



MANUAL

No : 003/PW / 2004

Perencanaan bangunan pengaman gerusan
pantai untuk konstruksi jalan dan jembatan

SALINAN

TERKENDALI



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
DIREKTORAT JENDERAL PRASARANA WILAYAH

PRAKATA

Dalam rangka mendukung terwujudnya peningkatan kualitas pelaksanaan pembangunan dibidang prasarana jalan agar diperoleh hasil yang tepat mutu, tepat waktu dan tepat biaya diperlukan aturan yang berupa NSPM (Norma, Standar, Pedoman, dan Manual) di bidang prasarana jalan.

Dengan diterbitkannya buku Manual Perencanaan Bangunan Pengaman Gerusan Pantai untuk Konstruksi Jalan dan Jembatan ini, diharapkan dapat menambah pengetahuan dan wawasan para perencana, pengawas maupun pelaksana mengenai perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai untuk konstruksi jalan dan jembatan.

Apabila dalam pelaksanaannya dijumpai kekurangan / kekeliruan dari pedoman ini, akan dilakukan penyempurnaan di kemudian hari.

Jakarta, Oktober 2004

Direktur Jenderal Prasarana Wilayah



Hendrianto ANOsoegondo

PENDAHULUAN

Konstruksi jalan dan jembatan yang ada di Indonesia pada umumnya berada didaerah-daerah yang rawan terhadap gerusan air. Akibatnya banyak jalan dan jembatan mengalami kerusakan yang sangat cepat karena "digerogoti" oleh air tersebut seperti jalan ambles dan longsor, jembatan rubuh/patah atau bahkan putus, disamping banyaknya jalan yang dibangun di sisi maupun pada posisi melintang aliran air.

Pada beberapa pantai terjadi proses penggerusan dasar dan tebing yang sangat aktif sehingga dapat menimbulkan kelongsoran tebing pantai dan hal ini tentu saja membahayakan keamanan jalan. Penggerusan terjadi juga pada pilar dan *abutment* jembatan. Apabila penggerusan ini tidak diatasi atau ditanggulangi dengan cepat akan menimbulkan masalah terhadap keamanan jalan dan jembatan. Oleh karenanya, pemahaman mengenai sebab-sebab terjadinya kelongsoran tebing pantai dan gerusan pada pilar dan *abutment* jembatan, serta cara-cara penanggulangannya menjadi penting, khususnya pada pantai-pantai yang berdekatan dengan jalan. Penggerusan tebing dan dasar merupakan proses-proses yang berkaitan dengan kestabilan pantai.

Untuk mempelajari kestabilan suatu pantai, perlu diperhatikan beberapa hal berikut:

- Pantai merupakan salah satu sub-sistem dari suatu sistem daerah pengaliran, sehingga perilaku pantai dipengaruhi oleh perubahan-perubahan pada daerah pengalirannya,
- Sistem pantai bersifat dinamik dan berperilaku sangat kompleks,
- Kondisi batas geomorfik (*Geomorphic threshold*) ada dan bila hal ini dilampaui dapat menimbulkan perubahan-perubahan yang kadang-kadang sulit dibayangkan (*absurd*), dan
- Analisis geomorfik memberikan gambaran tentang perubahan-perubahan di masa lalu dan dimasa datang.

Disamping itu, perencanaan dan pembangunan jalan dan jembatan terkadang kurang memperhatikan dan memperhitungkan karakteristik air yang ada disekitar lokasi

D A F T A R I S I

	Prakata	i
	Pendahuluan	ii
	Daftar Isi	iv
BUKU 1	UMUM	
1.	Ruang Lingkup	1-1
2.	Acuan.....	1-2
3.	Istilah dan Defenisi	1-3
4.	Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya gerusan sungai	1-18
4.1.	Pendahuluan	1-18
4.2.	Proses gerusan secara alami	1-18
4.3	Gerusan akibat tindakan manusia	1-21
BUKU 2	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL	
1.	Umum	2-1
2.	Konsep desain.....	2-3
2.1.	Tinggi muka air rencana	2-3
2.2.	Tinggi gelombang rencana.....	2-3
2.3.	Gelombang pecah	2-4
2.4.	Tinggi bangunan pengaman	2-5
2.5.	Gelombang merambat ke atas bangunan pengaman	2-5
2.6.	Gelombang meloncat	2-5
2.7.	Stabilitas lapisan	2-6
2.8.	Tebal lapisan	2-7
2.9.	Pelindung kaki dan filter	2-8
2.10.	Gaya gelombang	2-8
3.	Metode perencanaan.....	2-10
3.1.	Pemilihan tipe pengaman	2-12
3.2.	Perencanaan <i>Revetment / seawall</i>	2-12
3.3.	Pemasangan filter	2-12
3.4.	Estimasi <i>run-up</i> gelombang	2-13
3.5.	Pengaman gerusan pada kaki <i>Revetment</i>	2-13
3.6.	Perhitungan stabilitas	2-13
BUKU III	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD	
1.	Umum	3-1
2.	Konsep desain	3-2
2.1.	Tinggi muka air rencana	3-2
2.2.	Tinggi gelombang rencana	3-2
2.3.	Gelombang pecah	3-3

2.4.	Tinggi bangunan pengaman	3-4
2.5.	Gelombang merambat ke atas bangunan pengaman	3-4
2.6.	Gelombang meloncat (<i>Wave Overtopping</i>)	3-4
2.7.	Stabilitas lapisan	3-5
2.8.	Tebal Lapisan	3-6
2.9.	Pelindung kaki dan filter	3-7
2.10.	Gaya gelombang	3-7
3.	Metode Perencanaan	3-9

BUKU 4 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN

1.	Umum	4-1
2.	Konsep desain	4-2
2.1.	Desain fungsi	4-2
2.2.	Desain untuk memenuhi fungsi	4-4
2.3.	Desain struktur	4-5
3.	Metode perencanaan	4-6
3.1.	Penentuan pola arus dan pergerakan sedimen	4-7
3.2.	Penempatan / <i>lay out</i> posisi <i>groin</i>	4-7
3.3.	Ukuran material <i>groin</i>	4-8
3.4.	Perhitungan <i>run-up</i> gelombang	4-9
3.5.	Perhitungan stabilitas	4-9

BUKU 5 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER

1.	Umum	5-1
2.	Parameter desain dan efek struktur	5-2
2.1.	Panjang pantai yang akan dilindungi	5-2
2.2.	Tipe konstruksi	5-2
2.3.	Elevasi puncak	5-2
2.4.	Sirkulasi arus dan modifikasi arus	5-2
2.5.	Efek pada lingkungan gelombang	5-2
2.6.	Efek pada transportasi sedimen pantai	5-3
2.7.	Efek pada transportasi sedimen pada tepi pantai dan tengah laut....	5-3
3.	Desain untuk memenuhi tujuan fungsi	5-3
4.	Hubungan empiris untuk desain breakwater	5-4
5.	Metode Perencanaan	5-11
5.1.	Koleksi data dan pemilihan tipe <i>breakwater</i>	5-13
5.2.	Hitung tinggi gelombang rencana	5-13
5.3.	Penentuan elevasi muka air untuk memperkirakan <i>overtopping</i>	5-13
5.4.	Perhitungan <i>run up</i> gelombang	5-13
5.5.	Pemilihan tipe batu pelapis (<i>armor unit</i>)	5-14
5.6.	Penentuan berat satuan <i>armor</i> optimum dan kemiringannya	5-14
5.7.	Perhitungan berat satuan <i>armor</i> untuk puncak (<i>crest</i>)	5-14
5.8.	Berat batu untuk lapisan pertama di bawah lapisan atas (<i>first under layer stone weight</i>)	5-14
5.9.	Berat batu untuk lapisan kedua di bawah lapisan atas (<i>second under layer stone weight</i>)	5-15

5.10.	Berat material inti (<i>core material weight</i>)	5-15
5.11.	Ketebalan lapisan <i>ar mor</i> dan lapisan di bawahnya	5-15
5.12.	Penentuan lantai kerja (<i>bedding layer</i>)	5-15
5.13.	Perhitungan stabilitas	5-15

BUKU 6 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE

1.	Umum	6-1
2.	Parameter desain	6-2
2.1.	Durabilitas (ketahanan)	6-2
2.2.	Kekuatan dan ketahanan terhadap gerusan	6-2
2.3.	Material penutup	6-3
2.4.	Pengait (<i>Anchorage</i>).....	6-3
3.	Kondisi konstruksi	6-3
4.	Metode perencanaan	6-5

BUKU 7 LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS

1.	Metode perlindungan pantai	7-1
1.1.	Pendahuluan	7-1
1.2.	Mekanisme penggerusan pantai	7-1
1.3.	Peramalan gerusan akibat aksi gelombang arah tegak lurus pantai (<i>offshore-onshore</i>)	7-2
1.3.1.	Peramalan gerusan sebelum adanya bangunan pantai	7-2
1.3.1.1.	Persamaan konservasi	7-3
1.3.1.2.	Hubungan angkutan <i>loop</i> tertutup	7-4
1.3.1.3.	Hubungan angkutan <i>loop</i> terbuka	7-4
1.3.1.4.	Erosi dan perubahan garis pantai	7-5
1.4.	Peramalan gerusan sesudah adanya bangunan pantai	7-6
1.4.1.	Gerusan pada dinding vertikal	7-6
1.4.1.1.	Gelombang tak pecah	7-7
1.4.1.2.	Gelombang pecah	7-11
1.4.1.2.1.	Rule of thumb	7-11
1.4.2.	Gerusan pada bangunan yang miring	7-13
1.4.2.1.	Rule of thumb	7-13
1.4.3.	Gerusan pada kepala <i>backwater</i> miring	7-14
1.5.	Peramalan gerusan akibat angkutan sedimen sejajar pantai (<i>longshore transport</i>)	7-14
2.	Alternatif penanggulangan penggerusan pantai	7-15
2.1.	Revetment	7-19
2.2.	Seawall	7-21
2.3.	Bulkhead.....	7-24
2.4.	Breakwater	7-26
2.5.	Groin	7-29
3.	Perlindungan dan stabilitas tapak (<i>Toe</i>)	7-33
3.1.	Umum	7-33
3.2.	Stabilitas <i>Toe</i> untuk gelombang	7-37
3.2.1.	Konsep untuk gelombang teratur	7-37
3.2.2.	Konsep untuk gelombang tidak teratur	7-38

4.	Contoh perhitungan	7-40
4.1	Contoh perhitungan erosi dan perubahan garis pantai	7-40
4.2.	Contoh perhitungan gerusan pada kaki revetment	7-43
4.3.	Contoh desain untuk pengamanan pantai (revetment, seawall, bulkhead)	7-44
4.4.	Perencanaan bulkhead	7-48
4.5.	Contoh penerapan groin di pantai	7-52

SALINAN

BUKU 1

SALIMAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan

BUKU 1

Umum



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

BUKU 1 UMUM

1.	Ruang Lingkup	1-1
2.	Acuan.....	1-2
3.	Istilah dan Defenisi	1-3
4.	Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya gerusan sungai	1-18
4.1.	Pendahuluan	1-18
4.2.	Proses gerusan secara alami	1-18
4.3	Gerusan akibat tindakan manusia	1-21

BUKU 2 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL

BUKU 3 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD

BUKU 4 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN

BUKU 5 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER

BUKU 6 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE

BUKU 7 LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

1. RUANG LINGKUP

Buku ini merupakan manual yang menerangkan tentang hal-hal yang berkaitan dengan perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai, pada lokasi dimana terdapat jalan atau jembatan. Isi manual ini menjelaskan secara detail tentang proses perencanaan perlindungan pantai terhadap konstruksi jalan dan jembatan, metode perlindungan pantai, prinsip-prinsip dan ketentuan mengenai perencanaan *revetment*, *seawall*, *bulkhead*, *groin* serta *breakwater*, yang dibagi kedalam beberapa buku:

BUKU I bersifat umum yang memuat didalamnya ruang lingkup, acuan, istilah dan definisi, serta faktor-faktor utama yang mempengaruhi terjadinya gerusan pantai

Buku II "PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN PENGAMAN TERHADAP GERUSAN PANTAI DENGAN PENGAMAN TEBING (REVELMENT/SEAWALL) UNTUK PEKERJAAN JALAN DAN JEMBATAN", akan diulas mengenai struktur bangunan pengaman tebing untuk jalan dan jembatan terhadap bahaya erosi dan melindungi pantai dari bahaya gelombang.

BUKU III "PERENCANAAN TRUKTUR BANGUNAN PENGAMAN TERHADAP GERUSAN PANTAI DENGAN BULKHEAD UNTUK PEKERJAAN JALAN DAN JEMBATAN" akan mengulas tentang perencanaan struktur bangunan pengaman terhadap terhadap pantai dengan bulkhead untuk pekerjaan jalan dan jembatan yang umumnya biasa ditempatkan pada tebing, jurang pantai, daerah timbunan pantai penahan geseran dinding pantai serta melindungi dari bahaya gelombang.

BUKU IV "PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN PENGAMAN TERHADAP GERUSAN PANTAI DENGAN GROIN UNTUK PEKERJAAN JALAN DAN JEMBATAN" mengulas mengenai struktur penghalang yang menyerupai jejari

yang biasanya dibangun tegak lurus terhadap garis pantai yang berfungsi untuk menahan erosi serta untuk mengontrol gerakan muatan dasar.

BUKU V " PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN PENGAMAN TERHADAP GERUSAN PANTAI DENGAN BREAKWATER UNTUK PEKERJAAN JALAN DAN JEMBATAN mengulas mengenai struktur permanen atau mengambang untuk melindungi daerah pantai, pelabuhan, atau suatu tampungan yang meredam gelombang.

*BUKU VI " PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN PENGAMAN TERHADAP GERUSAN PANTAI DENGAN GEOTEXTILE UNTUK JALAN DAN JEMBATAN" mengulas tentang Geotekstil yang digunakan untuk mengendalikan gerusan di jalan yang berada dekat sungai. Geotekstil biasanya digunakan bersamaan dengan jenis pengaman gerusan jalan lainnya, seperti *riprap*. Geotekstil berbentuk bahan yang tersusun dengan bentuk anyaman tertentu sesuai dengan fungsinya.*

BUKU VII "LAMPIRAN DAN BEBERAPA CONTOH KASUS" memuat tentang kasus-kasus yang terjadi akibat gerusan air sungai dengan penanganan yang dilakukan.

2. ACUAN

1. EM 1110-4-4904, Design of Breakwaters and Jetties, Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 40414-1000, 1986.
2. EM 1110-4-1617, Coastal Groins and Nearshore Breakwaters, Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 40414-1000, 1994.
3. EM 1110-4-1614, Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Design (Engineering and design), Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 40414-1000, 1995.
4. EM 1110-4-1100, Coastal Engineering Manual (CEM), Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 40414-1000, 4004.

3. ISTILAH DAN DEFINISI

3.1

akresi (*accretion*):

Gerakan ke arah luar dari tebing atau proses sedimentasi pantai. Dapat juga dikatakan sebagai penambahan atau perluasan dasar pantai akibat aksi dari gaya alam.

3.2

agradasi:

Proses pada saat elevasi dasar meningkat akibat pengendapan sedimen tambahan yang dibawa oleh arus atau gelombang (kebalikan degradasi).

3.3

aluvial:

Bahan dasar yang terbawa arus pada lokasi dan disepanjang alur.

3.4

armor :

Permukaan buatan untuk dasar, tebing, pantai atau bahan timbunan untuk menahan erosi atau gerusan.

3.5

avulsi:

1. Sebuah pemisah permanen, juga sebuah rekahan.
2. Pemindahan mendadak dari tanah dari tempat awal ketempat lainnya, juga sebagai perubahan mendadak pada sebuah bidang sungai.

3.6

lapisan belakang (*backing layer*):

Lapisan dari susunan batuan antara batuan *riprap* dan lapisan buatan dibawahnya atau lapisan penyaring untuk menahan aliran butir tanah atau bahan lapisan penyaring antara pada *riprap*.

3.7

backshore:

Zona pantai atau pantai yang terletak antara mulut pantai dan garis pantai yang dipengaruhi gelombang hanya pada saat adanya badai.

3.8

backwater :

Suatu elevasi ketinggian yang tidak alamiah pada aliran yang disebabkan oleh penyempitan atau jebakan/tahanan pada aliran, seperti pada bendungan, jembatan atau tebing.

3.9

penyangga (*Baffle*):

Suatu tiang, pusaran, ambang, pagar, dinding atau gundukan yang dibangun pada dasar aliran untuk mengelakkan, membelokkan, menahan, atau mengarahkan aliran atau mengurangi arus melintang atau arus gelombang.

3.10

tebing saluran (*Bank*):

Batas lateral dari aliran tertentu pada aliran air. Tebing sisi bagian kiri saluran kearah hilir dinyatakan sebagai tebing kiri saluran.

3.11

perlindungan tebing:

Merupakan *revetment*, perlindungan menggunakan *armor* lainnya untuk tebing pada saluran dari bahaya erosi, termasuk bangunan lain yang digunakan guna mengelak dan mengarahkan gaya erosi yang membentur tebing saluran.

3.12

basin:

1. Daerah tangkapan aliran atau danau,
2. Ruang yang berada diatas atau dibawah tanah yang menampung aliran air atau lahar.

3.13

teluk (*bay*):

Daerah lekukan pantai atau tebing pantai, batas pemotongan sedimen, daerahnya tidak terlalu luas.

3.14

pantai (*beach*):

Zona bahan sedimen yang memperluas lahan pantai dari garis aliran terendah ke daerah dimana pada daerah terjadi perubahan sedimen dan bentuknya, atau garis vegetasi permanen. Batas pantai adalah pada kondisi garis elevasi air terendah rata-rata.

3.15

dasar (*bed*):

Alas berupa tanah dari badan suatu aliran, dibatasi secara lateral oleh tebing atau pantai.

3.16

muatan dasar (*Bed Load*):

Sedimen yang bergerak dalam kondisi berguling, bergeser dan meloncat sepanjang dasar aliran, dan selalu terikat dengan gerakan aliran dasar saluran.

3.17

berem (*berm*):

1. Bantaran atau teras diantara dua kemiringan.
2. Daerah yang relatif lurus dari pantai atau pantai belakang yang dibentuk elevasi air tinggi dan di isi oleh deposit material dari gelombang.

3.18

blok:

Bongkahan berbentuk *primates* pracetak untuk bangunan riprap.

3.19

jurang:

Tebing yang curam dan tinggi yang terdiri dari bahan yang mudah tererosi.

3.20

boil:

Gelembung air turbulen yang menyembur ke permukaan air dari rekahan air tanah.

3.21

boulder :

Batuan terbesar yang mampu dipindahkan oleh aliran dan bergulir di daerah pantai; beratnya melebihi 14 kg dan berdiameter lebih besar 400 mm.

3.22

breaker :

Gelombang yang mencapai pantai, karang pantai, pasir pantai, batuan pantai hingga hancur.

3.23

breakwater :

Struktur permanen atau mengambang untuk melindungi daerah pantai, pelabuhan, atau suatu tampungan yang meredam gelombang.

3.24

bulkhead:

Struktur curam atau tegak yang ditempatkan pada tebing, jurang pantai, daerah timbunan pantai penahan geseran dinding pantai dan melindungi daerah pantai bagian darat dari bahaya gelombang.

3.25

bulking:

Penambahan volume aliran akibat kenaikan udara, lahar, muatan dasar, atau sedimen *laying*.

3.26

gaya apung (Buoyancy):

Gaya angkat aliran ke atas yang sebanding dengan massa air yang dipindahkan dikalikan dengan percepatan gravitasi.

3.27

canal:

Saluran terbuka alamiah.

3.28

canyon:

Lembah yang luas serta dalam, juga bagian laut dangkal.

3.29

kapilaritas:

Gaya tarik antara air dan partikel tanah yang disebabkan air bergerak ke segala arah melalui massa tanah tanpa pengaruh gaya gravitasi.

3.30

kapitasi:

Erosi yang disebabkan hisapan, khususnya yang terjadi pada ruang vakum berkecepatan tinggi.

3.31

kobel (Cobble):

Batuan yang lebih kecil dari *boulder* dan lebih besar dari kerikil; biasanya berukuran berat 0.5 – 14 kg, atau berdiameter 75 – 400 mm.

3.32

cone:

Bentuki fisiografi dari sedimen *laying* yang tercuci dari saluran curam ke daerah terbuka.

3.33

korosi:

Erosi yang diakibatkan oleh aksi kimiawi.

3.34

inti (core):

Zona inti (pusat) dari *Groin*, *Jetty*, Tanggul, dan bangunan lainnya..

3.35

puncak (Crest):

1. Puncak gelombang atau puncak banjir.
2. Puncak tanggul, bendung, bendungan, pelimpah, dan bangunan air lainnya.

3.36

krib:

Struktur rangka terbuka yang diisi dengan tanah timbun atau balas batu, untuk menyangga bangunan pelindung tebing.

3.37

kedalaman kritis:

Kedalaman yang mempunyai energi spesifik minimum, atau tinggi kecepatan sebanding dengan setengah kedalaman rata-rata hidraulik.

3.38

aliran kritis:

Aliran pada saluran terbuka yang mana energi fluidanya minimum, atau bilangan Froude-nya sama dengan satu.

3.39

kemiringan kritis:

Keadaan kemiringan pada saat aliran maksimum akan terjadi pada kecepatan minimum.

3.40

kecepatan kritis:

Rata-rata kecepatan aliran pada saat terjadi kedalaman kritis pada aliran.

3.41

arus:

Aliran air, sebagai sebuah penomena dan mempunyai vektor.

3.42

bahan aluvial (*Alluvium*):

Endapan sedimen yang terbentuk pada tikungan sungai. Dataran banjir, dan sebagai kipas alluvial. Kata ini digunakan pada endapan sungai saat ini.

3.43

avulsi

Perubahan tiba-tiba dan signifikan pada alinyemen saluran yang menghasilkan saluran baru melintasi dataran banjir. Meluruskan atau merelokasi saluran dengan membangun tanggul atau bendung adalah penyebab umum terjadinya avulsi pada saluran.

3.44

erosi tebing:

Proses air menghilangkan dan menghanyutkan tanah dan batu dari tepi badan aliran, umumnya menimbulkan pelebaran badan aliran dan berhubungan dengan berkurangnya ukuran tanah.

3.45

erosi dasar:

Proses air menghilangkan dan menghanyutkan tanah dan batu dari dasar badan air, umumnya memperdalam badan air.

3.46

muatan dasar (*bed load*):

Bagian sedimen saluran yang bergerak yang tidak melayang terdiri dari material dasar yang bergerak di atas atau dekat dasar saluran.

3.47

kekasaran saluran:

Ketidak-rataan material dasar saluran (misalnya kerikil, batu) yang memberikan tahanan pada aliran. Derajat kekasaran umumnya diekspresikan dengan 'koefisien kekasaran Manning'.

3.48

d_{50}/d_{100} :

Ukuran partikel pada kondisi 50 dan 100 persen dari sample lebih kecil atau sama.

3.49

aliran *debris* (lahar):

Aliran yang mengalir disepanjang saluran atau bantaran banjir yang disebabkan oleh kejadian alam atau manusia. Dalam hal ini bahan aliran termasuk sedimen; kerikil, batu kerikil dan batu besar, sisa-sisa tumbuhan dan bahan organik lainnya.

3.50

degradasi:

Proses pemindahan material pada dasar saluran yang disebabkan oleh gaya erosi aliran air yang menyebabkan elevasi dasar saluran menjadi lebih rendah dari keadaan semula.

3.51

deposisi:

Pengendapan material pada dasar saluran.

3.52

***dewatering*:**

Proses pemindahan air dari suatu daerah yang berair.

3.53

debit:

Laju aliran yang dinyatakan dalam volume persatuan waktu. Debit merupakan perkalian antara kecepatan rata-rata dan luas penampang melintang basah dari aliran.

3.54

dolos:

Bahan terbuat dari *armor* beton dalam bentuk 'H', umumnya digunakan untuk perkuatan stabilitasi tebing, jika bahan batuan tidak dapat digunakan, atau untuk membentuk bahan yang berpori.

3.55

debit dominan:

Debit yang mewakili volume sedimen terbesar yang bergerak selama periode pencatatan.

3.56

deposit:

Partikel massa tanah yang mengendap atau hamparan massa dari air yang bergerak atau dibawa oleh angin.

3.57

tinggi air rencana:

Taraf banjir atau elevasi puncak pasut yang digunakan untuk merencanakan drainase dan bangunan pelindung tebing.

3.58

dike

Biasanya tebing tanah sepanjang atau paralel dengan sungai atau saluran terbuka.

3.59

parit

Saluran alam yang kecil, biasanya tidak diberi *lining*.

3.60

drawdown:

Perbedaan elevasi muka air dari hulu ke hilir yang terjadi perubahan secara mendadak.

3.61

terjunan:

Bangunan pengontrol terjunan aliran untuk meredam energi.

3.62

dune:

Gelombang pasir yang mendekati bentuk penampang segi tiga yang dibentuk oleh gerakan air atau angin dengan kemiringan hulu yang tetap dan kemiringan hulu berubah lambat laun, dan menyebabkan perubahan kemiringan di hulu.

3.63

eddy:

Aliran yang berotasi disekitar sumbu vertikal.

3.64

tanggul:

Struktur dari tanah diatas tanah asli.

3.65

energi:

Dapat berbentuk potensial atau kinetik. Harus digunakan satuan yang sama (meter).

3.66

muara:

Bagian dari saluran atau sungai telah mencapai pantai atau laut.

3.67

fetch:

Jarak tanpa halangan diatas air hal mana gelombang dibangkitkan oleh angin dan mempunyai arah dan kecepatan yang konstan.

3.68

filter :

Partikel porous atau massa yang mana air dengan mudah menerobos dan mengikat partikel tanah.

3.69

filter fabrik (RSP Fabric):

Bahan rekayasa berupa geotekstil yang ditempatkan antara lapisan dibawah dengan lapisan diatasnya dan mampu menahan partikel tanah dan dapat mengalikan air.

3.70

jagaan (Freeboard):

Jarak vertikal antara elevasi muka air dengan puncak bangunan air tertentu, seperti puncak tanggul, bendung, jembatan, dan lain-lain.

3.71

bronjong (Gabion):

Jejaring kawat yang diisi dengan batu guna melindungi tebing.

3.72

kerikil (Gravel):

Batu yang lebih besar dari pasir dan lebih kecil dari *cobble*, yang berukuran 5 – 50 mm.

3.73

groin:

Struktur penghalang menyerupai jejari yang biasanya dibangun tegak lurus terhadap garis pantai, berguna untuk menahan erosi dari pantai, atau mengontrol gerakan muatan dasar.

3.74

guide bank:

Bangunan tambahan pada jalan raya di atau didekat *abutment* jembatan dan mengarahkan aliran melalui bukaan jembatan.

3.75

jack (Jack Straw):

Bagian pelindung tebing yang terdiri dari kawat atau kabel yang mengikat bangunan secara tegak lurus, dan dihubungkan pada pusat bangunan tersebut.

3.76

jetty:

Bangunan yang didirikan pada suatu aliran atau laut dari tebing atau pantai untuk mengontrol pendangkalan dan gerusan yang diakibatkan gerakan gelombang atau arus.

3.77

danau:

Air yang tertampung pada suatu areal dengan batasan atau tanpa pengaliran air.

3.78

lining:

Lapisan pelindung dari jejari suatu saluran.

3.79

longshore:

Bentuk paralel ke atau dekat garis pantai.

3.80

nourishment:

Proses pengisian atau perbaikan pantai.

3.81

revetment :

Pelindung tebing terhadap bahaya erosi.

3.82

rubble:

Batuan berbentuk tidak beraturan dan kasar atau berbentuk beton.

3.83

runup:

Gerakan air kearah pantai atau struktur, yang dihubungkan dengan gelombang pecah.

3.84

gerusan:

Hasil dari aksi erosi dari aliran, menggerus, dan membawa material dari dasar dan tebing.

3.85

seawall:

Bangunan yang memisahkan antara tanah atau pantai dengan daerah berair, untuk melindungi dari erosi atau melindungi dari bahaya gelombang.

3.86

sheet Pile:

Konstruksi pipa yang umumnya tipis, yang ditanam kedalam tanah sehingga membentuk dinding atau *bulkhead*.

3.87

slope:

1. Gradien aliran. 3. Sudut muka bagian tebing dengan perbandingan horizontal terhadap vertikal. Dalam ilmu hidraulika dijadikan satuan persen atau bentuk angka desimal.

3.88

spur Dike:

Suatu struktur atau tanggul yang dibangun pada jarak yang pendek dalam suatu aliran dari tebing kearah daerah kritis.

3.89

surf :

Gelombang pecah dan gelombang besar pada laut dan lepas pantai.

3.90

surge:

Debit yang membesar tiba-tiba pada kondisi aliran tidak tunak.

3.91

talus:

Batuan lepas dan berupa lahar yang runtuh dari tebing yang curam karang curam yang tertimbun di tapak tebing tersebut.

3.92

teras:

Berem atau berupa bangku dari tebing tanah.

3.93

tetrahedron:

Elemen pelindung tebing, berupa 6 bagian baja atau beton yang berhubungan sama lain membentuk piramida segi tiga.

3.94

tetrapod:

Elemen pelindung tebing, dari beton pracetak, terdiri dari empat kaki yang dihubungkan kepusat massanya, masing-masing membentuk sudut 109.5 derajat.

3.95

thalweg:

Garis yang mengikuti bagian terendah dari lembah, apakah dibawah air atau tidak. Biasanya garis mengikuti bagian terdalam dari dasar atau saluran sungai.

3.96

pasut:

Aksi pasang surut dari air laut dengan adanya gaya tarik menarik bulan dan matahari yang mempengaruhi rotasi bumi.

3.97

uplift:

Gaya angkat dari gaya hidrostatis pada dasar struktur padat.

3.98

gelombang:

Gerakan berosilasi dari air pada atau dekat permukaan air tegak.

3.99

tinggi gelombang:

Jarak vertikal antara puncak gelombang dan lembah gelombang.

3.100

panjang gelombang:

Jarak horizontal antar puncak gelombang atau satu periode.

3.101

periode gelombang:

Saat satu puncak gelombang sebanding dengan satu panjang gelombang.

3.102

bendung:

Bendungan rendah yang melimpah atau bendung untuk pengukur, pembagi, atau pengontrol aliran.

3.103

gelombang angin (*Windwave*):

Gelombang yang dibangkitkan dan diputar oleh *propeller* berupa tiupan angin sepanjang permukaan aliran.

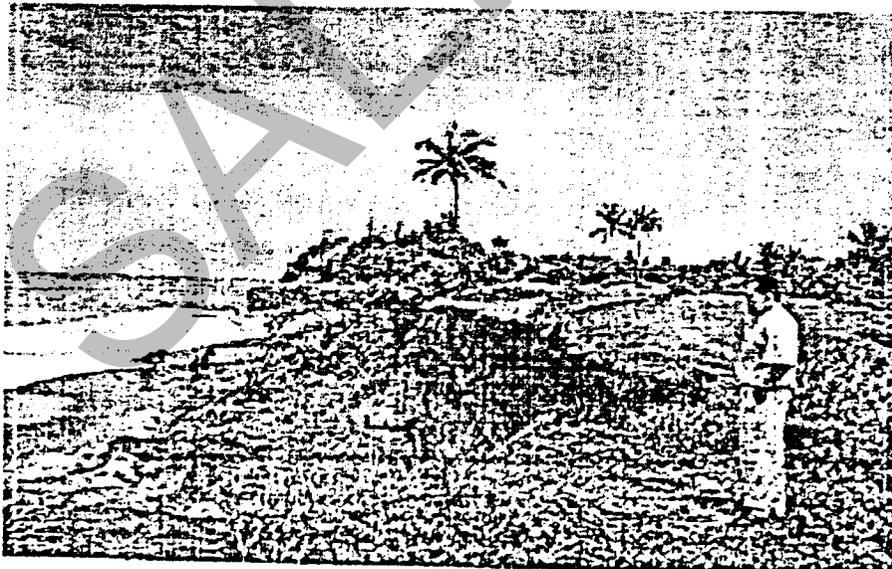
4. FAKTOR-FAKTOR UTAMA YANG MEMPENGARUHI TERJADINYA GERUSAN PANTAI

4.1 Pendahuluan

Kondisi daerah pantai sangat dinamik, apalagi pantai yang pemanfaatannya lebih intensif, tetapi tidak dibarengi oleh manajemen pemeliharaan terhadap kesinambungan pantai. Secara umum daerah pantai yang banyak pemukiman, apalagi punya akses dengan berbagai kegiatan, maka berbagai prasarana yang diperlukan harus tersedia sepanjang garis pantai, yang salah satunya adalah konstruksi jalan. Jalan disepanjang pantai sangat rawan terhadap bahaya gerusan, terutama yang diakibatkan oleh hantaman gelombang.

Gerusan pantai dikelompokkan menurut penyebab terjadinya, yaitu gerusan alami dan gerusan akibat manusia. Gerusan akibat manusia terjadi sebagai hasil tanggapan (*respcnse*) pantai terhadap pengaruh-pengaruh alam. Sedangkan Gerusan akibat oleh manusia terjadi jika kegiatan manusia menyebabkan terjadinya perubahan ekosistem pantai.

4.2. Proses Gerusan Secara Alami

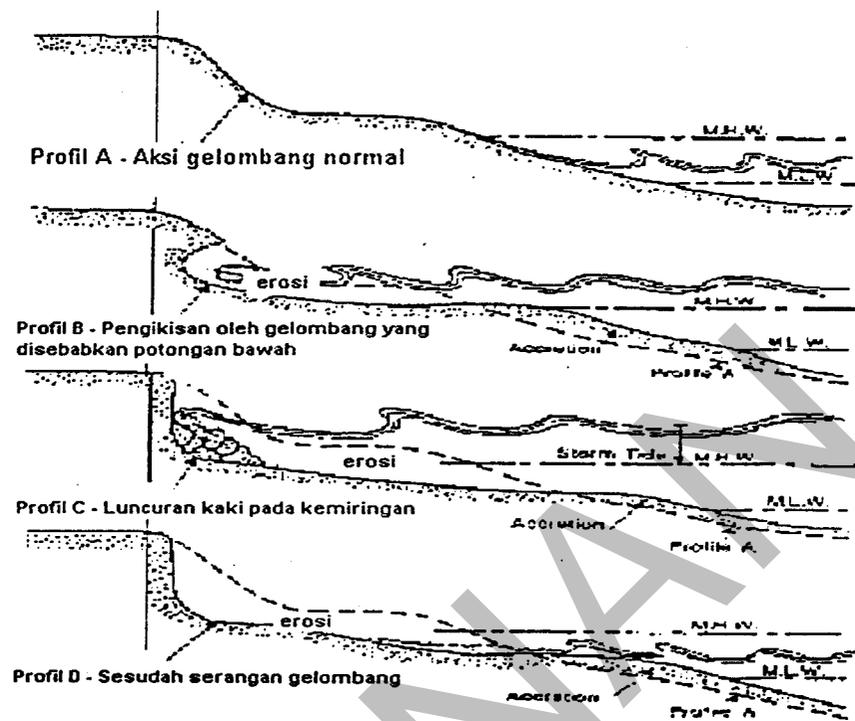


Gambar 4-1 Keruntuhan/gerusan tebing akibat pengikisan oleh gelombang (kasus di Bengkulu)

Kasus gerusan pantai secara alami dapat dirincikan sebagai berikut:

1. **Kenaikan muka air laut.** Kenaikan muka air laut secara jangka panjang sangat berhubungan dengan keberadaan lahan di bumi. Kenaikan ini menyebabkan berpindahnya (mundurnya) garis pantai, sebagian terjadi luapan air, dan sebagian lagi menyebabkan timbulnya profil garis pantai terhadap muka air tertinggi.
2. **Variabilitas pasokan (*supply*) sedimen terhadap zona litoral.** Perubahan pola iklim dunia dapat menyebabkan berkurangnya kemungkinan terjadinya banjir yang membawa pasokan sedimen dari sungai ke arah zona pantai.
3. **Gelombang badai (*storm waves*).** Penjalaran gelombang akibat suatu badai menyebabkan terjadinya pergerakan pasir ke arah laut dengan kapasitas berubah-ubah dalam suatu bar atau daerah dangkal. Kondisi ini dapat dilihat pada gambar 5-1.
4. **Gelombang dan *surge overwash*.** *Overwash* merupakan fenomena terjadinya periode hujan badai dan aksi gelombang secara umum. Gelombang dan luapan air menggeruskan pantai dan angkutan dan mengendap material tersebut pada *shoreward* di pantai.
5. **Deflasi.** Pergerakan material yang hilang di pantai akibat angin dapat menyebabkan gerusan pantai secara signifikan.
6. **Angkutan sedimen sejajar pantai (*longshore sediment transport*).** Pasir bergerak sepanjang pantai diakibatkan oleh gelombang pecah yang membentuk sudut terhadap garis pantai. Jika kapasitas bawaan sedimen oleh arus sejajar pantai yang dibangkitkan oleh gelombang melampaui jumlah pasokan sedimen secara alami pada pantai, maka erosi/gerusan akan terjadi di pantai tersebut.

Profil gerusan pantai alami secara umum dapat dilihat pada gambar 5-3 berikut.



Gambar 5-1. Erosi Gelombang dan Transpor Sedimen sepanjang Pantai

Gambar 4-2 Gerusan akibat gelombang dan pergerakan sedimen sepanjang pantai

Gambar 4-2 menunjukkan tahapan gerusan akibat gelombang, yang dapat dirincikan sebagai berikut:

- 1) Tebing dihantam gelombang, sehingga kestabilan struktur tebing terganggu
- 2) Gerusan pada tebing mengakibatkan penggerowangan (*undercutting*)
- 3) Penurunan tebing dan
- 4) Terjadinya pemindahan, pengangkutan dan pengendapan sedimen tebing sepanjang garis pantai.

4.3 Gerusan Akibat Tindakan Manusia

Wilayah pantai merupakan daerah yang sangat intensif dimanfaatkan oleh kegiatan manusia, seperti pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian/perikanan, pariwisata dan sebagainya. Adanya berbagai kegiatan tersebut dapat menimbulkan peningkatan kebutuhan akan lahan, prasarana dan sebagainya, yang selanjutnya akan mengakibatkan timbulnya masalah-masalah baru yang berkenaan dengan eksistensi pantai. Gerusan yang terjadi akibat kegiatan manusia, antara lain:

1. **Penyusutan lahan akibat pergerakan sumber daya bawah tanah.** Pergerakan sumberdaya alam seperti gas, minyak, batubara dan air tanah di bawah zona pantai dapat menyebabkan penyusutan pantai. Kondisi ini sama seperti pengaruh kenaikan muka air laut.
2. **Material yang muncul dalam angkutan.** Faktor ini merupakan kemungkinan yang sangat penting sebagai kasus gerusan/erosi akibat tindakan manusia.
3. **Pengurangan pasokan sedimen terhadap zona litoral.** Dalam beberapa wilayah, angkutan sedimen ke wilayah pantai oleh arus sungai membentuk sumber material pada zona litoral. Dam (bendungan) yang dibangun pada sungai tidak hanya membentuk penangkap sedimen (*sediment trap*) tetapi dapat juga mengurangi aliran banjir, sehingga mengurangi pasokan sedimen ke pantai, yang mana kondisi ini dapat menyebabkan erosi pantai.
4. **Konsentrasi energi gelombang di pantai.** Pembangunan struktur bangunan pantai (seperti dinding vertikal) dalam zona pantai aktif atau pada wilayah *backshore* dapat meningkatkan jumlah energi gelombang menjadi di disipasi oleh material pantai di depan struktur, kondisi ini meningkatkan kapasitas erosi.
5. **Peningkatan variasi muka air.** Kedalaman dan pelebaran mulut navigasi dapat dipengaruhi oleh jangkauan pasang surut ke dalam suatu pelabuhan atau teluk, dan dapat terjadi gelombang masuk ke wilayah pelabuhan dan teluk. Suatu jangkauan pasang surut pada pelabuhan atau teluk pantai dapat mempengaruhi erosi akibat gelombang dan menyebabkan perubahan profil pantai.

6. Perubahan pengamanan pantai secara alami. Pengerukan bar-bar dekat pantai dapat merubah pola disipasi energi pada muka pantai. Jika perubahan tersebut meningkatkan energi gelombang pada suatu penampang pantai yang diberikan, maka erosi akan terjadi pada penampang tersebut.
7. Pergerakan material dari pantai. Penggalan material pantai merupakan fenomena umum di dunia. Material ini kadang-kadang merupakan mineral tertentu. Selain itu material yang digali ini diperlukan untuk konstruksi. Kondisi ini menyebabkan hilangnya ketersediaan pasokan material untuk angkutan litoral.

Dari uraian di atas dapatlah ditabelkan kasus gerusan/erosi pantai seperti tabel 4-1 dibawah.

Tabel 4-1. Kasus-kasus gerusan/erosi pantai

Secara Alami	Akibat manusia
a) Kenaikan muka air laut	a) Penyusutan lahan akibat pergerakan sumber daya bawah tanah
b) Variabilitas pasokan (<i>supply</i>) sedimen terhadap zona litoral	b) Material yang muncul dalam angkutan
c) Gelombang badai (<i>storm waves</i>)	c) Pengurangan pasokan sedimen terhadap zona litoral
d) Gelombang dan <i>surge overwash</i>	d) Konsentrasi energi gelombang di pantai.
e) Deflasi	e) Peningkatan variasi muka air
f) Angkutan sedimen sejajar pantai (<i>longshore sediment transport</i>)	f) Perubahan pengamanan pantai secara alami
	g) Pergerakan material dari pantai

BUKU 2

SALINAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan bangunan pengamanan gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan

BUKU 2

Perencanaan bangunan pengamanan gerusan
pantai untuk konstruksi jalan dan jembatan
dengan revetmen / seawall



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

BUKU 1 UMUM

BUKU 2 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL

1.	Umum	2-1
2.	Konsep desain.....	2-3
2.1.	Tinggi muka air rencana	2-3
2.2.	Tinggi gelombang rencana.....	2-3
2.3.	Gelombang pecah	2-4
2.4.	Tinggi bangunan pengaman	2-5
2.5.	Gelombang merambat ke atas bangunan pengaman	2-5
2.6.	Gelombang meloncat	2-5
2.7.	Stabilitas lapisan	2-6
2.8.	Tebal lapisan	2-7
2.9.	Pelindung kaki dan filter	2-8
2.10.	Gaya gelombang	2-8
3.	Metode perencanaan.....	2-10
3.1.	Pemilihan tipe pengaman	2-12
3.2.	Perencanaan <i>Revetment / seawall</i>	2-12
3.3.	Pemasangan filter	2-12
3.4.	Estimasi <i>run-up</i> gelombang	2-13
3.5.	Pengaman gerusan pada kaki <i>Revetment</i>	2-13
3.6.	Perhitungan stabilitas	2-13

BUKU 3 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD

BUKU 4 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN

BUKU 5 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER

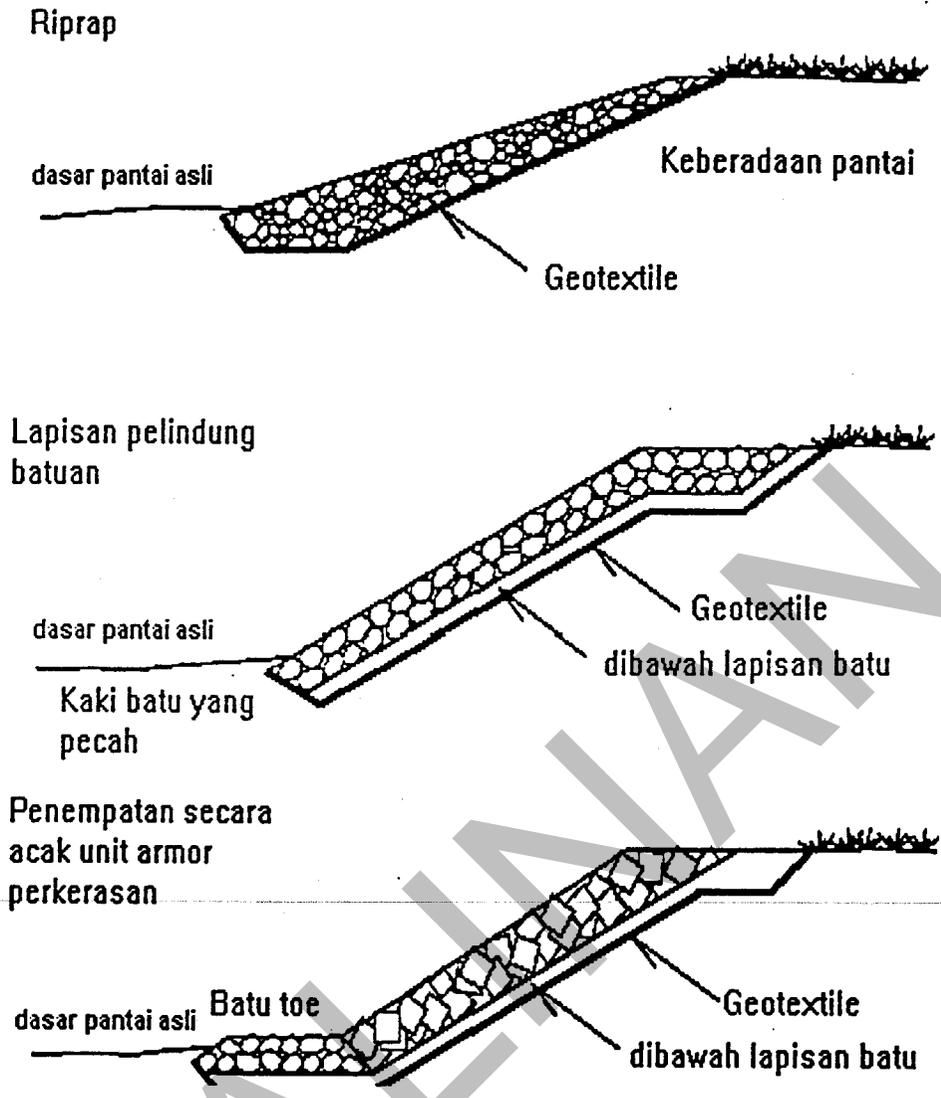
BUKU 6 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE

BUKU 7 LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL

1. UMUM

Bangunan perlindungan pantai *revetment/seawall* merupakan bangunan pelindung pantai. Struktur *revetment* terdiri dari batuan, beton maupun aspal sedangkan *Seawall* merupakan bangunan struktur mulai dari bangunan vertikal dengan struktur masif berbentuk dinding gravitasi sampai bangunan dengan kemiringan tertentu yang terbuat dari pelat beton bertulang, lapisan pelindung beton atau batuan. *Seawall* terdiri dari bagian-bagian, yaitu kaki, badan, lapisan filter dan bagian atas bangunan *revetment/seawall* merupakan konstruksi untuk menahan terhadap gerusan yang menimbulkan erosi. Contoh bagian dari *seawall* dapat dilihat pada gambar I-1.



Gambar I-1. Contoh kemiringan dibawah struktur *revetment/seawall*

2. KONSEP DESAIN

2.1 Tinggi muka air rencana

Tinggi maksimum muka air diperlukan untuk memprediksi tinggi gelombang pecah pada struktur bangunan, tinggi gelombang yang merambat pada struktur yang diharapkan, tinggi bangunan struktur. Tinggi muka air minimum diperlukan untuk mencegah terjadi penggerusan kaki yang mungkin terjadi dan menentukan panjang lapisan pelindung ke arah bawah (kaki).

2.2 Tinggi gelombang rencana

Tinggi dan perioda gelombang rencana dipilih sesuai dengan kombinasi gaya-gaya kritis yang akan terjadi pada struktur dengan pertimbangan ekonomi, kekuatan struktur dan kemungkinan bahaya yang terjadi. Karakteristik gelombang dapat ditentukan dari catatan gelombang yang ada dari alat atau berdasarkan pengamatan. Karakteristik gelombang dapat diketahui dari beberapa metode untuk air yang dalam, lokasi dan harus diubah menurut struktur yang ada dengan teknik refraksi dan difraksi.

Tinggi gelombang signifikan yang digunakan adalah H_s , adalah rata-rata dari 1/3 tinggi gelombang yang paling tinggi. Selain itu, tinggi gelombang yang digunakan H_1 dan H_{10} , dimana

$$H_1 = 1,61 H_s$$

$$H_{10} = 1,21 H_s$$

Data tinggi gelombang yang digunakan biasanya menggunakan tinggi energi dengan momen nol (zeroth moment) H_{m0} . Tinggi gelombang yang terjadi adalah H_s .

Untuk tinggi gelombang pada laut dangkal yaitu :

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = \exp \left[C_0 \left(\frac{h}{gT_p^2} \right) \right]^{C_1} \quad (I-1)$$

dimana :

C_0 , C_1 adalah koefisien regresi yaitu 0,00089 dan 0,834

h = kedalaman air pada titik tersebut

g = percepatan gravitasi

T_p = periode ulang puncak dari spektrum energi gelombang

Persamaan diatas tidak dapat digunakan untuk kondisi :

$$\frac{h}{gT_p^2} < 0.0005 \quad (I-2)$$

Periode gelombang yang digunakan (T_p) didapat dari rata-rata periode gelombang atau periode gelombang signifikan rata-rata (T_s , rata-rata dari sepertiga periode gelombang paling tinggi).

Tinggi gelombang mempengaruhi stabilitas. Tinggi gelombang yang digunakan untuk stabilitas bangunan tergantung dari jenis bangunannya, yaitu kaku, semikaku atau fleksibel. Bila bangunan yang digunakan adalah kaku, maka tinggi gelombang yang digunakan adalah H_1 sedangkan semikaku diantara H_1 dan H_{10} . Untuk bangunan fleksibel yaitu H_s atau H_{10}

2.3 Gelombang pecah

Tinggi gelombang pecah merupakan tinggi gelombang yang tertinggi. Gambar dapat memberikan nilai tinggi gelombang pecah. Dari gambar tersebut, tinggi gelombang pecah (H_b) merupakan fungsi dari kedalaman (d), kemiringan pantai dekat bangunan, m dan periode gelombang, T . Untuk beberapa kondisi tinggi gelombang desain H_{mo} dibatasi dengan rumus :

$$(H_{mo})_{\max} = 0.10L \tanh \left(\frac{2\pi h}{L_p} \right) \quad (I-3)$$

dimana:

L adalah panjang gelombang yang dihitung dengan T_p dan h .

2.4 Tinggi bangunan pengaman

Tinggi bangunan pengaman harus memperhatikan tinggi muka air maksimum. Tinggi bangunan pengaman merupakan tinggi muka air maksimum ditambah dengan *freeboard*.

2.5 Gelombang merambat ke atas bangunan pengaman

Tinggi maksimum gelombang merambat keatas bangunan pengaman, yaitu

$$\frac{HR_{\max}}{H_{\max}} = \frac{a\xi}{1+b\xi} \quad (1-4)$$

dimana :

R_{\max} adalah tinggi gelombang rambat dari swl

A,b adalah koefisien regresi, yaitu 1,022 dan 0,241

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2} \right)^{1/2}} \quad (1-5)$$

θ = sudut antara kemiringan bangunan dengan bidang horizontal.

$$L_o = \frac{gT_p^2}{2\pi} \quad (1-6)$$

2.6 Gelombang meloncat (*Wave Overtopping*)

Gelombang meloncat adalah gelombang yang melewati bagian atas bangunan pengaman. Dalam desain bangunan pengaman merupakan keharusan dalam memprediksi gelombang yang melewati bangunan pengaman.

Untuk bangunan pengaman *riprap*, gelombang meloncat ditentukan menurut :

$$Q' = C_o e^{C_1 F'} e^{C_2 m} \quad (1-1)$$

$$Q' = \frac{Q}{(gH_{mo}^3)^{1/2}} \quad (1-8)$$

$$F' = \frac{F}{(H_{mo}^2 L_o)^{1/3}} \quad (1-9)$$

dimana:

F adalah *freeboard*

$$C_0 = 0,4518$$

$$C_1 = -29,45$$

$$C_2 = 0,8464$$

Koefisien diatas digunakan untuk *freeboard* dengan nilai $0,25 < F' < 0,43$ dan kemiringan bangunan 1 : 2 dan 1 : 3,5.

Untuk gelombang meloncat melalui *seawall*, yaitu :

$$Q' = C_0 \exp \left[C_1 F' + C_2 \left(\frac{F}{h_s} \right) \right] \quad (I-10)$$

$$Q' = \frac{Q}{(gH_{mo}^3)^{1/2}} \quad (I-11)$$

dimana:

$$C_0 = 0,338$$

$$C_1 = -1,385$$

$$C_2 = -2,118$$

2.7 Stabilitas lapisan

Untuk menentukan stabilitas dari lapisan bangunan pengaman, yaitu dengan rumus

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_u} - 1 \right) \cot \theta} \quad (I-12)$$

dimana :

W = berat lapisan (lb)

γ_r = berat jenis lapisan (lb/ft³)

H = tinggi gelombang

K_D = koefisien stabilitas

γ_u = berat jenis air laut (lb/ft³)

θ = kemiringan bangunan pengaman

Persamaan diatas merupakan persamaan stabilitas dengan angka stabilitas (N_s)

$$N_s = \frac{H}{\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)} \quad (I-13)$$

Untuk *riprap* yang tidak teratur, angka stabilitas adalah:

$$N_s = 1.14 \cot^{1/6} \theta \quad (I-14)$$

Persamaan angka stabilitas yang lain adalah

a. Untuk laut dalam

$$N_s = 6.2 K_{pm}^{0.18} \left(\frac{T_{kk}}{\sqrt{N_w}}\right)^{0.2} \xi^{0.5} \quad (I-15)$$

untuk gelombang tidak pecah

$$N_s = 1.0 K_{pm}^{-0.13} \left(\frac{T_{kk}}{\sqrt{N_w}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot \theta \xi^P} \quad (I-16)$$

dimana K_{pm} : koefisien permeabilitas

T_{kk} = tingkat kerusakan

N_w = jumlah gelombang

$K_{pm} = 1.0$ bila *riprap* impermeabel.

b. Untuk laut dangkal

$$N_s = \frac{1.40 H_s}{H_2} \quad (I-11)$$

$$H_2 = 1.40 H_s$$

2.8 Tebal Lapisan

a. Lapisan pelindung

Tebal lapisan pelindung dihitung sebagai berikut :

$$dr = nl \cdot k_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \quad (I-18)$$

dimana dr = tebal lapisan pelindung (ft)

k_Δ = koefisien lapisan

nl = jumlah lapisan

Untuk memperkirakan jumlah lapisan pelindung:

$$N_i = A_i n k_{\Delta} \left(1 - \frac{K_{pm}}{100} \right) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{2/3} \quad (I-19)$$

K_{pm} = porositas lapisan.

A_i = luas lapisan

b. Lapisan batuan (*riprap*)

Tebal *riprap* adalah dua kali W_{50} *riprap*. Dengan tebal minimum adalah 25 persen dari diameter batu yang terbesar. Dan lebih besar dari 1 ft.

Tebal *riprap* yang digunakan ditentukan rumus:

$$r_{\min} = \max \left[2.0 \left(\frac{W_{50 \min}}{\gamma_r} \right); 1.25 \left(\frac{W_{100}}{\gamma_r} \right); \right] \quad (I-20)$$

2.9 Pelindung Kaki dan filter

Kaki dari bangunan pengaman akan mengalami penggerusan. Oleh karena itu harus dilakukan perlindungan. Perlindungan yang dapat dilakukan, yaitu dengan menggunakan *riprap*. Prosedur desain *riprap* dapat dilihat pada bab 8 Bagian A.

Filter digunakan untuk mencegah partikel tanah yang kecil naik ke atas. Prosedur penentuan tebal lapisan filter dapat melihat pada bab 8 Bagian A.

2.10 Gaya gelombang

Gaya gelombang ditentukan dari kasus untuk gelombang pecah maupun tidak pecah. Kasus ini tergantung dari tinggi gelombang dan kedalaman struktur bangunan. Gaya gelombang untuk ketinggian muka air dan periode tertentu harus diperhitungkan.

a. Gelombang pecah

Gelombang pecah di struktur vertikal menabrak dengan waktu yang singkat. Gelombang pecah pada struktur kaku diterangkan dalam metode Minikin. Metode mengacu pada buku *Shore Protection Manual*. Untuk bangunan pengaman semirigid menggunakan persamaan dibawah ini :

$$F_t = 1/2 [d_s (P_1 + P_2) + h_r (P_1 + P_4)] \quad (I-21)$$

$$P_1 = (\alpha_1 + \alpha_2) \gamma_w H_b$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1$$

$$P_4 = \left(1 - \frac{h_c}{1.5 H_b}\right) P_1$$

dimana

$$\alpha_1 = 0.6 + 1/2 \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\left(\frac{h_b - d}{3h_b} \right) \left(\frac{H_b}{d} \right)^2; \frac{2d}{H_b} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d_s}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \right]$$

dimana:

γ_w = berat jenis air laut

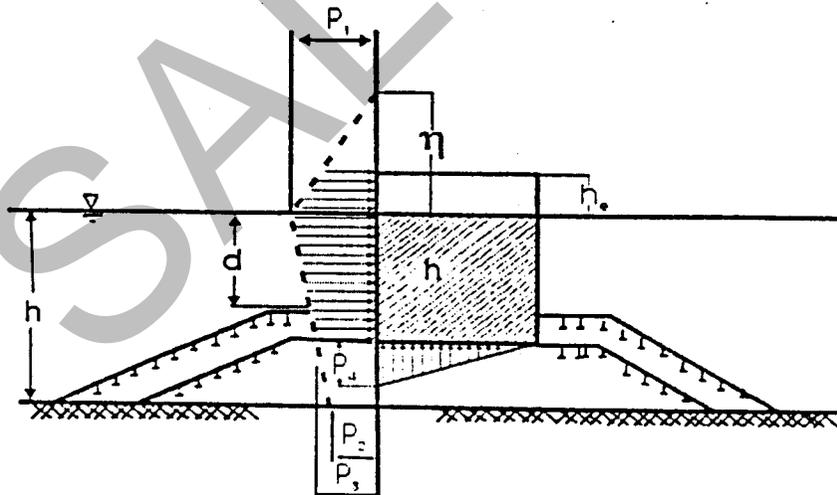
h_c = tinggi puncak bangunan diukur dari SWL

d = kedalaman lapisan pelindung dari muka air

d_s = kedalaman dasar bangunan

H_b = gelombang pecah yang paling tinggi pa

F adalah gaya per satuan panjang struktur. Gambar I-2 menjelaskan gaya yang terjadi struktur vertikal.

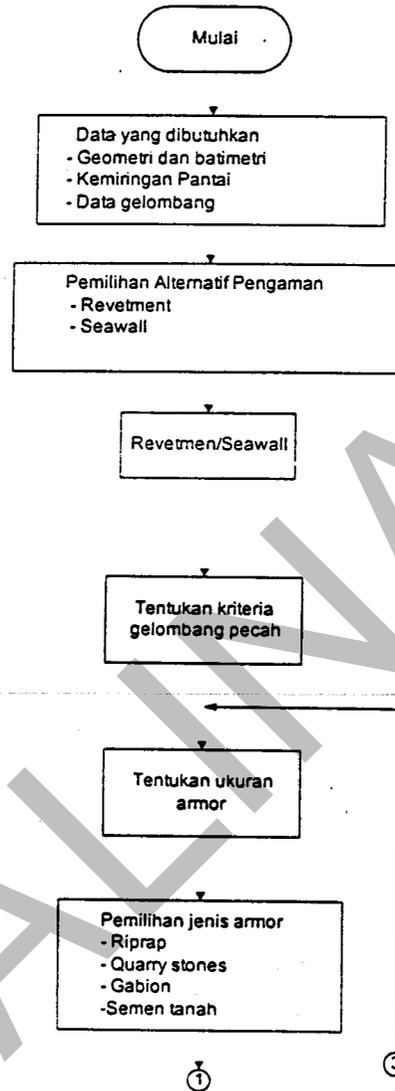


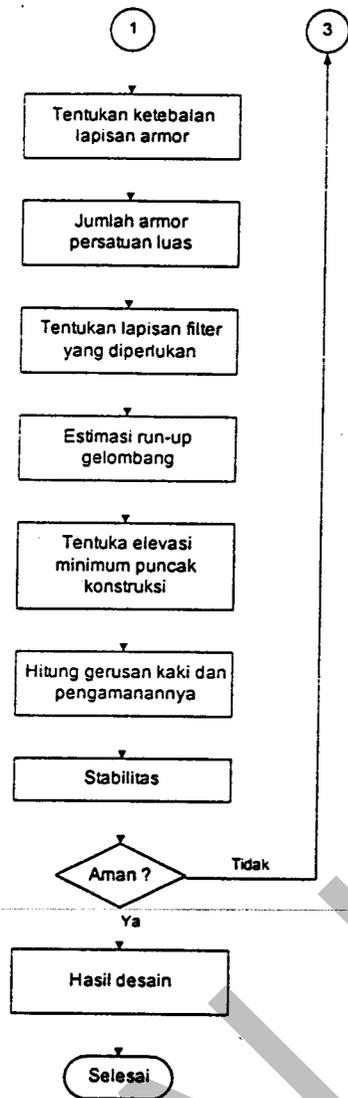
Gambar I-2. Tekanan gelombang pecah pada dinding vertikal

3. METODE PERENCANAAN

Metode perencanaan untuk *revetment*, dan *seawall* sebagai berikut:

Flowchart Perencanaan Revetment, Seawall





Gambar 3-1. Flow chart perencanaan dinding penahan untuk perlindungan pantai

3.1 Pemilihan tipe pengaman

Pilihlah jenis pengaman sesuai dengan lingkungan dan kebutuhan. Pilihan struktur terdiri dari *revetment*, *seawall*. Pilihlah jenis bahan yang digunakan untuk struktur.

3.2 Perencanaan *revetment/seawall*

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan *revetment/seawall* yaitu :

3.2.1. Kriteria gelombang pecah

Untuk menentukan kriteria gelombang pecah, maka harus dihitung terlebih dahulu beberapa parameter, yaitu:

$$\frac{h}{gT_p^2} < 0.0005$$

3.2.1 Penentuan ukuran *armor*

Parameter yang digunakan untuk penentuan ukuran *armor* adalah :

- Berat *armor*

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_u} - 1 \right) \cot \theta}$$

Tebal lapisan *armor*

$$dr = n_l k_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1.3}$$

- jumlah lapisan pelindung

$$N_l = A_l n_l k_\Delta \left(1 - \frac{K_{pm}}{100} \right) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{2/3}$$

- tebal minimum *armor*

$$r_{\min} = \max \left[2.0 \left(\frac{W_{50 \min}}{\gamma_r} \right); 1.25 \left(\frac{W_{100}}{\gamma_r} \right); \right]$$

3.3. Pemasangan filter

Perhitungan filter yang digunakan dapat mengacu pada langkah desain yang terdapat pada bab tentang *riprap* bab 8.

3. 4. Estimasi *run-up* gelombang.

Anggap bahwa kondisi gelombang yang diberikan merupakan tinggi gelombang signifikan dan periode puncaknya pada kedalaman 5 m, maka diperoleh :

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = e^{\left[C_o \left(\frac{h}{gT_p^2} \right)^{-C_1} \right]}, \text{ disini } H = H_s$$

$$C_o = 0.00089$$

$$C_1 = 0.834.$$

$$\xi = \frac{tg \theta}{\left\{ \frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2} \right\}^{1/2}}$$

$$\frac{R_{max}}{H_{mo}} = \frac{a\xi}{1+b\xi}$$

$$a = 1,022$$

$$b = 0,241$$

3. 5. Pengaman gerusan pada kaki *revetment*:

Gerusan pada *revetment* dapat diasumsikan sama dengan tinggi gelombang. Untuk mencegah gerusan kaki dapat digunakan *rock riprap*. Perhitungan struktur pengaman pada kaki *revetment* dapat dilihat pada perhitungan detail riprap atau pada perhitungan *guide bank*.

3.6. Perhitungan stabilitas

Dengan sedikit modifikasi, terutama akibat adanya pengaruh gaya gelombang, maka kestabilan struktur *revetment* di pantai dapat mengacu pada perhitungan stabilitas *retaining wall*.

BUKU 3

SALINAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

**Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan**

BUKU 3

**Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan dengan
bulkhead**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

BUKU 1 UMUM

BUKU 2 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL

BUKU 3 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD

1.	Umum	3-1
2.	Konsep desain	3-2
2.1.	Tinggi muka air rencana	3-2
2.2.	Tinggi gelombang rencana	3-2
2.3.	Gelombang pecah	3-3
2.4.	Tinggi bangunan pengaman	3-4
2.5.	Gelombang merambat ke atas bangunan pengaman	3-4
2.6.	Gelombang meloncat (<i>Wave Overtopping</i>)	3-4
2.7.	Stabilitas lapisan	3-5
2.8.	Tebal Lapisan	3-6
2.9.	Pelindung kaki dan filter	3-7
2.10.	Gaya gelombang	3-7
3.	Metode Perencanaan	3-9

BUKU 4 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN

BUKU 5 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER

BUKU 6 PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE

BUKU 7 LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD

1. UMUM

Bangunan perlindungan pantai bulkhead merupakan bangunan pelindung pantai, Struktur bulkhead terdiri dari bagian-bagian, yaitu kaki, badan, lapisan filter dan bagian atas bangunan bulkhead merupakan konstruksi untuk menahan terhadap gerusan yang menimbulkan erosi yang umumnya biasa ditempatkan pada tebing, jurang pantai, daerah timbunan pantai penahan geseran dinding pantai serta melindungi dari bahaya gelombang

2. KONSEP DESAIN

2.1 Tinggi muka air rencana

Tinggi maksimum muka air diperlukan untuk memprediksi tinggi gelombang pecah pada struktur bangunan, tinggi gelombang yang merambat pada struktur yang diharapkan, tinggi bangunan struktur. Tinggi muka air minimum diperlukan untuk mencegah terjadi penggerusan kaki yang mungkin terjadi dan menentukan panjang lapisan pelindung ke arah bawah (kaki).

2.2 Tinggi gelombang rencana

Tinggi dan perioda gelombang rencana dipilih sesuai dengan kombinasi gaya-gaya kritis yang akan terjadi pada struktur dengan pertimbangan ekonomi, kekuatan struktur dan kemungkinan bahaya yang terjadi. Karakteristik gelombang dapat ditentukan dari catatan gelombang yang ada dari alat atau berdasarkan pengamatan. Karakteristik gelombang dapat diketahui dari beberapa metode untuk air yang dalam, lokasi dan harus diubah menurut struktur yang ada dengan teknik refraksi dan difraksi.

Tinggi gelombang signifikan yang digunakan adalah H_s adalah rata-rata dari 1/3 tinggi gelombang yang paling tinggi. Selain itu, tinggi gelombang yang digunakan H_1 dan H_{10} , dimana

$$H_1 = 1,61 H_s$$

$$H_{10} = 1,21 H_s$$

Data tinggi gelombang yang digunakan biasanya menggunakan tinggi energi dengan momen nol (zeroth moment) H_{m0} . Tinggi gelombang yang terjadi adalah H_s .

Untuk tinggi gelombang pada laut dangkal yaitu :

$$\frac{H_s}{H_{m0}} = \exp \left[C_o \left(\frac{h}{gT_p^2} \right) \right]^{C_1} \quad (I-1)$$

dimana :

C_0, C_1 adalah koefisien regresi yaitu 0,00089 dan 0,834

h = kedalaman air pada titik tersebut

g = percepatan gravitasi

T_p = periode ulang puncak dari spektrum energi gelombang

Persamaan diatas tidak dapat digunakan untuk kondisi :

$$\frac{h}{gT_p^2} < 0.0005 \quad (1-2)$$

Periode gelombang yang digunakan (T_p) didapat dari rata-rata periode gelombang atau periode gelombang signifikan rata-rata (T_s , rata-rata dari sepertiga periode gelombang paling tinggi).

Tinggi gelombang mempengaruhi stabilitas. Tinggi gelombang yang digunakan untuk stabilitas bangunan tergantung dari jenis bangunannya, yaitu kaku, semikaku atau fleksibel. Bila bangunan yang digunakan adalah kaku, maka tinggi gelombang yang digunakan adalah H_1 sedangkan semikaku diantara H_1 dan H_{10} . Untuk bangunan fleksibel yaitu H_s atau H_{10}

2.3 Gelombang pecah

Tinggi gelombang pecah merupakan tinggi gelombang yang tertinggi. Gambar dapat memberikan nilai tinggi gelombang pecah. Dari gambar tersebut, tinggi gelombang pecah (H_b) merupakan fungsi dari kedalaman (d), kemiringan pantai dekat bangunan, m dan periode gelombang, T . Untuk beberapa kondisi tinggi gelombang desain H_{mo} dibatasi dengan rumus :

$$(H_{mo})_{max} = 0.10L \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_p}\right) \quad (1-3)$$

dimana:

L adalah panjang gelombang yang dihitung dengan T_p dan h .

2. 4 Tinggi bangunan pengaman

Tinggi bangunan pengaman harus memperhatikan tinggi muka air maksimum. Tinggi bangunan pengaman merupakan tinggi muka air maksimum ditambah dengan *freeboard*.

2. 5 Gelombang merambat ke atas bangunan pengaman

Tinggi maksimum gelombang merambat keatas bangunan pengaman, yaitu

$$\frac{HR_{\max}}{H_{\max}} = \frac{a\xi}{1+b\xi} \quad (1-4)$$

dimana :

R_{\max} adalah tinggi gelombang rambat dari swl

A,b adalah koefisien regresi, yaitu 1,022 dan 0,241

$$\xi = \frac{\tan \theta}{\left(\frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2} \right)^{1/2}} \quad (1-5)$$

θ = sudut antara kemiringan bangunan dengan bidang horizontal.

$$L_o = \frac{gT_p^2}{2\pi} \quad (1-6)$$

2. 6 Gelombang meloncat (*Wave Overtopping*)

Gelombang meloncat adalah gelombang yang melewati bagian atas bangunan pengaman. Dalam desain bangunan pengaman merupakan keharusan dalam memprediksi gelombang yang melewati bangunan pengaman.

Untuk bangunan pengaman *riprap*, gelombang meloncat ditentukan menurut :

$$Q' = C_o e^{C_1 F} e^{C_2 m} \quad (1-1)$$

$$Q' = \frac{Q}{(gH_{mo}^3)^{1/2}} \quad (1-8)$$

$$F' = \frac{F}{(H_{mo}^2 L_o)^{1/3}} \quad (1-9)$$

dimana:

F adalah *freeboard*

$$C_o = 0,4518$$

$$C_1 = -29,45$$

$$C_2 = 0,8464$$

Koefisien diatas digunakan untuk *freeboard* dengan nilai $0,25 < F' < 0,43$ dan kemiringan bangunan 1 : 2 dan 1 : 3,5.

Untuk gelombang meloncat melalui *seawall*, yaitu :

$$Q = C_o \exp \left[C_1 F' + C_2 \left(\frac{F}{h_s} \right) \right] \quad (I-10)$$

$$Q' = \frac{Q}{(gH_{mo}^3)^{1/2}} \quad (I-11)$$

dimana:

$$C_o = 0,338$$

$$C_1 = -1,385$$

$$C_2 = -2,118$$

2.7 Stabilitas lapisan

Untuk menentukan stabilitas dari lapisan bangunan pengaman, yaitu dengan rumus

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_u} - 1 \right) \cot \theta} \quad (I-12)$$

dimana :

W = berat lapisan (lb)

γ_r = berat jenis lapisan (lb/ft³)

H = tinggi gelombang

K_o = koefisien stabilitas

γ_u = berat jenis air laut (lb/ft³)

θ = kemiringan bangunan pengaman

Persamaan diatas merupakan persamaan stabilitas dengan angka stabilitas (N_s)

$$N_s = \frac{H}{\left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)} \quad (I-13)$$

Untuk *riprap* yang tidak teratur, angka stabilitas adalah:

$$N_s = 1.14 \cot^{1/6}\theta \quad (I-14)$$

Persamaan angka stabilitas yang lain adalah

a. Untuk laut dalam

$$N_s = 6.2 K_{pm}^{0.18} \left(\frac{T_{kk}}{\sqrt{N_w}}\right)^{0.2} \xi^{0.5} \quad (I-15)$$

untuk gelombang tidak pecah

$$N_s = 1.0 K_{pm}^{-0.13} \left(\frac{T_{kk}}{\sqrt{N_w}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot\theta} \xi^P \quad (I-16)$$

dimana K_{pm} : koefisien permeabilitas

T_{kk} = tingkat kerusakan

N_w = jumlah gelombang

$K_{pm} = 1.0$ bila *riprap* impermeabel.

b. Untuk laut dangkal

$$N_s = \frac{1.40 H_s}{H_2} \quad (I-11)$$

$$H_2 = 1.40 H_s$$

2. 8 Tebal lapisan

a. Lapisan pelindung

Tebal lapisan pelindung dihitung sebagai berikut :

$$dr = nl \cdot k_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3} \quad (I-18)$$

dimana dr = tebal lapisan pelindung (ft)

k_Δ = koefisien lapisan

nl = jumlah lapisan

Untuk memperkirakan jumlah lapisan pelindung:

$$N_i = A_i n k_{\Delta} \left(1 - \frac{K_{pm}}{100} \right) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{2/3} \quad (I-19)$$

K_{pm} = porositas lapisan.

A_i = luas lapisan

b. Lapisan batuan (*riprap*)

Tebal *riprap* adalah dua kali W_{50} *riprap*. Dengan tebal minimum adalah 25 persen dari diameter batu yang terbesar. Dan lebih besar dari 1 ft.

Tebal *riprap* yang digunakan ditentukan rumus:

$$r_{\min} = \max \left[2.0 \left(\frac{W_{50 \min}}{\gamma_p} \right); 1.25 \left(\frac{W_{100}}{\gamma_r} \right); \right] \quad (I-20)$$

2. 9 Pelindung Kaki dan filter

Kaki dari bangunan pengaman akan mengalami penggerusan. Oleh karena itu harus dilakukan perlindungan. Perlindungan yang dapat dilakukan, yaitu dengan menggunakan *riprap*. Prosedur desain *riprap* dapat dilihat pada bab 8 Bagian A.

Filter digunakan untuk mencegah partikel tanah yang kecil naik ke atas. Prosedur penentuan tebal lapisan filter dapat melihat pada bab 8 Bagian A.

2. 10 Gaya gelombang

Gaya gelombang ditentukan dari kasus untuk gelombang pecah maupun tidak pecah. Kasus ini tergantung dari tinggi gelombang dan kedalaman struktur bangunan. Gaya gelombang untuk ketinggian muka air dan periode tertentu harus diperhitungkan.

a. Gelombang pecah

Gelombang pecah di struktur vertikal menabrak dengan waktu yang singkat.

Gelombang pecah pada struktur kaku diterangkan dalam metode Minikin.

Metode mengacu pada buku *Shore Protection Manual*. Untuk bangunan pengaman semirigid menggunakan persamaan dibawah ini :

$$Ft = 1/2 [d_s (P_1 + P_2) + h_c (P_1 + P_4)] \quad (I-21)$$

$$P_1 = (\alpha_1 + \alpha_2) \gamma_w H_b$$

$$P_3 = \alpha_3 P_1$$

$$P_4 = \left(1 - \frac{h_c}{1.5H_b}\right) P_1$$

dimana

$$\alpha_1 = 0.6 + 1/2 \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\left(\frac{h_b - d}{3h_b} \right) \left(\frac{H_b}{d} \right)^2 ; \frac{2d}{H_b} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{d_s}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \right]$$

dimana:

γ_w = berat jenis air laut

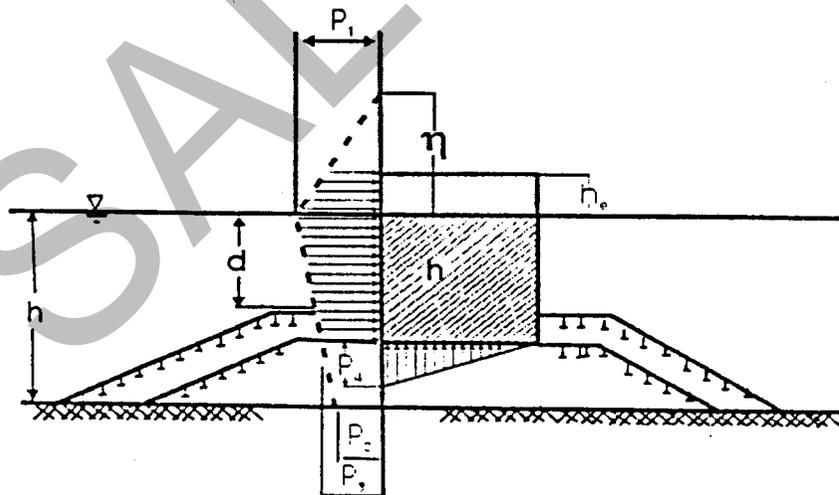
h_c = tinggi puncak bangunan diukur dari SWL

d = kedalaman lapisan pelindung dari muka air

d_s = kedalaman dasar bangunan

H_b = gelombang pecah yang paling tinggi pada

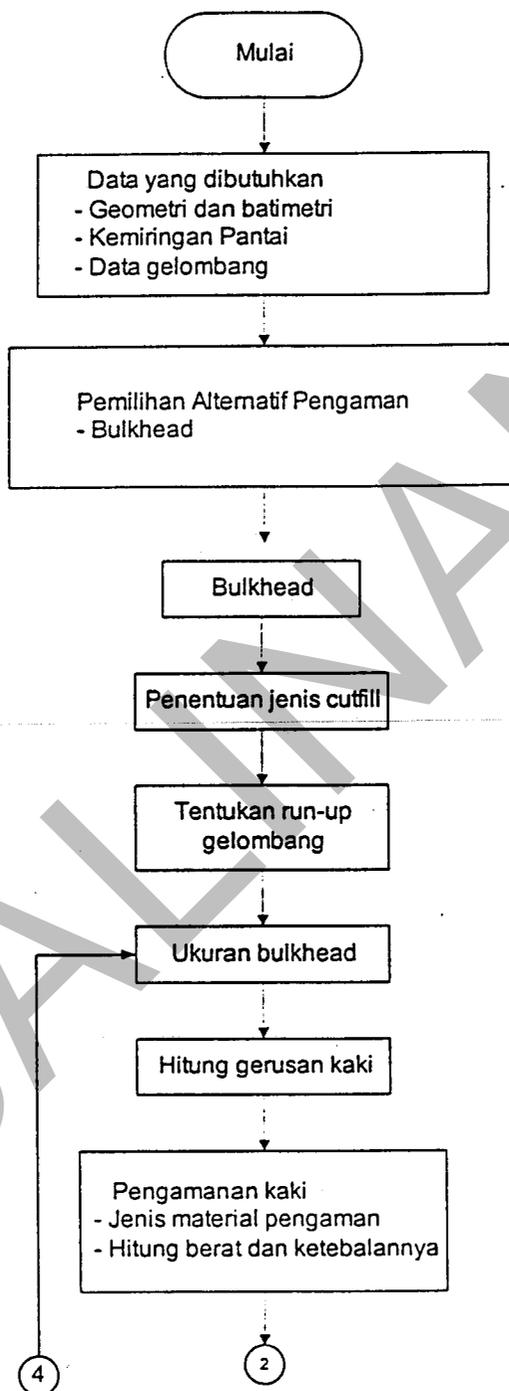
F adalah gaya per satuan panjang struktur. Gambar I-2 menjelaskan gaya yang terjadi struktur vertikal.

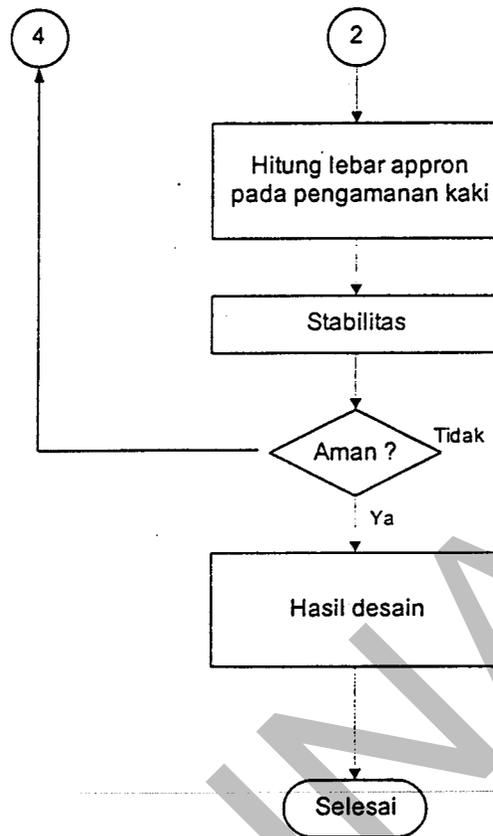


Gambar I-2. Tekanan gelombang pecah pada dinding vertikal

Metode perencanaan *bulkhead* sebagai berikut:

Flowchart Perencanaan Bulkhead





Gambar 3-1. Flow chart perencanaan dinding penahan untuk perlindungan pantai

Perencanaan Bulkhead

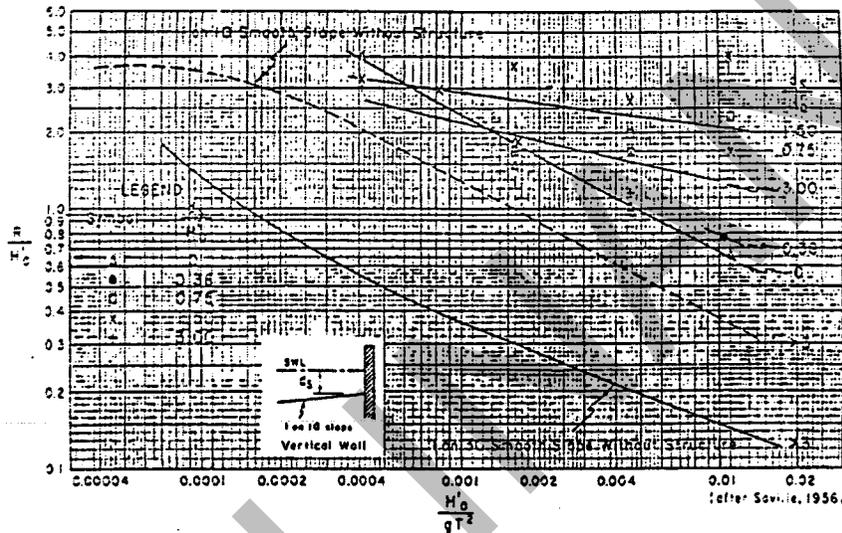
ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan Bulkhead
Yaitu :

1. Turap (Sheetpiling)

Sesuai dengan perhitungan perencanaan struktur yang standar, maka dipilih tipe turap dari jenis ankor/centilever. Pertimbangan perencanaan yang paling penting adalah *run-up* gelombang dan pengamanan kakinya (*toe protection*).

a. Gelombang *run-up*

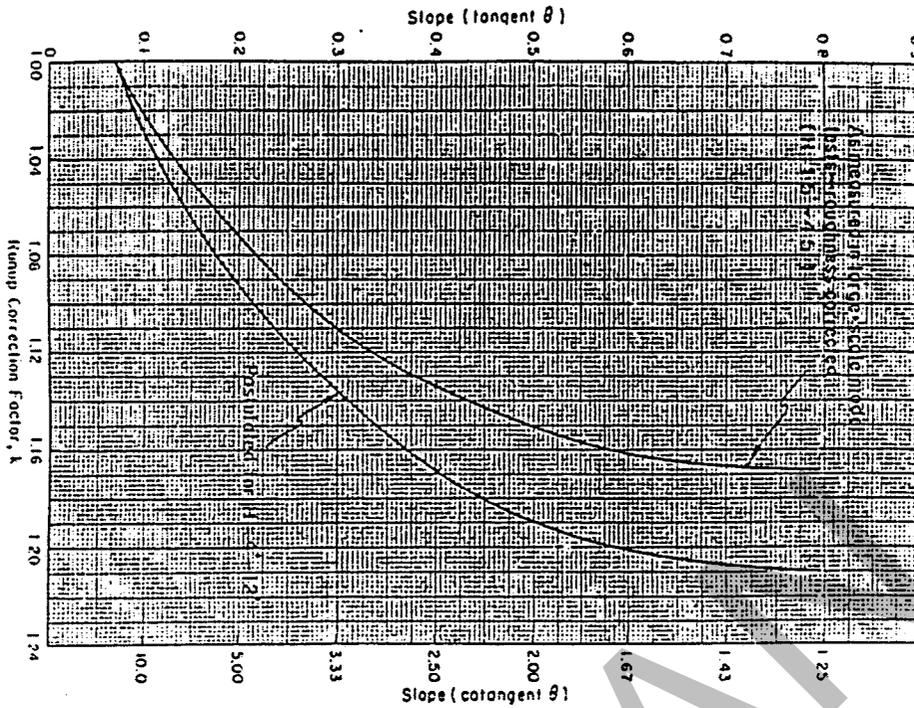
Untuk menghitung *run-up* gelombang dalam kasus ini digunakan gambar 3-2.



Gambar 3-2. Nomogram penentuan gelombang *run up*

Petunjuk Penggunaan Nomograph pada gambar 3-2:

1. Hitung $H'0$
2. Hitung $H'0/gT^2$
3. Plot nilai $H'0/gT^2$ pada garis grafik sumbu horizontal
4. Tarik garis lurus dari titik $H'0/gT^2$ menuju garis tipe kemiringan, selanjutnya tarik garis lurus horizontal memotong garis grafik $R/H'0$
5. Baca titik perpotongan antara garis lurus dengan garis grafik nilai $R/H'0$.
6. Hitung R .



Gambar 3-3. Koreksi *run up* untuk pengaruh skala

Petunjuk Penggunaan Nomograph pada gambar 3-3:

1. Tentukan kemiringan struktur (cotangant θ).
2. Plot nilai cotangant θ pada garis grafik sumbu horizontal.
3. Tarik garis lurus dari titik cotangant θ menuju garis interval tinggi gelombang H, selanjutnya tarik garis lurus horizontal memotong garis grafik k.
4. Baca titik perpotongan antara garis lurus dengan garis grafik nilai k.

$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\left\{1 / \tanh(2\pi h / L)\right\} \times \left\{\frac{1}{(1 + \pi h / L) / \sin\left(\frac{h}{L}\right)}\right\}}$$

Kemudian dicari nilai dibawah ini

$$\frac{hs}{H_o} \text{ dan } \frac{H_o}{gT^2}$$

Berdasarkan harga hs/H_o dan H_o/gT^2 , dari gambar 7.14 SPM diperoleh r/H_o .

Untuk mengoreksi pengaruh skala, maka gambar 7.13 dari SPM diperoleh $K = 1.19$ (faktor korelasi), sehingga tinggi *run-up* gelombang hasil koreksi (R'):

b. Pengamanan kaki *bulkhead*:

Dibawah kondisi elevasi muka air tapak *bulkhead* akan terendam. Ukuran batu pada kaki *bulkhead* dihitung dengan persamaan :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 \text{Cot}\theta}$$

Ketebalan lapisan digunakan rumus

$$dr = n_r K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r}\right)^{1/3}$$

Diasumsikan bagian angkor, kaki depannya diamankan zona tekanan tanah pasif, dimana lebar dari zona ini adalah:

$$\text{width} = K_p \cdot d_c$$

2. Penentuan kedalaman sheet pile (D)

Agar struktur turap (*sheetpiling*) aman, maka perlu ditentukan kedalaman yang harus dipancang agar konstruksi tersebut kokoh. Perhitungannya dapat merujuk pada contoh perhitungan turap di sungai, dengan memodifikasi beberapa gaya yang bekerja, terutama akibat gelombang.

3. Perhitungan stabilitas

Dengan sedikit modifikasi, terutama akibat adanya pengaruh gaya gelombang, maka kestabilan struktur *revetment* di pantai dapat mengacu pada perhitungan stabilitas *retaining wall*.

BUKU 4

SALINAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

**Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan**

BUKU 4

**Perencanaan bangunan pengamanan gerusan
pantai untuk konstruksi jalan dan jembatan
dengan groin**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

**MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN
PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN**

BUKU 1	UMUM	
BUKU 2	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL	
BUKU 3	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD	
BUKU 4	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN	
1.	Umum	4-1
2.	Konsep desain	4-2
2.1.	Desain fungsi	4-2
2.2.	Desain untuk memenuhi fungsi	4-4
2.3.	Desain struktur	4-5
3.	Metode perencanaan	4-6
3.1.	Penentuan pola arus dan pergerakan sedimen	4-7
3.2.	Penempatan / <i>lay out</i> posisi <i>groin</i>	4-7
3.3.	Ukuran material <i>groin</i>	4-8
3.4.	Perhitungan <i>run-up</i> gelombang	4-9
3.5.	Perhitungan stabilitas	4-9
BUKU 5	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER	
BUKU 6	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE	
BUKU 7	LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS	

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN

1. UMUM

Groin dapat membuat bentuk arus dan gelombang yang sangat kompleks. Tetapi dengan desain yang baik, *groin* dapat memperlambat laju perpindahan sedimen di sepanjang pantai

Penentuan tipe *groin* berdasarkan jarak ditematkannya *groin* pada daerah ombak di pantai, kemungkinan besarnya sedimen yang melewati puncak, berdasarkan permeabilitas *groin*.

Struktur *groin* terdiri dari panjang, tinggi (dalam), permeabilitas, jarak antara *groin* bila *groin* lebih dari satu dipasang dan arah orientasi.

Groin merupakan struktur penghalang yang menyerupai jejari yang biasanya dibangun tegak lurus terhadap garis pantai yang berfungsi untuk menahan erosi serta untuk mengontrol gerakan muatan dasar.

2. KONSEP DESAIN

2.1 Desain Fungsi

Desain fungsi merupakan kegiatan untuk menentukan apakah *groin* ini dapat melindungi atau menstabilkan pantai dari gerusan. Mendesain fungsi dari *groin* memerlukan pengetahuan tentang ketersediaan dan transportasi sedimen pasir. *Groin* diperlukan bila sedimen yang keluar lebih banyak dibandingkan sedimen yang masuk atau mengendap. *Groin* merubah kawasan sedimentasi. Perubahan ini dapat sementara maupun tetap tergantung dari dimensi dan jenis *groin* itu.

Ada dua jenis *groin* dilihat dari bahan pembuatnya, yaitu yang menggunakan lapisan batuan dan jenis tiang pancang (*sheetpile*). Namun terkadang *groin* dengan *sheetpile* dilapisi batuan. Bentuk *groin* mengikuti garis pantai dan biasanya bentuknya lurus. *Groin* juga dapat diklasifikasikan dalam bentuk yang panjang maupun pendek, tergantung dari daerah gelombang yang akan dilindungi. Bila seluruh daerah gelombang yang akan dilindungi, maka *groin* dikatakan panjang. Namun bila sebagian dinamakan pendek. *Groin* juga dapat dikatakan tinggi maupun pendek, tergantung dari ketinggian *groin*. Dan juga *groin* dapat diklasifikasikan sebagai permeabel maupun impermeabel.

Penempatan *groin* di garis pantai tergantung dari panjang garis pantai yang akan dilindungi. Penempatan juga dipengaruhi oleh tempat terjadinya sedimentasi pantai. Bila daerah berbatu, maka *groin* dapat diletakkan di daerah berbatu. Bila *groin* ditempatkan dengan jarak yang dekat, maka akan mencegah gerusan di sepanjang pantai.

Fungsi *groin* ditentukan dari panjang pantai dan sedimen transpor. Transportasi sedimen terbanyak terjadi di daerah gelombang (ombak) dekat daerah terluar pecahnya gelombang dan garis pantai. Hal ini menyebabkan panjang *groin* tergantung dari daerah gelombang (ombak). Lokasi dari daerah gelombang tergantung dari ketinggian gelombang dan pasang surut sehingga tinggi *groin* pun tergantung dari tinggi gelombang dan pasang surut.

Pemilihan tinggi *groin* berdasarkan beberapa faktor yang akan meminimalkan penggunaan bahan konstruksi, mengendalikan pasir yang bergerak diatas *groin*,

mengendalikan gelombang. Secara umum profil dari *groin* dapat dibagi menjadi tiga, yaitu bagian yang dekat dengan daratan atau pantai yang diinginkan, bagian yang menghubungkan bagian yang dekat ke daratan dengan yang di terendam di laut, dan bagian yang terendam di lautan.

Jarak antara *groin* merupakan fungsi dari panjang *groin*. Jarak antara *groin* biasanya dua sampai tiga kali panjang *groin*. Pemilihan jarak antara *groin* merupakan hasil analisis pada garis pantai. Garis pantai merupakan fungsi dari gelombang dan bentuk garis pantai.

Permeabilitas *groin* merujuk dari transportasi pasir pada *groin*. Biasanya *groin* dengan tiang pancang (*sheet pile*) merupakan impermeabel sedangkan dengan batuan permeabel dengan derajat tertentu. Tidak ada petunjuk khusus untuk menentukan permeabilitas dari *groin* yang ukuran geometrinya sudah tertentu.

Panjang *groin* ke arah bawah tidak sama untuk setiap jarak. Hal ini disebabkan kedalaman pantai yang berbeda. Semakin dangkal bila mendekati pantai. Perpindahan dalamnya *groin* disebut daerah transisi. Panjang *groin* untuk daerah transisi dapat ditentukan oleh rumus sebagai berikut ;

$$L_1 = \left[\frac{1 - \left(\frac{R_1}{2}\right) \tan 6^\circ}{1 + \left(\frac{R_1}{2}\right) \tan 6^\circ} \right] L_n \quad (2-22)$$

dimana :

L_1 = panjang *groin* yang pertama pada daerah transisi

R_1 = rasio dari jarak antar *groin*

L_n = panjang normal *groin* pada laut dalam

Jarak antara *groin* yang terakhir di laut dalam dengan *groin* pada daerah transisi adalah

$$d_1 = \left[\frac{R_1}{1 + \left(\frac{R_1}{2}\right) \tan 6^\circ} \right] L_n \quad (2-23)$$

d_1 = jarak antar *groin*.

2.2. Desain untuk Memenuhi Fungsi

Beberapa aturan untuk mendesain *groin* yang berkaitan dengan desain fungsi :

- a) *Groin* hanya dapat digunakan untuk memotong jalur transportasi sedimen di pantai. *Groin* tidak efektif untuk mencegah hilangnya pasir di lautan (jauh dari pantai). *Groin* akan 'menangkap' sedimen pasir hingga mengendap membentuk garis pantai yang baru.
- b) Pantai yang terbentuk didekat *groin* tergantung dari besar dan arahnya transportasi sedimen di pantai. *Groin* membentuk garis pantai yang baru dengan mendekati paralel dengan garis pantai.
- c) *Groin* mempengaruhi akumulasi pasir di pantai sehingga dapat merubah bentuk garis pantai sehingga mendekati keadaan semula.
- d) Air laut yang didorong oleh gelombang membentur badan *groin* kadang kembali ke lautan dalam bentuk arus sepanjang sisi *groin*. Karena *groin* tidak dapat mencegah kehilangan pasir di lautan, maka arus yang diakibatkan *groin* akan membawa batuan yang besar.
- e) Persentase transportasi pasir melalui *groin* di pantai dipengaruhi oleh dimensi *groin*, dimensi *fillet*, ketinggian muka air dan gelombang.
- f) Pasir yang tertahan di bagian atas *groin* akan turun ke bawah untuk mengisi bagian bawah. Hal ini harus dicegah agar tidak terjadi kekurangan pasir di bagian atas.
- g) Jarak antara *groin* adalah dua sampai tiga kali panjang *groin* bila tidak ada studi maupun analisis tentang keadaan pantai
- h) Kestabilan *groin* dapat ditentukan dari ukuran batuan yang digunakan. Ukuran batuan yang stabil untuk digunakan dapat ditentukan sebagai berikut:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \text{Cot} \theta} \quad (2-24)$$

Ketebalan lapisan, yaitu :

$$dr = n_i K_D \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1.3} \quad (2-25)$$

Jumlah batuan, yaitu :

$$N_r = A_r n_r K_D \left(1 - \frac{\rho}{100} \right) \left(\frac{Y_r}{W} \right)^{2/3} \quad (2-26)$$

2.3 Desain Struktur

Desain struktur *groin* terdiri dari dua bagian, yaitu beban yang bekerja pada *groin* dan analisis struktur.

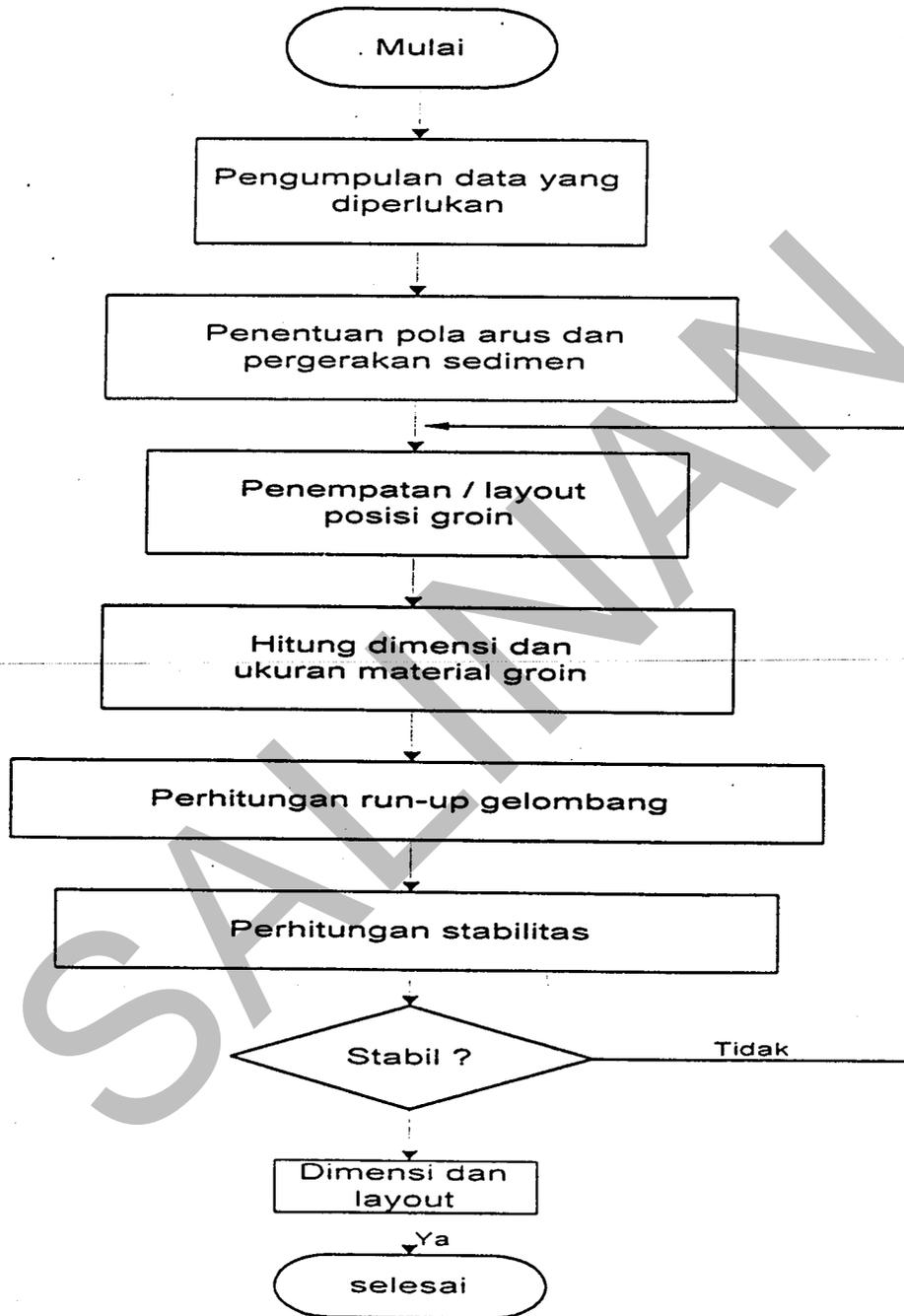
Beban yang terjadi atau yang dipikul oleh *groin* adalah beban akibat gelombang, akibat arus laut dan gaya-gaya yang lain seperti sampah kayu.

Sedangkan analisis struktur terdiri dari analisis kelelahan (*fatigue*) dan kehancuran (*fracture*)

3. METODE PERENCANAAN

Metode perencanaan groin untuk pantai adalah sebagai berikut :

Flowchat Perencanaan Groin



Gambar 3-1. Flow chart perencanaan *groin* di pantai

3.1 Penentuan pola arus dan pergerakan sedimen

Untuk lebih efektif dalam penempatan *groin*, maka perlu dilakukan pemodelan hidraulika dan proses sedimentasi pada wilayah yang akan dipasang *groin*. Pemodelan ini dapat dilakukan dengan menggunakan *software* seperti *Divast*, dan lain-lain.

3.2 Penempatan/layout posisi *groin*

Tempatkan *groin* pada posisi yang diinginkan. Posisi akan menentukan hasil yang akan dicapai. Sebaiknya posisi *groin* berdasarkan percobaan yang telah dilakukan atau berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan.

Groin ditempatkan tegak lurus terhadap garis pantai. Jarak antara *groin* digunakan rumus:

$$d_1 = \left[\frac{R_1}{1 + \frac{R_1}{2} \tan 6^\circ} \right] L_n$$

dimana :

R_1 = rasio jarak antar *groin* terhadap panjang *groin*

L_n = panjang *groin* lapangan

Sedangkan panjang *groin* pertama pada daerah transisi dihitung menggunakan persamaan :

$$L_1 = \left[\frac{1 - \frac{R_1}{2} \tan 6^\circ}{1 + \frac{R_1}{2} \tan 6^\circ} \right] L_n$$

Dari konsep di atas dapat dihitung:

$$R_1 = \frac{d_g}{L_n}$$

Berdasarkan panjang L_1 dan jarak S_1 , maka untuk posisi *groin* selanjutnya dapat ditulis:

$$L_2 = C_o L_1$$

$$L_3 = C_0 L_2$$

$$S_2 = C_1 L_1$$

$$S_3 = C_1 L_2$$

Perhitungan koefisien C_0 dan C_1 :

$$\frac{L_2}{L_n} = \frac{\left(\frac{L_2}{\text{tg } 6^\circ} \right) - S_1 - S_2}{L_n / \text{tg } 6^\circ}$$

$$\frac{L_2}{L_n} = \frac{L_n - S_1 \text{tg } 6^\circ - S_2 \text{tg } 6^\circ}{L_n}$$

$$\Rightarrow L_2 = L_n - (S_1 - S_2) \text{tg } 6^\circ$$

Dengan memasukkan persamaan (a) ke dalam persamaan (b) diperoleh :

$$C_0 L_1 = L_n - (S_1 + C_1 L_1) \text{tg } 6^\circ$$

$$L_1 (C_0 + C_1 \text{tg } 6^\circ) = L_n - S_1 \text{tg } 6^\circ$$

$$C_0 + C_1 \text{tg } 6^\circ = \frac{L_n - S_1 \text{tg } 6^\circ}{L_1}$$

$$C_0 + 0,105 C_1 = 1$$

3.3 Ukuran material *Groin*

Untuk menghitung ukuran material *groin*, maka perlu diketahui kondisi pantai, terutama elevasi muka air dan dasar serta kemiringan pantai. Kemudian hitung

$$\frac{hs}{gT^2}$$

Hitung

$$\frac{H_b}{hs}$$

Armor dipilih dari *quarystone*, dimana beratnya dapat dihitung :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \text{Cot } \theta}$$

Gradasi yang diusulkan berdasarkan tabel terlampir .

Ketebalan lapisan *armor* untuk dua lapis dapat dihitung :

$$dr = n_i K_D \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3}$$

Jumlah *quarystone*:

$$N_r = A_i n_i K_D \left(1 - \frac{\rho}{100} \right) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{2/3}$$

3. 4 Perhitungan *run-up* gelombang

Hitung tinggi *run-up* gelombang dengan

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = e^{\left[C_o \left(\frac{h}{gT_p^2} \right)^{-C_1} \right]}$$

$$C_o = 0.00089$$

$$C_1 = 0.834.$$

$$\xi = \frac{tg \theta}{\left\{ \frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2} \right\}^{1/2}}$$

$$\frac{R_{max}}{H_{mo}} = \frac{a\xi}{1+b\xi}$$

$$a = 1,022$$

$$b = 0,247$$

3. 5 Perhitungan stabilitas

Dengan sedikit modifikasi, terutama akibat adanya pengaruh gaya gelombang, maka kestabilan struktur *groin* di pantai dapat mengacu pada perhitungan stabilitas *retaining wall* pada sungai.

BUKU 5

SALINAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

**Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan**

BUKU 5

**Perencanaan bangunan pengamanan gerusan
pantai untuk konstruksi jalan dan jembatan dengan
breakwater**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

BUKU 1	UMUM	
BUKU 2	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL	
BUKU 3	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD	
BUKU 4	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN	
BUKU 5	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER	
1.	Umum	5-1
2.	Parameter desain dan efek struktur	5-2
2.1.	Panjang pantai yang akan dilindungi	5-2
2.2.	Tipe konstruksi	5-2
2.3.	Elevasi puncak	5-2
2.4.	Sirkulasi arus dan modifikasi arus	5-2
2.5.	Efek pada lingkungan gelombang	5-2
2.6.	Efek pada transportasi sedimen pantai	5-3
2.7.	Efek pada transportasi sedimen pada tepi pantai dan tengah laut....	5-3
3.	Desain untuk memenuhi tujuan fungsi	5-3
4.	Hubungan empiris untuk desain breakwater	5-4
5.	Metode Perencanaan	5-11
5.1.	Koleksi data dan pemilihan tipe <i>breakwater</i>	5-13
5.2.	Hitung tinggi gelombang rencana	5-13
5.3.	Penentuan elevasi muka air untuk memperkirakan overtopping	5-13
5.4.	Perhitungan <i>run up</i> gelombang	5-13
5.5.	Pemilihan tipe batu pelapis (<i>armor unit</i>)	5-14
5.6.	Penentuan berat satuan <i>armor</i> optimum dan kemiringannya	5-14
5.7.	Perhitungan berat satuan <i>armor</i> untuk puncak (<i>crest</i>)	5-14
5.8.	Berat batu untuk lapisan pertama di bawah lapisan atas (<i>first under layer stone weight</i>)	5-14
5.9.	Berat batu untuk lapisan kedua di bawah lapisan atas (<i>second under layer stone weight</i>)	5-15
5.10.	Berat material inti (<i>core material weight</i>)	5-15
5.11.	Ketebalan lapisan <i>armor</i> dan lapisan di bawahnya	5-15
5.12.	Penentuan lantai kerja (<i>bedding layer</i>)	5-15
5.13.	Perhitungan stabilitas	5-15
BUKU 6	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE	
BUKU 7	LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS	

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER

1. UMUM

Hal yang utama dalam mendesain *breakwater* di dekat pantai adalah bentuk yang diinginkan dan lebar pantai di belakang *breakwater*. Bentuk akhir dari garis pantai dan lokasinya tergantung dari bentuk geometri sistem *breakwater*, lingkungan gelombang, lingkungan bentangan pantai dan jumlah pasir yang tersedia.

Tipe *breakwater* dapat dibagi menurut tipe konstruksi, bentuk pantai yang diinginkan dan ketinggian puncak *breakwater*. Empat macam bentuk dasar *breakwater* untuk stabilisasi pantai adalah *breakwater* tunggal, *breakwater* banyak (majemuk), dataran kepala (*headland*) dan struktur terendam.

Breakwater tunggal mempunyai pengaruh yang terbatas dan hanya melindungi daerah lokal dari pantai. Faktor kritis dalam mendesain *breakwater* tunggal adalah panjangnya, jarak dari tengah laut dan elevasi puncak.

Breakwater jenis ini banyak digunakan untuk melindungi bentang pantai yang lebih panjang. Faktor kritis dalam mendesain *breakwater* ini adalah panjang masing-masing *breakwater*, jarak dari tengah laut, jarak antar *breakwater* dan elevasi puncak.

Artificial Headland adalah *breakwater* di tengah laut. Faktor yang kritis dalam mendesain adalah tinggi energi, panjang masing-masing *headland*, jarak antara dan lokasi, elevasi puncak dan lebar *headland*.

Struktur ini adalah *breakwater* di dekat pantai dimana elevasi puncaknya di bawah rata-rata kedalaman pasang surut.

2. PARAMETER DESAIN DAN EFEK STRUKTUR

2.1. Panjang pantai yang akan dilindungi

Panjang yang dilindungi oleh *breakwater* tunggal tergantung dari tombolo (pasir yang mengumpul dibelakang *breakwater*). Sedangkan dengan *breakwater* yang banyak, maka akan membentuk tombolo sepanjang pantai. Secara umum, *breakwater* dalam jumlah banyak yang membentuk sistem akan diperlukan untuk melindungi pantai yang panjang dan masih dapat mempertahankan perpindahan sedimen untuk meminimumkan gerusan sepanjang di bagian bawah pantai.

Sedangkan tinggi gelombang akan mengecil di belakang *breakwater*.

2.2. Tipe Konstruksi

Bahan yang digunakan untuk membuat *breakwater* bermacam-macam, mulai dari batuan hingga *sheet pile* baja. Masing-masing mempunyai keunggulan dan kekurangannya masing-masing.

2.3. Elevasi Puncak

Elevasi puncak menentukan banyaknya energi gelombang yang melewati puncak bangunan. Elevasi puncak yang rendah akan memindahkan energi gelombang yang lebih banyak.

2.4. Sirkulasi Arus dan Modifikasi Arus

Pembuatan bangunan seperti *breakwater* akan mengakibatkan perubahan arus di sekitar pantai. Akibat adanya *breakwater*, maka arus akan tertahan sepanjang pantai yang dipasang *breakwater* dan mengakibatkan arus yang datang lambat. Kalau elevasi *breakwater* cukup rendah untuk terjadi aliran melalui puncak (*overtopping*), maka muka air di belakang *breakwater* akan naik dan menyebabkan adanya arus disekitar *breakwater*. Untuk *breakwater* yang banyak, maka akan terjadi arus diantara *breakwater*.

2.5. Efek pada lingkungan gelombang

Breakwater mengurangi sejumlah energi gelombang yang mencapai pantai. Gelombang pada *breakwater* akan mengalami tiga proses, yaitu difraksi di sekeliling *breakwater*, penyaluran gelombang melalui puncak (*overtopping*) dan penyaluran gelombang melalui struktur. Kondisi gelombang di bawah *breakwater*

ditentukan oleh karakteristik refleksi. Gelombang yang direfleksikan berinteraksi dengan gelombang datang menyebabkan bentuk gelombang berdiri pada *breakwater*. Gelombang berdiri ini menyebabkan agitasi pada dasar *breakwater* mengakibatkan terjadinya penggerusan, perusakan dasar *breakwater* dan menyebabkan masalah pada pondasi.

2.6. Efek pada transportasi sedimen pantai

Breakwater akan mengurangi transportasi pantai dengan melindungi pantai dari gelombang yang datang. Pengurang kapasitas transportasi ditentukan oleh pengurangan pada tinggi gelombang dan pengarahannya pada puncak dengan difraksi di sekitar *breakwater*.

2.7. Efek pada transportasi sedimen pada tepi pantai dan tengah laut

Breakwater dapat mengurangi pemindahan pasir tengah laut. Tinggi gelombang pada *breakwater* dapat dikurangi dan arahnya berubah. Gelombang yang rendah akan menghasilkan kemiringan gelombang yang rendah juga dan terjadi transportasi pasir di tepi pantai daripada di tengah laut. Dengan adanya *breakwater*, keseimbangan baru transportasi pasir (sedimen) antara tepi pantai dan lepas pantai akan terbentuk.

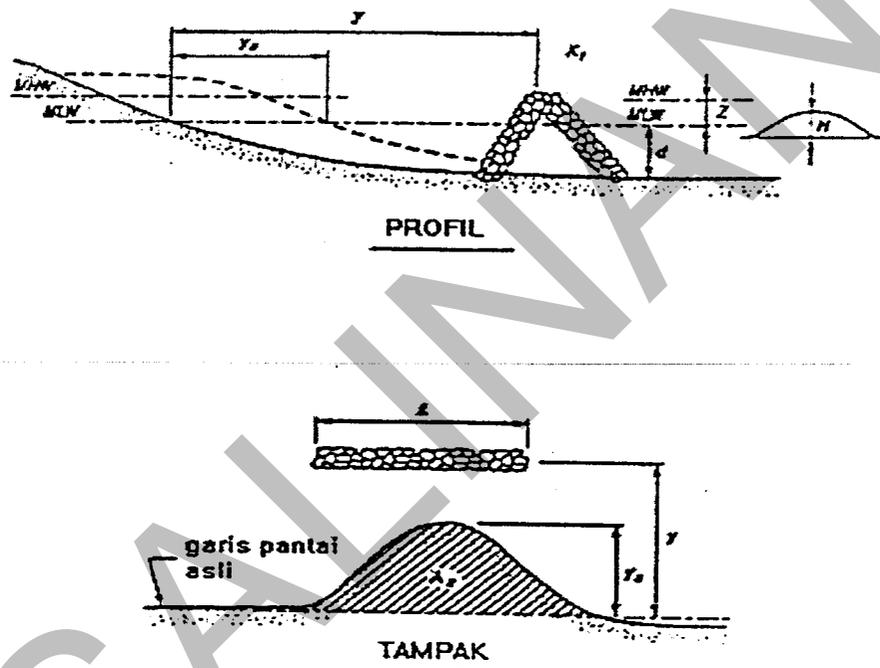
3. Desain untuk memenuhi tujuan fungsi

- 1) Penempatan *breakwater* tunggal maupun banyak tergantung dari tujuan untuk meningkatkan pengisian pantai, melebarkan pantai dan melindungi tanah di pantai. *Breakwater* tunggal digunakan untuk pantai yang pendek sedangkan yang banyak digunakan untuk pantai yang panjang atau membentuk dinding sepanjang pantai.
- 2) Kalau *breakwater* ditempatkan dimana transportasi sedimen tidak ada, tetapi transportasi sedimen tetap berlangsung, maka efek fungsi dari *breakwater* akan terbatas di sekitar *breakwater* itu.
- 3) Jarak yang lebar untuk *breakwater* yang banyak dapat menyebabkan energi gelombang masuk ke daerah di belakang *breakwater*, sehingga dapat memelihara tingkat transportasi pasir. Perbandingan antara lebar

jarak dengan jumlah panjang seluruh *breakwater* adalah diantara 0,25 sampai 0,66.

- 4) Konfigurasi pantai setelah pemasangan *breakwater* dapat ditentukan dari analisis difraksi gelombang menggunakan karakteristik kondisi lapangan tersebut. Hasil dari pemasangan *breakwater* dapat dilihat dengan cara coba-coba, yaitu mengatur posisi *breakwater*. Setelah *trial and error*, maka akan dicapai tujuan yang diharapkan.

4. Hubungan Empiris untuk Desain Breakwater



Gambar 4-1. Skema *breakwater* tipe tunggal

Desain *breakwater* adalah menentukan dimensinya, yaitu panjang *breakwater*. Panjang *breakwater* ini dapat diperoleh dari hubungan antara panjang *breakwater* dengan jarak *breakwater* (L_{bw}/d) dari pantai atau panjang *breakwater* dengan panjang energi gelombang (L_{bw}/gT^2). Hubungan empiris tersebut antara lain dibuat oleh Suh dan Dalrymple untuk *breakwater* tunggal, yaitu

$$\frac{d_s}{L_{bw}} = 0.156 \text{ untuk } \frac{d_h}{d} < 0.5 \quad (4-27)$$

$$\frac{d_s}{L_{bw}} = 0.317 \text{ untuk } 0.5 < \frac{d_b}{d} < 1.0 \quad (4-28)$$

$$\frac{d_s}{L_{bw}} = 0.377 \text{ untuk } \frac{d_b}{d} > 1.0 \quad (4-29)$$

dimana d_b adalah jarak antara pantai dengan *breakwater* dan d_s adalah jarak antara ujung *salient* dari rata-rata garis pantai. Untuk *breakwater* yang banyak, sebagai berikut :

$$d_s = 14.8d \frac{d_i \cdot d}{L_{bw}^2} \exp\left[-2.83\sqrt{(d_i \cdot d / L_{bw}^2)}\right] \quad (4-30)$$

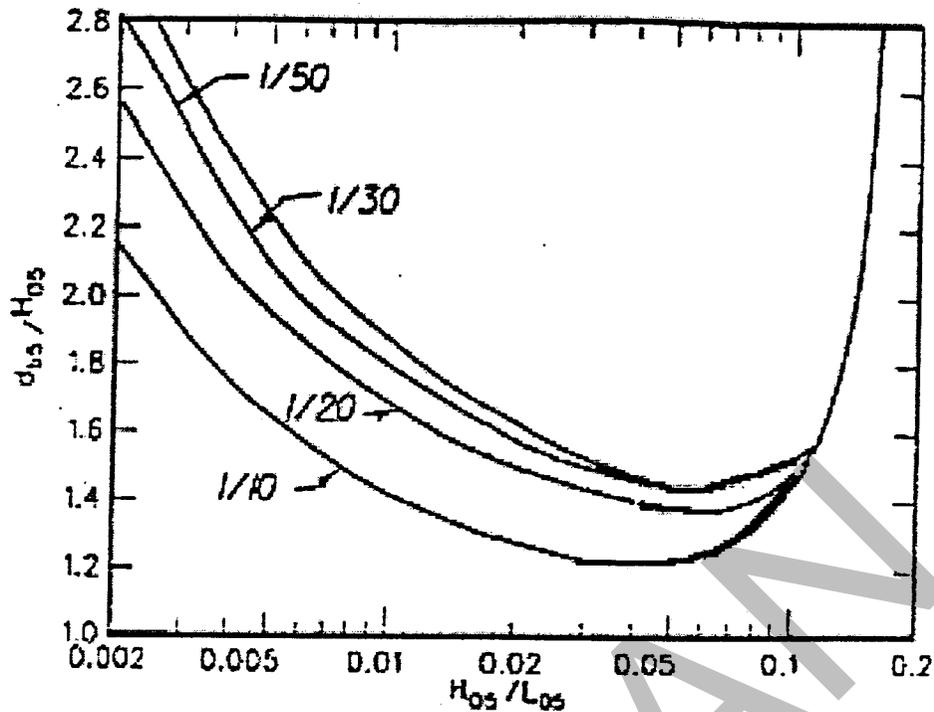
Langkah desain *breakwater* dapat dijabarkan sebagai berikut :

A. Dimensi *breakwater*

(1) Gelombang rencana yang digunakan pada prosedur adalah kedalaman rata-rata dari lima tinggi gelombang yang paling tinggi pada keadaan tidak terjadi badai (H_{05}) dan periode gelombang (T_5). Sesudah menentukan panjang pantai yang akan dilindungi dan garis pantai yang direncanakan (panjang *salient*, d_s), maka kedalaman air pecah (h_b) dari H_{05} dapat ditentukan dengan gambar 4-2 dengan nilai kedalaman air H_{05} dan L_{05} . Hitung perbandingan d'/h_b dimana $d' = (h_b + d_b \tan \beta)/2$ dimana $\tan \beta$ adalah kemiringan dasar, maka perbandingan *salient area ratio* (SAR) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$SAR = \frac{\frac{1}{2}(d_s \cdot d_s)}{d_b \cdot L_{bw}} \quad (4-31)$$

dimana l_0 adalah panjang *salient* pada arah panjang pantai.



Gambar 4-2. Rasio penentuan daerah asin sebagai fungsi kedalaman aliran relatif tipe B dan C untuk daerah pantai

Petunjuk Penggunaan Nomograph pada gambar 4-2:

1. Tentukan H_{05} dan L_{05}
2. Hitung H_{05}/L_{05}
3. Plot nilai H_{05}/L_{05} pada garis grafik sumbu horizontal
4. Tarik garis lurus dari titik H_{05}/L_{05} menuju garis tipe kemiringan, selanjutnya tarik garis lurus horizontal memotong garis grafik d_{b5}/H_{05}
5. Baca titik perpotongan antara garis lurus dengan garis grafik nilai d_{b5}/H_{05} .
6. Hitung d_{b5} .

(2) Jarak bangunan dari lepas pantai (tengah laut) dapat diperkirakan dengan pertama kali dengan $y' = \frac{d'}{\tan \beta}$. Nilai *salient* pertama kali diperkirakan dengan $y_s = SAR y'$. Apabila terdapat perbedaan antara nilai d_s dari persamaan SAR dengan hasil perkiraan, maka nilai y_s harus dibuat kembali dan prosedur (1) dan (2) harus diulang.

(3) Nilai antara panjang bangunan struktur adalah fungsi dari gelombang di tepi pantai untuk pantai tipe B adalah

$$1,8 L_{05} < L_{bw} < 3,0 L_{05} \quad (4-32)$$

untuk pantai tipe C adalah

$$0,8 d_b < L_{bw} < 2,5 d_b \quad (4-33)$$

Nilai antara panjang bangunan untuk fungsi dari jarak lepas pantai sampai ke pantai untuk pantai tipe B diberikan

$$0,8 d_b < L_{bw} < 2,5 d_b \quad (4-34)$$

Untuk pantai tipe C diberikan oleh

$$1,0 d_b < L_{bw} < 3,5 d_b \quad (4-35)$$

Jika panjang pantai yang akan dilindungi melebihi dua kali panjang *breakwater*, jarak antara *breakwater* sebagai berikut :

Untuk pantai tipe B :

$$0,7 d_b < d_t < 1,8 d_b \quad (4-36)$$

Untuk pantai tipe C

$$0,5 L_{05} < d_t < 1,0 L_{05} \quad (4-37)$$

Lebar jarak antara *breakwater* merupakan rata-rata nilai paling minimum dan nilai paling maksimum.

Dari rumus-rumus diatas akan dihasilkan dimensi *breakwater* seperti l (panjang *breakwater*), d_b (jarak *breakwater* dari rata-rata garis pantai), d_s (jarak antara *salient* (ujung tombolo) dengan rata-rata garis pantai), d_t (jarak antara *breakwater*).

B. Kekuatan *breakwater*

(1) Stabilitas dari *breakwater* dapat ditentukan sebagai berikut :

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_u} - 1 \right) \cot \theta}$$

W = berat lapisan (lb)

γ_r = berat jenis lapisan (lb/ft³)

H = tinggi gelombang

K_D = koefisien stabilitas

γ_u = berat jenis air laut (lb/ft³)

θ = kemiringan bangunan pengaman

K_D dapat dilihat pada tabel 7-1.

(2) Untuk lebar *breakwater* dapat ditentukan sebagai berikut :

$$B_b = 3k_{\Delta} \left[\frac{W_B}{\gamma_B} \right]^{1/3} \quad (4-38)$$

dimana

B_b = adalah lebar puncak (*feet*)

k_{Δ} = koefisien ketebalan lapisan (lihat tabel 4-2 terlampir berikut ini).

W_a = berat masing-masing lapisan (*lb*)

γ_a = berat jenis lapisan *armor* (*lb/ft³*).

SALINAN

Tabel 4-1. Harga Estimasi K_D untuk Pemakaian Penentu Satuan Berat Armor
(Kriteria Aman dan tanpa Luapan)

Armor Units	$n^{(a)}$	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			Breaking wave	Nonbreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Slope
Quarystone							
Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.2	1.9	1.5 to 3.0
Smooth rounded	3	Random	1.6	3.2	1.4	2.3	(c)
Rough angular	1	Random	(d)	2.9	(d)	2.3	(c)
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
					1.6	2.8	2.0
					1.3	2.3	3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	(c)
Rough angular	2	Special (e)	5.8	7.0	5.3	6.4	(c)
Paralelepid ^(f)	2	Special (e)	7.0-20.0	8.5-24.0	--	--	(c)
Tetrapod And Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
					4.5	5.5	2.0
					3.5	4.0	3.0
Tribar	2	Random	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
					7.8	8.5	2.0
					6.0	6.5	3.0
Dolos	2	Random	15.0 ^(g)	31.0 ^(g)	8.0	16.0	2.0 ^(h)
					7.0	14.0	3.0
Modified Cube	2	Random	6.5	7.5	--	5.0	(c)
Hexapod	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	(c)
Toskane	2	Random	11.0	22.0	--	--	(c)
Tribar	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	(c)
Quarystones(K_{KK})							
Graded Angular	--	Random	2.2	2.5	--	--	--

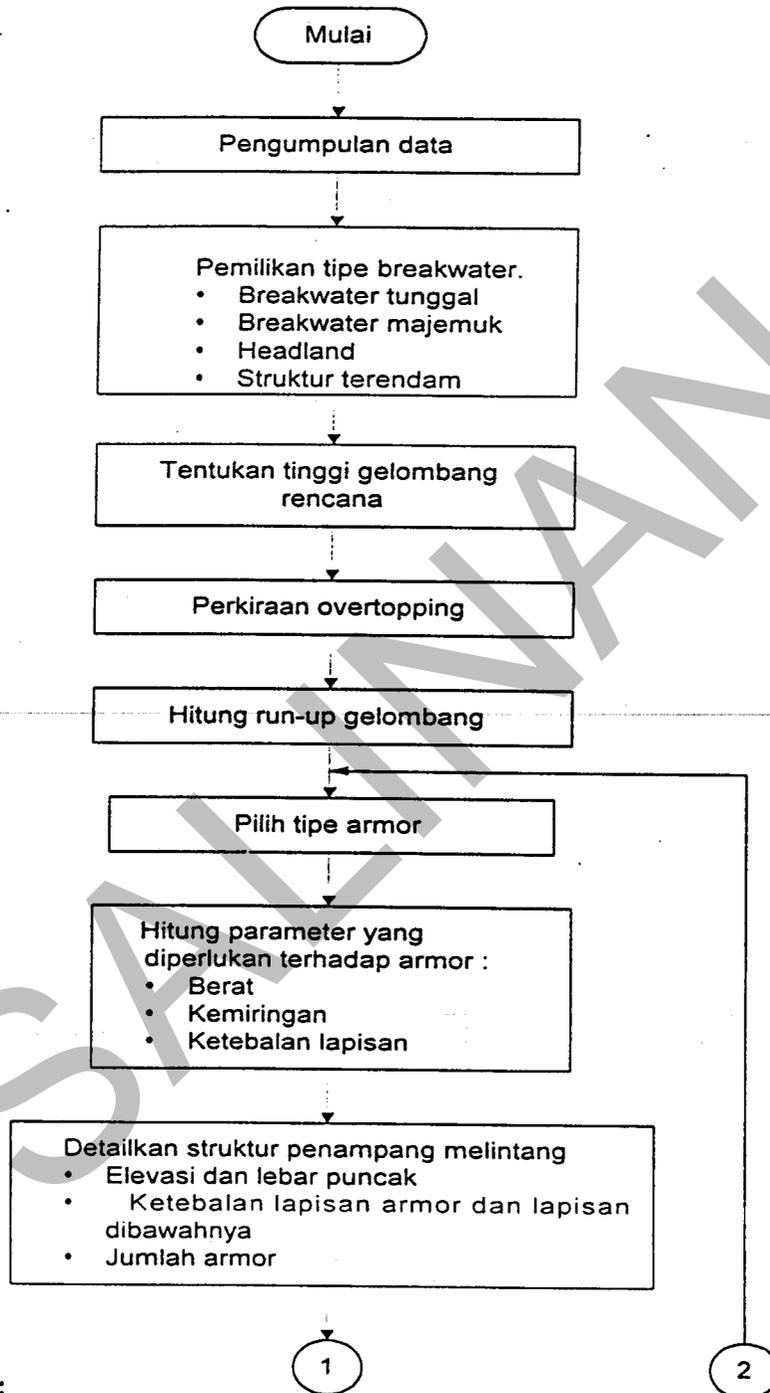
Tabel 4-2. Koefisien Ketebalan Lapisan dan Porositas

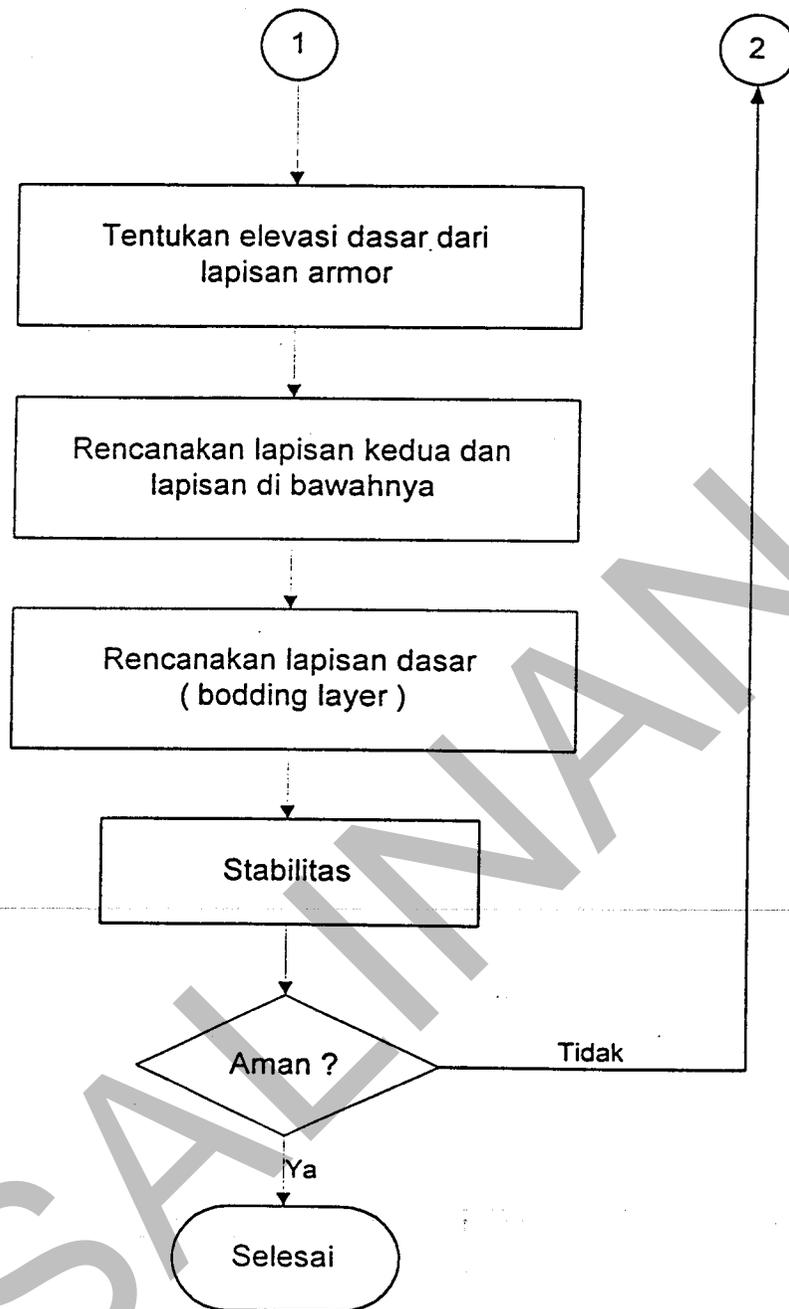
Tipe armor	Jumlah Lapisan (n)	Teknik Penempatan	Koefisien Ketebalan Lapisan, k_{Δ}	Persentase Porositas
Smooth stone	2	Random	1.00	38
Rough stone	2	Random	1.00	37
Tetrapod	2	Random	1.04	50
Quadripod	2	Random	0.95	49
Hexapod	2	Random	1.15	47
Modified	2	Random	1.10	47
Cube	2	Random	1.02	54
Tribar	1	Uniform	1.13	47
Tribar	2	Random	1.03	52
Toskane	2	Random	0.94	56
Dolos				

5. METODE PERENCANAAN

Prosedur perencanaan *breakwater* di pantai adalah sebagai berikut

Flowchart Perencanaan Breakwater





Gambar 5-1. Flow chart perencanaan *breakwater*

5.1 Koleksi data dan pemilihan tipe *breakwater*

Dalam perencanaan *breakwater* perlu dikumpulkan data-data, seperti data gelombang, geometri pantai, dan lain-lain. Berdasarkan kondisi aktual, data yang ada serta fungsinya, maka perlu dilakukan pemilihan tipe *breakwater* yang cocok.

5.2 Hitung tinggi gelombang rencana.

Untuk merencanakan struktur *breakwater*, tinggi gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang dengan periode ulang tertentu.

5.3 Penentuan elevasi muka air untuk memperkirakan *overtopping*

Penentuan elevasi muka air didasarkan pada pasang tertinggi, sehingga *run up* gelombang yang terjadi akan dapat diperkirakan apakah *overtopping* terjadi atau tidak.

5.4 Perhitungan *run up* gelombang

Hitung tinggi *run-up* gelombang dengan formula berikut:

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = e^{\left[C_o \left(\frac{h}{gT_p^2} \right)^{-C_1} \right]},$$

$$C_o = 0,00089$$

$$C_1 = 0,834.$$

$$\xi = \frac{tg \theta}{\left\{ \frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2} \right\}^{1,2}}$$

$$\frac{R_{mix}}{H_{mo}} = \frac{a\xi}{1 + b\xi}$$

$$a = 1,022$$

$$b = 0,247$$

5.5 Pemilihan tipe batu pelapis (*armor unit*)

Tipe batu pelapis ada beberapa macam, antara lain: batu alam (*quarystone*), batu lapis buatan (*tetrapod*, *A-Jack*, dll), dan lain-lain.

5.6 Penentuan berat satuan *armor* optimum dan kemiringannya

Untuk mendapatkan konstruksi yang stabil, maka perlu dihitung berat satuan *armor* dan kemiringan susunannya, sehingga konstruksi tersebut aman dan kokoh. Karena berat *armor* sudah diketahui, maka harus dihitung kemiringan yang sesuai dengan berat *armor* tersebut. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Hudson., yaitu :

$$W_a = \frac{\gamma_a H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_a}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \text{Cot } \theta}$$

5.7 Perhitungan berat satuan *armor* untuk puncak (*crest*).

Untuk berat satuan *armor* yang ditempatkan pada puncaknya, diambil sama dengan berat *armor* pada posisi lereng, yaitu $W_a = 25$ ton dengan berat jenisnya 2.65 ton/m^3 .

Lebar puncak.

Jika struktur tersebut direncanakan tanpa terjadinya peluapan (*overtopping*), lebar puncak minimal harus sama dengan ketebalan tiga lapisan *armor* pada posisi lereng samping, yaitu :

$$\beta = 3K_d \left(\frac{W_a}{\gamma_a} \right)^{1/3}, \quad K_d = 1.0$$

5.8 Berat batu untuk lapisan pertama di bawah lapisan atas (*first under layer stone weight*).

Stabilitas dari lapisan atas (*armor*), tidak akan stabil jika ukuran batu untuk lapisan di bawahnya tidak cocok untuk spesifikasi yang diharapkan. Dari beberapa referensi yang didapat, berat batu untuk lapisan ini $(W_a)_{50} = 1/10$ berat batu *armor*.

Jadi :

$$(W_a)_{50} = 1/10 \times W_a$$

5.9 Berat batu pada lapisan ke dua di bawah lapisan armor (second under layer stone wight).

Batu untuk lapisan ini diambil = $1/20 (W_a)_{50}$

5.10 Berat material inti (core material weight)

Berdasarkan $(W_a)_{50}$, material inti digradasikan sekitar $1/10$ x berat lapisan kedua

5.11 Ketebalan lapisan armor dan lapisan di bawahnya.

Ketebalan lapisan tersebut ditentukan dengan persamaan :

$$r = n K_D \left[\frac{W_a}{\gamma_a} \right]^{1/3}$$

5.12 Penentuan lantai kerja (bedding layer)

Lantai kerja ini direncanakan sebagai lapisan filter yang akan digunakan untuk mencegah gelombang dan arus yang menggerakkan pasir melalui pori-pori dalam struktur tersebut.

5.13 Perhitungan stabilitas

Dengan sedikit modifikasi, terutama akibat adanya pengaruh gaya gelombang, maka kestabilan struktur jetty di pantai dapat mengacu pada perhitungan stabilitas retaining wall.

BUKU 6

SALINAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

**Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan**

BUKU 6

**Perencanaan bangunan pengamanan gerusan
pantai untuk konstruksi jalan dan jembatan dengan
geotextile**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

BUKU 1	UMUM	
BUKU 2	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL	
BUKU 3	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD	
BUKU 4	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN	
BUKU 5	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER	
BUKU 6	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE	
1.	Umum	6-1
2.	Parameter desain	6-2
2.1.	Durabilitas (ketahanan)	6-2
2.2.	Kekuatan dan ketahanan terhadap gerusan	6-2
2.3.	Material penutup	6-3
2.4.	Pengait (<i>Anchorage</i>).....	6-3
3.	Kondisi konstruksi	6-3
4.	Metode perencanaan	6-5
BUKU 7	LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS	

PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE

1. UMUM

Geotekstil dapat digunakan untuk mengendalikan gerusan di jalan yang berada dekat sungai. Geotextile biasanya digunakan bersamaan dengan jenis pengaman gerusan jalan lainnya, seperti *riprap*. Geotextile berbentuk bahan yang tersusun dengan bentuk anyaman tertentu sesuai dengan fungsinya.

SALINAN

2. PARAMETER DESAIN

2.1. Durabilitas (Ketahanan).

Geotekstil yang digunakan harus mempunyai ketahanan terhadap berbagai kondisi seperti kondisi akibat fisik, biologi, panas dan sinar ultra violet. Khususnya ketahanan terhadap sinar ultra violet, geotekstil yang digunakan harus diuji ketahanan terhadap sinar ultra violet selama minimal 30 hari.

2.2. Kekuatan dan Ketahanan terhadap gerusan

Kekuatan yang penting dari geotekstil yang digunakan untuk pengaman jalan akibat gerusan adalah kekuatan tarik, stabilitas, kekuatan tahan terhadap robekan, tidak mudah berlubang dan tidak mudah hancur.

Tabel 2-1. menyajikan rekomendasi kekuatan minimum yang dibutuhkan dari geotekstil

Tipe Kekuatan	Metode Tes	Keadaan Geotekstil	
		Kelas A	Kelas B
Kekuatan tarik	ASTM D 4632	200	90
Panjang tarik (%)	ASTM D 4632	15	15
Tidak mudah berlubang	ASTM D 4833	80	40
Tidak mudah robek	ASTM D 4533	50	30
Ketahanan terhadap abrasi	ASTM D 3884	55	25
Kekuatan jalinan bahan	ASTM D 4632	180	50
Kekuatan tarik, lebar ...	ASTM D 4632	320	...

Keterangan :

Kelas A : geotekstil berada pada keadaan yang lebih buruk dari kelas B seperti geotekstil dijatuhkan beban dengan tinggi kurang dari 3 ft (0.6 m) dan berat kurang dari 250 pounds.

Kelas B : geotekstil hanya dilapisi oleh pasir atau tidak dijatuhkan beban.

2.3. Material Penutup.

Geotekstil biasanya ditutupi oleh material seperti batu, riprap, blok beton dan sebagainya. Material penutup geotekstil harus dapat melindungi dari gaya hidraulik, sinar ultraviolet dan tetap menjaga agar menyatu dengan tanah. Material yang melindungi geotekstil harus sama permeabilitasnya dengan geotekstil. Kalau material tidak sama permeabilitasnya, maka material yang halus seperti pasir harus diletakkan antara geotekstil dan material penutup. Hal yang paling penting dalam mendesain material penutup adalah menjaga ruang udara (*void*) relatif kecil (tertutup).

2.4. Pengait (*Anchorage*)

Pada bagian kaki sungai, geotekstil dan material penutup diletakkan sepanjang bantaran pada kedalaman dibawah permukaan air rata-rata untuk meminimasi gerusan. Rekomendasi peletakan geotekstil adalah 3 ft dibawah permukaan air rata-rata atau di dasar sungai bila permukaan air kurang dari 3 ft. Sedangkan untuk bantaran bagian atas, geotekstil diletakkan sepanjang bagian atas bantaran atau 2 ft diatas tinggi air maksimum. Kalau pergerakan air terlalu kuat, maka dianjurkan menggunakan pengait pada bagian atas maupun bawah.

3. KONDISI KONSTRUKSI

Dalam memasang (konstruksi) geotekstil harus diperhatikan kondisi-kondisi sebagai berikut:

a. Persiapan lahan

Lahan atau tempat yang digunakan untuk memasang (meletakkan) geotekstil harus bersih dari tanaman, batuan dan sebagainya.

b. Penempatan Geotekstil

Geotekstil diletakkan secara menyeluruh (tanpa digulung) langsung dengan hati-hati di atas tanah dengan kemiringan yang rata. Geotekstil yang telah diletakkan jangan dibiarkan terkena sinar matahari lebih dari 1 minggu dan tidak lebih dari 1 bulan untuk geotekstil yang terlindungi serta

geotekstil yang tidak tahan terkena sinar ultra violet. Geotekstil yang diletakkan harus bebas dari tegangan tarik, pasir dan batuan.

Kalau digunakan untuk melindungi bantaran sungai, dimana arus paralel dengan bantaran, geotekstil diletakkan lebih panjang pada arah paralel bantaran. Geotekstil sebaiknya diberikan pengait untuk mencegah gaya keatas *uplift* atau penggerusan.

c. Penempatan (*overlapping*), sambungan geotekstil dan pengait.

Sambungan antara geotekstil sebaiknya menimpa sambungan lainnya selebar 12 inchi sepanjang sambungan. Untuk penempatan dibawah air sambungannya selebar 3 ft. Sambungan menggunakan sambungan las, lem, jahitan atau alat yang lain. Sambungan jahitan merupakan sambungan yang baik untuk geotekstil. Banyaknya jahitan lebih besar dari 90% dari luas sambungan. Pengait digunakan untuk mengamankan geotekstil dan sambungan. Jarak antara pengait tergantung dari kemiringan. Jarak antara pengait dapat dilihat pada tabel 7-4 berikut.

Tabel 3-1. Jarak pengait terhadap kemiringan samping

Kemiringan	Jarak Pengait (ft)
Lebih curam dari 1 V : 3 H	2
1 V : 3 H sampai 4 H	3
Lebih datar dari 1V : 4 H	5

Dimeter pengait yang digunakan adalah 3/16 inch, dengan panjang 18 inch. Pengait yang lebih panjang digunakan untuk tanah berpasir.

d. Penempatan material penutup

Penempatan material penutup untuk tanah yang miring mulai dari bawah menuju keatas. Penempatan material tidak boleh dijatuhkan karena dapat merusak geotekstil kecuali untuk tes.

4. METODE PERENCANAAN

Tata cara desain lainnya tergantung pada spesifikasi geotekstil yang digunakan. Spesifikasi tersebut dapat dilihat pada petunjuk yang disertakan pada saat pembelian geotekstil.

SALINAN

BUKU 7

SALINAN

MANUAL

Konstruksi dan Bangunan

Perencanaan bangunan pengaman gerusan pantai
untuk konstruksi jalan dan jembatan

BUKU 7

Lampiran dan contoh kasus



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH

DAFTAR ISI

MANUAL PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN

BUKU 1	UMUM	
BUKU 2	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN REVETMEN / SEAWALL	
BUKU 3	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BULKHEAD	
BUKU 4	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GROIN	
BUKU 5	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN BREAKWATER	
BUKU 6	PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMANAN GERUSAN PANTAI UNTUK KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN DENGAN GEOTEXTILE	
BUKU 7	LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS	
1.	Metode perlindungan pantai	7-1
1.1.	Pendahuluan	7-1
1.2.	Mekanisme penggerusan pantai	7-1
1.3.	Peramalan gerusan akibat aksi gelombang arah tegak lurus pantai (<i>offshore-onshore</i>)	7-2
1.3.1.	Peramalan gerusan sebelum adanya bangunan pantai	7-2
1.3.1.1.	Persamaan konservasi	7-3
1.3.1.2.	Hubungan angkutan <i>loop</i> tertutup	7-4
1.3.1.3.	Hubungan angkutan <i>loop</i> terbuka	7-4
1.3.1.4.	Erosi dan perubahan garis pantai	7-5
1.4.	Peramalan gerusan sesudah adanya bangunan pantai	7-6
1.4.1.	Gerusan pada dinding vertikal	7-6
1.4.1.1.	Gelombang tak pecah	7-7
1.4.1.2.	Gelombang pecah	7-11
1.4.1.2.1.	Rule of thumb	7-11
1.4.2.	Gerusan pada bangunan yang miring	7-13
1.4.2.1.	Rule of thumb	7-13
1.4.3.	Gerusan pada kepala <i>backwater</i> miring	7-14
1.5.	Peramalan gerusan akibat angkutan sedimen sejajar pantai (<i>longshore transport</i>)	7-14
2.	Alternatif penanggulangan penggerusan pantai	7-15
2.1.	Revetment	7-19
2.2.	Seawall	7-21
2.3.	Bulkhead	7-24
2.4.	Breakwater	7-26

2.5.	Groin	7-29
3.	Perlindungan dan stabilitas tapak (<i>Toe</i>)	7-33
3.1.	Umum	7-33
3.2.	Stabilitas <i>Toe</i> untuk gelombang	7-37
3.2.1.	Konsep untuk gelombang teratur	7-37
3.2.2.	Konsep untuk gelombang tidak teratur	7-38
4.	Contoh perhitungan	7-40
4.1	Contoh perhitungan erosi dan perubahan garis pantai	7-40
4.2.	Contoh perhitungan gerusan pada kaki revetment	7-43
4.3.	Contoh desain untuk pengamanan pantai (revetment, seawall, bulkhead)	7-44
4.4.	Perencanaan bulkhead	7-48
4.5.	Contoh penerapan groin di pantai	7-52

SALINAN

LAMPIRAN DAN CONTOH KASUS

1. METODE PERLINDUNGAN PANTAI

1.1 Pendahuluan

Salah satu dari masalah yang ada di daerah pantai adalah erosi/gerusan pantai. Gerusan/Erosi pantai dapat menimbulkan kerugian sangat besar dengan rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada seperti jalan di daerah tersebut.

Untuk menanggulangi gerusan/erosi pantai, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi. Dengan mengetahui penyebabnya, selanjutnya dapat ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai atau menambah suplai sedimen.

1.2 Mekanisme Penggerusan Pantai

Gerusan pantai dapat diakibatkan oleh gelombang maupun angin. Namun dalam pembahasan ini hanya ditinjau gerusan akibat gelombang. Gerusan pantai terjadi akibat pengaruh hantaman gelombang tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*) maupun gerakan sedimen sejajar pantai (*longshore transport* atau *litoral drift*). Disamping itu, gerusan dapat juga diakibatkan oleh pengaruh erosi akibat aliran air tanah (*piping*). Disamping itu gerusan dapat terjadi sebelum adanya bangunan pantai atau setelah adanya bangunan pantai. Secara Umum mekanisme gerusan pantai dapat dilihat pada Tabel 1-1.

Tabel 1-1. Mekanisme Gerusan Pada Pantai

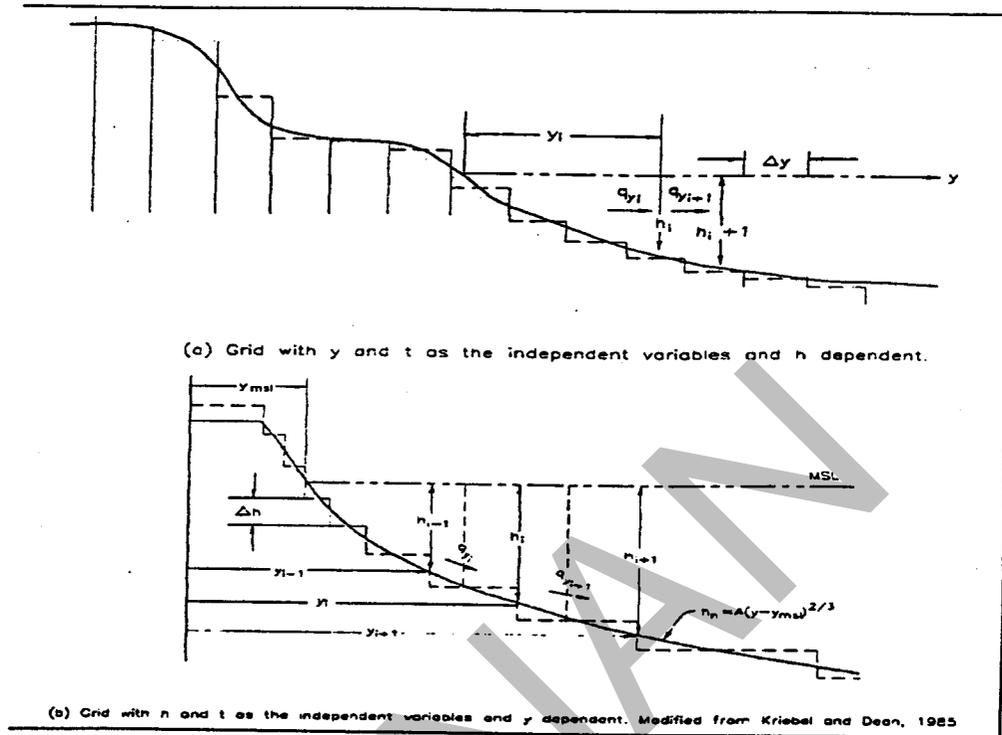
No.	Penyebab Gerusan/Keruntuhan	Daerah Yang Terjadi	Dampak Yang Ditimbulkan
1.	Gelombang	<ul style="list-style-type: none"> • Sepanjang pantai 	<ul style="list-style-type: none"> • Terkikisnya pantai kearah laut/darat
2.	<i>Litoral Drift</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sepanjang pantai 	<ul style="list-style-type: none"> • Maju/mundurnya garis pantai
3.	<i>Piping</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Daerah sekitar pantai 	<ul style="list-style-type: none"> • Melemahnya daya tahan badan jalan

1.3 Peramalan Gerusan Akibat Aksi Gelombang Arah Tegak Lurus Pantai (*offshore-onshore*)

1.3.1 Peramalan Gerusan Sebelum Adanya Bangunan Pantai

Pada sebagian besar masalah teknik pantai, yaitu pada pantai yang belum adanya bangunan, laju arus sangatlah penting. Laju tersebut menyebabkan proses perpindahan sedimen untuk skala waktu jangka panjang. Kondisi ini sangat signifikan bila diakibatkan oleh gelombang badai yang cepat, sehingga menyebabkan potensial gerusan/erosi terhadap skala waktu jangka panjang dari suatu proses angkutan sedimen di pantai yang belum adanya bangunan. Peramalan gerusan ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu perhitungan secara analitik dan model numerik. Dalam manual ini hanya dibahas perhitungan gerusan secara analitik, sedangkan model numerik dapat digunakan program-program komputer yang sudah dikembangkan selama ini.

1.3.1.1 Persamaan konservasi



Gambar 1-1. Dua tipe grid yang diperlukan pemodelan angkutan sedimen tegak lurus pantai dan perubahan profil pantai

Dengan mengacu pada gambar 1-1a, persamaan konservasi dapat diberikan sebagai berikut:

$$\frac{\partial h_z}{\partial t} = \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad (1-1)$$

Pada persamaan di atas, y dan t merupakan variabel bebas. Bila diuraikan lebih lanjut dengan mengganti variabel bebas berupa h dan t , maka persamaan (1-1), menjadi:

$$\frac{\partial y(h_z)}{\partial t} = - \frac{\partial q_y}{\partial h_z} \quad (1-2)$$

dengan:

- h_z : perubahan elevasi dasar
- q_y : debit sedimen arah tegak lurus pantai
- y : jarak tegak lurus pantai
- t : parameter waktu

1.3.1.2 Hubungan angkutan *loop* tertutup

Hubungan yang pertama dari angkutan *loop* tertutup diajukan oleh Kriebel dan Dean (1985). Lebih lanjut harga debit angkutan (q_y) dinyatakan sebagai:

$$q_y = K'(D - D_s) \quad (1-3)$$

Lebih lanjut persamaan (1-3) dimodifikasi dengan memasukkan profil bentuk muka pantai m_o , yaitu:

$$q_y = K''(D - D_s) + \varepsilon \frac{\partial h}{\partial y} \quad (1-4)$$

dengan:

- D_s : energi disipasi persatuan volume di zona *surf*
- D : ukuran diameter sedimen
- K' : parameter kalibrasi Kriebel dan Dean
- K'' : parameter kalibrasi model *sediment transport*
- ε : parameter model dari Larson dan Kraus

1.3.1.3 Hubungan angkutan *loop* terbuka

Hubungan angkutan ini didasarkan pada hubungan hidrodinamik dan hubungan dengan proses aktual yang lebih tepat dari hubungan *transport loop* tertutup. Beberapa model perhitungan laju transpor berupa integrasi vertikal dari distribusi konsentrasi sedimen tersuspensi dan arus persilangan pada pantai. Contoh dari masing-masing model termasuk ada dalam laporan Dally dan Dean (1984), Stive dan Battjes (1984), dan Broker-Hedegaard, Deigaard, dan Fredsoe (1991).

1.3.1.2 Hubungan angkutan *loop* tertutup

Hubungan yang pertama dari angkutan *loop* tertutup diajukan oleh Kriebel dan Dean (1985). Lebih lanjut harga debit angkutan (q_y) dinyatakan sebagai:

$$q_y = K'(D - D_s) \quad (1-3)$$

Lebih lanjut persamaan (1-3) dimodifikasi dengan memasukkan profil bentuk muka pantai m_0 , yaitu:

$$q_y = K''(D - D_s) + \varepsilon \frac{\partial h}{\partial y} \quad (1-4)$$

dengan:

- D_s : energi disipasi persatuan volume di zona *surf*
- D : ukuran diameter sedimen
- K' : parameter kalibrasi Kriebel dan Dean
- K'' : parameter kalibrasi model *sediment transport*
- ε : parameter model dari Larson dan Kraus

1.3.1.3 Hubungan angkutan *loop* terbuka

Hubungan angkutan ini didasarkan pada hubungan hidrodinamik dan hubungan dengan proses aktual yang lebih tepat dari hubungan *transport loop* tertutup. Beberapa model perhitungan laju transpor berupa integrasi vertikal dari distribusi konsentrasi sedimen tersuspensi dan arus persilangan pada pantai. Contoh dari masing-masing model termasuk ada dalam laporan Dally dan Dean (1984), Stive dan Battjes (1984), dan Broker-Hedegaard, Deigaard, dan Fredsoe (1991).

1.3.1.4 Erosi dan perubahan garis pantai

Metode yang sederhana untuk masalah ini dapat digunakan metode Kriebel dan Dean. Bila aksi gelombang tetap, maka pengaruh waktu terhadap perubahan garis pantai $R(t)$ didekati dengan bentuk:

$$R(t) = R_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_s}} \right) \quad (1-5)$$

dengan:

- R_{∞} : perubahan keseimbangan pantai
 T_s : karakteristik skala waktu dari sistem.

Adapun harga R_{∞} ditentukan berdasarkan persamaan:

$$R_{\infty} = \frac{\eta_s \left(B_{b1} - \frac{H_b}{m_o} \right)}{h_{bb} + H_b - \frac{\eta_s}{2}} \quad (1-6)$$

Lebar aktif surf zone B_{b1} , yaitu:

$$B_{b1} = \left(\frac{H_b}{Sk} \right)^{3/2} \quad (1-7)$$

dengan:

- h_{bb} : tinggi berem
 m_o : kemiringan pantai
 η_s : Elevasi gelombang laut
 S_k : skala sedimen

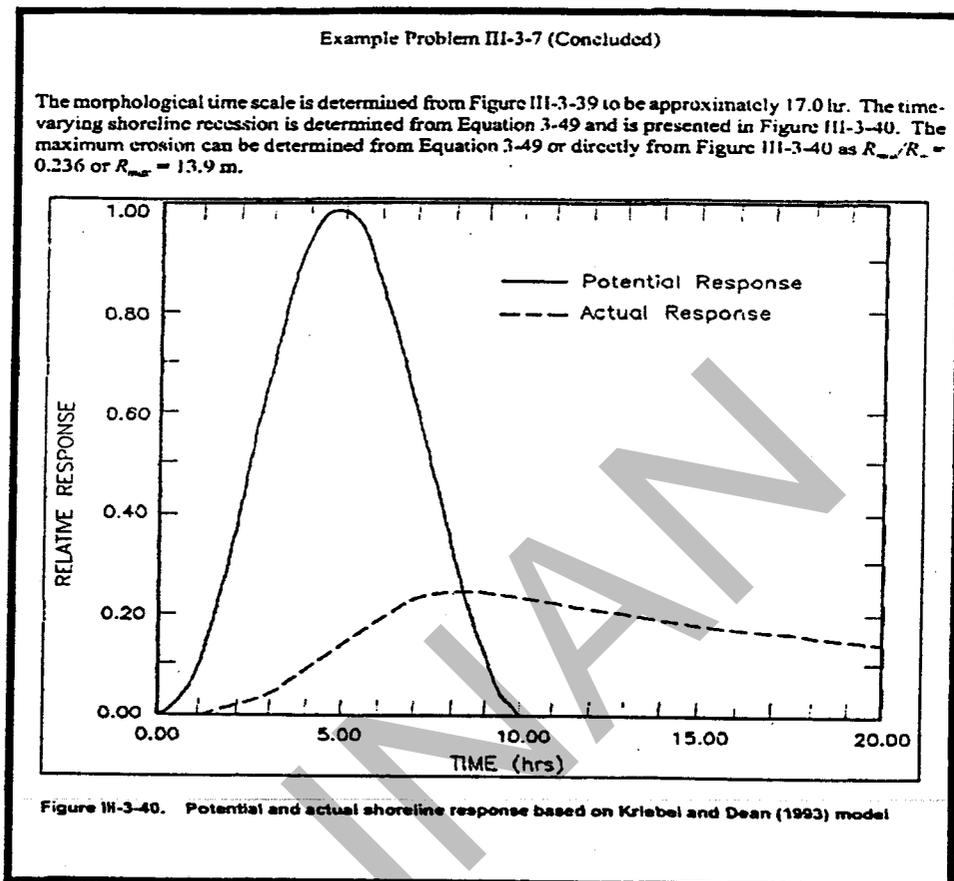
Disamping itu untuk penyelesaian umum dari sistem ini dapat dijelaskan berupa persamaan integral yaitu :

$$R(t) = \frac{R_{\infty}}{S_t} \int_0^t f(\tau) e^{-\frac{(t-\tau)}{T_t}} d\tau \quad (1-8)$$

dengan:

- T_t : skala waktu
 τ : tegangan geser

Erosi/gerusan dapat ditentukan dari persamaan (1-8) atau langsung dari gambar 1-2.



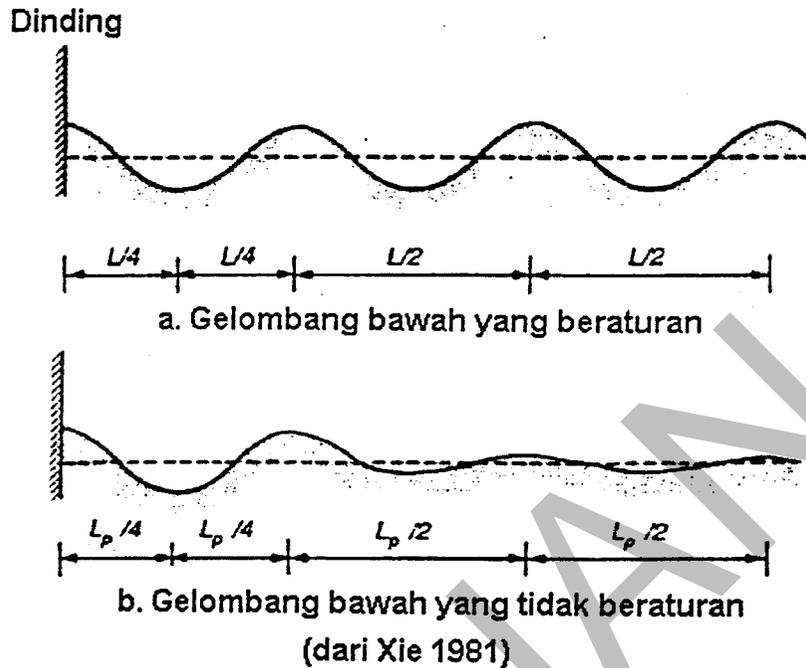
Gambar 1-2. Respon garis pantai aktual dan potensialnya didasarkan pada model Kriebel dan Dean (1993)

1.4 Peramalan Gerusan Sesudah Adanya Bangunan Pantai

1.4.1 Gerusan pada dinding vertikal.

Kejadian gerusan di depan dinding vertikal dapat dibagi kedalam dua kasus: gelombang tak pecah yang dipantulkan oleh dinding vertikal, dan gelombang pecah yang mempengaruhi dinding vertikal. Dalam kasus manapun, gelombang dapat mendekati tegak lurus terhadap dinding atau membentuk sudut. Pola

gerusan pada pantai setelah adanya bangunan dinding vertikal dapat dilihat pada gambar 1-3.



Gambar 1-4. Profil gerusan oleh aksi gelombang beraturan dan tidak beraturan pada permukaan bangunan vertikal

1.4.1.1 Gelombang tak pecah

Gelombang tak pecah lebih berpengaruh pada bangunan yang terletak di laut dalam dan pada bangunan *bulkhead* yang terletak di daerah pelabuhan. Hampir seluruh energi gelombang datang yang mencapai bangunan vertikal dipantulkan kecuali jika bangunan berongga. Sedimen di bawah merespons terhadap kecepatan fluida dengan menggerus sedimen dimana tegangan geser di bawah tinggi dan dengan mengendapkan dimana tegangan geser rendah.

- Gelombang datang tak pecah yang tegak lurus. Para peneliti telah mengidentifikasi dua pola gerusan khusus yang berkaitan dengan gelombang tak pecah yang dipantulkan oleh dinding vertikal. Pasir halus diangkut terutama dalam suspensi dan sedimen kasar digerakkan terutama sebagai muatan dasar.

Gelombang seragam yang teratur menghasilkan pola gerusan dan pengendapan yang berulang sebagai fungsi jarak dari kaki dinding vertikal. Untuk pasir halus gerusan maksimum dekat dinding terjadi sejauh $L/4$ dari dinding dimana L adalah panjang gelombang datang. Meski demikian, fase kunci antara gelombang datang dan gelombang tak teratur yang dipantulkan berkurang seiring dengan jarak dari dinding dengan kedalaman gerusan maksimum untuk pasir halus dan kira-kira terletak sejauh $L_p/4$ dari dinding vertikal, dimana L_p adalah panjang gelombang yang berkaitan dengan frekuensi puncak spektrum dengan menggunakan teori gelombang linier.

Berdasarkan hasil dari pengujian model dasar bergerak, Xie (1981, 1985) mengusulkan persamaan untuk memperkirakan gerusan maksimum untuk gelombang datang yang tegak lurus, tak pecah, dan teratur pada dinding vertikal impermeabel:

$$\frac{h_s}{H} = \frac{0,4}{\left[\sinh(k_p h)\right]^{0,35}} \quad (1-9)$$

dimana

- h_s = kedalaman gerusan maksimum pada simpul ($L/4$ dari dinding)
- H = tinggi gelombang datang yang teratur
- h = kedalaman air
- k_p = bilangan gelombang datang yang teratur ($k_p = 2\pi/L$)
- L = panjang gelombang datang yang teratur

Persamaan empiris peramalan gerusan yang serupa untuk kasus gelombang datang yang tegak lurus, tak pecah, dan tak teratur diberikan oleh Hughes dan Fowler (1991) sebagai:

$$\frac{h_s}{(u_{rms})_m T_p} = \frac{0,05}{\left[\sinh(k_p h)\right]^{0,35}} \quad (1-10)$$

T_p = periode gelombang puncak spektrum

k_p = bilangan gelombang yang berkaitan dengan puncak spektrum dengan teori gelombang linier

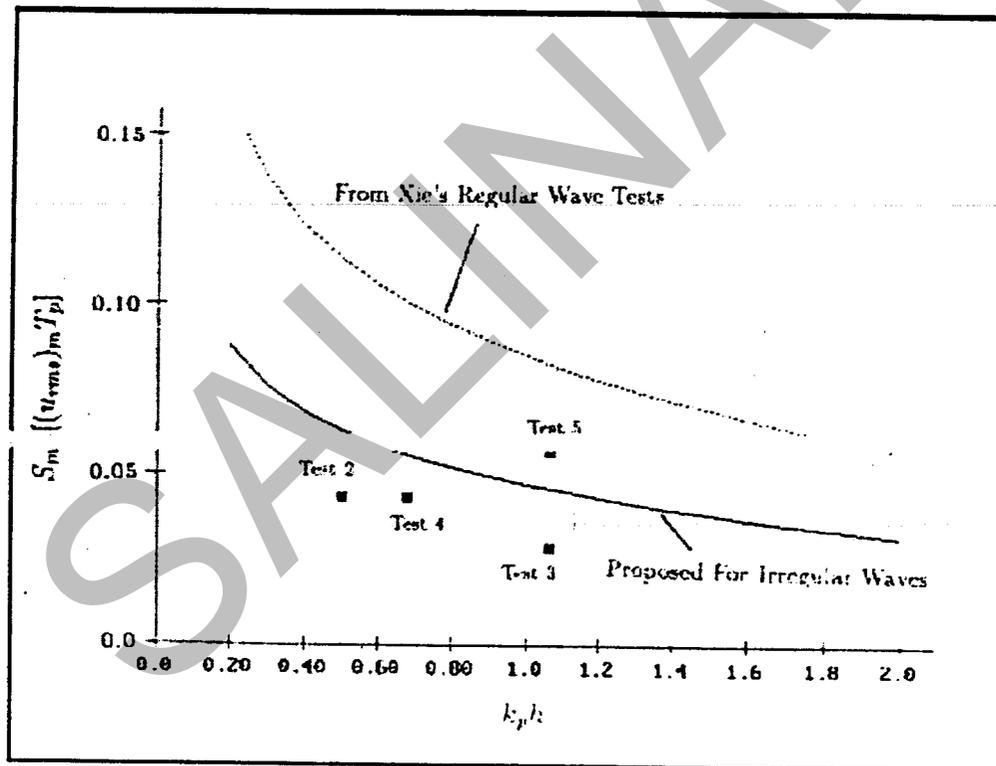
$(u_{rms})_m$ = akar kuadrat dari kecepatan horizontal di bawah

Nilai $(u_{rms})_m$ diberikan oleh Hughes (1992) sebagai:

$$\frac{(U_{rms})_m}{gk_p T_p H_{mo}} = \frac{\sqrt{2}}{4\pi \cosh(k_p h)} \left[0,54 \cosh\left(\frac{1,5 - k_p h}{2,8}\right) \right] \quad (1-11)$$

dimana H_{mo} adalah tinggi gelombang momen ke nol, dan g adalah percepatan gravitasi. Persamaan (3) didasarkan secara empiris dan tidak boleh diterapkan di luar rentang $0,0 < k_p h < 3,0$.

Persamaan 1-11 diplot pada Gambar 1-6 sesuai dengan hasil pengujian model dasar bergerak. Gerusan yang diramalkan untuk gelombang tak teratur secara signifikan kurang dari gerusan yang diramalkan untuk gelombang teratur, dan dalam banyak kasus gerusan maksimum yang diramalkan tidak merepresentasikan ancaman terhadap kaki bangunan karena lokasinya $L_p/4$ dari dinding.



Gambar 1-6. Peramalan gerusan untuk gelombang tak pecah pada dinding vertikal
(Hughes dan Fowler, 1991)

- Gelombang datang tak pecah yang membentuk sudut. Gelombang datang tak pecah yang membentuk sudut juga akan hampir sempurna dipantulkan oleh dinding vertikal. Gelombang datang yang membentuk sudut cenderung menggerus lebih banyak dibanding gelombang datang tegak lurus yang ekuivalen, dan gelombang tak teratur menggerus dengan kecepatan yang lebih rendah dan agak lebih seragam dibanding gelombang teratur. Metode rekayasa untuk memperkirakan gerusan yang disebabkan oleh gelombang datang tak teratur yang membentuk sudut yang dipantulkan oleh dinding vertikal saat ini belum ada.
- Gerusan pada kepala *breakwater* vertikal. Sumer dan Fredsoe (1997) menemukan bahwa gerusan di sekitar kepala *breakwater* terutama disebabkan oleh pusaran jaga (*lee wake vortices*), yang serupa dengan gerusan yang disebabkan gelombang pada tiang vertikal. Kedalaman gerusan maksimum dari berbagai ukuran *breakwater* sangat sesuai dengan bilangan Keulegan-Carpenter yang berkaitan, yang didefinisikan sebagai:

$$KC = \frac{u_m T}{dz} \quad (1-12)$$

dengan:

u_m = kecepatan orbital gelombang maksimum pada dasar (tanpa hadirnya bangunan)

T = periode gelombang teratur

d = diameter kepala sikular *breakwater* vertikal

Sumer dan Fredsoe menyajikan persamaan empiris berikut untuk meramalkan kedalaman gerusan maksimum (h_s) sebagai fungsi dari bilangan Keulegan-Carpenter dan diameter kepala *breakwater*.

$$\frac{h_s}{d_s} = 0,5 C_u \left[1 - e^{-0.175(KC-1)} \right] \quad (1-13)$$

dimana C_u adalah suatu faktor ketidakpastian dengan nilai rata-rata satu dan deviasi standar $\sigma_u = 0,6$. Persamaan empiris ini dikembangkan untuk rentang data $0 < KC < 10$. Meski demikian, di atas $KC = 2,5$, data dari hanya satu diameter *breakwater* digunakan. Gelombang tak teratur mungkin tidak akan menggerus sedalam itu, sehingga persamaan empiris tersebut dipandang konservatif.

Sumer dan Fredsoe (1997) juga menyelidiki gerusan pada kepala *breakwater* vertikal dengan ujung persegi, mungkin mewakili *caisson*. Mereka menemukan tingkat gerusan yang sama, namun kedalaman gerusan lebih besar sekitar 2 kali.

$$\frac{h_s}{d_s} = -0,09 + 0,123KC \quad (1-14)$$

1.4.1.2 Gelombang pecah

Gerusan yang disebabkan oleh gelombang pecah biasanya lebih besar dibanding oleh gelombang tak pecah, dan terdapat kemungkinan gerusan menyebabkan kerusakan bangunan. Mobilisasi dan angkutan sedimen didominasi oleh gerakan fluida turbulen dibanding oleh tegangan geser, dan udara yang terperangkap dalam gelombang pecah juga mempengaruhi proses gerusan.

1.4.1.2.1 Rule of thumb

Kedalaman gerusan maksimum pada dinding vertikal (S_m) kira-kira sama dengan tinggi gelombang tak pecah yang dapat ditahan oleh kedalaman air pada bangunan,

$$h_s = H_{\max} \quad \text{atau} \quad h_s \approx h \quad (1-15)$$

Gerusan maksimum terjadi ketika dinding vertikal terletak di sekitar titik jatuh gelombang pecah.

Jangan mengurangi pemantulan gelombang akan mengurangi tingkat gerusan.

Peramalan gerusan gelombang pecah tak teratur. Persamaan empiris berikut diusulkan untuk memperkirakan gerusan maksimum material nonkohesif akibat gelombang pecah tak teratur yang datang tegak lurus dengan kemiringan landai (Fowler, 1992).

$$\frac{h_s}{(H_{mo})_o} = \sqrt{22,72 \frac{h}{(L_p)_o} + 0,25} \quad (1-16)$$

dengan:

h_s = kedalaman gerusan maksimum

$(H_{mo})_o$ = tinggi gelombang dengan momen ke nol

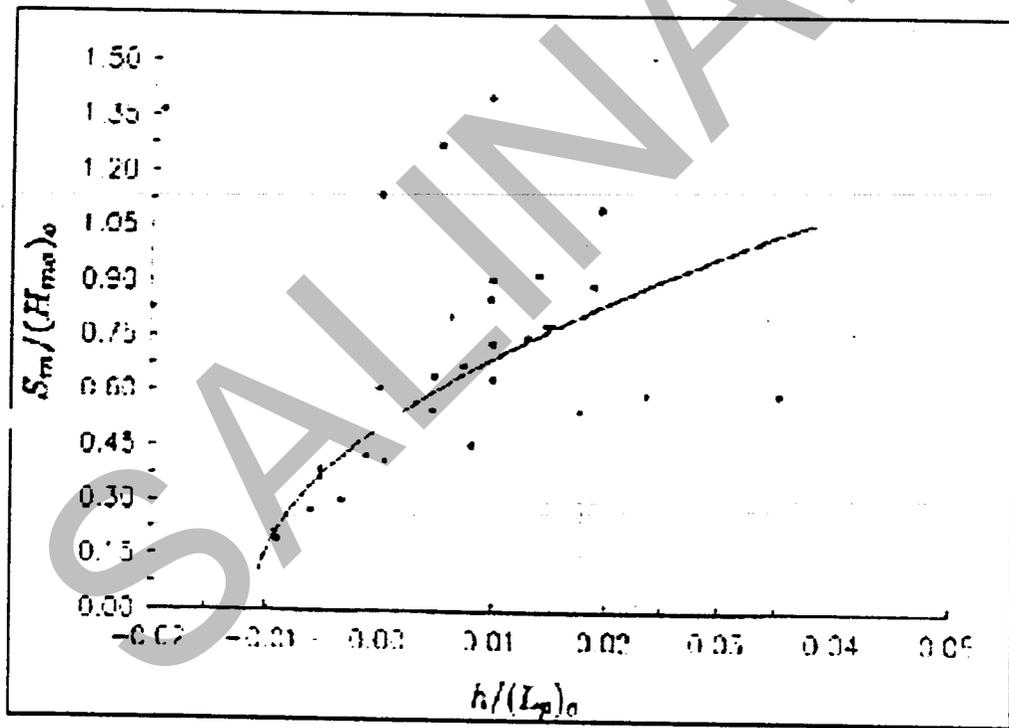
h = kedalaman air sebelum tergerus pada dinding vertikal

$(L_p)_o$ = panjang gelombang yang berkaitan dengan periode gelombang spektrum puncak, T_p , yakni $(L_p)_o = (g/2\pi)T_p^2$

Fowler mencatat bahwa penerapan persamaan empiris ini dibatasi oleh data hingga nilai kedalaman relatif dan kecuraman relatif dalam rentang

$$0,011 < \frac{h}{(L_p)_o} < 0,045 \text{ dan } 0,015 < \frac{(H_{mo})_o}{(L_p)_o} < 0,045 \quad (1-17)$$

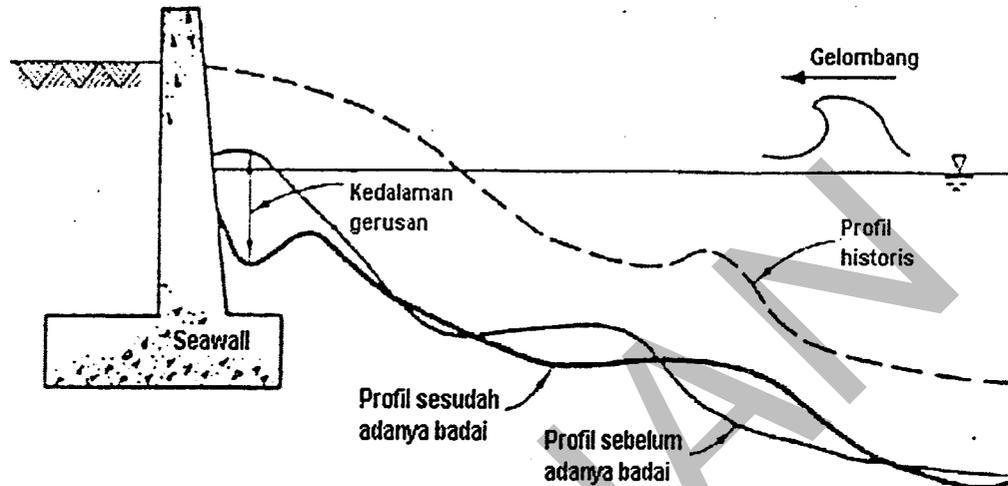
Persamaan 6-16 dapat diplot seperti gambar 1-7.



Gambar 1-7. Kedalaman gerusan relatif sebagai fungsi dari kedalaman relatif pada dinding vertikal (Fowler, 1992)

1.4.2 Gerusan pada bangunan yang miring

Gerusan pada kaki bangunan yang miring merupakan fungsi dari kemiringan dan porositas struktur, kondisi gelombang datang, kedalaman air, dan ukuran butiran sedimen. Pola gerusan ini dapat dilihat pada gambar 6-8.



Gambar 1-8. Gerusan akibat gelombang pecah pada seawall vertikal
(Kraus, 1988)

1.4.2.1 Rule of thumb

- Gerusan maksimum pada kaki bangunan yang miring diramalkan lebih kecil dibandingkan gerusan yang dihitung untuk dinding vertikal pada lokasi yang sama dan dalam kondisi gelombang yang sama. Oleh karena itu, perkiraan gerusan yang konservatif diberikan oleh persamaan peramalan gerusan dinding vertikal, yakni $h_s < H_{max}$.
- Kedalaman gerusan berkurang dengan koefisien pemantulan bangunan. Oleh karena itu, bangunan dengan kemiringan yang landai dan porositas yang besar akan mengalami gerusan akibat gelombang yang lebih kecil.
- Kedalaman gerusan meningkat secara signifikan ketika arus di sepanjang bangunan beraksi bersama gelombang
- Gelombang datang yang membentuk sudut dapat menimbulkan gerusan yang lebih besar dibanding gelombang datang yang tegak lurus karena gelombang

dengan puncak yang pendek membesar di sepanjang struktur (Lin 1986). Selain itu, gelombang yang membentuk sudut membangkitkan aliran yang sejajar dengan bangunan.

1.4.3. Gerusan pada kepala *backwater* miring

- Lubang gerusan yang disebabkan oleh aliran tunak yang terbentuk pada kaki *breakwater* pada lengkung muka *backwater* arah laut. Perkiraan kedalaman gerusan maksimum (h_s) dikembangkan sebagai fungsi dari bilangan Keulegan-Carpenter (KC) dan diberikan oleh Fredsoe dan Sumer (1997) sebagai

$$\frac{h_s}{d_2} = 0,04C_u [1 - e^{-4,0(KC-0,05)}] \quad (1-18)$$

dimana C_u adalah suatu faktor ketidakpastian dengan nilai rata-rata satu dan deviasi standar $\sigma_u = 0,2$. Bilangan Keulegan-Carpenter dihitung seperti diberikan oleh Persamaan VI-5-256 dengan menggunakan periode gelombang spektrum puncak, T_p , sebagai periode, T , dan diameter kepala *breakwater* pada dasar sebagai d_2 .

1.5 Peramalan Gerusan Akibat Angkutan Sedimen Sejajar Pantai (longshore Transport)

Untuk peramalan gerusan pada pantai yang telah ada bangunan akibat angkutan sedimen sejajar pantai dapat digunakan program komputer yang telah dikembangkan seperti GENESIS. Hal ini dikarenakan untuk perhitungan gerusan akibat angkutan sedimen sejajar pantai relatif sulit secara analitik biasa.

2. Alternatif Penanggulangan Penggerusan Pantai

Perbedaan diantara berbagai cara pengamanan gerusan pantai dilakukan berdasarkan 1) bagaimana sistem bekerja, 2) material yang dipergunakan 3) geometri dan posisi, dan 4) karakter sistem aliran pada mana mereka diterapkan. Secara umum pengamanan gerusan pantai dapat dikelompokkan berdasarkan fungsinya, yaitu:

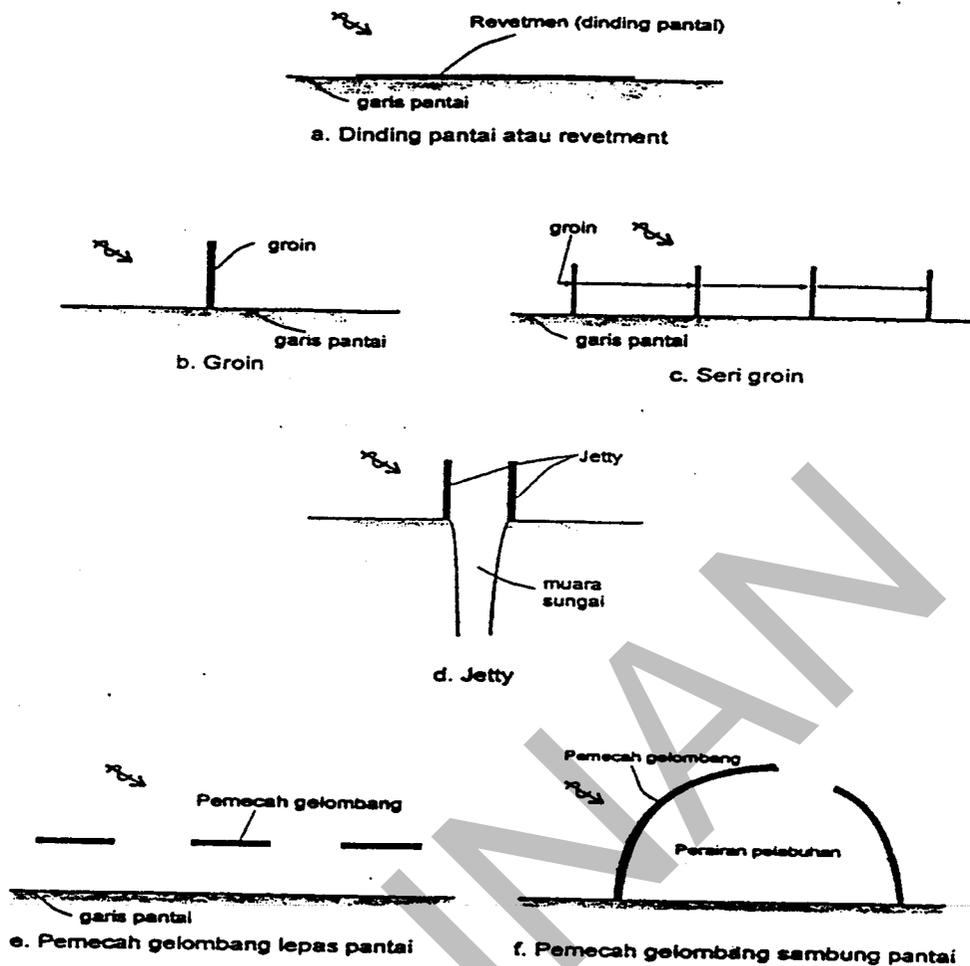
- 1) Struktur yang fungsi utamanya adalah untuk mencegah gerusan dengan membuat lapisan *amor* (*amoring*) pada tebing yang tergerus.
- 2) Struktur untuk mencegah gerusan dengan cara mengalihkan aliran (arus) jauh dari tebing pantai.

Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus/angkutan sedimen sejajar pantai. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yaitu:

1. Memperkuat/melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang.
2. Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai,
3. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai,
4. Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain.

Khusus metode 4 tidak dibahas.

Bangunan yang termasuk dalam kelompok pertama adalah dinding pantai atau *revetment/seawall/bulkhead* yang dibangun pada garis pantai atau didaratan yang digunakan untuk melindungi pantai langsung dari serangan gelombang (gambar 2-1a).



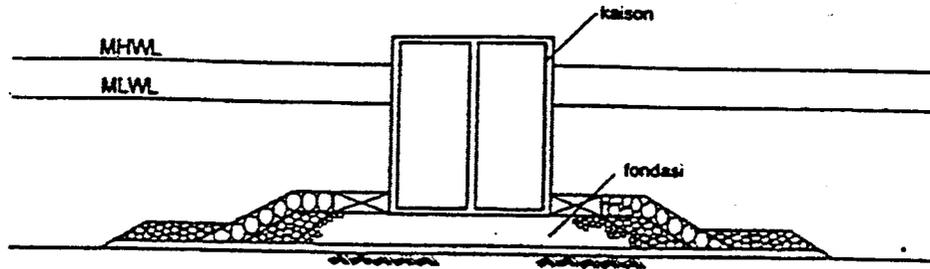
Gambar 2-1. Beberapa tipe bangunan pelindung pantai

Kelompok kedua meliputi *groin* dan *jetty*. *Groin* adalah bangunan yang menjorok dari pantai ke arah laut, yang digunakan untuk menangkap/menahan gerak sedimen sepanjang pantai, sehingga transpor sedimen sepanjang pantai berkurang/berhenti (gambar 2-1b). Biasanya *groin* dibuat secara seri, yaitu beberapa *groin* dibuat dengan jarak antara *groin* tertentu di sepanjang pantai yang di lindungi (gambar 2-1c). *Jetty* adalah bangunan tegak lurus garis pantai yang ditempatkan di kedua sisi muara sungai (gambar 2-1d). Bangunan ini digunakan untuk menahan sedimen/pasir yang bergerak sepanjang pantai masuk dan mengendap di muara sungai. Bangunan *jetty* tidak dibahas.

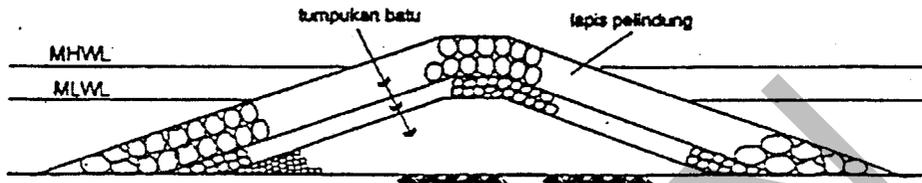
Kelompok ketiga adalah pemecah gelombang (*breakwater*), yang dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang lepas pantai (gambar 6-9c) dan

pemecah gelombang sambung pantai (gambar 2-1f). Bangunan tipe pertama banyak digunakan sebagai pelindung pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Perairan dibelakang bangunan menjadi tenang sehingga terjadi endapan di daerah tersebut. Endapan ini dapat menghalangi transpor sedimen sepanjang pantai. Bangunan ini dapat dibuat dalam suatu rangkaian pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah dengan panjang tertentu. Bangunan tipe kedua biasanya digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal-kapal dapat merapat ke dermaga untuk melakukan bongkar-muat barang dan menaik-turunkan penumpang. Bangunan ini banyak dibahas dalam buku pelabuhan.

Menurut bentuknya bangunan pantai dapat dibedakan menjadi bangunan sisi miring dan sisi tegak. Termasuk dalam kelompok pertama adalah bangunan dari tumpukkan batu yang bagian luarnya diberi lapis pelindung yang terbuat dari batu-batu ukuran besar, blok beton, atau batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti *tetrapod*, *quadripods*, *tribars*, dolos, dan sebagainya. Lapis pelindung ini harus mampu menahan serangan gelombang. Sedang yang termasuk dalam tipe kedua adalah bangunan terbuat dari pasangan batu, *caisson* beton, tumpukkan buis beton, dinding turap baja atau beton dan sebagainya. Gambar 2-2 menunjukkan contoh kedua tipe bangunan pantai. Gambar 2-2a adalah pemecah gelombang sisi miring, yang terdiri dari tumpukkan batu. Gambar 6-10b adalah pemecah gelombang sisi tegak dari *caisson* beton. *Caisson* adalah konstruksi berbentuk kotak dari beton bertulang yang didalamnya diisi pasir atau batu. Bangunan tersebut diletakkan diatas tumpukkan batu yang berfungsi sebagai pondasi. Untuk menanggulangi gerusan pada pondasi, maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari batu atau blok beton.



a. Bangunan Pantai Sisi Miring



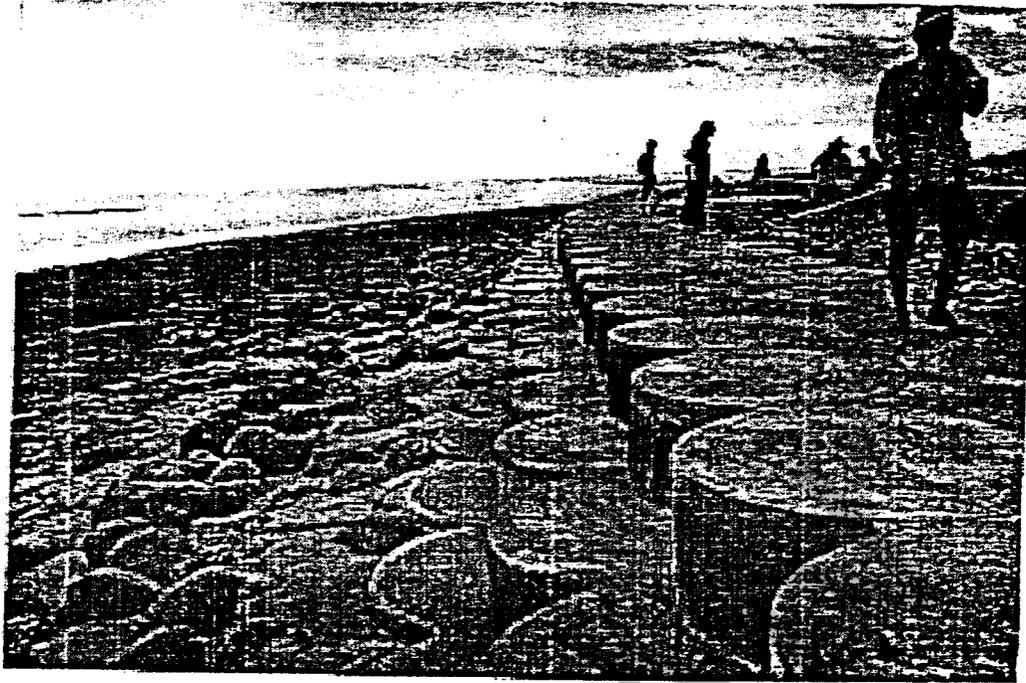
b. Bangunan Pantai Sisi Tegak

Gambar 2-2. (a) Bangunan pantai sisi miring dan (b) Bangunan pantai sisi tegak

Secara umum metoda yang digunakan dalam melakukan perlindungan pantai dapat dijelaskan seperti tabel 2-1.

Tabel 2-1. Klasifikasi struktur perlindungan pantai

Jenis Pengaman	Tipe	Material
Dinding Perintang	Revetment	1. Riprap 2. Quarrystone 3. Blok beton 4. Bronjongan (Gabion) 5. Semen tanah
	Seawall	1. Blok beton 2. quarrystone 3. Tetrapod 4. Breakwater terendam 5. dan lain-lain
	Bulkhead	1. quarrystone 2. Blok beton 3. dan lain-lain
Bangunan peredam energi gelombang	Groin	1. quarrysotne 2. unit batu lindung buatan (tetrapod, dll) 3. dan lain-lain
	Breakwater	4. quarrysotne 5. unit batu lindung buatan (tetrapod, dll) 6. dan lain-lain

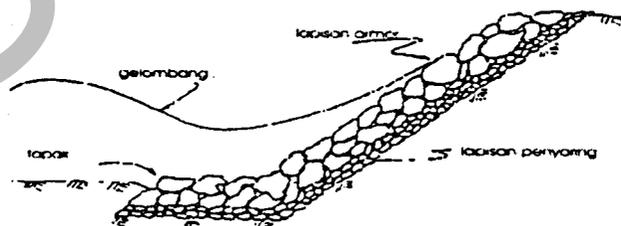


Gambar 2-3. Struktur pelindung pantai jenis blok beton

2.1 Revetment

Gambar umum :

- Struktur ini ditempatkan di pantai dengan fungsi utama melindungi pantai dari gerusan (abrasi) dan badai gelombang. Konstruksi ini merupakan pasangan batu, atau jenis bahan lainnya yang ditempatkan pada sisi dinding pantai. Konstruksi ini secara umum posisinya tegak lurus terhadap gelombang datang.



Gambar 2-4. Potongan melintang revetment

Tujuan :

- Untuk melindungi pantai dari bahaya gerusan, yang disebabkan oleh aliran air, arus dan gelombang. Juga sebagai penahan tanah di belakang struktur.

Fungsi :

- sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat

Pemakaian:

- Penempatan sepanjang pantai sebagai dinding penahan gelombang
- Bahan konstruksi menggunakan batuan *armor*
- Bahan konstruksi juga dapat menggunakan beton pecah, *tetrapod* dan aspal beton
- Pemasangan mengikuti bentuk bidang dinding penahan dengan kemiringan yang telah ditentukan.

Keuntungan:

- Mudah pemasangan di lapangan
- Tidak membutuhkan peralatan berat
- Tidak membutuhkan keahlian khusus dalam pemasangan
- Konstruksinya relatif ekonomis, dibandingkan pelindung pantai seperti *breakwater*.

Keterbatasan:

- Membutuhkan tenaga kerja yang relatif banyak
- Tidak mampu menahan gelombang besar
- Bentuknya dapat berdeformasi mengikuti permukaan alasnya (bukan bangunan *rigid*).

Instalasi Konstruksi:

- Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai.
- Bentuk alas dan kemiringan ditentukan berdasarkan hasil gambar desain
- Pemasangan batu dapat dikerjakan secara acak, dimulai dari dasar bidang kerja

- Lapisan dasar ditempatkan berupa lapisan filter, untuk menjaga agar gerakan aliran dapat dialirkan atau disaring pada lapisan ini (bersifat *perrens*)
- Di atas lapisan filter dipasang batuan *armor* atau jenis bahan lain secara acak. Yang harus diperhatikan bahwa batuan satu sama lain harus dapat saling mengunci.

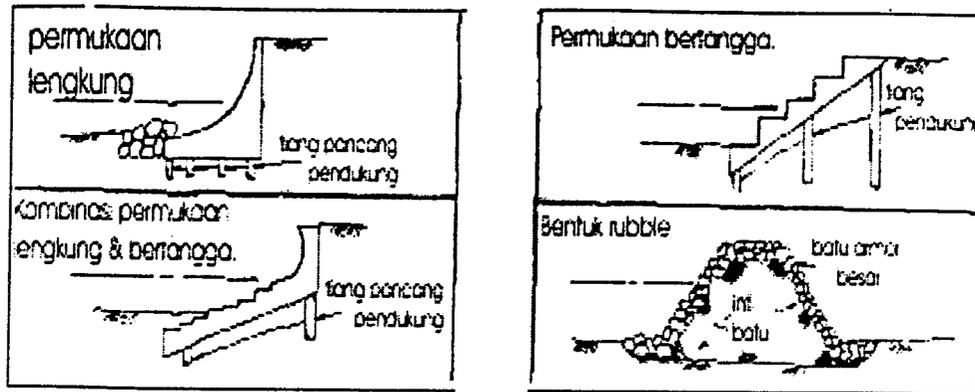
Pertimbangan khusus:

- Dalam perencanaan revetment perlu ditinjau fungsi dan bentuk bangunan, lokasi, panjang, tinggi, stabilitas bangunan dan tanah pondasi, elevasi muka air baik di depan maupun dibelakang bangunan, ketersediaan bahan bangunan, dan sebagainya.
- Hal lain yang perlu diperhatikan kemungkinan terjadinya erosi di kaki bangunan.
- Untuk mencegah erosi tersebut, diperlukan perlindungan di dasar bangunan yang berupa batu dengan ukuran dan gradasi tertentu. Untuk mencegah keluarnya butir-butir tanah halus melalui sela-sela batuan yang dapat berakibat terjadinya penurunan bangunan, pada dasar pondasi diberi lapis geotekstil

2.2 Seawall

Gambaran umum:

- Merupakan struktur yang berada di pantai dengan fungsi untuk mencegah terjadinya aliran melalui puncak tanggul pantai dan banjir yang menuju darat. Disamping itu harus mampu menahan dari badai dan gelombang laut. Konstruksi dibangun paralel mengikuti garis pantai, atau disesuaikan dengan pola gelombang datang menuju arah pantai.



Gambar 2-5. Berbagai jenis tipe seawall

Tujuan:

- Untuk melindungi wilayah pesisir pantai, berupa tebing pantai, jalan di pinggir pantai dan konstruksi lainnya dari bahaya gelombang dan arus
- Menjaga profil pantai tetap stabil.
- Penahan tanah.

Fungsi:

- sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat

Pemakaian:

- Penempatan sepanjang pantai atau paralel arah pantai, sejauh tempat yang dilindungi dari bahaya badai dan gelombang laut.
- Pemakaian berupa dinding beton, atau pasangan batuan
- Bentuk bidang dinding arah gelombang dapat berupa *sloping wall*, *stopped wall*, dan lain-lain
- Pada tapak *sea wall* dilindungi dengan batu riprap
- Pada bidang pantai yang daya dukung tanahnya lemah, maka alasnya digunakan pondasi tiang pancang seperti dari kayu bakau, beton atau lembaran baja, sesuai dengan jenis dan bentuk konstruksi yang digunakan.

Keuntungan:

- Lebih masif menahan gelombang dan badai, dibandingkan dengan *revetment*
- Bangunannya sangat masif sehingga penurunan bangunannya pada tanah dasar relatif kecil
- Umur rencana bangunan relatif lama.

Keterbatasan:

- Membutuhkan peralatan yang cukup dalam pemasangan, sesuai jenis konstruksi
- Perlu pengawasan yang ketat dalam pelaksanaan konstruksi, untuk kasus-kasus tertentu seperti pemasangan tiang pancang dan lain-lain.

Instalasi konstruksi:

- Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai.
- Pekerjaan dimulai dengan pondasi seawall, bila daya dukung tanah sangat lemah maka perlu pemasangan pondasi tiang pancang atau pondasi dalam lainnya.
- Pemasangan dan penimbunan kembali bidang dasar bangunan, yang disesuaikan dengan gambar kerja.
- Pekerjaan bangunan utama sesuai dengan jenis dan tipe yang telah ditentukan
- Pemasangan batu riprap di telapak bangunan pada arah datang gelombang
- Penimbunan kembali bidang sisa galian dan *finishing* pekerjaan.

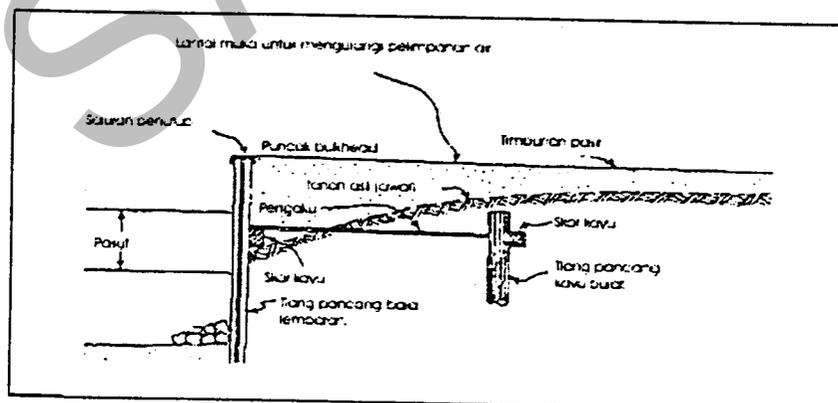
Pertimbangan khusus:

- Dalam perencanaan *seawall* perlu ditinjau fungsi dan bentuk bangunan, lokasi, panjang, tinggi, stabilitas bangunan dan tanah pondasi, elevasi muka air baik di depan maupun dibelakang bangunan, ketersediaan bahan bangunan, dan sebagainya.
- Hal lain yang perlu diperhatikan kemungkinan terjadinya erosi di kaki bangunan.
- Untuk melindungi erosi tersebut maka pada kaki bangunan ditempatkan batu pelindung. Selain itu pada bangunan sisi tegak harus dibuat turap yang dipancang di bawah sisi depan bangunan yang berfungsi untuk mencegah gerusan di bawah bangunan.
- Pondasi sebaiknya dilengkapi dengan tiang pancang.

2.3. Bulkhead

Gambaran umum:

- Merupakan struktur dengan fungsi utama untuk menahan atau mencegah keruntuhan tanah, melindungi tanah dari banjir dan akibat aksi gelombang. Bangunan ini merupakan dinding vertikal dengan pengait ke tanah (*retaining wall*). Bahan konstruksi dapat berupa baja, beton dan kayu.



Gambar 2-6. Penampang melintang *bulkhead*

Tujuan:

- Merupakan konstruksi untuk pembangunan fasilitas umum seperti jalan dengan tujuan utama untuk meminimalkan akibat aksi gelombang. Bangunan ini diperkuat ke bagian tanah.

Fungsi:

- sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat

Pemakaian:

- Bangunan ini digunakan bila *seawall* tidak dapat diterapkan di lapangan
- Penahan tanah pada sisi pantai yang relatif curam dan tinggi
- Digunakan untuk tanah dasar yang daya dukung sangat rendah
- Perkuatan dinding bukan berdasarkan gravitasi, namun dari ketahanan angkur (perkuatan secara horizontal).

Keuntungan:

- Dapat menggunakan berbagai jenis bahan, baik bahan pabrik yaitu baja dan beton, juga dari alam seperti kayu, papan dan balok.
- Khusus untuk bahan dari alam, bila bahan tersedia di sekitar lokasi, menjadikan konstruksi ini sangat ekonomis.
- Tidak menggunakan banyak ruang untuk konstruksi, sehingga sekitar konstruksi dapat digunakan untuk keperluan bisnis dan pariwisata.

Keterbatasan:

- Pemasangan memerlukan tenaga yang terampil, terutama pemasangan angkur.
- Membutuhkan peralatan kerja yang khusus, sama seperti *Seawall*

Instalasi Konstruksi:

- Hampir sama dengan pemasangan *Seawall*, hanya perkuatan angkur secara horizontal harus mendapatkan perhatian khusus dan pengawasan kerja yang baik.

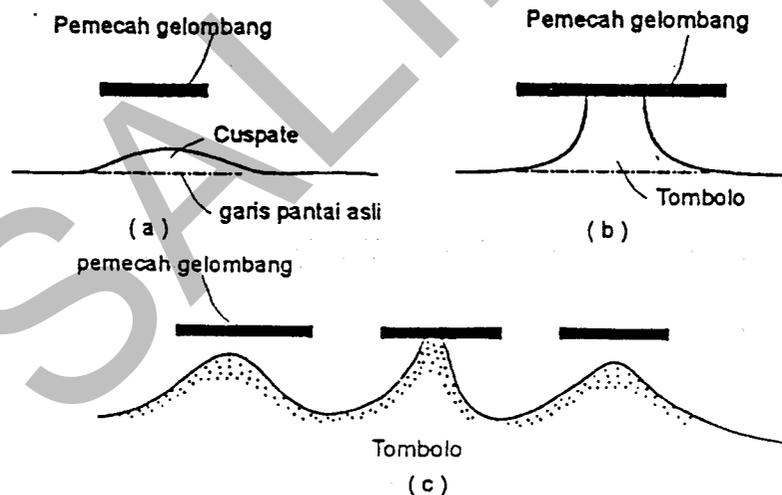
Pertimbangan:

- Perlu angkur yang diikat pada tiang pancang untuk memperkuat konstruksi *bulkhead*
- Yang lain sama dengan pertimbangan *seawall*

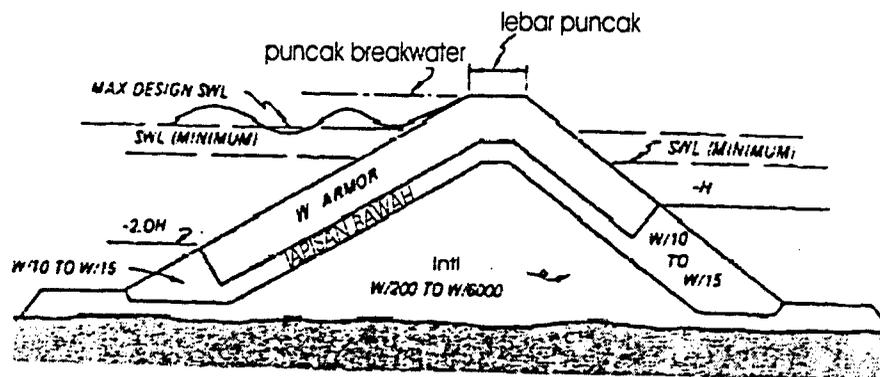
2.4 Breakwater

Gambaran umum:

- Pemecah gelombang lepas pantai (*breakwater*) adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai
- *Breakwater* merupakan konstruksi pelindung pantai dari aksi gelombang laut. *Breakwater* dapat ditempatkan di tengah laut maupun di sekitar pantai. Konstruksi ini terdiri dari berbagai jenis tipe; *breakwater* tunggal, *breakwater* majemuk, *artificial headland* dan struktur terendam.



Gambar 2-7. Pemecah gelombang lepas pantai (*breakwater*)



Gambar 1. Penampang Breakwater
Sumber: EM 1110-2-2904

Gambar 2-8. Penampang melintang *breakwater*

Tujuan:

- Bangunan ini berguna untuk mengurangi dan mengeliminasi aksi gelombang (penetrasi gelombang) dan mengurangi gerusan, transportasi sedimen yang dapat membentuk pantai baru.

Fungsi:

- Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari aksi gelombang

Penerapan:

- Pemakaian untuk lingkungan pantai yang tergerus oleh gelombang
- Tergantung pada panjang pantai yang dilindungi, pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah

Keuntungan:

- Mampu mengendalikan gerusan dan menahan pasir di pantai
- Dapat mengurangi aksi gelombang yang kuat
- Dapat mengurangi ketajaman dari gelombang dan mendukung transportasi sedimen di bawah permukaan air laut
- Dapat mengurangi tinggi gelombang disepanjang pantai.
- Khusus untuk *Breakwater* majemuk, maka jarak antar *Breakwater* dapat menjadi halangan bagi terjadinya gerusan di sekitar bangunan

Keterbatasan:

- Konstruksi relatif mahal dan memerlukan peralatan khusus untuk menahan laju air laut yang masuk ke dalam konstruksi
- Bangunan dapat menjadi halangan bagi transportasi sedimen di bentangan pantai.

Konstruksi:

- *Breakwater* ditempatkan pada garis pantai, atau lepas pantai tempat yang memenuhi syarat teknis perencanaan dan gambar kerja
- Standar teknis lainnya menggunakan pedoman *Engineering Manual EM 1110-2-2904*

Pertimbangan khusus:

- Perlu peninjauan karakteristik gelombang di beberapa lokasi di sepanjang pemecah gelombang.
- Untuk perlindungan pantai yang panjang, dibuat suatu seri pemecah gelombang lepas pantai (*breakwater*) yang dipisahkan oleh suatu celah.
- Untuk pemecah gelombang lepas pantai yang panjang pemecah gelombang relatif kecil terhadap jaraknya dari garis pantai dapat menyebabkan terbentuknya tonjolan daratan dari garis pantai ke arah laut (*cusplate*),

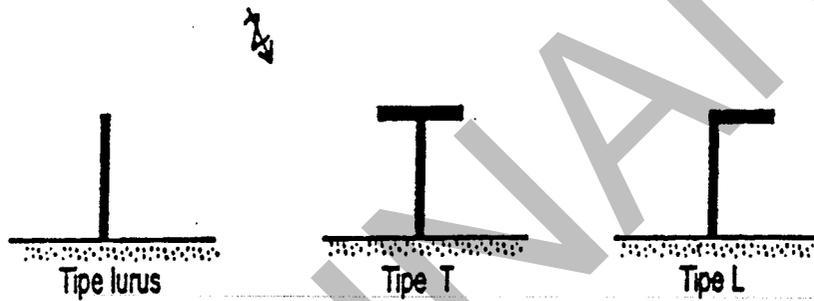
2.5 Groin

Gambaran umum:

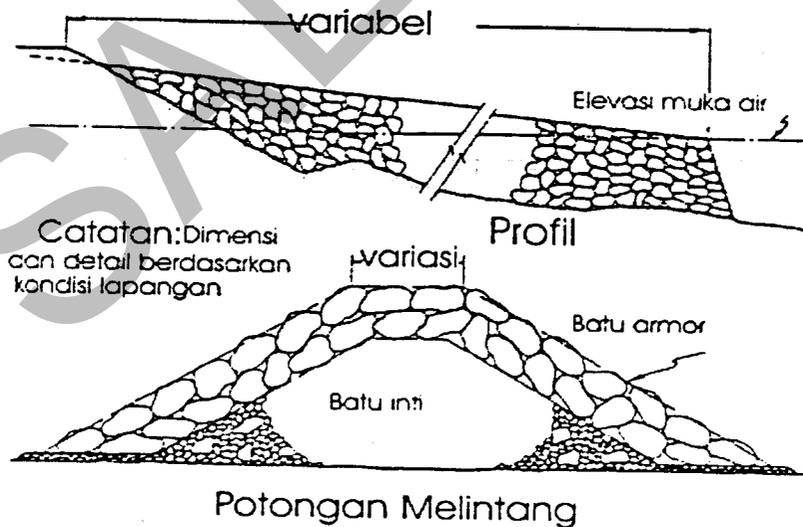
- *Groin* adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus garis pantai, seperti gambar 2-9
- *Groin* dibangun untuk menstabilkan garis alami pantai, atau sarana dalam pembuatan pantai buatan.

Bangunan ini dibangun bila pantai mengalami gerusan, terutama kehilangan material pantai seperti pasir.

Konstruksi strukturnya relatif lebar, lurus atau melengkung juga dapat diklasifikasikan berbentuk panjang atau pendek tergantung keberadaannya disekitar garis pantai. Umumnya bangunan lurus dan tegak lurus terhadap garis pantai.



Gambar 2-9. Beberapa tipe groin



Gambar 2-10. Penampang dan potongan groin.

Tujuan

- Untuk menstabilkan garis pantai akibat yang erodasi yang menyebabkan hilangnya pasir dari pantai dengan cara mengurangi transportasi dipantai
- Membangun (reklamasi) pantai dengan cara mengendapkan pasir.

Fungsi:

- Untuk menahan transport sedimen sepanjang pantai, sehingga dapat mengurangi/menghentikan erosi yang terjadi.
- Bangunan ini juga digunakan untuk menahan masuknya transport sedimen sepanjang pantai ke pelabuhan atau muara sungai.

Pemakaian:

- Pada daerah pantai yang secara intensif terjadi abrasi
- Pada daerah atau lokasi yang pemakaian *breakwater* tidak efektif.

Keuntungan:

- Sangat efektif dalam pengendalian sedimen pantai
- Dapat mengurangi tinggi gelombang dipantai
- Garis pantai tidak berubah dan alami, karena konstruksi dibangun tegak lurus garis pantai
- Terjadinya perubahan garis pantai yang akan terus berlangsung sampai dicapai keseimbangan baru.

Keterbatasan:

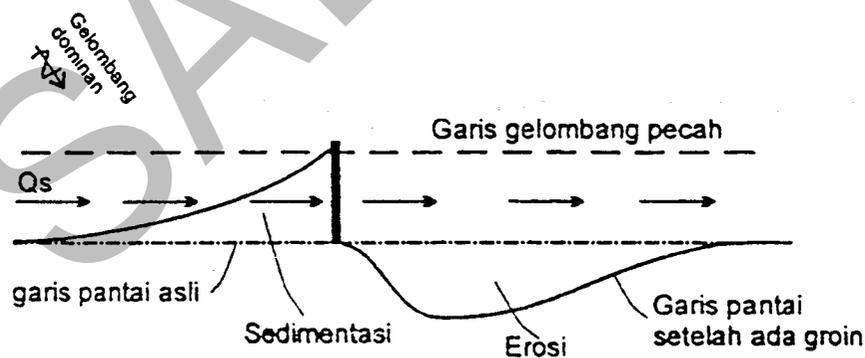
- Konstruksi relatif mahal dan memerlukan peralatan khusus untuk menahan laju arus dan gelombang disekitar lokasi pembangunannya.
- Dapat mempengaruhi/mempersempit gerakan alat transportasi laut disekitar pantai.

Instalasi Konstruksi:

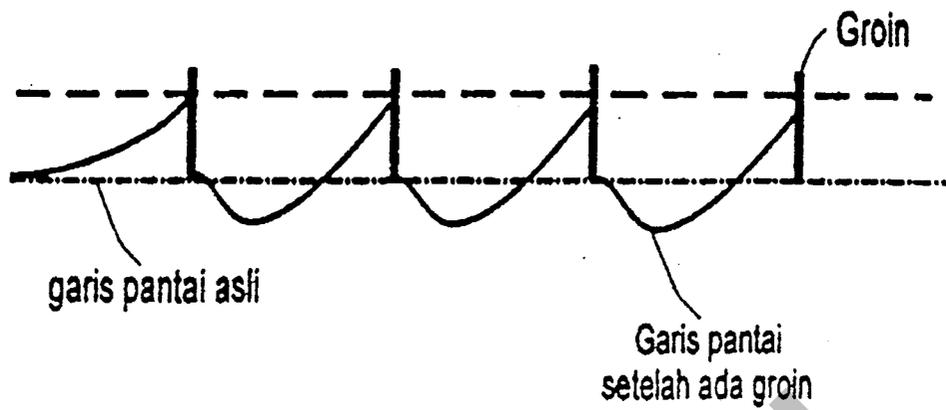
- *Groin* ditempatkan pada garis pantai, yaitu tempat terjadinya erosi pantai
- Dimensi *groin* disesuaikan dengan hasil perencanaan dan gambar kerja.
- Standard teknis lainnya menggunakan pedoman *Engineering Manual EM 1110-2-2-1617*.

Pertimbangan khusus:

- Bagian udik dari gelombang datang terjadi pengendapan sedimen di sepanjang pantai, sedangkan pada hilir mengalami defisit sedimen, sehingga pada bagian hilir ini pantai mengalami erosi, seperti gambar 6-19. Untuk itu perlu diperkuat *riprap* pada bagian hilir tersebut.
- Keseimbangan baru tercapai pada saat sudut yang dibentuk oleh gelombang pecah terhadap garis pantai baru adalah nol ($\alpha_b = 0$), di mana tidak terjadi angkutan sedimen sepanjang pantai.
- Perlindungan pantai dengan menggunakan satu buah *groin* tidak efektif
- perlindungan pantai dilakukan dengan membuat suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa *groin* yang ditempatkan dengan jarak tertentu (gambar 2-11).



Gambar 2-11. *Groin* tunggal dan perubahan garis pantai yang ditimbulkan



Gambar 2-12. Seri *groin* dan perubahan garis pantai yang ditimbulkan

SALINAN

3 Perlindungan dan Stabilitas Tapak (Toe)

3.1 Umum



Gambar 3-1. Kasus kegagalan struktur kaki dari bangunan pengaman tebing pantai jenis pasangan batu (di Sulawesi Tengah)

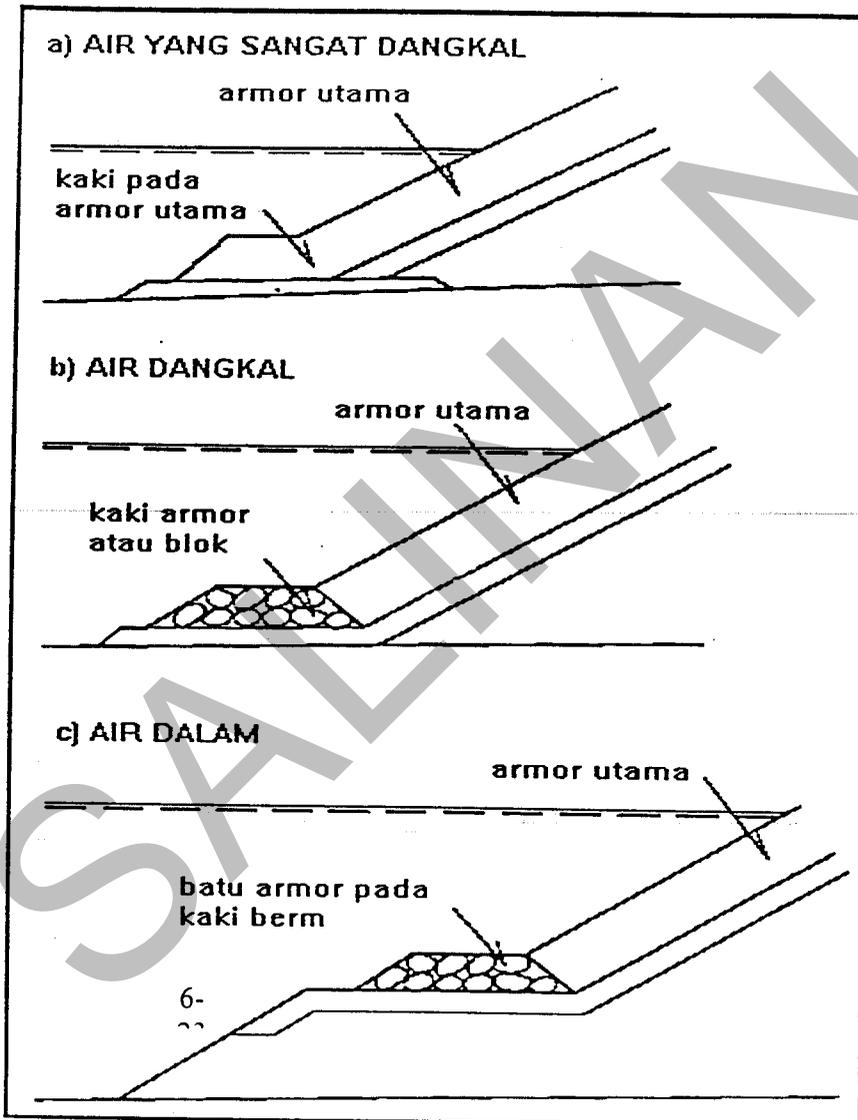


Gambar 3-2. Kasus kegagalan struktur kaki dari bangunan pengaman tebing pantai jenis tembok laut (di Sulawesi Tengah)

Fungsi *toe berm* adalah mendukung lapisan *armor* utama dan untuk mencegah kerusakan akibat gerusan. Unit *armor* diletakkan dari lapisan *armor* sampai ujung

toe berm, sehingga meningkatkan stabilitas *berm*. *Toe berm* umumnya disusun dari bongkahan batu, tetapi blok beton dapat digunakan jika material batu tersedia terlalu kecil.

Pada perairan sangat dangkal dengan desain tinggi gelombang yang dibatasi oleh kedalaman, pendukung lapisan *armor* pada *toe* dijamin dengan meletakkan satu atau lebih baris unit *armor* utama pada *toe* lereng seperti yang digambarkan dalam gambar 3-3.



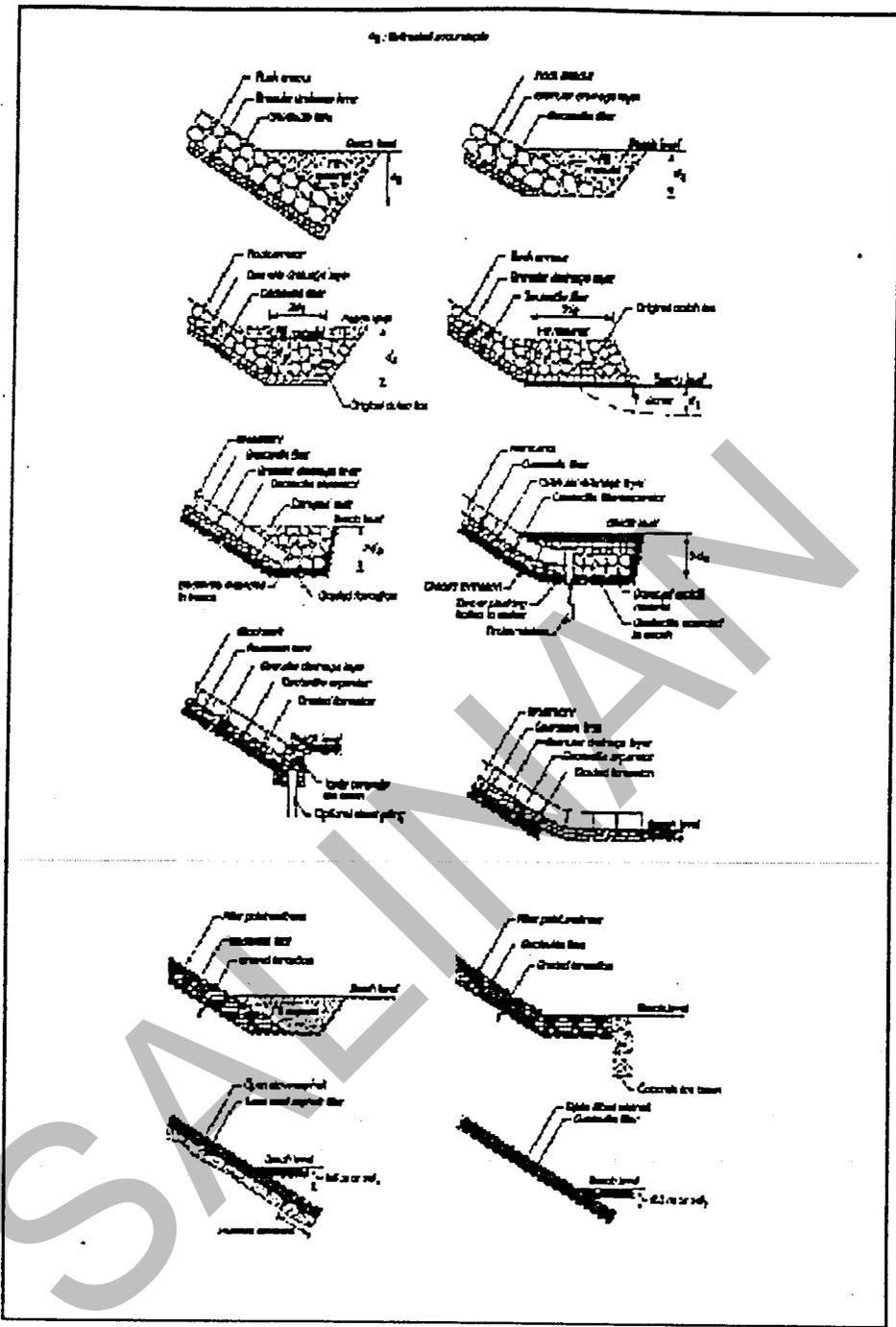
Gambar 3-3. Tipikal kaki dan solusi berm kaki pada desain rubble-mound breakwater

Stabilitas toe berm dipengaruhi oleh tinggi gelombang, kedalaman air pada puncak *toe berm*, lebar *toe berm*, dan kepadatan bahan penyusun.

Laut dengan dasar batu memberikan daya dukung pondasi yang jelek karena *toe berm* dapat tergelincir. Stabilitas *toe* akan, sulit tercapai terutama pada perairan dangkal dengan kondisi gelombang pecah pada struktur.

Gerusan didepan *toe* juga dapat memicu keruntuhan. Bentuk-bentuk pelindung *toe* akibat gerusan dapat dilihat pada **gambar 3-4**.

SALINAN



Gambar 3-4. Desain tipikal kaki seawall dimana gerusan foreseen (McConnel, 1998)

3.2 Stabilitas toe untuk gelombang

Perhitungan stabilitas toe akibat gelombang dapat dijelaskan menurut konsep berikut:

Tabel 3-1 Rumus praktis stabilitas toe untuk gelombang

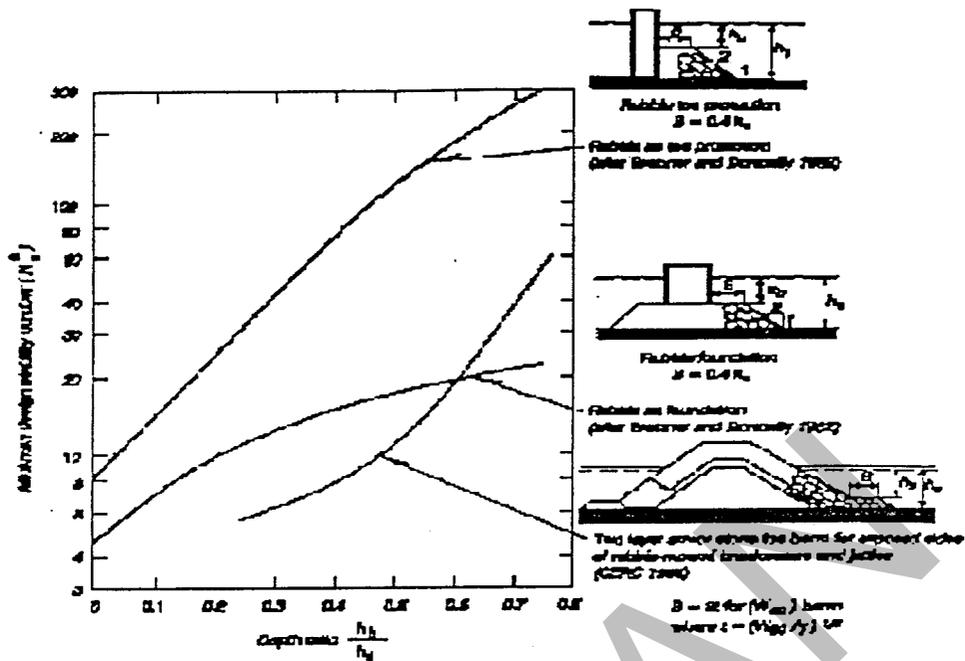
Gelombang	Struktur	Tabel/Gambar
Teratur, <i>head-on</i> dan bersudut	berlereng dan vertikal, potongan bongkol dan kepala	Gambar 6-25
Tidak teratur, <i>head-on</i>	Bongkol struktur berlereng	Gambar 6-26

3.2.1 Konsep untuk gelombang teratur

Gelombang teratur, berpuncak (*head-on*) dan bersudut.

- Dengan :
- N_o : $N_o = H/(\Delta D_{n50})$
 - H : tinggi gelombang di depan *break water*
 - Δ : $(\rho_s/\rho_w) - 1$
 - ρ_s : Kerapatan masa batu
 - ρ_w : Kerapatan masa air
 - D_{n50} : panjang kubus ekivalen batu median

Catatan : nilai dibawah kurva grafik N_o merupakan stabilitas yang dapat diterima pada perencanaan *berm*.

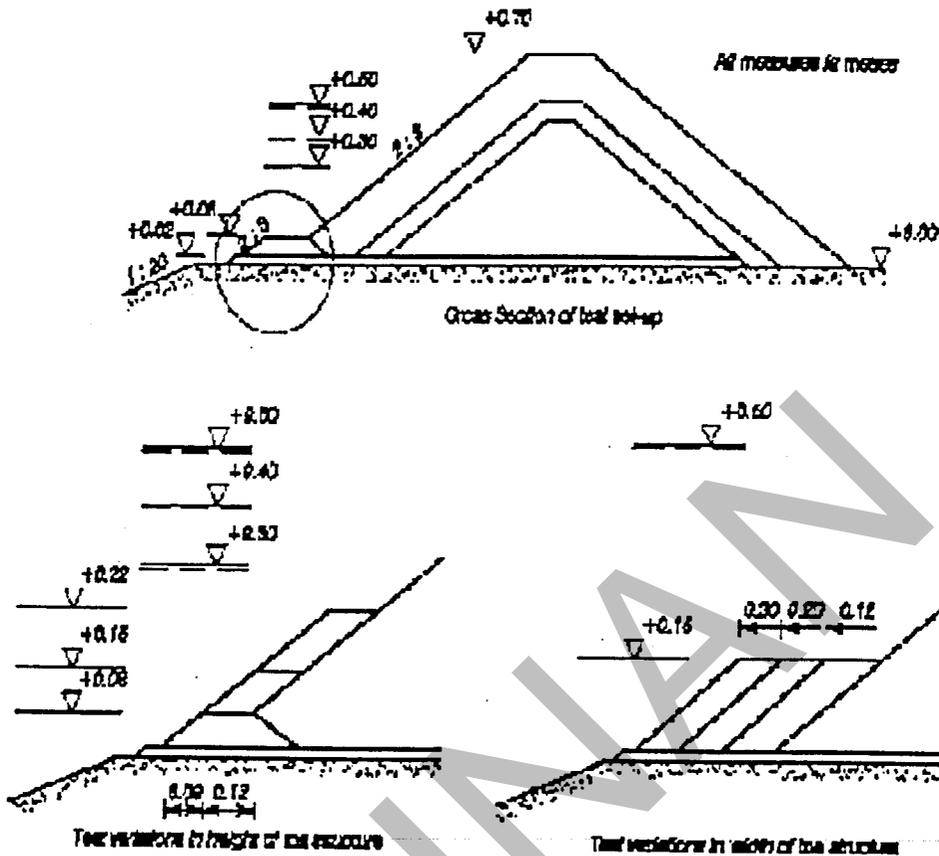


Gambar 3-5. Rasio kedalaman terhadap bilangan stabilitas desain minimum

3.2.2 Konsep untuk gelombang tidak teratur

Blok perlindungan kaki digunakan untuk mencegah gerusan pondasi pada toe pada struktur vertikal seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-6.

Tested cross sections



Gambar 3-6. Penampang yang diuji

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = \left(0.24 \frac{h_b}{D_{n50}} + 1.6 \right) N_{ol}^{0.15}$$

Dimana :

h_b : Kedalaman air pada puncak *toe berm*

N_{ol} : Jumlah unit yang diletakkan pada *armor* luar didalam lebar *strip* D_{n50} . Untuk *toe* standar berukuran sekitar lebar 3-5 batu dan tinggi 2-3 batu

$$N_{ol} = \begin{cases} 0.5 & \text{tidak ada kerusakan} \\ 2 & \text{dapat terjadi kerusakan} \\ 4 & \text{Sejumlah kerusakan} \end{cases}$$

Toe berm yang lebih lebar, dapat menggunakan harga N_{od} yang lebih tinggi. *Valid* untuk Gelombang tidak teratur berpuncak: pada *toe* tidak ada kerusakan, dapat rusak dan rusak.

Toe berm dibentuk dari 2 lapis batu dengan $\rho_s = 2.68 \text{ ton/m}^3$

$$0,4 < h_b/h_s < 0,9, \quad 0,28 < H_s/h_s < 0,8, \quad 3 < h_b/D_{n50} < 25$$

dimana h_s adalah kedalaman air depan *berm*.

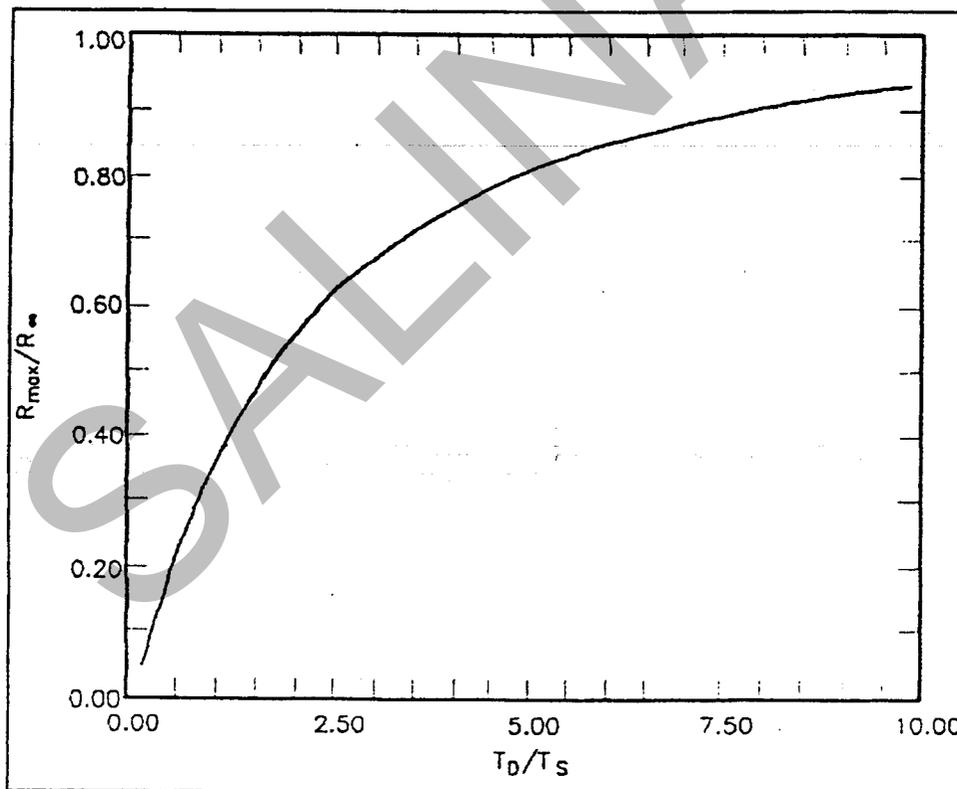
4. CONTOH PERHITUNGAN

4.1 Contoh perhitungan erosi dan perubahan garis pantai :

Diketahui $H_b = 3 \text{ m}$, $h_b = 3,85 \text{ m}$, $D = 0,20 \text{ mm}$, $m_o = 1:10$, $T_D = 10 \text{ jam}$, dan $S_{\max} = 1,50 \text{ m}$.

Tentukan perubahan garis pantai $R(t)$ dan jumlah erosi maksimum (R_{\max})

Penyelesaian:



Gambar 4-1. Erosi relatif maksimum versus rasio durasi badai terhadap skala waktu profil

Harga parameter skala profil ditentukan berdasarkan gambar 4-1 yaitu $0,1 \text{ m}^{1/3}$. Lebar aktif surf zone B_{b1} , yaitu:

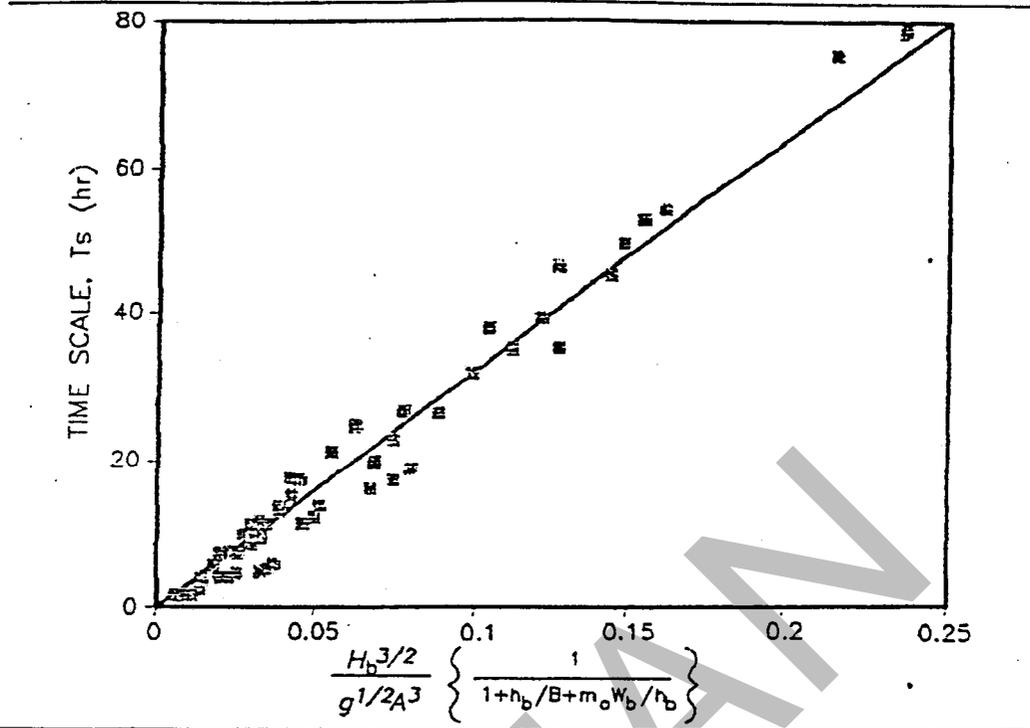
$$B_{b1} = \left(\frac{H_b}{A} \right)^{3/2}$$
$$= \left(\frac{3.85}{0.1} \right)^{3/2}$$

$$B_{b1} = 238,9 \text{ m.}$$

Harga keseimbangan dari respon garis pantai didasarkan pada elevasi air maksimum S_{mak} ditentukan dari persamaan (4-1) yaitu :

$$R_x = \frac{S \left(W_b - \frac{h_b}{m_o} \right)}{B + h_b - \frac{S}{2}}$$
$$= \frac{1.5 \left(238.9 - \frac{3.85}{0.1} \right)}{2 + 3.85 - \frac{1.5}{2}}$$
$$= 58,9 \text{ m.}$$

Skala waktu morfologi T_s ditentukan dari gambar 4-2 dengan menghitung harga absisnya, yaitu :



Gambar 4-2. Hubungan empiris untuk penentuan skala waktu erosi

$$\frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left(\frac{1}{1 + \frac{h_b}{B} + \frac{m_o W_b}{h_b}} \right)$$

$$\frac{3^{3/2}}{(9.8)^{1/2} (0.1)^3} \left(\frac{1}{1 + \frac{3.85}{2} + \frac{(0.1)(238.9)}{3.85}} \right)$$

= 181,8 detik ≈ 0,053 jam.

Skala waktu morfologi ditentukan dari gambar 4-2 mendekati 17 jam. Waktu pengaruh garis pantai yang bervariasi ditentukan dari persamaan (g) dan dijelaskan pada gambar 4-2.

Erosi maksimum dapat ditentukan dari persamaan (1-8) atau langsung dari gambar 4-2, yang diperoleh $R_{max}/R_{oo} = 0,236$ atau $R_{max} = 13,9$ m.

4.2. CONTOH PERHITUNGAN GERUSAN PADA KAKI REVETMENT

Kondisi 1

Dengan asumsi gelombang adalah gelombang reguler, tidak pecah, tegak lurus dan menabrak dinding impermeabel.

$$T = 5 \text{ detik}, h = 1,775 \text{ m}, H = 2,50 \text{ m}$$

$$\frac{h_s}{H} = \frac{0,4}{(\sinh k_p h)^{1,35}} \quad \text{dimana : } k_p = \frac{2\pi}{L}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L_0}$$

$$L = 20,06 \text{ m}$$

$$k_p = \frac{2\pi}{L} = \frac{2 \times 3,14}{20} = 0,314$$

$$k_p h = 0,314 \times 1,775 = 0,557$$

$$h_s = \frac{0,4}{(\sinh k_p h)^{1,35}} H$$

$$h_s = \frac{0,4}{(\sinh 0,557)^{1,35}} \times (2,50) \\ = 2,06 \text{ m.}$$

kasus 2

Bila gelombang irreguler, tegak lurus dan tidak pecah

$$\frac{h_s}{(Urms)T_p} = \frac{0,05}{(\sinh k_p h)^{0,35}}$$

$$\frac{(Urms)m}{g k_p T_p H_{m0}} = \frac{\sqrt{2}}{4\pi \cosh k_p h} \left[0,54 \cosh \left(\frac{1,5 - k_p h}{2,50} \right) \right]$$

$$\frac{H_s}{H_{m0}} = e^{-\left[0,00039 \left(\frac{H}{g T_p^2} \right)^{-0,14} \right]}$$

Dari persamaan di atas diperoleh :

$$\frac{2,50}{H_{m0}} = e^{-\left[0,00089 \left(\frac{1,775}{9,81 \times (5)^2}\right)^{-1,824}\right]}$$

$$H_{m0} = 2,37 \text{ m}$$

$$\frac{(U_{rms})_m}{9,81 \times 0,314 \times 5 \times 2,37} = \frac{\sqrt{2}}{4 \times 3,14 \times \cosh(0,314 \times 1,775)} \left[0,54 \cosh\left(\frac{1,5 - 0,314 \times 1,775}{2,50}\right) \right]$$

$$(U_{rms})_m = 2,024$$

Sehingga:

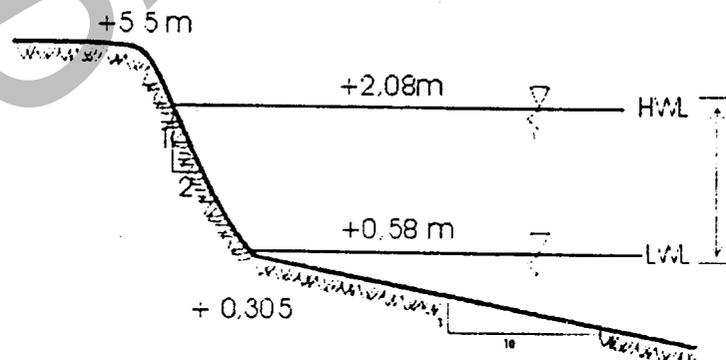
$$\frac{h_s}{(2,024)T_p} = \frac{0,05}{(\sinh 0,557)^{0,35}}$$

$$h_s = 0,61 \text{ m}$$

4.3. Contoh Desain Untuk Pengamanan Pantai (revetment, seawall, bulkhead):

Suatu konstruksi jalan di tepi pantai, dimana pantainya mengalami abrasi, terutama akibat gaya gelombang (ombak). Adapun kondisi geometrik seperti gambar di bawah ini. Lihat Gambar 4-3.

Tinggi gelombang rencana 2,50 m dan periode 5 detik. Agar badan jalan ini aman terhadap keruntuhan tebingnya, rencanakan struktur penguat tebing.



Gambar 4-3. Kondisi geometrik tebing pantai terhadap konstruksi jalan

Penyelesaian :

Langkah 1 : Pemilihan tipe pengaman

Khusus untuk daerah pantai, minimal ada 3 struktur penguatan tebing yaitu *Revetment*, *Seawall*, dan *Bulkhead*. *Revetment* sendiri terdiri dari: *riprap*, *quarystone*, blok beton (*concrete block*), *gabion*, dan semen tanah. Melihat kondisi permasalahan yang ada, maka dicoba untuk menggunakan *revetment* terlebih dahulu.

Langkah 2 : Perencanaan *revetment*

Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan *revetment*, yaitu:

1. Kriteria gelombang pecah

Untuk menentukan kriteria gelombang pecah, maka harus dihitung terlebih dahulu beberapa parameter.

$$h_s = 2,08 - 0,305$$

$$= 1,775m$$

$$T = 5 \text{ det}$$

Kemiringan dasar pantai (m) = 0,10

$$ds/gT^2 = 1,775/9,81 (5)^2$$

$$= \frac{1,775}{9,81 \times (5)^2}$$

$$= 7,24 \times 10^{-3}$$

Berdasarkan ds/gT^2 dan kemiringan dasar pantai (m), dengan menggunakan grafik diperoleh :

$$H_b/h_s = 1,75$$

$$H_b = 1,75 \times 1,775$$

$$= 3,11 > 2,50m.$$

Dengan demikian digunakan $H = 2,50$ m. untuk perencanaan.

2. Penentuan ukuran *armor*

a. *Riprap*

$$H = 2,50m$$

$$T = 5 \text{ detik}$$

$$\text{Cot } \theta = 2$$

$$\gamma_r = 2,65 \text{ t/m}^3$$

$$K_D = 2 \text{ (tabel 2-3)}$$

$$\gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

Dengan data tersebut dapat dihitung berat *riprap* yang diperlukan :

$$\begin{aligned} W_{50} &= \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \text{Cot} \theta} \\ &= \frac{2,65 \times (2,5)^3}{2,2 \left(\frac{2,65}{1} - 1 \right)^3 \cdot 2} = \frac{41,406}{19,765} \\ &= 2,10 \text{ ton.} \end{aligned}$$

Komentar : karena ukuran *riprap* terlalu besar, tidak ekonomis, maka dicoba tipe *angular quarrystone* untuk dua lapisan ($n = 2$).

b. *quarrystone*

$$W = \frac{2,65 \times (2,5)^3}{2 \left(\frac{2,65}{1} - 1 \right)^3 \cdot 2} = \frac{41,406}{17,97} = 2,30 \text{ t.}$$

Gradasi yang diharapkan : 0,75 W – 1,25 W, dengan 50 % nya lebih besar dari pada W yang dihitung di atas.

Ketebalan lapisan *armor* (r) untuk $n = 2$:

$$dr = n_1 \cdot k_3 \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1,3}, \text{ dimana } k_3 = 1,0 \text{ (tabel 2.4)}$$

$$dr = 2 (1) \left(\frac{2,30}{2,65} \right)^{1,3} = 1,91 \approx 2 \text{ m}$$

W *quary stone* = 2,30 t

Jumlah *quarystone* / satuan luas (N_r) :

$$N_r = A_i n_i K_{\Delta} (1 - \rho/100) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{2.3}$$

A_i = luas yang ditinjau (100 m²)

P = porositas rata-rata

$$n_i = 2$$

$$P = 37^{\circ} \text{ (tabel 2.4)}$$

$$N_r = 100(2)(1)(1 - 37/100) \left(\frac{2650}{2300} \right)^{2.3}$$

$$= 138,50$$

$$N_r = 139 \text{ batu}/100 \text{ m}^2$$

3. Pemasangan filter

Lapisan filter direncanakan dari *agregat* batu pecah, dimana pada lapisan pertama setebal 30 cm dan pada lapisan ke dua terdiri dari kerikil (*gravel*) setebal 30 cm.

4. Estimasi *run-up* gelombang.

Anggap bahwa kondisi gelombang yang diberikan merupakan tinggi gelombang signifikan dan periode puncaknya pada kedalaman 5 m, maka diperoleh :

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = e^{\left[c_0 \left(\frac{h}{gT_p^2} \right)^{-c_1} \right]}, \text{ disini } H = H_s$$

$$C_0 = 0,00089$$

$$C_1 = 0,834.$$

$$H_{mo} = \frac{H_s}{e^{\left[c_0 \left(\frac{h}{gT_p^2} \right)^{-c_1} \right]}} = \frac{2,5}{e^{\left[0,00089 (5 : 9,81 \cdot 5^2)^{-0,834} \right]}} = \frac{2,5}{e^{0,0428}}$$

$$H_{mo} = \frac{2,5}{1,0437} = 2,44 \text{ m.}$$

$$\xi = \frac{tg \theta}{\left\{ \frac{2\pi H_{mo}}{gT_p^2} \right\}^{1,2}} = \frac{0,50}{\left\{ \frac{2(3,14) \times 2,44}{9,81(5)^2} \right\}^{1,2}}$$

$$= 2,02$$

$$\frac{R_{milt}}{H_{mo}} = \frac{a\xi}{1 + b\xi}$$

$$a = 1,022$$

$$b = 0,247$$

$$R_{max} = 2,40x \left(\frac{1,022(2,02)}{1 + 0,247(2,02)} \right)$$
$$= 3,31 \text{ m.}$$

Dengan *run-up* 3,31 m, maka elevasi puncak *revetmen* minimal harus mencapai = $(2,08 + 3,31) = 5,39 \text{ m.}$

5. Pengaman gerusan pada kaki *revetment*:

Gerusan pada *revetment* dapat diasumsikan sama dengan tinggi gelombang. Kedalaman aliran maksimum 1,78 m pada elevasi muka air rencana. Gelombang maksimum yang terjadi adalah 3,11 m. Dengan demikian kedalaman gerusan pada kaki *revetment* dapat diasumsikan berdasarkan gelombang yang lebih tinggi dari gelombang signifikan 2,5 m. $H_{10} = 1,27 \times 2,5 = 3,17 \text{ m.}$ Berdasarkan tinggi gelombang tersebut maka kedalaman gerusan maksimum diperkirakan sekitar 3,0 m dari dasar awal. Untuk mencegah gerusan kaki dapat digunakan *rock riprap*. Perhitungan struktur pengaman pada kaki *revetment* dapat dilihat pada perhitungan detail *riprap* atau pada perhitungan *guide bank*.

Langkah 3 : Perhitungan stabilitas

Dengan sedikit modifikasi, terutama akibat adanya pengaruh gaya gelombang, maka kestabilan struktur *revetment* di pantai dapat mengacu pada perhitungan stabilitas *retaining wall*.

4.4. PERENCANAAN BULKHEAD BULKHEAD

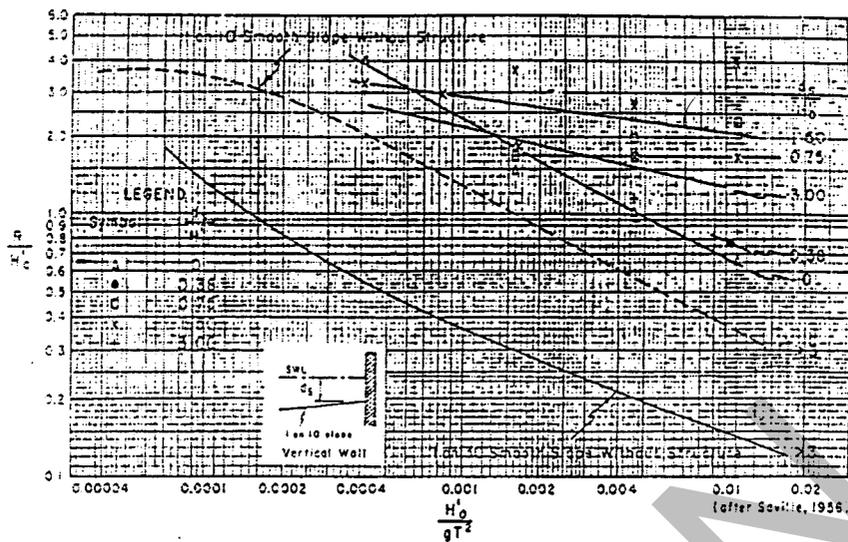
Bila dalam kasus ini dipilih konstruksi *bulkhead*, maka ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan, yaitu:

1) Sheetpiling

Sesuai dengan perhitungan perencanaan struktur yang standar, maka dipilih tipe turap dari jenis *angkor/centilever*. Pertimbangan perencanaan yang paling penting adalah *run-up* gelombang dan pengamanan kakinya (*toe protection*).

a. Gelombang *run-up*

Untuk menghitung *run-up* gelombang dalam kasus ini dapat dilakukan berdasarkan Gambar 4-4.



Gambar 4-4. Nomogram penentuan gelombang *run up*

Petunjuk Penggunaan Nomograph pada gambar 4-4:

1. Hitung H_o
2. Hitung H_o/gT^2
3. Plot nilai H_o/gT^2 pada garis grafik sumbu horizontal
4. Tarik garis lurus dari titik H_o/gT^2 menuju garis tipe kemiringan, selanjutnya tarik garis lurus horizontal memotong garis grafik R/H_o
5. Baca titik perpotongan antara garis lurus dengan garis grafik nilai R/H_o .
6. Hitung R .

$$\frac{H}{H_o} = \left\{ \frac{1}{\tanh(2\pi h/L)} \right\} \times \left\{ \frac{1}{(1 + \pi h/L) / \sin(\frac{h}{L})} \right\}$$

$$L = 23,64 \text{ m}$$

Berdasarkan harga tersebut diperoleh :

$$H_o = 2,5/0,913$$

$$H_o = 2,69 \text{ m.}$$

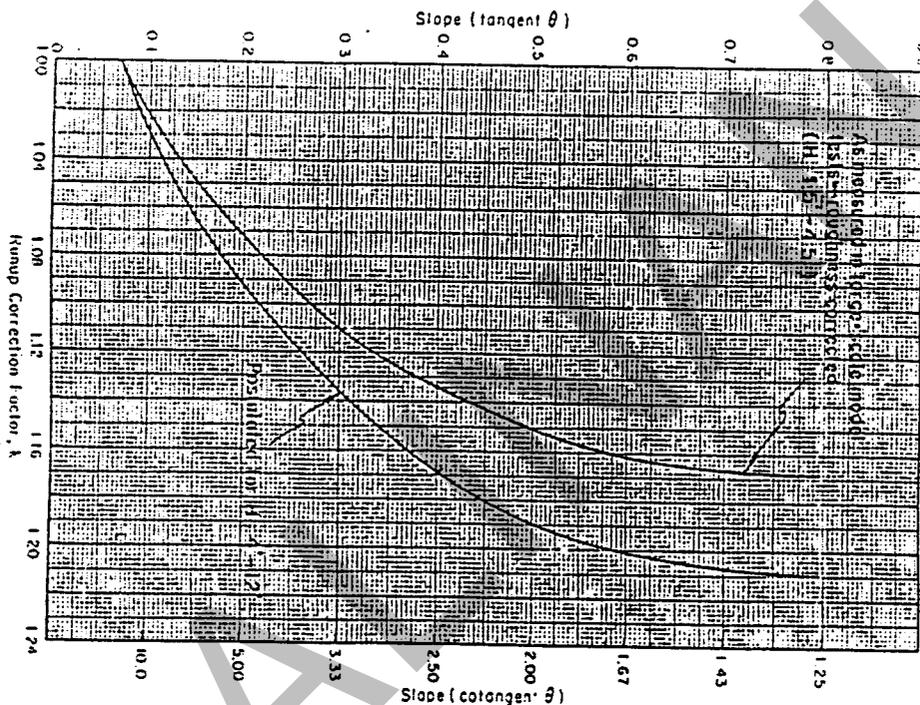
$$\frac{ds}{H_o} = \frac{1,775}{2,69} = 0.66$$

$$\frac{H_o}{gT^2} = \frac{2,69}{9,81(5)^2} = 0.01$$

Berdasarkan harga ds/H_o dan H_o/gT^2 , dari gambar 4-4 diperoleh R/H_o sekitar 1,3, maka:

$$R = 1,3 \times 2,69$$

$$= 3,50 \text{ m.}$$



Gambar 4-5. Koreksi *run up* untuk pengaruh skala

Petunjuk Penggunaan Nomograph pada gambar 4-5:

1. Tentukan kemiringan struktur (cotangant θ).
2. Plot nilai cotangant θ pada garis grafik sumbu horizontal.
3. Tarik garis lurus dari titik cotangant θ menuju garis interval tinggi gelombang H, selanjutnya tarik garis lurus horizontal memotong garis grafik k.
4. Baca titik perpotongan antara garis lurus dengan garis grafik nilai k.

Untuk mengoreksi pengaruh skala, dari gambar 4-5 diperoleh $K = 1,19$ (faktor korelasi), sehingga tinggi *run-up* gelombang hasil koreksi (R'):

$$\begin{aligned} R' &= 1,19 \times R \\ &= 1,19 \times 3,50 \\ &= 4,16 \text{ m.} \end{aligned}$$

Berdasarkan tinggi *run-up* gelombang tersebut, maka elevasi puncak *bulkhead*, minimal harus $= 2,08 + 4,16 = 6,24$ m.

b. Pengamanan kaki *bulkhead*:

Dibawah kondisi elevasi muka air tapak *bulkhead* akan terendam. Ukuran batu pada kaki *bulkhead* dihitung dengan persamaan:

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \text{Cot} \theta}$$

Tinggi gelombang yang digunakan adalah $H_{10} = 3,17$ m

Gunakan kemiringan tebing *bulkhead* IV: 3H (lebih konservatif) sehingga diperoleh $\text{Cot} \theta = 3$.

Gradasi yang diinginkan 0,7 W s/d 1,25 W, dimana 50 % nya lebih besar dari pada W.

$$W = \frac{2650(3,17)^3}{2 \left(\frac{2650}{1000} - 1 \right)^3 \cdot 3}$$

$$W = 3132 \text{ kg}$$

Ketebalan lapisan digunakan rumus ($n = 2$)

$$\begin{aligned} dr &= n_i K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \\ &= 2 (1) \left(\frac{3132}{2650} \right)^{1/3} \\ &= 2,11 \text{ m.} \end{aligned}$$

Diasumsikan bagian angkor, kaki depannya diamankan zona tekanan tanah pasif, dimana lebar dari zona ini adalah:

$$\text{width} = K_p \cdot d_c$$

Anggap sudut geser tanah ($\phi = 45^\circ$) dan harga $K_p = 2,46$, dan $d_c = 6$ m, diperoleh:

$$\text{width} = 2,46 \times 6$$

= 14,76 m.

2. Penentuan kedalaman sheet pile (D)

Agar struktur *sheetpiling* aman, maka perlu ditentukan kedalaman yang harus dipancang agar konstruksi tersebut kokoh. Perhitungannya dapat merujuk pada contoh perhitungan *sheet pile* di sungai, dengan memodifikasi beberapa gaya yang bekerja, terutama akibat gelombang.

4.5 CONTOH PENERAPAN GROIN DI PANTAI

Konstruksi jalan dipinggir pantai mengalami abrasi akibat gelombang. Untuk mempertahankan bantaran pantai minimum 300 meter, perlu direncanakan suatu struktur pelindung pantai sehingga badan jalan aman terhadap hantaman ombak.

Rencanakan struktur pelindung pantai dari konstruksi *groin*.

Penyelesaian :

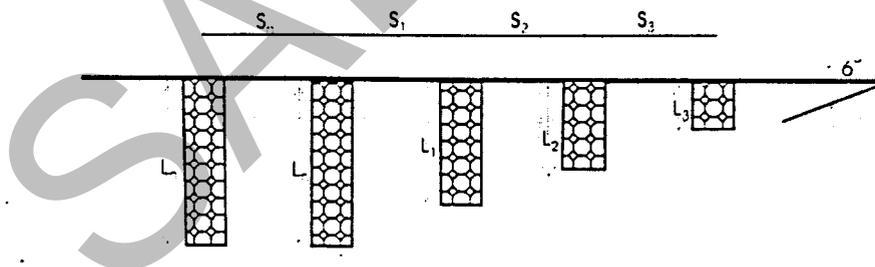
Langkah 1: Pola arus dan pergerakan sedimen

Dalam kasus ini dianggap pola arus dan pergerakan sedimen diketahui.

Langkah 2: Penempatan/layout posisi groin

Adapun sketsa gambar perencanaan *layout groin* seperti gambar di bawah ini.

Lihat Gambar 4-6.



Gambar 7.6 Rencana Groin

Gambar 4-6. Rencana *groin* di pantai

Groin ditempatkan tegak lurus terhadap garis pantai. Jarak antara *groin* digunakan rumus:

$$d_{11} = \left[\frac{R_1}{1 + \frac{R_1}{2} \tan 6^\circ} \right] L_n$$

dimana :

R_1 = rasio jarak antar *groin* terhadap panjang *groin*

L_n = panjang *groin* lapangan

Sedangkan panjang *groin* pertama pada daerah transisi dihitung menggunakan persamaan :

$$L_1 = \left[\frac{1 - \frac{R_1}{2} \tan 6^\circ}{1 + \frac{R_1}{2} \tan 6^\circ} \right] L_n$$

Dari konsep di atas dapat dihitung :

$$L_n = 500m$$

$$D_g = 300 m,$$

maka :

$$R_1 = \frac{300}{500} = 0.61$$

$$L_1 = \left\{ \frac{1 - 0.61/2 \tan 6^\circ}{1 + 0.61/2 \tan 6^\circ} \right\} 500$$

$$L_1 = 403,04 \text{ m}$$

$$d_{s1} = \left\{ \frac{0.61}{1 + 0.61/2 \tan 6^\circ} \right\} 500 = 295.53m$$

Berdasarkan panjang L_1 dan jarak S_1 , maka untuk posisi *groin* selanjutnya dapat ditulis:

$$L_2 = C_o L_1$$

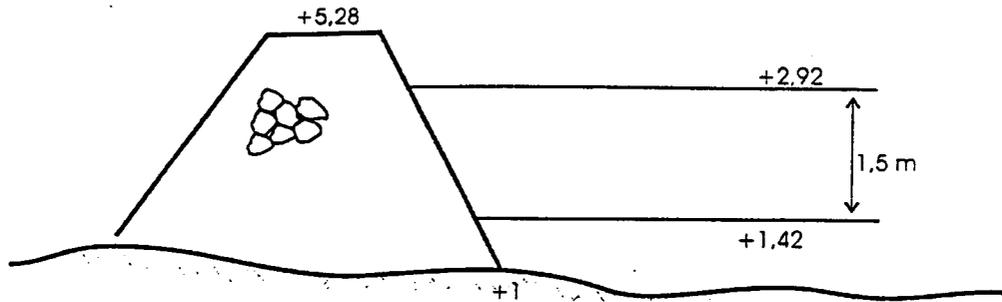
$$L_3 = C_o L_2$$

$$S_2 = C_1 L_1$$

$$S_3 = C_1 L_2$$

(a)

Perhitungan koefisien C_o dan C_1 :



Gambar 7-7 Kondisi pantai dan groin
 Gambar 4-7. Kondisi pantai dan struktur groin.

Dari gambar:

$$ds = 2,92 - 1,42 = 1,5 \text{ m}$$

$$m = 0$$

$$\frac{hs}{gT^2} \text{ untuk } T = 5 \text{ det.}$$

$$\frac{hs}{gT^2} = \frac{1.5}{9.81 \times (5)^2} = 6 \times 10^{-3}$$

dari gambar 4-8 pada contoh revetment untuk $m = 0$ dan $\frac{hs}{gT^2} = 6 \times 10^{-3}$,

diperoleh :

$$\frac{H_b}{hs} = 0.80$$

$$H_b = 0,8 \times 1,5 = 1,2 \text{ m} < 1,5 \text{ m}$$

Untuk ini H dipakai 1,5 m.

$$= 236 \text{ kg}$$

Gradasi yang diusulkan 0,75 W sampai dengan 1,25 W.

Ketebalan lapisan armor untuk dua lapis dapat dihitung :

$$\begin{aligned} dr &= n_r K_D \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \\ &= 2(1,0) \left(\frac{236}{2650} \right)^{1/3} = 0,89 \text{ m.} \approx 1 \text{ m.} \end{aligned}$$

Jumlah quarystone:

$$\begin{aligned} N_r &= A_r n_r K_D \left(1 - \frac{\rho}{100} \right) \left(\frac{\gamma_r}{W} \right)^{2/3} \\ &= 100 \text{ m}^2 \times 2 \times 1,0 \left(1 - \frac{37}{100} \right) \left(\frac{2650}{236} \right)^{2/3} \\ &= 631,8 \\ &\approx 632 \text{ batu/100 m}^2 \end{aligned}$$

Langkah 4 : Perhitungan run-up gelombang

Anggap bahwa gelombang yang diberikan adalah tinggi gelombang signifikan dan periodenya merupakan periode puncak pada kedalaman 1,92 meter, maka :

$$\frac{H_s}{H_{mo}} = e^{\left[C_o \left(\frac{h}{gT_p^2} \right)^{-C_1} \right]}$$

$$C_o = 0,00089$$

$$C_1 = 0,834$$

$$\frac{1,20}{H_{mo}} = e^{\left[0,00089 \left(\frac{1,92}{9,81 \times (5)^2} \right)^{-0,834} \right]}$$

$$H_{mo} = 1,14 \text{ m.}$$