebagai berikut:

$$d = 0,375 \text{ inch} = 9,525 \text{ mm}$$

$$A_{\text{satuan}} = 71,22 \text{ mm}^2$$

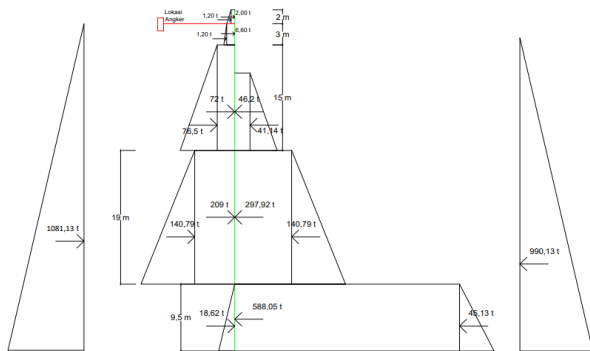
$$f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{pe} = 0,75 \times f_{pu} = 1395 \text{ MPa}$$

$$T_{\text{satuan}} = f_{pe} \times A_{\text{satuan}} = 1395 \times 71,22$$

Tabel 16.
Rekapitulasi Biaya Material Turap Berangker

Zona	Jenis	Panjang (m)	Spesifikasi Turap	SF	Defleksi (mm)
A	Angker	39	NS-SP-10H	1,5	37,8
B		39	NS-SP-10H	1,7	29,1



Gambar 10. Diagram tekanan tanah.

$$= 99351,36 \text{ N} = 9,93 \text{ ton}$$

$$n = \frac{T_{maks}}{T_{satuan}} = 79,55/9,93 = 8 \text{ buah}$$

Terakhir, dihitung kapasitas *ground anchor* sebagai berikut:

$$T_u = \pi dl(C)$$

$$T_u = \pi(0,65)(10)(4,10) = 83,68 \text{ ton}$$

$$T_{maks} < T_u$$

$79,55 \text{ ton} < 83,68 \text{ ton}$ (**OK**)

3) Spesifikasi Turap

Berdasarkan perhitungan, momen maksimal terjadi pada $z = 13 \text{ m}$ dari permukaan tanah dan nilainya sebesar $-375,04 \text{ ton.m}$. Sehingga, direncanakan profil *sheetpile* NS-SP-10H Nippon Steel sebagai berikut:

$$A = 406 \text{ cm}^2$$

$$E = 200000 \text{ MPa} = 200000000 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{\text{all}} = 390 \text{ MPa}$$

$$I = 576400 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$Z = 9810 \text{ cm}^3$$

Section modulus akibat momen yang terjadi (Z_0).

$$Z_0 = \frac{M_{maks}}{\sigma_{all}} \times 10^6$$

$$Z_0 = \frac{375,04 \text{ ton.m}}{39755,35 \text{ ton/m}^2} \times 10^6$$

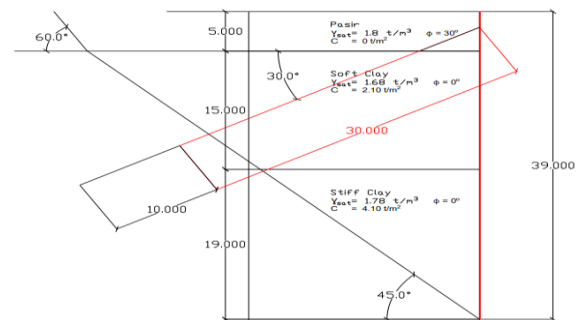
$$Z_0 = 9433,79 \text{ cm}^3$$

$$Z_0 \leq Z$$

9433,79 cm³ < 9810 cm³ (OK)

Tabel 147.
Rekapitulasi Biaya Material Turap Berangker

No	Item	Harga item	Jml	Total Harga
1	Turap			
	SP-10H	Rp194.868.952	216	Rp42.091.693.546
2	Ground Anchor			
	Strand	Rp16.772.310	216	Rp3.622.818.960
	Grouting	Rp4.974.938	216	Rp1.074.586.500
3	Walling			
	WF 350.175.6.9	Rp141.458.333	2	Rp282.916.667
TOTAL BIAYA MATERIAL				Rp47.072.015.675



Gambar 81. Bidang keruntuhan turap berangker.

4) Cek Stabilitas

Rekapitulasi hasil *running* program Geo5 dan PLAXIS untuk tiap zona dapat dilihat pada Tabel 16.

5) Biaya Material

Dari analisis yang telah dilakukan, dihitung pula biaya kebutuhan material untuk perkuatan turap berangker seperti pada Tabel 17.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dengan mempertimbangkan gerusan yang terjadi, didapatkan panjang turap, spesifikasi turap, dan jumlah serta panjang anker yang dibutuhkan. Kemudian, dengan program bantu Geo5 dan PLAXIS dianalisis stabilitas dan angka keamanannya. Adapun kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut: Kedalaman gerusan akibat debit banjir rencana periode ulang 50 tahun adalah 4,2 m. Dengan mempertimbangkan gerusan yang terjadi, panjang total turap berangker adalah 39 m dengan spesifikasi turap NS-SP-10H untuk tiap zonanya. Gaya anker yang didapatkan sebesar 79,55 ton dengan sudut pemasangan 30° dan spasi anker 0,9 m. Sedangkan, SF yang didapatkan untuk tiap zona berturut-turut adalah 1,5 dan 1,7 untuk zona A dan zona B. Dan defleksi maksimum yang terjadi berturut-turut adalah 37,8 mm dan 29,1 mm untuk zona A dan zona B. Biaya material dalam perencanaan turap berangker sebesar Rp47.072.016.000.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Das and N. Sivakugan, *Principles of Foundation Engineering*, 7th ed. Stamford: Cengage Learning, 2011. ISBN: 978-0-495-66812-1
- [2] SNI, *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2017. ICS 91.010.01.