

Pengaruh Perubahan Muka Air Sungai Terhadap Stabilitas dan Efektifitas Turap Diangkur

Dyah Wahyu Apriani^{1*}, Dedi Alfalik², Riyan Benny Sukmara³

^{1,2,3} Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan, 76127, Indonesia

* Corresponding author e-mail: dyahwahyuap@lecturer.itk.ac.id

Received 14th May 2023; 1st Revision 28th May 2023; Accepted 26th June 2023

ABSTRAK

Penggunaan turap sebagai struktur penahan tanggul sungai perlu memperhitungkan pengaruh dari muka air aliran sungai untuk melihat bagaimana pengaruhnya terhadap stabilitas dari turap dalam hal ini terkait kedalaman pemancangan, panjang turap dan crack momen yang terjadi. Selain itu perlu juga diperhatikan penggunaan tipe turap kantiliver dan turap diangkur sesuai ketinggian tanggul yang ditahan. Penelitian ini membahas bagaimana pengaruh perubahan elevasi muka air sungai terhadap stabilitas turap serta efektifitas tipe turap terhadap tinggi tanggul yang diperkuat dengan mengambil studi kasus Sungai Karang Mumus. Analisis hidrologi dan hidrolika dilakukan untuk mendapatkan penampang sungai dan ketinggian air untuk analisis. Skenario ketinggian air berdasarkan analisis hidrologi dan hidrolika dijalankan dalam analisis dan menghasilkan bahwa elevasi muka air sungai berpengaruh terhadap crack momen pada struktur turap dimana dapat berperan sebagai faktor yang dapat mengurangi terjadinya crack momen. Selain itu analisis juga menunjukkan pada elevasi tanggul yang sama penggunaan tipe turap diangkur akan menghasilkan panjang turap yang lebih kecil dan crack momen yang dihasilkan akibat gaya cenderung lebih kecil. Sebaliknya, apabila digunakan tipe turap kantilever maka panjang turap yang dibutuhkan lebih panjang dan crack momen yang dihasilkan cenderung lebih besar.

Kata Kunci: Turap; Muka air banjir; Karang Mumus; Angkur; Crack Momen.

ABSTRACT

The use of sheet pile as a retaining structure for river embankments needs to take into account the influence of the water level of the river flow to see how it affects the stability of the sheet pile, in this case, related to the depth of the piling, the length and the moment cracks that occur. In addition, it is also necessary to pay attention to the use of cantilever sheet piles and anchored sheet piles according to the height of the embankment being held. This study strengthens the effect of changes in river water level on the stability of sheet piles and the effectiveness of sheet pile types on embankment height by taking the Karang Mumus River case study. Hydrology and hydraulics analyzes were carried out to obtain river cross sections and water levels for analysis. The water level scenario based was carried out in the research and resulted in the water level affecting the sheet pile structure's crack moment, which could act as a factor that could reduce the occurrence of the crack moment. In addition, the analysis also shows that at the same embankment elevation, the use of the anchored sheet type will result in a smaller sheet length and the resulting moment crack due to the force tends to be smaller if the cantilever sheet type is used, the sheet length required is longer than the anchored sheet pile wall, and the resulting crack moment tends to be more significant.

Keywords: Sheet pile; Peak water level; Karang mumus; Anchored; Crack moment.

Copyright © Dyah Wahyu Apriani, Dedi Alfalik, Riyan Benny Sukmara

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Turap merupakan dinding vertikal yang relatif tipis berfungsi menahan tanah dan masuknya air kedalam galian[1]. Bila kedalaman tanah 3-4 m dapat digunakan turap kantiliver dan turap diangkur jika kedalamannya lebih besar[2]. Turap diangkur menggunakan tekanan tanah pasif dari tanah yang tertanam dan angkur yang terletak pada bagian atas dekat dengan permukaan tanah yang tertahan[3]. Dalam merencanakan perkuatan turap perlu memperhatikan kedalaman sheet pile yang tertanam maupun jenis tanah karena merupakan faktor penentu stabilitas dinding turap. Kedalaman dan jenis tanah dalam perencanaan struktur turap bertujuan untuk menentukan besarnya kekuatan dari turap serta menentukan parameter tanah di lapangan dalam memperhitungkan gaya lateral yang dialami turap. Kegagalan pada struktur turap dapat terjadi akibat dari adanya pengaruh deformasi tanah, pengaruh terhadap muka air tanah, gaya akibat tekanan lateral tanah karena beban di atasnya, umur konstruksi dan struktur lapisan tanah[4]. Keruntuhan yang dialami struktur sheet pile erat dikaitkannya dengan hilangnya stabilitas tanah lunak dibawahnya akibat adanya deformasi tanah yang besar[5]. Untuk menghindari terjadinya keruntuhan struktur turap yang telah dibangun maka perlu adanya analisis stabilitas turap terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan seperti beban yang mempengaruhi gaya lateral pada turap dan kapasitas dari bahan turap yang dipakai. Stabilitas turap sangat penting untuk dianalisis agar meminimalisir pergerakan tanah yang mungkin terjadi di tanggul dan sebagai dasar perencanaan struktur perkuatan[6].

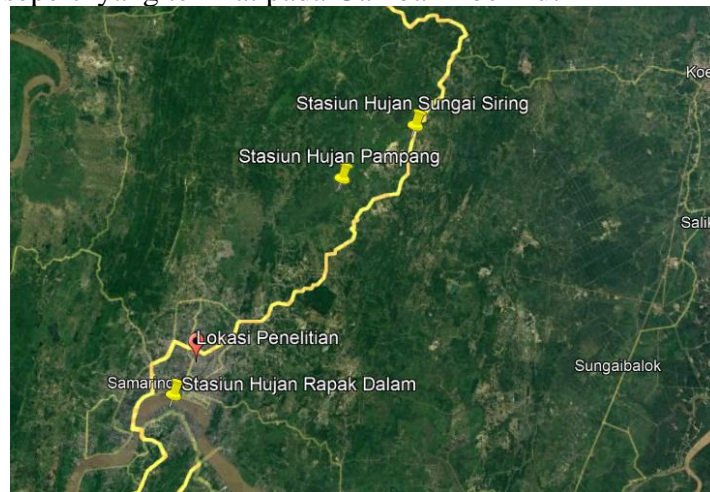
Sungai Karang Mumus merupakan anak Sungai Mahakam yang terletak di Kota Samarinda, Sungai karang mumus merupakan sungai dengan intensitas banjir yang tinggi. Ketika memasuki musim penghujan, daerah pengaliran Sungai Karang Mumus sering mengalami banjir akibat tampungan sungai yang tidak dapat menampung air banjir dengan sempurna[7]. Sungai sepanjang 519meter berupa perkuatan tebing yang berfungsi sebagai tanggul pengaman banjir serta dapat menahan kelongsoran pada tebing Sungai Karang Mumus. Perkuatan jenis turap diangkur digunakan pada lereng setinggi 3-4 meter. Penelitian ini akan menganalisis penggunaan turap eksisting tipe angkur yang telah digunakan untuk menahan tebing sungai dimana untuk elevasi kurang dari 17 meter lebih cocok digunakan turap kantilever[3][2], selain itu perlu dianalisis bagaimana pengaruh perubahan elevasi muka air sungai terhadap stabilitas turap dalam hal ini *crack momen* dari bahan turap yang digunakan sebagai perkuatan

METODE

Analisis hidrologi dilakukan untuk mendapatkan debit banjir yang terjadi di sungai selanjutnya dilakukan analisis hidrolika sungai dengan bantuan pemodelan menggunakan HEC-RAS, *output* dari pemodelan ini digunakan untuk menentukan elevasi muka air sungai yang akan digunakan dalam analisis. Setelah data input analisis diperoleh maka dilakukan analisis struktur turap eksisting yaitu turap diangker dengan beberapa sekenario yang telah ditentukan sesuai dengan tujuan analisis. Pada analisis turap ini dihitung kedalaman pemancangan turap yang diperlukan untuk menahan beban yang diterima oleh struktur turap. Setelah kedalaman dan beban turap dianalisis maka dilakukan pemodelan dalam SAP 2000 untuk melihat bagaimana momen yang terjadi. Dari hasil momen ini dapat dilihat bagaimana stabilitas turap terhadap beban yang diberikan.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk menghitung data curah hujan yang berasal dari Stasiun Hujan Pampang, Stasiun Hujan Rapak Dalam, dan Stasiun Hujan Sungai Siring yang terdapat di kota Samarinda seperti yang terlihat pada Gambar 1 berikut



Gambar 1. Peta lokasi stasiun hujan

Berdasarkan data hujan harian yang tersebar di setiap lokasi stasiun hujan seperti yang terlihat pada Gambar 1, maka dilakukan analisis untuk mendapatkan curah hujan rata-rata dengan mempertimbangkan pembagian wilayah. Luas area yang mewakili di tiap masing-masing stasiun hujan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pembagian wilayah stasiun hujan

No.	Pos Stasiun Hujan	Luas Area		Wn
		(m ²)	(km ²)	
I.	Pampang	124724227,9	124,72	0,39
II.	Rapak Dalam	145640878,4	145,64	0,46
III.	Sungai Siring	45832899,3	45,83	0,14
		316198005,7	316,20	1,00

Analisis parameter dihitung berdasarkan data curah hujan maksimum dari stasiun hujan Pampang, Rapak Dalam, dan Sungai Siring terhadap distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, Log Pearson Tipe III. Dari hasil perhitungan parameter statistik tersebut, didapatkan hasil perbandingan nilai koefisien kemencengan (Cs) dan nilai koefisien ketajaman (Ck) terhadap syarat seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan uji parameter statistik

Metode Distribusi	Syarat		Perhitungan		Keterangan
	Cs	Ck	Cs	Ck	
Normal	0	3	1,210	4,259	Tidak Memenuhi
Log Normal	3	0,1834	0,361	2,987	Tidak Memenuhi
Gumbel Tipe I	1,1396	5,4002	1,210	4,259	Tidak Memenuhi
Log Pearson Tipe III	Fleksibel	Fleksibel	0,361	2,987	Memenuhi

Berdasarkan hasil perbandingan uji parameter statistik dengan syarat teoritis [8], maka didapatkan metode distribusi yang memenuhi adalah Log Pearson Tipe III. Uji Kecocokan

dilakukan terhadap metode distribusi Log Pearson Tipe III. Terdapat 2 (dua) metode yang digunakan dalam pengujian jenis distribusi agar memiliki kesesuaian terhadap data dengan menggunakan metode chi-kuadrat dan smirnov kolmogrov[9]. Berdasarkan hasil pengujian chi-kuadrat dan smirnov kolmogrov, dapat diketahui dengan menggunakan distribus Log Pearson Tipe III memenuhi persyaratan. Dalam menganalisis curah hujan rencana, digunakan periode ulang untuk sungai selama 20, 50, dan 100 tahun. Analisis curah hujan rencana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis curah hujan rencana

$\overline{\text{Log X}}$	Cs	SdLog	Periode Ulang	K	Log X	X (mm)
1,94	0,361	0,108	20	1,707	2,127	134,102
1,94	0,361	0,108	50	2,241	2,185	153,213
1,94	0,361	0,108	100	2,408	2,203	159,704

Pada analisis hujan jam-jaman, diperhatikan lama waktu hujan yang terjadi di Indonesia antara 2 – 7 jam dan dalam analisis digunakan 6 jam [10] seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Distribusi hujan tiap jam

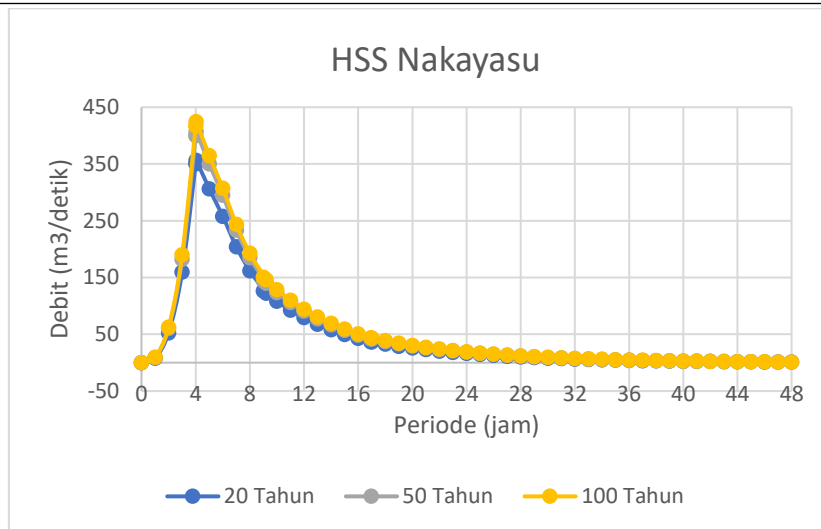
Waktu (jam)	Ratio (%)	Kumulatif (%)	Curah Hujan Tiap Jam		
			20 Tahun	50 Tahun	100 Tahun
1	55,03%	55,03%	19,784	22,603	23,561
2	14,30%	69,34%	5,142	5,875	6,124
3	10,03%	79,37%	3,607	4,121	4,296
4	7,99%	87,36%	2,872	3,281	3,420
5	6,75%	94,10%	2,425	2,771	2,888
6	5,90%	100,00%	2,120	2,422	2,524
Probabilitas Hujan Harian			134,102	153,213	159,704
Koefisien Pengaliran			0,27	0,27	0,27
Hujan Efektif			35,950	41,073	42,813

Analisis debit banjir dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu berdasarkan hujan efektif yang terjadi pada analisis hujan jam-jaman. Dalam analisis ini, digunakan parameter sebagai berikut:

Panjang Sungai (L) = 37,65 km

Luas Das (A) = 316,20 km²

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan debit puncak pada Sungai Karang Mumus seperti yang ditampilkan pada gambar 2 dan Tabel 5 memperlihatkan rekapitulasi debit puncak berdasarkan waktu dan periode ulang yang diamati.



Gambar 2. Hidrograf satuan sintesis Nakayasu

Tabel 5. Rekapitulasi debit puncak

Periode Ulang (Tahun)	Debit Rencana (m ³ /detik)
20	356,552
50	407,366
100	424,623

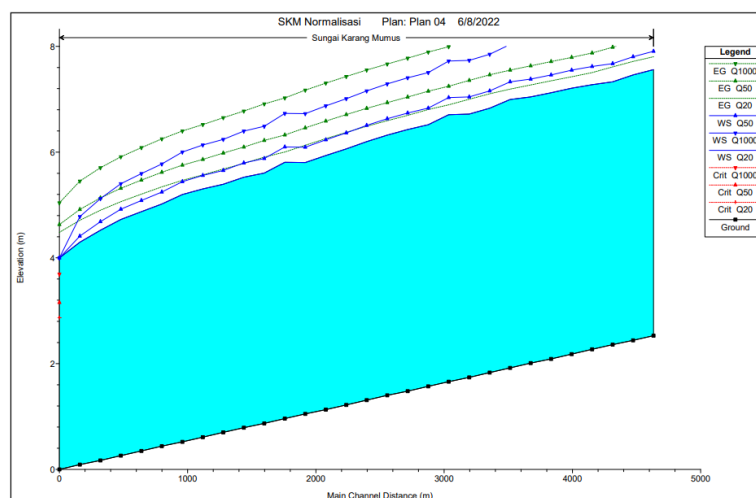
Elevasi Muka Air Sungai

Analisis tinggi air dilakukan berdasarkan pola aliran tetap (*steady flow*) dengan menggunakan kondisi batas (*boundary condition*) bertipe Know W.S. Kondisi batas (*boundary condition*) ini dipilih untuk mengetahui pengaruh elevasi muka air sungai pada daerah hilir Sungai Karang Mumus seperti yang terlampir pada Lampiran 3 terhadap lokasi tinjau dan digunakan data sebagai berikut:

El. Muka Air Sungai Hilir = 4,0 m

Koefisien Manning Sungai = 0,25

Setelah dilakukan run analisis berdasarkan aliran sub-kritis, didapatkan elevasi muka air sungai yang ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil permodelan HEC-RAS

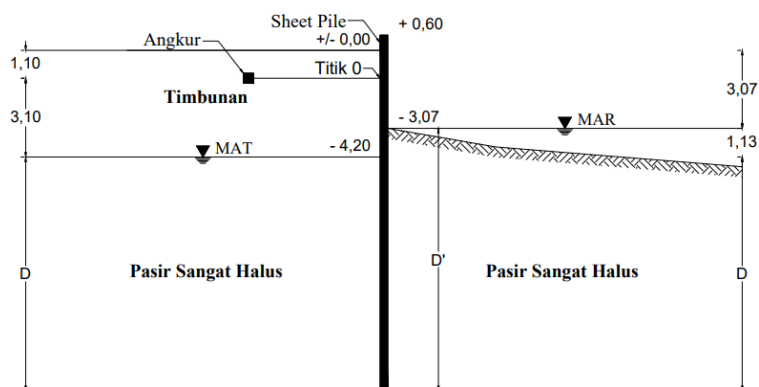
Berdasarkan hasil permodelan pada Gambar 3 dilakukan peninjauan terhadap 10 titik lokasi sungai untuk mengetahui bagaimana pengaruh debit terhadap elevasi di tiap *cross section* sungai. Dengan mempertimbangkan debit periode ulang 20, 50, dan 100 tahun, didapatkan elevasi muka air Sungai Karang Mumus setelah dilakukan normalisasi pada titik tinjau berada di elevasi 4,59 m, 4,93 m, dan 5,04 m. Analisis dibagi kedalam 3 skenario dimana untuk tiap skenario mempertimbangkan kondisi diantaranya: muka air sungai pada saat berada di dasar pemancangan, akibat periode ulang Q_{20} tahun dan pada saat muka air berada di puncak turap. Periode ulang 20 tahun dipilih karena pada debit minimum ini berdasarkan pemodelan penampang sungai tidak mampu menahan air yang mengalir. Dari ketiga skenario tersebut, dilakukan analisis turap untuk mengetahui pengaruh perubahan muka air sungai terhadap struktur turap. Skenario yang digunakan pada analisis ini disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Skenario Analisis

Keterangan	Kondisi	Elevasi (m)
Skenario 1	Muka Air Sungai di Dasar Turap	1,13
Skenario 2	Muka Air Sungai Berdasarkan Q_{20} Th	3,58
Skenario 3	Muka Air Sungai di Puncak Turap	4,80

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis struktur turap pada kondisi eksiting menggunakan tipe turap diangkur dengan jenis sheet pile. Analisis ini dilakukan pada lokasi yang memiliki ketinggian lereng paling besar dengan mempertimbangkan kondisi sungai setelah dilakukan normalisasi. Gambar 4 memperlihatkan detail turap untuk analisis.



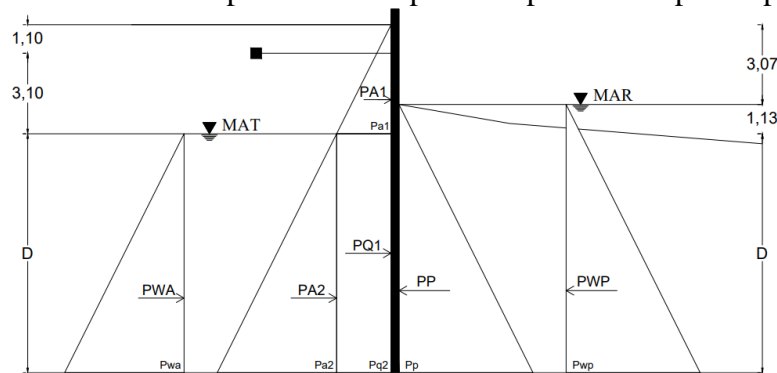
Gambar 4. Perencanaan turap diangkur skenario 1

Dalam analisis Gerakan tanah atau longsor, parameter tanah yang diperlukan diperoleh berdasarkan pengujian laboratorium, data tersebut meliputi nilai kohesi, sudut gesek dalam dan berat volume tanah[11]. Berdasarkan korelasi parameter tanah terhadap parameter sudut geser dalam pada tanah timbunan dan pasir sangat halus pada Tabel 7 didapatkan data analisis tanah berupa spesifikasi tanah timbunan, tanah asli, yang meliputi berat volume (γ), sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), tebal lapisan tanah, dan jenis tanah. Data analisis yang digunakan dapat disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Data parameter tanah

No.	Lapisan Tanah	γ (kN/m ³)	γ' (kN/m ³)	ϕ	c
1.	Timbunan	18,24	-	31,40	0,00
2.	Pasir sangat halus	13,73	3,92	24,47	0,00
3.	Pasir lanau	15,98	6,18	33,50	0,017

Distribusi tegangan gaya dibagi berdasarkan tebal lapisan tanah yang memiliki spesifikasi berbeda. Tekanan tanah aktif dan pasif untuk tiap tebal lapisan ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5. Distribusi gaya turap diangkur skenario 1

Berdasarkan gambar 5 dilakukan analisis komponen gaya yang terjadi dengan mempertimbangkan tebal tiap lapisan tanah sehingga didapatkan rekapitulasi analisis komponen gaya seperti yang disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9 serta komponen gaya total pada tabel 10 dan tabel 11.

Tabel 8. Analisis komponen tekanan aktif turap diangkur

No.	Diagram	Analisis Perhitungan	Total (kN/m ²)
1.	P_{a1}	$18,24 \times 4,20 \times 0,31 - 2 \times 0,00 \times (0,31)^{0,5}$	24,12
2.	P_{q1}	$(18,24 \times 4,20) \times 0,37 - 2 \times 0,00 \times (0,37)^{0,5}$	28,21
3.	P_{a2}	$3,92 \times D \times 0,37 - 2 \times 0,00 \times (0,37)^{0,5}$	1,45D
4.	P_{wa}	$9,81 \times D$	9,81D
		Total	11,26D+52,33

Tabel 9. Analisis komponen tekanan pasif turap diangkur

No.	Diagram	Analisis Perhitungan	Total (kN/m ²)
1.	P_{p1}	$3,92 \times (D+1,13) \times 1,81 + 2 \times 0,00 \times (1,81)^{0,5}$	7,10D+8,02
2.	P_{q1}	$3,92 \times (D+1,13) \times 2,31 + 2 \times 0,02 \times (2,31)^{0,5}$	9,81D+11,09
		Total	16,90D+19,11

Tabel 10. Analisis tekanan gaya aktif turap diangkur

No.	Diagram	Analisis Perhitungan	Gaya (kN)
1.	P_{A1}	$0,5 \times 24,12 \times 4,20$	50,66
2.	P_{Q1}	$28,21 \times D$	28,21D
3.	P_{A2}	$0,5 \times 1,45D \times D$	0,73D ²
4.	P_{WA}	$0,5 \times 9,81D \times D$	4,91D ²
		Total	5,63D ² +28,21D+50,66

Tabel 11. Analisis tekanan gaya pasif turap diangkur

No.	Diagram	Analisis Perhitungan	Gaya (kN)
1.	P_p	$0,5 \times (7,10D + 8,02) \times (D + 1,13)$	$3,55D^2 + 8,02D + 4,53$
2.	P_{wp}	$0,5 \times (9,81D + 11,09) \times (D + 1,13)$	$4,91D^2 + 11,09D + 6,27$
			$8,64D^2 + 19,11D + 10,80$

Dengan menghitung gaya dikalikan jarak dari titik gaya ke titik putar (0) yang berada di angkur, maka akan didapatkan momen yang terjadi pada struktur turap. Perhitungan momen ke titik putar pada struktur turap disajikan pada Tabel 12 dan Tabel 13.

Tabel 12. Analisis momen aktif turap diangkur

No.	Gaya (kN)	Jarak Ke Titik 0 (m)	Momen (kN.m)
1.	50,66	$2/3 \times 4,20 - 1,10$	86,12
2.	28,21D	$1/2 \times D + 3,10$	$14,11D^2 + 87,45D$
3.	$0,73D^2$	$2/3 \times D + 3,10$	$0,49D^3 + 2,26D^2$
4.	$4,91D^2$	$2/3 \times D + 3,10$	$3,27D^3 + 15,22D^2$
		Total	$3,76D^3 + 31,59D^2 + 87,45D + 86,13$

Tabel 13. Analisis momen pasif turap diangkur

No.	Gaya (kN)	Jarak Ke Titik 0 (m)	Momen (kN.m)
1.	$3,55D^2 + 8,02D + 4,53$	$2/3 \times (D + 1,13) + 1,97$	$2,37D^3 + 15,01D^2 + 24,86D + 12,34$
2.	$4,91D^2 + 11,09D + 6,27$	$2/3 \times (D + 1,13) + 1,97$	$3,27D^3 + 20,76D^2 + 34,38D + 17,04$
		Total	$5,64D^3 + 35,78D^2 + 59,24D + 29,41$

Menentukan kedalaman turap didasarkan pada titik putar 0 yang terletak pada angkur seperti yang terlihat pada Gambar 4 dengan mempertimbangkan keseimbangan momen akibat tekanan aktif dan pasif. Analisis ini dilakukan cara sebagai berikut:

$$\sum M_{total} = \sum M_{pasif} - \sum M_{aktif}$$

$$\sum M_{total} = (3,76D^3 + 31,59D^2 + 87,45D + 86,13) - (5,64D^3 + 35,78D^2 + 59,24D + 29,41)$$

Dalam Kondisi seimbang,

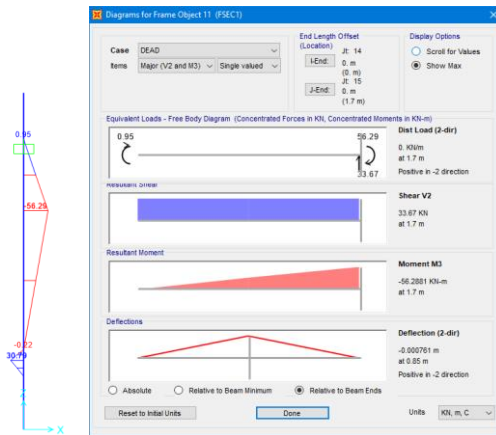
$$\sum M_{total} = 0$$

$$\sum M_{pasif} - \sum M_{aktif} = 0 - 1,88D^3 - 4,19D^2 + 28,21D + 56,71 = 0$$

Dengan menggunakan *trial and error*, didapatkan kedalaman ($D = 3,80$ m) dimana nilai D merupakan tebal lapisan tanah pasir lanau seperti yang terlihat pada Gambar 4 sehingga didapatkan kedalaman pemancangan turap ($D' = 4,93$ m) dan panjang turap ($P_{total} = 8,60$ m).

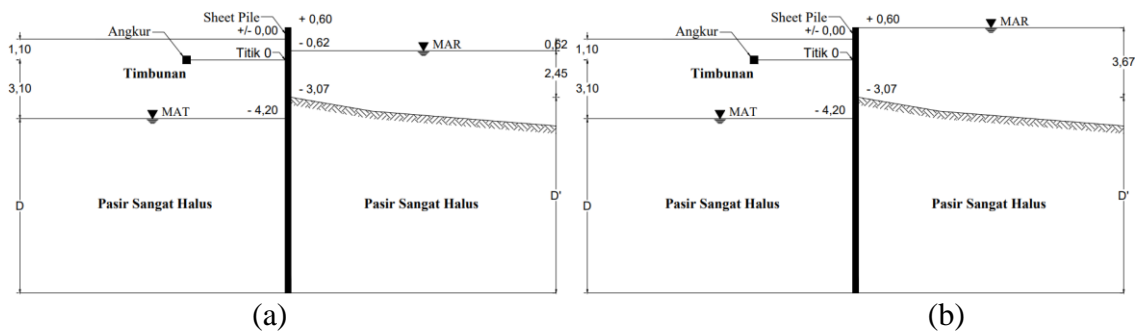
Analisis momen maksimum dilakukan untuk mengetahui apakah struktur turap yang telah dibangun memiliki kekuatan yang cukup dalam menahan gaya yang terjadi. Momen maksimum yang dialami oleh struktur turap berada diantara dasar pemancangan hingga ke puncak turap. Berdasarkan hasil analisis *crack momen* menggunakan program bantu SAP2000, didapatkan *crack momen* yang terjadi pada turap diangkur skenario 1 seperti yang ditampilkan

pada Gambar 6.



Gambar 6. Analisis momen turap diangkur

Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 untuk tipe turap diangkur, dapat diketahui besarnya momen yang dialami oleh struktur turap sebesar 56,29 kN.m. *Crack momen* terjadi saat suatu penampang beton diberikan suatu beban secara bertahap hingga melebihi modulus keruntuhan penampang beton tersebut [12]. Pada kondisi eksisting, digunakan turap dengan tipe CCSP W-325 Class B yang memiliki *crack* bahan sebesar 13,30 ton.m. Berdasarkan hasil analisis momen maksimum yang dialami struktur turap, didapatkan momen maksimum sebesar 5,65 ton.m sehingga *crack momen* yang terjadi lebih kecil daripada *crack momen* ijin bahan yang digunakan. Dengan menggunakan cara yang sama, didapatkan *crack momen* yang dialami oleh struktur turap pada skenario 2 dan 3 dengan mempertimbangkan perencanaan pada Gambar 7.



Gambar 7. (a) Perencanaan turap skenario 2, (b) Perencanaan turap skenario 3

Berdasarkan Gambar 7 didapatkan rekapitulasi perhitungan berdasarkan skenario yang ada pada Tabel 6 seperti yang disajikan pada Tabel 14.

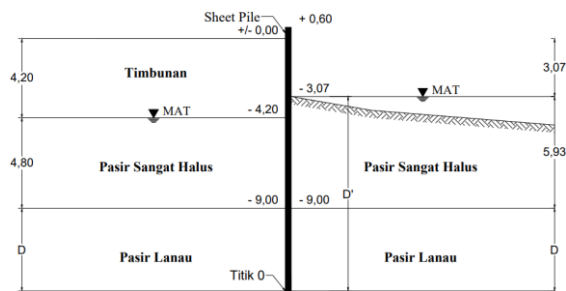
Tabel 14. Rekapitulasi analisis struktur turap diangkur

Kondisi	El. Muka Air Sungai (m)	Crack Momen (ton.m)	Crack Ijin (ton.m)	Hasil
Skenario 1	1,13	5,65	13,30	Aman
Skenario 2	3,58	0,75	13,30	Aman
Skenario 3	4,80	-10,83	13,30	Aman

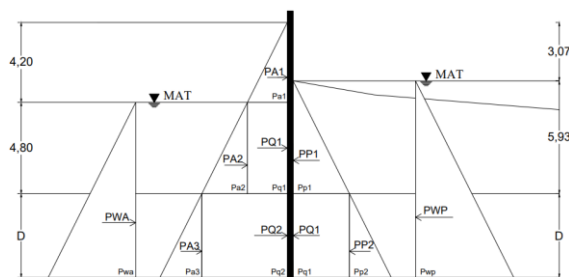
Berdasarkan analisis *crack momen* yang terjadi, elevasi muka air sungai dapat berpengaruh terhadap *crack momen* pada struktur turap. Pada analisis ini, diketahui *crack momen* yang terjadi pada skenario 1 dan 2 bernilai positif. Artinya *crack momen* yang dialami oleh struktur

turap pada kondisi ini terjadi akibat tekanan tanah di belakang struktur turap lebih besar daripada tekanan hidrostatis akibat elevasi muka air sungai. Sedangkan pada skenario 3, *crack momen* yang terjadi bernilai negatif. Artinya *crack momen* yang dialami oleh struktur turap pada kondisi ini terjadi karena tekanan hidrostatis akibat elevasi muka air sungai lebih besar daripada tekanan tanah di belakang struktur turap. tekanan hidrostatis dapat menjadi menjadi lebih besar daripada tekanan tanah aktif akibat pengaruh koefisien tanah aktif sehingga menyebabkan tekanan yang diakibatkan oleh tekanan aktif menjadi berkurang sebaliknya, pada tekanan hidrostatis tidak diperlukan koefisien pengali karena sifat dari air yang menekan ke segala arah. Pada skenario 3, elevasi muka air sungai memiliki tekanan yang lebih besar dibandingkan tekanan yang diakibatkan oleh tanah di belakang struktur turap. Artinya pada kondisi tertentu, elevasi muka air sungai dapat berperan sebagai faktor yang dapat mengurangi terjadinya *crack momen*.

Dalam analisis efektifitas angkur, dilakukan perbandingan antara penggunaan turap tipe diangkur dengan tipe kantilever. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah ketinggian tanggul yang kurang dari 17 m dapat menggunakan turap kantilever[3]. Perbandingan yang dilakukan berupa kedalaman pemancangan, panjang efektif, dan *crack momen* yang terjadi. Dengan menggunakan cara yang sama pada analisis turap diangkur, dapat dilakukan perhitungan kedalaman pemancangan berdasarkan Gambar 8 dan Gambar 9 untuk desain turap kantilever.



Gambar 8. Perencanaan turap kantilever



Gambar 9. Distribusi gaya turap kantilever

Menentukan kedalaman turap kantilever didasarkan pada titik putar 0 yang terletak dasar turap sesuai Gambar 10.

$$\begin{aligned} \sum M_{total} &= \sum M_{pasif} - \sum M_{aktif} \\ \sum M_{total} &= (5,20D^3 + 69,36D^2 + 359,76D + 711,13) - (1,93D^3 + 37,32D^2 + 315,73D + 846,50) \end{aligned}$$

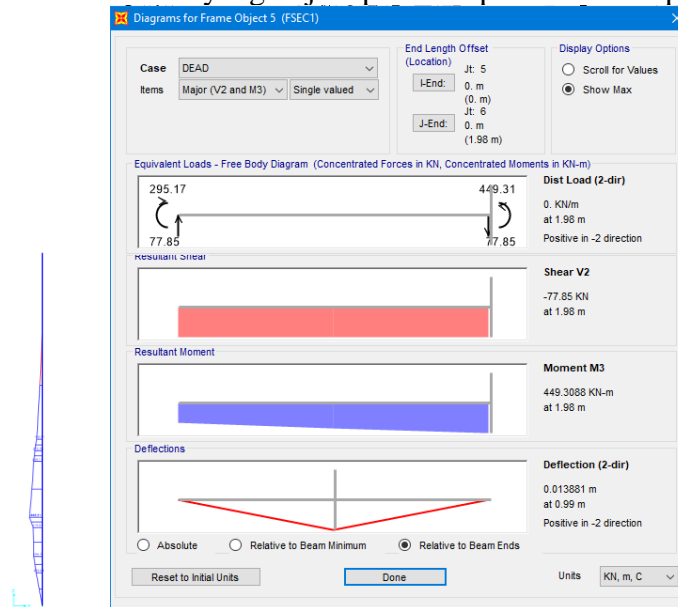
Dalam Kondisi seimbang,

$$\begin{aligned} \sum M_{total} &= 0 \\ \sum M_{pasif} - \sum M_{aktif} &= 0 \\ 3,26D^3 + 32,03D^2 + 44,04D - 135,37 &= 0 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *trial and error*, didapatkan kedalaman (D = 3,53 m) dimana nilai D

merupakan tebal lapisan tanah pasir lanau seperti yang terlihat pada Gambar 8 sehingga didapatkan kedalaman pemancangan turap ($D' = 9,46$ m) dan panjang turap ($P_{total} = 13,13$ m)

Berdasarkan hasil analisis *crack momen* turap kantilever menggunakan program bantu SAP2000, didapatkan *crack momen* yang terjadi pada turap kantilever seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Analisis momen turap diangkur

Berdasarkan hasil analisis SAP 2000 untuk tipe turap diangkur, dapat diketahui besarnya momen yang dialami oleh struktur turap sebesar 449,31 kN.m. Pada kondisi eksisting, digunakan turap dengan tipe CCSP W-325 Class B yang memiliki *crack* bahan sebesar 13,30 ton.m. Berdasarkan hasil analisis momen maksimum yang dialami struktur turap, didapatkan momen maksimum sebesar 449,31 kN m atau 45,82 ton.m sehingga *crack momen* yang terjadi lebih besar daripada *crack momen* ijin bahan yang digunakan. Pada analisis turap diangkur, didapatkan kedalaman pemancangan sebesar 4,93 m dengan panjang minimum 8,60 m. Akibat adanya gaya tekanan aktif maupun tekanan pasif, diperoleh momen maksimum yang terjadi pada struktur turap diangkur sebesar 5,65 ton.m. Sedangkan pada analisis turap kantilever, didapatkan kedalaman pemancangan sebesar 9,46 m dengan panjang turap minimum 13,13 m. Akibat adanya gaya tekanan aktif maupun tekanan pasif, diperoleh momen maksimum yang terjadi pada struktur turap kantilever sebesar 45,82 ton.m. Pada kondisi eksisting digunakan tipe turap diangkur yang memiliki panjang 14,00 m dan *crack momen* bahan sebesar 13,30 ton.m. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa tipe turap diangkur dengan panjang minimum 8,60 m dan *crack momen* 5,74 ton.m memenuhi persyaratan dari segi dimensi ataupun *crack* ijin bahan. Sedangkan pada tipe turap kantilever, diketahui panjang minimum sebesar 13,13 m dan *crack momen* 45,82 ton,m memenuhi persyaratan dari segi dimensi akan tetapi tidak memenuhi persyaratan terhadap *crack* ijin bahan. Dari analisis terhadap tipe turap diangkur dan turap kantilever, diketahui bahwa apabila digunakan tipe turap diangkur maka panjang turap yang dibutuhkan lebih sedikit dan *crack momen* yang dihasilkan akibat gaya cenderung lebih kecil. Sebaliknya, apabila digunakan tipe turap kantilever maka panjang turap yang dibutuhkan lebih panjang dan *crack momen* yang dihasilkan cenderung lebih besar. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa penggunaan angkur lebih efektif digunakan jika ditinjau dari kondisi eksisting yang menggunakan *crack* ijin bahan sebesar 13,30 ton.m. Akan tetapi jika ditinjau dari panjang turap yang digunakan pada kondisi eksisting,

penggunaan turap dengan panjang 14,00 m memiliki perbandingan yang cukup besar dari hasil analisis dimana diketahui perbandingan panjang yang dihasilkan sebesar 5,40 m. Apabila ingin memaksimalkan penggunaan angkur pada turap di kondisi eksisting, dapat dilakukan pengurangan panjang hingga 5,40 m.

KESIMPULAN

Elevasi muka air sungai berpengaruh terhadap *crack momen* pada struktur turap dimana pada elevasi tertentu muka air sungai dapat berperan sebagai faktor yang dapat mengurangi terjadinya *crack momen*. Pada elevasi tanggul yang sama penggunaan tipe turap diangkur akan menghasilkan panjang turap yang lebih kecil dan *crack momen* yang dihasilkan akibat gaya cenderung lebih kecil. Sebaliknya, apabila digunakan tipe turap kantilever maka panjang turap yang dibutuhkan lebih panjang dan *crack momen* yang dihasilkan cenderung lebih besar. Sehingga pada penggunaan turap sebagai struktur penahan tanggul air perlu memperhitungkan elevasi muka air maksimum yang terjadi untuk melihat kapasitas bahan dari turap yang dipakai dan kedalaman pemancangan yang diperlukan.

REFERENSI

- [1] H. C. Hardiyatmo, *Foundation Engineering 2*, 2nd ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.
- [2] D. P. Coduto, "Foundation Design_ Principles and Practices (2nd Edition)-Prentice Hall (2000).pdf." p. 484, 2001.
- [3] A. Guharay and D. K. Baidya, "Risk Factor Based Analysis of Sheet Pile Walls in Different Soil Risk Factor Based Analysis of Sheet Pile Walls in," no. February, 2014.
- [4] D. Alfianty, "Studi Kestabilan Perkuatan Tebing Dermaga Quay," *J. PWK, Laut, Sipil, Tambang*, vol. 7, pp. 1–10, 2020.
- [5] Ö. Bilgin, "Numerical studies of anchored sheet pile wall behavior constructed in cut and fill conditions," *Comput. Geotech.*, vol. 37, no. 3, pp. 399–407, 2010, doi: 10.1016/j.compgeo.2010.01.002.
- [6] D. W. Apriani and M. Hadid, "Kriteria Desain Dinding Penahan Pada Tanah Campuran," *Wahana Tek. Sipil J. Pengemb. Tek. Sipil*, vol. 24, no. 2, p. 79, 2019, doi: 10.32497/wahanats.v24i2.1726.
- [7] Y. S. Sundari, "Kajian Luas Genangan di Wilayah Rentan Banjir Pada Sub DAS Karang Mumus Ditinjau dari Peta Kemiringan Lereng di Kota Samarinda," *J. Ris. Inossa*, vol. 2, no. 1, pp. 60–70, 2020.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, *Tata cara perhitungan debit banjir rencana SNI 2415-2016*. 2016.
- [9] Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset, 2004.
- [10] D. S. Krisnayanti, J. H. Frans, and E. U. M. Halema, "Analisis Parameter Alfa Hidrograf Satuan Sintetik," *J. Tek. Sipil*, vol. 8, no. 2, pp. 227–240, 2019.

-
- [11] D. W. Apriani, U. Mustofa, and H. R., "Soil Shear Strength Parameter Analysis Based On Behavior Analysis Of Landslide Case," *Ukarst*, vol. 4, no. 2, pp. 164–176, 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.30737/ukarst.v3i2>.
- [12] J. Silalahi, A. Wibowo, L. Susanti, U. Brawijaya, and J. Timur, "Pengaruh Variasi Jarak Tulangan Horizontal Dan," Universitas Brawijaya, 2017.