

STUDI KELAYAKAN PEMBANGUNAN ALUR PELAYARAN DI MUARA SUNGAI CIUJUNG LAMA KABUPATEN SERANG

Fadhila Muhammad LT¹, Feril Hariati²

¹Alumni Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UIKA Bogor

²Dosen Tetap Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UIKA Bogor

ABSTRAK

Rencana normalisasi Sungai Ciujung Lama yang mengalami sedimentasi meliputi perkuatan tebing saluran dan konstruksi pelindung pantai. Studi keandalan kapasitas saluran dilakukan untuk mengetahui debit dan kecepatan rencana kanal, juga untuk mengetahui ketahanan dinding saluran terhadap penggerusan. Hasil perhitungan dimensi kanal yang direncanakan berupa saluran trapesium dengan lebar dasar 20 meter, lebar puncak 48 meter dan tinggi 7 meter, memiliki debit maksimum 473,79 m³/detik, debit aliran normal 249,41 m³/detik, dan debit jagaan 224,38 m³/detik. Kecepatan aliran maksimum adalah 1,99 m/detik, dan kecepatan aliran normal adalah 1,66 m/detik jauh melebihi kecepatan yang diizinkan sebesar 0,002 m/detik, menunjukkan bahwa dinding saluran tidak aman terhadap erosi, sehingga direncanakan perkuatan dengan mempergunakan pasangan batu kosong (riprap) dengan berat butir antara 10-60 kg, lapis pasir kasar dengan tebal 20 cm, dan filter berupa lapis geotekstil dengan bukaan O₉₅ 0,033 mm. Sedangkan perencanaan konstruksi pelindung pantai dilakukan dengan menentukan tinggi gelombang representatif H₁₀, penentuan kondisi gelombang, tinggi muka air rencana, dan penentuan elevasi puncak revetmen. Perencanaan struktur pelindung pantai berupa revetmen dengan tinggi 6.00 meter, kemiringan 1:2, material penyusun blok beton segmental dengan tebal 0,35 meter, lapis pasir kasar dengan tebal 20 cm, dan filter berupa lapis geotekstil dengan bukaan O₉₅ 0,024 mm.

Kata-kata kunci : Perkuatan tebing saluran, pasangan batu kosong (riprap), geotekstil, revetmen, blok beton segmental.

ABSTRACT

Old River Ciujung normalization plan that had sedimentation include retrofitting and construction of protective cliffs line the coast. Reliability studies conducted to determine the channel capacity and speed discharge canal plan, also to know the channel wall of resistance against crushing. The results of calculating the dimensions of the canal is planned to be a trapezoidal channel with base width of 20 meters, 48 meters wide and the peak height of 7 meters, has a maximum discharge m³/second 473.79, 249.41 m³/second normal flow, and discharge surveillance 224.38 m³/second. The maximum flow velocity is 1.99 m / sec, and normal flow velocity is 1.66 m / sec far exceeding the allowed speed of 0.002 m / sec, indicating that the channel walls are not safe against erosion, so the planned retrofitting of masonry using the blank (riprap) weighing between 10-60 kg grain, coarse sand layer with a thickness of 20 cm, and a layer of geotextile filter with 0.033 mm openings O₉₅. While the construction of protective coastal planning is done by determining the representative wave height H₁₀, the determination of wave conditions, water level plan, and determination of peak elevation revetmen. Planning a shore protection structure with a height of 6:00 meters revetmen, 1:2 slope, material constituent segmental concrete block with a 0.35 meter thick, coarse sand layer with a thickness of 20 cm, and a layer of geotextile filter with 0.024 mm openings O₉₅.

Keywords : Strengthening the cliff line, a blank stone masonry (riprap), geotextiles, revetmen, segmental concrete blocks.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai Ciujung yang mengalir melalui Kabupaten Serang memiliki nilai historis yang sangat penting pada tahun 1924, yaitu sebagai jalur pelayaran kapal-kapal dagang yang menuju kota Serang. Karena kondisi muara sungai Ciujung yang berkelok-kelok, maka pemerintah Hindia-Belanda mengalihkan jalur pelayaran dengan cara menyudet aliran sungai Ciujung. Semenjak saat itu, bagian muara sungai yang berkelok menjadi sungai Ciujung Lama atau kali Mati. Walaupun demikian, badan sungai Ciujung

Lama masih dipergunakan oleh kapal-kapal tradisional milik nelayan. Bahkan, wilayah di sekitar Daerah Aliran Sungai Ciujung Lama masih menjadi sentra ikan tangkap dan pertambakan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- 1) Merencanakan struktur tanggul sungai yang tahan erosi yang disebabkan oleh arus sungai dan pengaruh pasang surut air laut di muara sungai.
- 2) Merencanakan struktur pelindung pantai dan muara sungai berupa konstruksi

dinding penahan jenis blok beton segmental, yang didasarkan pada data-data gelombang, arus laut, dan *bathymetri* kawasan muara sungai Cijung Lama.

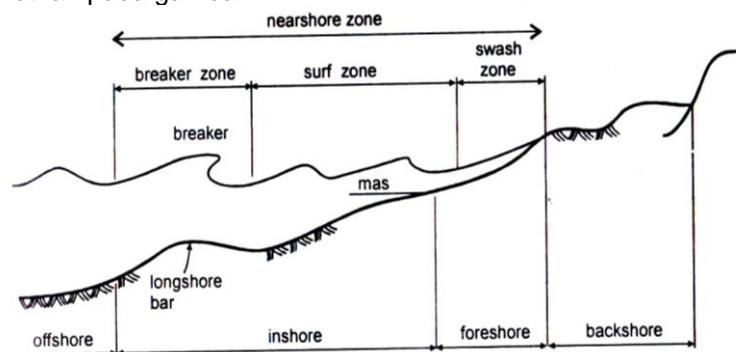
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pantai

Terdapat dua istilah yang sering rancu pemakaiannya, yaitu pesisir (*coast*) dan pantai (*shore*). Pesisir (*coast*) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh dari laut seperti angin laut dan perembesan air laut. Sedang pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak

di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan dimulai dari sisi laut pada saat surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya. Selain itu terdapat istilah garis pantai dan sempadan. Garis pantai adalah garis pertemuan antara daratan dan air laut, sedangkan sempadan pantai adalah kawasan tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi pantai. Kriteria sempadan pantai adalah daratan sepanjang tepian yang lebarnya sesuai dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimal 100 m dari titik pasang tertinggi ke arah daratan. [1]

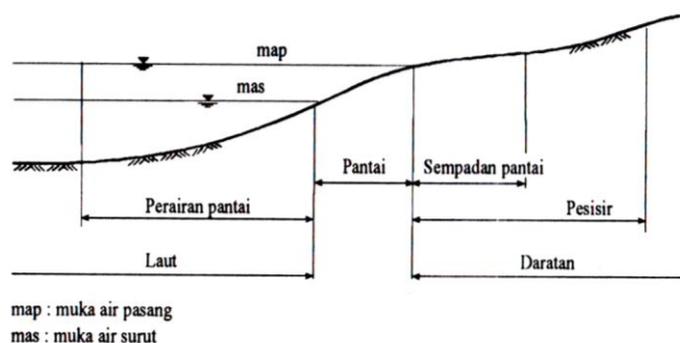
Penjelasan diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Definisi dan batasan pantai

Terdapat pula berbagai definisi yang berkaitan dengan karakteristik gelombang di sekitar pantai, seperti ditunjukkan pada gambar 1. Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk karena pengaruh perubahan kedalaman laut. Berkurangnya

kedalaman laut menyebabkan semakin berkurangnya panjangnya gelombang laut dan bertambah tinggi gelombang. Pada saat kemiringan gelombang (perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang) mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah.



Gambar 2. Karakteristik gelombang di wilayah pantai

2.2 Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menurut gaya pembangkitnya. Gelombang angin dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan

oleh gaya tarik benda-benda langit seperti bulan dan matahari, gelombang tsunami akibat gempa di dasar laut, gelombang yang diakibatkan oleh kapal yang bergerak dan lainnya.

1) Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori gelombang amplitudo kecil diperkenalkan oleh Airy pada tahun 1945. Teori ini diturunkan berdasar persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan dasar laut. Anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut ini. [1]

- Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
- Tegangan permukaan diabaikan.
- gaya Coriolis (gaya akibat perputaran bumi) diabaikan.
- Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
- Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi
- Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeabel sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
- Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
- Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

2) Persamaan Gelombang

Gambar 3 menunjukkan gelombang yang berada dalam sistem koordinat x - y . Gelombang menjalar pada sumbu- x .

Notasi yang dipergunakan adalah:

d : jarak antara muka air merata dan dasar laut (kedalaman laut)

$\eta(x,t)$: fluktuasi muka air terhadap muka air diam

a : amplitudo gelombang

H : tinggi gelombang = $2a$

L : panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan

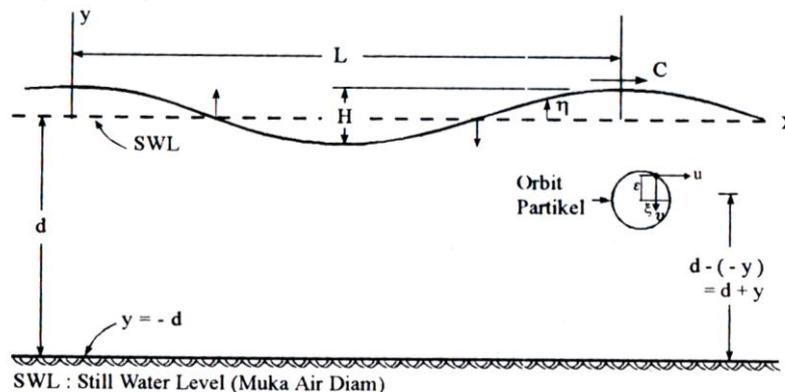
T : periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

C : kecepatan rambat gelombang = L/T

k : angka gelombang = $2\pi/L$

σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$

Dilustrasikan oleh Gambar 3



Gambar 3 Definisi gelombang

Besar potensial kecepatan gelombang di setiap titik yang ditinjau terhadap muka air diam adalah :

$$\varphi = \frac{ag}{\sigma} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \sin(kx - \sigma t) \quad (1)$$

dengan:

- φ : potensial kecepatan
- g : percepatan gravitasi
- σ : frekuensi gelombang
- k : angka gelombang
- d : kedalaman laut
- y : jarak vertikal suatu titik yang ditinjau terhadap kedalaman laut
- x : jarak horizontal
- t : waktu

3) Kecepatan Rambat dan Panjang Gelombang

Untuk gelombang amplitudo kecil, nilai kuadrat frekuensi adalah:

$$\sigma^2 = gk \cdot \tanh(kd) \quad (2)$$

Oleh karena $\sigma = kC$, maka persamaan (2.2) menjadi:

$$C^2 = \frac{g}{k} \cdot \tanh(kd) \quad (3)$$

Jika nilai $k = 2\pi/L$ disubstitusikan dalam persamaan (2.3), didapat:

$$C^2 = \frac{gL}{2\pi} \cdot \tanh(kd) \quad (4)$$

Persamaan (2.4) menunjukkan laju penjalaran gelombang sebagai fungsi kedalaman air (d) dan panjang gelombang.

Jika nilai $k = \sigma/C = (2\pi/T)/C$ disubstitusikan ke dalam persamaan (2.4), akan didapat nilai C sebagai fungsi T dan d .

$$C = \frac{gT}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (5)$$

Dengan memasukkan nilai $k = 2\pi/L$ dan $C = L/T$ ke dalam persamaan (2.5), akan diperoleh panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \cdot \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (6)$$

4) Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air d dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam, yaitu : [1]

- gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
- gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
- gelombang di laut dalam jika $d/L \geq 1/2$

5) Gelombang Pecah

Tinggi maksimum gelombang dibatasi oleh kondisi dimana kecepatan partikel air di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambatnya. Apabila kondisi tersebut terlampaui, maka gelombang akan pecah. [2] Gelombang pecah dipengaruhi oleh perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Pada laut dalam perbandingan tersebut adalah:

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} = 0,142 \quad (7)$$

Apabila gelombang bergerak ke laut dangkal, maka pada suatu titik, gelombang akan pecah. Dimana:

$$\frac{d_b}{H_b} = 1,28 \quad (8)$$

6) Fluktuasi Muka Air Laut

Evaluasi muka air merupakan parameter yang penting dalam perencanaan bangunan pantai. Muka air laut berfluktuasi dengan periode yang lebih besar dari periode gelombang angin. Proses alami yang dapat memicu terjadinya fluktuasi muka air laut diantaranya adalah kenaikan muka air karena gelombang (*wave set-up*), dan pasang surut.

7) Kenaikan Muka Air karena Gelombang

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah, akan terjadi penurunan elevasi muka air laut merata terhadap muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari lokasi gelombang pecah, permukaan air merata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave set-down*,

sedang naiknya muka air disebut *wave set-up*, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.5.

Kedalaman air minimum di lokasi gelombang pecah pada saat *wave set-down* adalah d_b . Perbedaan elevasi muka air rerata dan muka air diam di titik tersebut adalah S_b . Setelah itu muka air naik dan memotong garis pantai. Perbedaan elevasi antara kedua titik adalah *wave set-up* antara daerah gelombang pecah dan pantai diberi notasi ΔS . *Wave set-up* terhadap muka air diam S_w adalah perbedaan antara ΔS dan S_b .

8) Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama bulan dan matahari terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, tetapi karena jaraknya jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi jauh

lebih besar daripada gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari.

Perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan sangat dipengaruhi oleh pasang surut yang terjadi. Sebagai contoh, elevasi puncak pemecah gelombang dan bangunan lainnya ditentukan oleh elevasi muka air pasang, sementara kedalaman alur pelayaran ditentukan oleh muka air surut.

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidaklah sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Terdapat empat jenis pasang surut di Indonesia, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semi diurnal tide*), pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dan pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*).

9) Definisi Elevasi Muka Air

Dalam perencanaan bangunan pantai, diperlukan elevasi yang didasarkan pada data pasang surut, elevasi tersebut adalah :

- Muka air tinggi (*high water level, HWL*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- Muka air rendah (*low water level, LWL*), muka air terendah yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- Muka air tinggi rerata (*mean high water level, MHWL*), rerata dari muka air tinggi dalam periode 19 tahun.
- Muka air rendah rerata (*mean low water level, MLWL*), rerata dari muka air rendah dalam periode 19 tahun.
- Muka air laut rerata (*mean sea level, MSL*), rerata antara muka air tinggi rerata (*MHWL*) dan muka air rendah rerata (*MLWL*).
- Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- Muka air rendah terendah (*lowest low water level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

10) Statistik dan Peramalan Gelombang

Analisa statistik gelombang diperlukan untuk mendapatkan beberapa karakteristik gelombang seperti gelombang representatif (H_1 , H_{10} , H_s , dan sebagainya), probabilitas kejadian gelombang, dan gelombang ekstrim (gelombang dengan periode ulang tertentu). Pencatatan gelombang meliputi tinggi, periode dan arah datangnya gelombang.

Gelombang yang terjadi sepanjang tahun digunakan untuk analisis proses pantai, sedangkan gelombang ekstrim digunakan untuk analisis stabilitas bangunan pantai.

11) Gelombang Representatif

Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai perlu dipilih gelombang representatif, yaitu gelombang individu (*individual wave*) dengan tinggi dan perioda yang dapat mewakili satu spektrum gelombang. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari tinggi ke rendah atau sebaliknya, maka akan ditentukan tinggi H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Bentuk yang paling banyak dipergunakan adalah H_{33} atau tinggi rata-rata dari 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang, yang juga disebut sebagai tinggi gelombang signifikan H_s . [1]

12) Tinggi Gelombang Rencana

Tinggi gelombang rencana tergantung pada jenis konstruksi yang akan dibangun, pedoman yang umum dipergunakan adalah: [2]

- Konstruksi kaku, seperti menara bor lepas pantai, dipergunakan tinggi gelombang maksimum, dengan periode ulang 100 tahun.
- Konstruksi fleksibel, seperti pemecah gelombang, tinggi gelombang rencana dipakai H_s dengan periode ulang yang lebih kecil dari konstruksi kaku. Dalam hal ini pemilihan periode ulang ditinjau dengan analisa ekonomi.
- Konstruksi semi kaku, misal dinding pantai, dipergunakan tinggi gelombang rencana H_{10} .
- Proses tranport sedimen, dipakai tinggi gelombang rencana H_s atau H_{rms} tahunan.

13) Saluran Terbuka

Aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*) adalah aliran dalam saluran terbuka atau tertutup yang mempunyai permukaan bebas, atau memiliki tekanan permukaan sama dengan permukaan atmosfer. Zat cair yang mengalir pada saluran terbuka mempunyai bidang kontak hanya pada dinding dan dasar saluran. Saluran terbuka dapat berupa saluran alamiah dan buatan, dengan material beragam. [3]

14) Perencanaan Saluran Stabil

Faktor utama yang berpengaruh pada perencanaan saluran adalah kecepatan dan tegangan geser. Dalam praktek, tegangan geser sangat susah ditentukan. Oleh karena itu, kecepatan diterima sebagai faktor yang

paling penting dalam perencanaan saluran yang stabil. Jika kecepatan maksimum dipilih sedemikian rupa, sehingga tidak terjadi gerusan (*scouring*) pada kondisi kecepatan sama atau lebih kecil daripada kecepatan maksimum, maka permasalahan dianggap teratasi.

Kecepatan yang diizinkan terkait dengan tekstur tanah dimana saluran tersebut dibangun. Tekstur tanah merupakan perbandingan relatif dari berbagai golongan besar partikel tanah dalam suatu massa tanah, terutama fraksi tanah liat, lempung dan

pasir. Pengelompokkan tekstur tanah menurut USDA dapat dilihat dalam tabel 1. [3]

15) Geometri Penampang Melintang Saluran

Stabilitas dinding saluran trapesium bergantung pada jenis tanah dan kedalaman saluran. Tabel 1 memperlihatkan besar kemiringan dinding saluran yang disarankan oleh USBR.

Tabel 1. Kemiringan Dinding Saluran yang Disarankan oleh USBR

No.	Type Tanah	Nilai m	
		Kedalaman saluran sampai dengan 1,2 m	Kedalaman saluran lebih dari 1,2 m
1	Turf	0	
2	Lempung keras	0,5	1
3	Geluh kelempungan dan geluh keliatan	1	1,5
4	Geluh kepasiran	1,5	2
5	Pasir	2	3

16) Revetmen

Revetmen adalah pelindung tebing yang didesain untuk melindungi dan menstabilisasi suatu lereng yang dipengaruhi oleh arus dan gelombang. Untuk memenuhi fungsi tersebut, perlu diketahui beberapa aspek yang mempengaruhi perencanaan revetmen, yaitu: stabilitas, fleksibilitas, ketersediaan material, kemudahan konstruksi dan perawatan, dan keamanan bangunan.[4]

Terdapat banyak tipe material yang dipergunakan dalam konstruksi revetmen, dan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

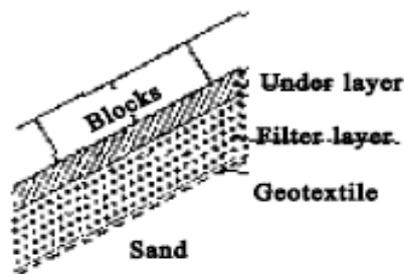
- Batu kosong seragam.
- Unit beton, dapat berupa dolos, tetrapod, tribar, atau quadripod.
- Sistem blok beton segmental, dipergunakan pada lokasi dengan tingkat

gelombang yang tidak terlalu besar, dan dibutuhkan material yang fleksibel.

- Gabion atau bronjong, yaitu anyaman kawat berbentuk kotak yang di dalamnya diisi batu.
- Geotekstil, dan material lain.[4]

17) Sistem Blok Beton Segmental

Sistem blok beton segmental merupakan hasil fabrikasi dan telah digunakan secara luas dalam konstruksi dinding penahan tanah. Blok beton segmental memiliki bentuk yang variatif. Blok beton segmental dapat disatukan dengan sistem *interlock*, menggunakan bahan pengisi (*grouting*), kabel, klip, pin atau pun alat lain



Gambar 4. Aplikasi Tipikal dari Blok Beton Segmental. [5]

Blok beton segmental digunakan secara luas sebagai dinding penahan tanah, proteksi saluran, dan revetmen. Penggunaan blok

beton segmental sebagai revetmen telah diterima di berbagai belahan dunia, karena nilai estesisnya yang tinggi, dan dapat

terintegrasi dengan kawasan sekitarnya, terutama daerah padat penduduk dan lokasi wisata pantai.

18) Geotekstil

Geotekstil dibuat dengan mempergunakan berbagai jenis polimer arifisial. Diantaranya: Polyamide (PA), polyeater (PETP), Polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyvinil chloride (PVC), dan chlorinated

polyethylene (CPE). [4] Produk tipikal dari geotekstil adalah *woven, non-woven* dan *knitted*. [5]

Stabilitas geotekstil sabagai filter ditentukan oleh efektifitas dari bukaan geotekstil dalam menahan butiran tanah. Pada perencanaan lapisan filter geotekstil, dipergunakan nilai O_{95} , yaitu ukuran bukaan efektif dari geotekstil, dimana 95% partikel tanah dapat tertahan.

Tabel 2. Perbandingan Sifat dari Berbagai Jenis Polimer [5]

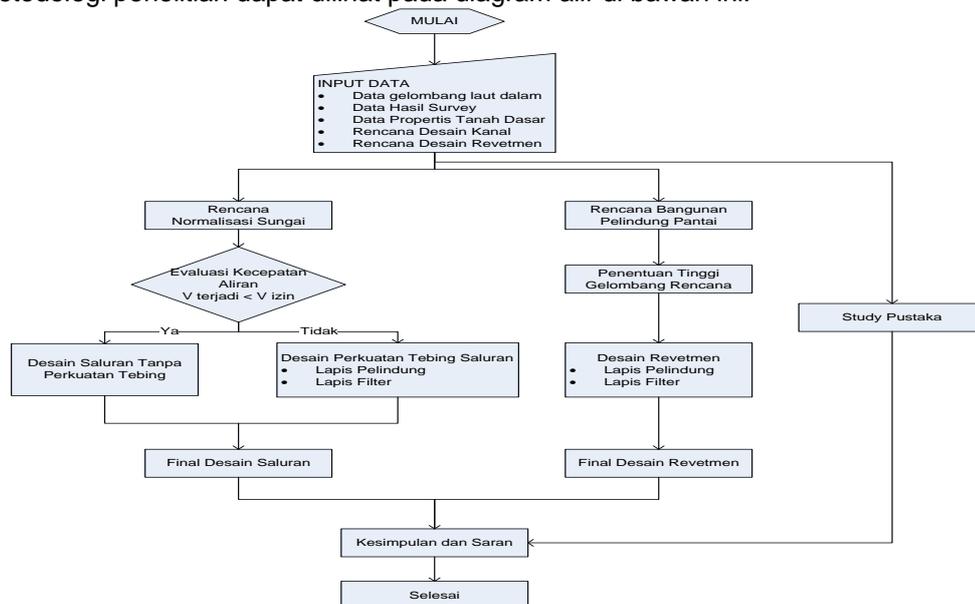
COMPARATIVE PROPERTIES	TYPES OF POLYMER			
	Polyester	Polyamide	Polypropylene	Polyethylene
Strength	H	M	L	L
Elastic modulus	H	M	L	L
Strain at failure	M	M	H	H
Creep	L	M	H	H
Unit weight	H	M	L	L
Cost	H	M	L	L
RESISTANCE TO:				
UV light	Stabilized	H	M	H
	Unstablized	H	M	M
Alkalis	L	H	H	H
Fungus, vermin, insects	M	M	M	H
Fuel	M	M	L	L
Detergents	H	H	H	H

H = High, M = Medium, L = Low

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

4. ANALISIS DATA DAN DESAIN

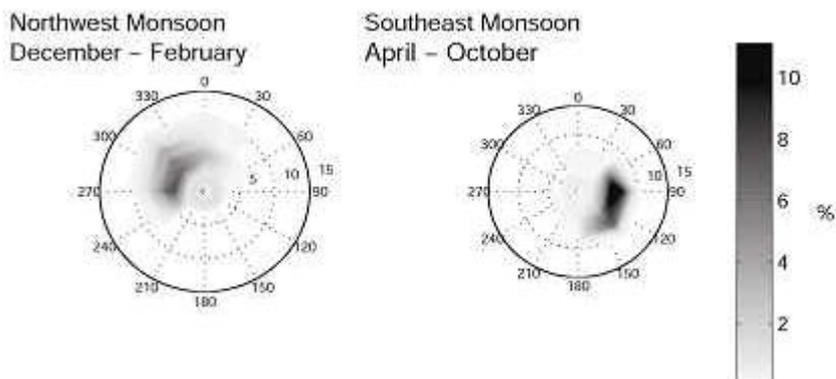
4.1 Tinjauan Kondisi Muara dan Pantai

1) Oseanografi

a) Angin

Sebagai unsur utama penggerak gelombang dan arus di lautan, faktor angin perlu

diperhitungkan dalam perencanaan letak mulut dan jenis konstruksi pelindung muara Sungai Ciujung Lama/Kali Mati. Arah angin dominan yang berhembus disajikan dalam gambar 4.



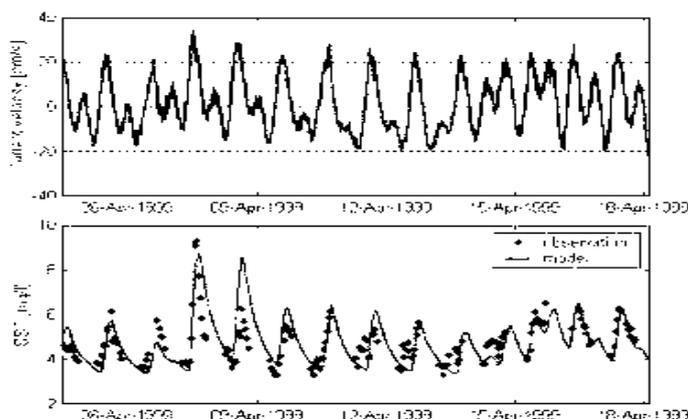
Gambar 4. Angin Dominan Berdasarkan musim di perairan Teluk Banten

Pada umumnya, kemunculan angin ini ditandai dengan gelombang yang cukup besar dan cuaca yang kurang baik bagi kapal-kapal untuk berlayar. Ketinggian gelombang antara 1.5 sampai 2 meter sangat mungkin terjadi pada wilayah perairan Indonesia.

b) Pasang Surut

Dalam merencanakan kedalaman kanal dan ketinggian tanggul, faktor pasang surut merupakan hal yang penting untuk diketahui.

Gambar 5 menunjukkan sebaran pasang surut wilayah perairan Indonesia dan sekitarnya. Dari gambar dapat kita lihat, untuk Laut Jawa secara umum jenis pasang surutnya adalah pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda



Gambar 5. Kondisi Arus dan Sedimen Transport

Hasil pengamatan yang telah dilakukan oleh tim TU-Delft, pada saat pasang kedalaman muara dan laut mencapai 2 meter dan saat

surut 1,2 meter. Dari data tersebut, dapat diperkirakan kedalaman muka air laut rerata (*mean sea level/M.S.L*) berkisar 1,6 meter.

Satu hal yang perlu diperhitungkan juga dalam merencanakan tinggi tanggul adalah faktor *seiches* atau kenaikan muka laut secara tiba-tiba akibat faktor alam. Di wilayah Indonesia, faktor kenaikan muka air laut secara tiba-tiba ini sering disebut dengan banjir rob. Dari warga setempat, tinggi genangan rob berkisar 20 sampai 50 cm.

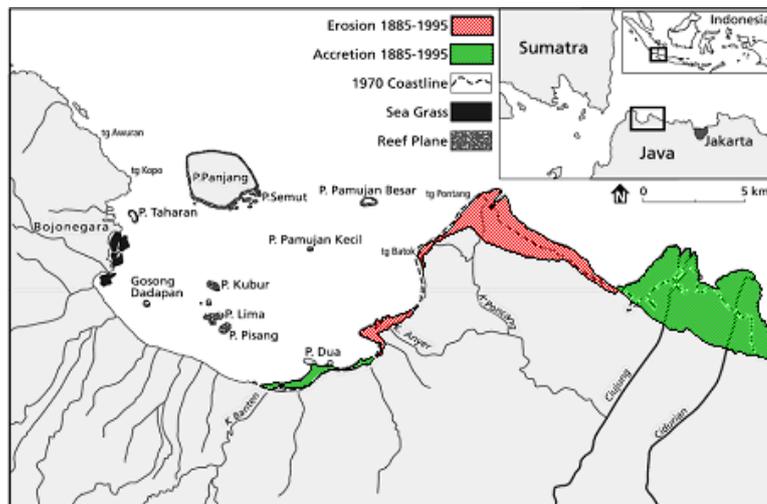
c) Gelombang

Dari hasil pengamatan di Muara Sungai Ciujung/Kali Mati, arah datang gelombang tegak lurus terhadap muara. Pada daerah pantai tipe gelombang pecah adalah tipe *spilling*, hal ini diakibatkan kondisi dasar laut yang merupakan tanah lumpur (*mud*

coast) dan cenderung landai. Periode gelombang pada muara relatif sangat pendek yaitu 5 detik, dengan tinggi gelombang representatif H_{10} adalah 1,22 m. Data gelombang perairan muara Sungai Ciujung Lama dan contoh perhitungan penentuan tinggi gelombang representatif terlampir.

2) Morfologi Pantai

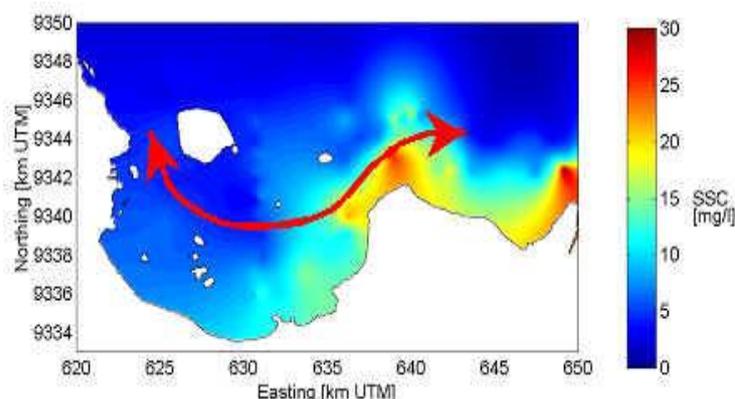
Pantai utara Banten saat ini mengalami kerusakan yang cukup parah, terlebih sejak adanya penambangan pasir di pulau-pulau kecil di sekitar perairan Teluk Banten. Peta erosi dan sedimentasi wilayah pantai utara Banten disajikan pada gambar 6.



Gambar 6 Data erosi dan Akresi Perairan Teluk Banten 1885-1995 (disadur dari T.U. Delft's finished project: Dynamics of suspended sediment in a marginal reef environment)

Wilayah muara Sungai Ciujung Lama/Kali Mati merupakan daerah yang tererosi. Kebalikan dengan muara Sungai Ciujung Baru merupakan daerah akresi

(tersedimentasi). Gambar 4.4 menyajikan besarnya sediment transport yang terjadi dalam batasan *suspended sediment per cubic* (SSC) dengan satuan mg per liter



Gambar 7 Data Erosi dan Akresi Perairan Teluk Banten

Berdasarkan keterangan gambar 7. pada muara Sungai Ciujung Lama laju erosi sangat tinggi, berkisar antara 10-15 mg per liter *suspended sediment contain*, sedangkan sedimentasi di muara Sungai Ciujung Baru berkisar antara 20-30 mg per liter *suspended sediment contain*.

4.2 Rencana Normalisasi Arus Sungai Ciujung Lama

Normalisasi arus sungai diterapkan untuk menyediakan alur pelayaran yang cukup bagi kapal penangkap ikan yang melalui sungai :

Ciujung Lama. Dikarenakan penyebab pendangkalan adalah erosi pada muara, maka diperlukan upaya-upaya untuk mempertahankan kondisi tanggul dan muara sungai, dengan perkuatan tanggul sungai dan pantai.

1) Evaluasi Keandalan Aliran Sungai Ciujung Lama

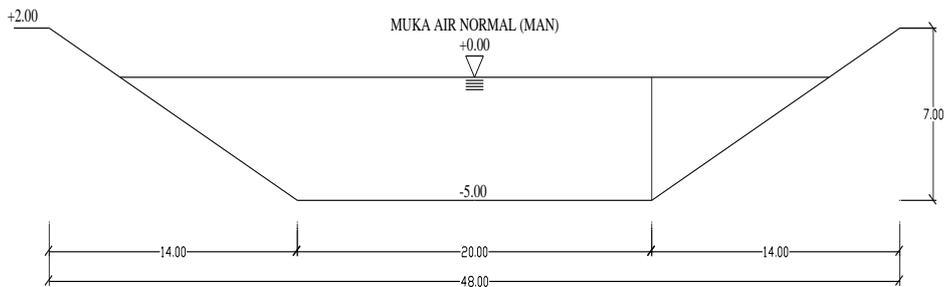
Dari hasil survey yang telah dilaksanakan oleh PT. Samudera Banten Jaya didapatkan data-data sebagai berikut

Tabel 3. Perhitungan debit Andalan

Perhitungan Debit		
$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A$		
Debit Andalan	Qa	
Kecepatan Alir	V	
Pemeriksaan Jenis Aliran dengan Pers. Froude		
$N_f = \frac{V}{\sqrt{gh}}$		
Nf = 0,66 / ((9,81 x 1,5) ^ 1/2)		
Nf = 0,17 (Aliran Sub-kritis)		
Perhitungan Debit Maksimum		
Luas Penampang	A	A = b . h
Keliling Basah	O	O = b + 2 h
Radius Hidrolis	R	R = A / O
$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A$		
Debit Maksimum	Qmax	
Debit Jagaan	DQ	DQ=Qmax-Qa

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa aliran air yang mengalir pada saluran merupakan aliran sub-kritis, sehingga dapat terjadi proses sedimentasi.

2) Dimensi Rencana Kanal



Gambar 8 Rencana Penampang Kanal

Tabel 4. Perhitungan saluran

Saluran Trapesium			
Lebar Dasar Kanal	b		20.00 m
Lebar Puncak Kanal	a		48.00 m
Tinggi Kanal	h		5.00 m
Tinggi Jagaan	w		2.00 m
Panjang Sisi Miring			15.65 m
Kemiringan Dasar Saluran	i		0.000461

Maka

Luas Penampang	A	$A = h/2 \cdot (a+b)$	238.00 m ²
Keliling Basah	O	$O = b + 2 h$	51.31 m
Radius Hidrolis	R	$R = A / O$	4.64

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A$$

Debit Maksimum	Qmax		473.79 m ³ /s
Kecepatan Alir	V		1.99 m/s

Perhitungan Debit Normal Saluran Traperium

Lebar Dasar Kanal	b		20.00 m
Lebar Puncak Kanal	a		40.00 m
Tinggi Kanal	h		5.00 m
Panjang Sisi Miring			11.18 m
Kemiringan Dasar Saluran	i		0.000461

Maka

Luas Penampang	A	$A = h/2 \cdot (a+b)$	150.00 m ²
Keliling Basah	O	$O = b + 2 h$	42.36 m
Radius Hidrolis	R	$R = A / O$	3.54

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \cdot A$$

Debit Normal	Qmax		249.41 m ³ /s
Kecepatan Alir	V		1.66 m/s

Debit Jagaan	DQ	$DQ = Q_{max} - Q_a$	224.38 m ³ /s
--------------	----	----------------------	--------------------------

3) Desain Struktur Perkuatan Tebing Saluran

Dari hasil survey yang telah dilaksanakan, diketahui bahwa tanah asli merupakan jenis lempung sedang dengan nilai $D_{50} = 0,024$ mm, dan massa jenis (ρ) = 1,8 ton/m³. Dengan mempergunakan formula Mavis, maka kecepatan alir maksimum:

$$v_b = \frac{1}{2} D^{4/9} \sqrt{\frac{\rho_s}{\rho} - 1} \quad (9)$$

$$v_b = \frac{1}{2} \cdot 0,024^{4/9} \cdot \sqrt{\frac{1,8}{1} - 1}$$

$$v_b = 0,08 \text{ ft} / \text{s}$$

$$v_b = 0,002 \text{ m} / \text{s}$$

Dikarenakan kecepatan alir rencana pada saluran adalah 1,67 m/detik, maka akan terjadi penggerusan (*scouring*). Dengan demikian diperlukan suatu sistem proteksi tebing saluran.

Diasumsikan jenis batuan adalah kerakal dengan ukuran butir > 100 mm atau 10 cm, yaitu batu bongkah dengan grade 10-60 kg, memberikan $D_{50} = 0,23$ m = 230 mm, rapat jenis (ρ_s) = 2,65 ton/m³, sehingga batas kecepatan maksimum menjadi:

$$= \frac{1}{2} \times (500)^{4/9} \times ((2,65/1) - 1)^{1/2} = 7,2 \text{ ft/dtk} = 2,2 \text{ m/dtk}$$

Kecepatan maksimum yang diijinkan lebih besar dari kecepatan aktual saluran.

Filter diperlukan untuk mencegah keluarnya butiran halus tanah, mengingat pasangan batu kosong terdiri dari batuan yang berdiameter besar. Syarat filter harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

a. stabilitas interface : $D_{15f}/D_{85b} < 5$

b. stabilitas internal : $D_{60}/D_{10} \leq 10$

c. stabilitas permeabilitas : $D_{15f}/D_{15b} > 5$

Bila pasir kasar digunakan sebagai filter, dengan ukuran butiran sebagai berikut:

$$D_{10} = 180-220 \mu\text{m}$$

$$D_{15} = 200-240 \mu\text{m}$$

$$D_{50} = 450-500 \mu\text{m}$$

$$D_{85} = 600-700 \mu\text{m}$$

Untuk pasangan batu kosong *grade* 10-60 kg

$$D_{15} = 0,15 \text{ m}$$

$$D_{50} = 0,23 \text{ m}$$

$$D_{85} = 0,28 \text{ m}$$

Dengan demikian

$$\text{Stabilitas interface} : D_{15f}/D_{85b} = 0,22/28 = 0,007 < 5$$

$$\text{Stabilitas permeabilitas} : D_{15f}/D_{15b} = 0,22/23 = 0,009 < 5$$

Pasir kasar tidak cocok untuk dijadikan filter, oleh karena itu penggunaan geotekstil perlu dipertimbangkan.

Dikarenakan geotekstil berfungsi sebagai filter antara lapis batu kosong, dengan mempergunakan diagram alir dari Groud (1988) [4], maka lapis geotekstil pada lapis antara pasir dan tanah dasar dapat didesain sebagai berikut:

$$C'u = \sqrt{\frac{d'_{100}}{d'_0}} \tag{10}$$

$$Cc = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \cdot d_{10}} \tag{11}$$

$$C'u = (0,031/0,016)^{1/2} = 1,39$$

$$Cc = (0,022)^2 / (0,026 \times 0,019) = 0,97$$

Maka tanah termasuk golongan tanah seragam, dan lepas, sehingga dipakai ukuran bukaan geotekstil (O_{95}) < $C'u \cdot D'_{50}$

$$(O_{95}) < (1,39 \cdot 0,024) = 0,033 \text{ mm}$$

Menurut Verhagen, apabila media saluran tidak mengakibatkan gaya geser yang besar, dalam hal ini pasir lepas, maka dapat diterapkan geotekstil dengan properti sebagai berikut:

Tabel 5. Properti Geotekstil untuk Filter Saluran

Grab strength	80 lbs
Sewn seam strenght	70 lbs
Puncture strenght	25 lbs
Burst strenght	130 psi
Trapezoid tear	25 lbs

Dengan demikian, dipergunakan pelindung tebing saluran berupa material batu kosong (*riprap*) dengan berat butir antara 10-60 kg, lapis pasir kasar dengan tebal 20 cm, dan filter berupa lapis geotekstil dengan bukaan O_{95} 0,033 mm.

4.3 Desain Struktur Perlindungan Muara

Revetmen yang direncanakan akan dibangun pada kedalaman 1,00 meter. Kemiringan dasar laut 1:50. Tinggi gelombang adalah 1,22 meter dengan periode 5 detik. Koefisien refraksi $K_r = 1$. Dari pengamatan di lapangan, didapat beberapa elevasi muka air, yaitu $MHWL = +2,00$ meter, $MSL = 1,60$ meter dan $MLWL = +1,20$ meter. Dengan demikian, kedalaman air di lokasi bangunan berdasar HWL dan LWL adalah:

$$D_{HWL} = 2,00 \text{ m} - (-1,00 \text{ m}) = +3,00 \text{ m}$$

$$D_{LWL} = 1,20 \text{ m} - (-1,00 \text{ m}) = +2,20 \text{ m}$$

$$D_{HWL} = 1,60 \text{ m} - (-1,00 \text{ m}) = +2,60 \text{ m}$$

1) Penentuan Kondisi Gelombang

Prosedur awal yang dilakukan adalah menyelidiki kondisi gelombang di lokasi rencana struktur revetmen, dengan mempergunakan Gambar 2.5 dan 2.6 untuk kemiringan dasar laut 1:50

$$L_0 = 1,56 T^2 = 39 \text{ m} \rightarrow \frac{d}{L_0} = \frac{3,00}{39} = 0,0769 \text{ m}$$

Dari Lampiran A didapat $\frac{d}{L} = 0,12368, K_s = 0,9592$

$$H_0 = \frac{H_1}{K_s \cdot K_r} = \frac{3,00}{0,9592 \cdot 1} = 3,1276$$

Tinggi gelombang ekuivalen : $H'_0 = K_r \cdot H_0 = 1,3 \cdot 3,1276 = 3,2176$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{3,2176}{9,8.5^2} = 0,0131$$

Dari gambar. 3.13 didapat: $\frac{H_b}{H'_0} = 0,85 \rightarrow H_b = 0,85 \cdot 3,2176 = 2,7350$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,7350}{9,8.5^2} = 0,0112$$

Dari gambar. 3.14 didapat: $\frac{d_b}{H_b} = 1,25 \rightarrow d_b = 1,25 \cdot 2,7350 = 3,4187m$

Jadi gelombang pecah terjadi pada kedalaman 3,42 meter. Karena $d_b > D_{HWL} > D_{LWL}$ maka gelombang telah pecah sebelum mencapai lokasi struktur revetmen.

2) Penentuan Tinggi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dipengaruhi oleh tinggi gelombang, pasang surut, dan *wave set-up*. *Set-up* gelombang dihitung mempergunakan pers. (2.17), dengan nilai $H_b = 2,7350$.

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b$$

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{2,7350}{9,8.5^2}} \right] 2,7350$$

$$S_w = 0,367m$$

Maka, tinggi muka air rencana (*Design Water Level, DWL*) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$DWL = MHWL + S_w$$

$$DWL = 2,00 + 0,367$$

$$DWL = 2,37meter$$

3) Penentuan Elevasi Puncak Revetmen

Elevasi puncak revetmen dihitung berdasar tinggi *Run-up*. Kemiringan sisi revetmen ditetapkan 1:2.

Tinggi gelombang di laut dalam:

$$L_0 = 1,56 T^2 = 1,56 \cdot 5^2 = 39 m$$

$$\text{Bilangan Iribaren } I_r = \frac{\tan \theta}{(H/L_0)^{0,5}} = \frac{0,5}{(1,22/39)^{0,5}} = 2,8269$$

Dihitung nilai *run-up*, $R_u/H=2,50$, maka $R_u=1,22 \times 2,50 = 3,05$ meter.

Dengan demikian, elevasi puncak revetmen dapat ditentukan dengan mempergunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{Elevasi.puncak} = DWL + R_u + \text{tinggi.jagaan}$$

$$\text{Elevasi.puncak} = 2,37 + 3,05 + 0,50$$

$$\text{Elevasi.puncak} = 5,92meter$$

Sehingga, tinggi puncak revetmen adalah 6,00 meter.

4) Lapis Penutup (*armour units*)

Revetmen direncanakan menggunakan sistem blok beton segmental. Untuk menentukan tebal blok beton yang akan dipergunakan, formula yang dikembangkan oleh Technical Advisory Committee on Water Defences (TAW), dapat diterapkan: [6]

$$\frac{H_s}{\Delta_m D} = \frac{6}{\xi_{opt}^{2/3}} \quad (12)$$

Dengan

Δ_m = kepadatan relatif sistem, $\Delta_m = (\rho_c - \rho) / \rho$

D = tebal blok beton segmental (m)

Hs = tinggi gelombang signifikan

ξ = indeks keseragaman, dimana:

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_{op}}}} \quad (13)$$

Dengan

α = kemiringan lereng ($^\circ$)

L_{op} = panjang gelombang di laut dalam (m), $L_{op} = 1,56 T_p^2$

T_p = periode gelombang (detik)

Tabel 6. Perhitungan Tebal Sistem Blok Revetmen

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Hs	1,22	m
2	Tp	5	detik
3	α	27	$^\circ$
4	ρ beton	2400	kg/m3
5	ρ	1025	kg/m3
6	Lop	39,00	m
7	Hs/Lop	0,03	
8	$(Hs/Lop)^{0,5}$	0,17	
9	ξ_{op}	3,00	
10	$(\xi_{op})^{2/3}$	2,08	
11	α	1,34	
12	D	0,32	m

Sebagai lapis penutup dapat dipergunakan blok beton segmental dengan ketebalan 0,35 m.

5) Lapis Geotekstil

Penggunaan geotekstil dalam revetmen berfungsi sebagai filter antara lapis penutup berupa sistem blok beton segmental dan lapis tanah asli berupa lempung dengan nilai $D_{50} = 0,024$ mm, dengan mempergunakan diagram alir dari Heerten (1985) [2], maka lapis geotekstil pada lapis antara pasir dan tanah dasar dapat didesain sebagai berikut:

$$Cu = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (14)$$

$$Cu = (0,024/0,019) = 1,37$$

Maka tanah termasuk golongan tanah seragam, dan lepas. Selain itu, tanah mengalami serangan gelombang, maka diperlukan geotekstil dengan ukuran bukaan (O_{95}) < d_{50} . (O_{95}) < 0,024 mm.

Dalam fungsinya sebagai filter pada sistem blok beton segmental, maka dapat diterapkan geotekstil dengan properti sebagai berikut:

Tabel 7. Properti Geotekstil untuk Revetmen

Grab strength	90 lbs
Elongation	15%
Sewn seam strenght	80 lbs
Puncture strenght	40 lbs
Burst strenght	140 psi

Trapezoid tear	30 lbs
----------------	--------

Dengan demikian, direncanakan revetmen dengan elevasi puncak 6,00 meter, dengan material penyusun blok beton segmental dengan tebal 0,35 meter, lapis pasir kasar dengan tebal 20 cm, dan filter berupa lapis geotekstil dengan bukaan O_{95} 0,024 mm.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Ditinjau dari hasil perencanaan bangunan pelindung pantai dan proteksi tebing saluran yang telah dilaksanakan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dimensi kanal yang direncanakan berupa saluran trapesium dengan lebar dasar 20 meter, lebar puncak 48 meter dan tinggi 7 meter, memiliki debit maksimum 473,79 $m^3/detik$, debit aliran normal 249,41 $m^3/detik$, dan debit jagaan 224,38 $m^3/detik$. Kecepatan aliran maksimum adalah 1,99 m/detik, dan kecepatan aliran normal adalah 1,66 m/detik.
- 2) Kecepatan alir rencana pada saluran jauh melebihi kecepatan alir maksimum yang disarankan untuk jenis tanah dasar, yakni

sebesar 0,002 m/detik, sehingga direncanakan perkuatan tebing saluran dengan mempergunakan pasangan batu kosong (*riprap*) dengan berat butir antara 10-60 kg, lapis pasir kasar dengan tebal 20 cm, dan filter berupa lapis geotekstil dengan bukaan O_{95} 0,033 mm.

- 3) Untuk melindungi wilayah muara pantai dari erosi, direncanakan konstruksi revetmen dengan elevasi puncak 6.00 meter, dan kemiringan dinding 1:2. Material penyusun revetmen berupa blok beton segmental dengan tebal 0,35 meter, lapis pasir kasar dengan tebal 20 cm, dan filter berupa lapis geotekstil dengan bukaan O_{95} 0,024 mm.

5.2 Saran

Ditinjau dari hasil perencanaan bangunan pelindung pantai dan proteksi tebing saluran yang telah dilaksanakan, dapat disarankan bahwa perencanaan struktur proteksi tebing saluran dan konstruksi pelindung pantai dapat diaplikasikan di muara Sungai Ciujung Lama, Kab. Serang.