

## Pengamanan Tebing Pantai Tanjung Piayu Batam

Nur Yuwono

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM

Muhammad Effendi Saputra

Mahasiswa Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM

Yuwono

Mahasiswa program Sarjana, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM

### Abstract

*Tanjung Piayu Beach, Batam Island, is a wonderful fishermen village. The housing and public facilities are built a long the coast. These buildings and facilities are subject to wave attack, especially during wave season and high tides. In order to combat this problem, a special research is carried out. This research is intended to analyze the problem and to find out the solution through the hydraulic model test. Based on this research, the design of sea wall is carried out in order to get a building which environmental friendly.*

**Keywords:** wave attack, hydraulic model test, sea wall.

### Pendahuluan

#### Latar belakang

Wilayah kota Batam meliputi tiga pulau besar yaitu Batam, Rempang dan Galang (BARELANG). Permukaan tanah kota Batam pada umumnya dapat digolongkan relatif datar; dengan variasi di beberapa tempat berbukit-bukit, dengan ketinggian sekitar 160 m di atas permukaan laut (Anonim, 2001). Pulau Batam adalah merupakan pulau yang terbesar dan termaju dari ketiga pulau tersebut; oleh karena itu Pulau Batam mendapatkan prioritas utama untuk menangani permasalahan kerusakan pantai.

Kelurahan Tanjung Piayu berada di pulau Batam, dan merupakan kawasan di tepi pantai. Banyak perumahan nelayan yang berada di sepanjang pantai. Kondisi jalan desa di sepanjang pantai keadaannya cukup baik, yaitu selebar 2,0 m dan terbuat dari konstruksi beton (beton tumbuk). Lahan yang relatif datar berada di tepian pantai, yang elevasinya sangat rendah. Pada saat terjadi gelombang besar banyak kawasan permukiman yang berada di tepian pantai terjangkau terpaan gelombang. Kondisi ini diperparah bilamana gelombang datang pada saat muka air tinggi (pasang). Gelombang selain dibangkitkan oleh

angin juga ditimbulkan oleh kapal berkecepatan tinggi. Kapal jenis ferry express atau kapal yang setara dengan kapal ini menimbulkan gelombang yang cukup besar. Berdasarkan informasi dari penduduk setempat, gelombang kapal ini memberikan sumbangan yang cukup signifikan terhadap kerusakan pantai. Penduduk sangat berharap pemerintah dapat membantu membangun tembok laut untuk mengatasi permasalahan ini.

#### Tujuan dan lokasi penelitian

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk merencanakan perancangan bangunan pengamanan pantai di Tanjung Piayu.

Lokasi pekerjaan adalah berada di Kelurahan Tanjung Piayu, Pulau Batam. Lokasi ini dapat dicapai dengan speed boat (15 PK) dari Jembatan Kabel (*cable bridge*) dengan lama tempuh sekitar 20 menit (lihat Gambar 1).

#### Ruang lingkup kegiatan

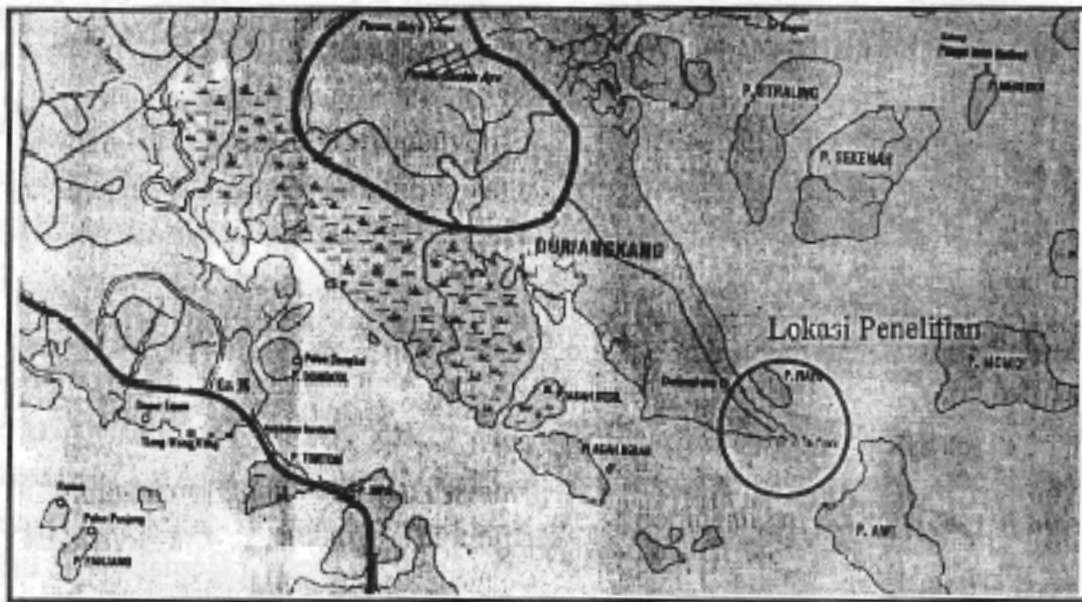
Ruang lingkup kegiatan dalam penelitian ini diantaranya adalah inventarisasi permasalahan pantai di lokasi pekerjaan, inventarisasi data sekunder yang berkaitan dengan penelitian

tersebut, analisis data hidro-oseanografi, penyelidikan mekanika tanah, uji model hidraulik dan perancangan bangunan pengaman pantai yang sesuai untuk mengatasi permasalahan di Tanjung Piayu Batam.

#### Metode pendekatan masalah

Metode pendekatan dan penyelesaian masalah pengamanan kawasan pantai di Tanjung Piayu dilakukan dengan mengikuti urutan sebagai berikut ini:

- persiapan dan studi pustaka,
- reconnaissance survey* dan pengumpulan data awal,
- survei lapangan meliputi: survey geodesi, penyelidikan tanah, survey hidro-oseanografi dan pengumpulan data tambahan,
- analisis data dan uji model fisik,
- perancangan detail bangunan pengaman pantai.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

#### Survey Lapangan

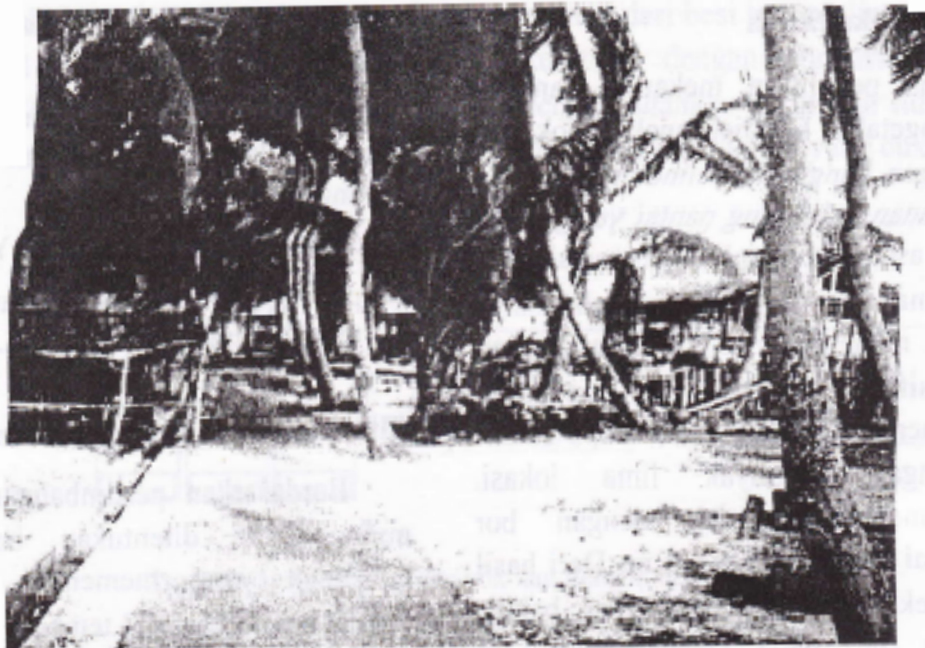
##### Permasalahan pantai

Permasalahan utama yang terdapat di Tanjung Piayu adalah sebagai berikut.

- Dataran pantai terserang gelombang pada saat air pasang dan dapat merusak fasilitas yang terdapat di kawasan tersebut, seperti jalan, sekolah dan permukiman. Pada Gambar 2 terlihat pantai Tanjung Piayu pada saat kondisi normal. Pantai dengan jalan betonnya terlihat indah, namun pada saat gelombang besar datang kawasan ini terlampaui air laut, terutama terjadi pada saat air pasang.
- Gelombang yang menghantam pantai dapat berupa gelombang yang dibangkitkan oleh angin dan atau gelombang yang dibangkitkan oleh kapal-kapal dengan kecepatan tinggi

yang beroperasi di kawasan tersebut. Gangguan yang berasal dari gelombang kapal terjadi setiap hari, sehingga frekuensi kejadiannya cukup tinggi dan gelombang inilah yang merupakan penyebab utama permasalahan pantai yang ada di Tanjung Piayu. Tembok laut yang ada sekarang panjangnya hanya sekitar 75 m dan konstruksinya kurang memenuhi syarat, sehingga kurang mampu melindungi kawasan pantai.

- Kawasan pantai merupakan desa nelayan yang sangat potensial, berada pada Kelurahan Tanjung Piayu. Untuk melindungi berbagai fasilitas yang ada di kawasan ini sangat memerlukan pembangunan dan perpanjangan tembok laut yang ada.



**Gambar 2.** Keadaan pantai Tanjung Piayu pada saat kondisi normal terlihat indah (Pada saat gelombang besar pantai ini terlimpasi air laut)

### Topografi

Penentuan daerah yang diukur didasarkan pada maksud pengukuran yaitu untuk mendukung perancangan bangunan tembok laut, yang lokasinya diperkirakan berada memanjang di tepi pantai. Daerah yang diukur menyusur pantai sepanjang kurang lebih 1.500 m dengan lebar 100 m. Pengukuran meliputi pengukuran penampang melintang pantai setiap jarak 25 sd 50 m. Pengukuran diusahakan dapat mencakup daratan selebar 50 m lebar dan perairan selebar 50 m.

### Hidro-oseanografi

Pasang surut yang terdapat di Pulau Batam dan pulau-pulau sekitarnya kurang lebih berkisar antara 3,00 sd 3,40 m (Dinas Hidro-oseanografi, 2002). Konstante pasang surut yang terdapat di Pelabuhan Singapura dan Batu Ampar dapat dilihat di Tabel 1.

Berdasarkan Table 1 dapat ditentukan elevasi pasang purnama (HWS), surut purnama (LWS) dan muka air laut rerata (MSL) dengan

menggunakan pendekatan menggunakan 4 konstante utama pasang surut ( $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$  dan  $O_1$ ) yang terdapat di Batu Ampar, dan hasilnya sebagai berikut: HWS = 3,30m, MSL = 1,65m dan LWS = 0,00m.

Gelombang laut yang terjadi di lokasi penelitian merupakan gelombang yang dibangkitkan oleh angin lokal. Gelombang Swell tidak terjadi di perairan Tanjung Piayu, karena kawasan perairan ini terlindung oleh pulau-pulau yang relatif rapat. Tinggi gelombang angin tergantung pada kecepatan hembus angin, lama hembus dan panjang fetch. Panjang fetch untuk perairan Tanjung Piayu sangat pendek sehingga gelombang laut di perairan tidaklah terlalu besar. Berdasarkan perhitungan berdasarkan data angin dan Fetch diperkirakan tinggi gelombang di lokasi penelitian pada saat badai sebesar 1,0 m. Namun seperti yang diuraikan di depan bahwa selain gelombang angin, di lokasi penelitian juga terdapat gelombang yang dibangkitkan kapal yang besarnya dapat mencapai 1,00 sd 1,50 m

**Tabel 1.** Konstante Pasang Surut di Pelabuhan Batu Ampar dan Singapura

Lokasi	Konstante	$M_2$	$S_2$	$N_2$	$K_2$	$K_1$	$O_1$	$P_1$	$Z_0$
Batu Ampar	Amplitudo (cm)	76	31	14	9	29	29	9	170
	Phase ( $360^\circ - g^\circ$ )	61	4	87	8	260	314	269	-
Singapura	Amplitudo (cm)	80	33	14	8	29	28	9	160
	Phase ( $360^\circ - g^\circ$ )	62	9	82	11	259	310	266	-

### Penyelidikan mekanika tanah

Tujuan utama penelitian mekanika tanah adalah untuk mengetahui kondisi tanah di lokasi yang akan dibangun bangunan pelindung pantai. Mengingat bangunan pelindung pantai yang akan dibangun di kawasan ini bukanlah konstruksi yang sangat berat, maka penyelidikan tanah hanya ditujukan untuk menentukan daya dukung tanah dan informasi sifat-sifat tanah yang lain untuk keperluan perancangan. Penelitian berupa sondir dan bor tangan sebanyak lima lokasi. Penyelidikan mekanika tanah dengan bor dilakukan sampai kedalaman – 6,0 m. Dari hasil penyelidikan mekanika tanah didapatkan bahwa cone resistance ( $q_c$ ) pada kedalaman 2,0 m mempunyai nilai sekitar 30 sd 75 kg/cm<sup>2</sup> (PS IT UGM, 2002).

### Alternatif Bangunan Pelindung Pantai

#### Gelombang rencana

Bangunan pelindung pantai yang akan dibangun di Tanjung Piayu berupa tembok laut. Konstruksi tembok laut direncanakan akan dibangun pada posisi sekitar garis pantai. Pada saat surut pantai tersebut airnya kering, sehingga tidak akan terjadi gelombang. Sedangkan pada saat pasang purnama, diperkirakan kedalaman perairan ( $d$ ) sekitar 60 cm, sehingga gelombang yang dibangkitkan baik oleh kapal maupun oleh angin akan mampu menerobos masuk ke kawasan pantai. Gelombang rencana yang dipergunakan untuk keperluan perancangan bangunan pelindung pantai (tembok laut) di kawasan ini besarnya dapat ditentukan berdasar gelombang pecah (Yuwono, 1992; CERC, 1984). Mengingat pantai dikawasan ini sangat landai maka gelombang pecah dapat ditentukan dengan rumus:

$$H_D = 0,78 d = 0,78 \times 0,60 \text{ m} \\ = 0,47 \text{ m} \approx 0,50 \text{ m}$$

#### Pertimbangan pemilihan alternatif bangunan pelindung pantai

Dasar pemilihan bangunan pelindung pantai yang dipilih haruslah bangunan yang multiguna, dan bermanfaat untuk daerah tersebut, yaitu bangunan yang:

- dapat berfungsi untuk melindungi kawasan pantai,
- konstruksinya tidak terlalu tinggi, sehingga tembok laut tidak nampak seperti benteng yang besar,
- tidak mengganggu drainasi kampung, dan
- pembangunannya relatif mudah dan biayanya relatif murah.

#### Alternatif bangunan pelindung pantai

Berdasarkan pertimbangan tersebut di atas maka dapat ditentukan beberapa alternatif bangunan yang memenuhi kriteria tersebut, diantaranya adalah (a) tembok laut dari buis beton dan (b) tembok laut dengan menggunakan *wave reflector* (PS IT UGM, 2002). Untuk mengatasi gerusan yang terjadi akibat gempuran gelombang sehingga tidak membahayakan konstruksi, maka di bagian depan struktur bangunan tersebut perlu diberi konstruksi pelindung kaki bangunan (*toe protection*).

#### a. Tembok laut dengan konstruksi buis beton

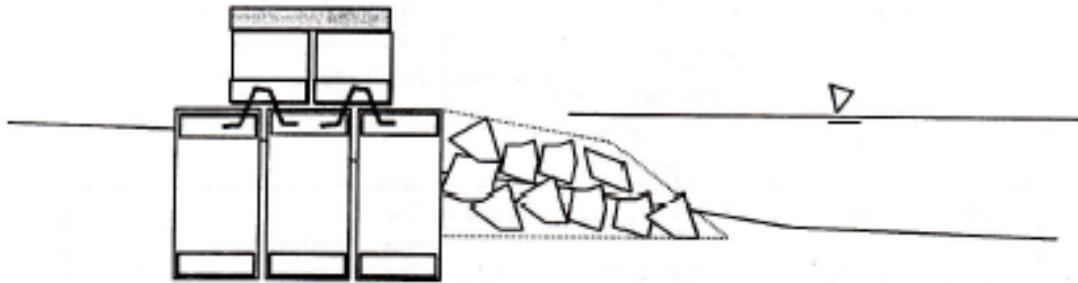
Tembok laut dengan konstruksi buis beton, terdiri dari dua susun (lihat Gambar 3). Bagian atas terdiri dari dua baris buis beton. Sedangkan bagian bawah yang berfungsi sebagai fondasi terbuat dari 3 baris buis beton. Depan tembok, (sisi laut) dibuat konstruksi *toe protection* dari tumpukan batu. Buis beton bagian bawah dan bagian atas diangkur dengan besi beton ulir. Bagian atas beton ditutup dengan *concrete cap* yang terbuat dari plat beton bertulang. Fungsi *concrete cap* ini terutama adalah untuk menyatukan konstruksi. Buis beton dibuat dengan tulangan susut, sehingga cukup kuat dan tidak mudah retak.

#### b. Tembok laut dengan wave reflector

Konstruksi tembok laut terdiri dari dua bagian, yaitu bagian bawah berfungsi sebagai fondasi dan bagian atas berfungsi sebagai penahan gelombang. Bagian bawah terdiri dari tiga baris buis beton (lihat Gambar 4). Sedangkan bagian atas terdiri dari konstruksi beton dengan lengkung khusus sehingga mampu mengembalikan luncuran air bila terjadi gelombang besar. Untuk mencegah terjadinya gerusan yang dapat menyebabkan

gagalnya konstruksi tembok laut, depan tembok (sisi laut) dibuat konstruksi *toe protection* dari tumpukan batu (CERC, 1984). Konstruksi atas tembok laut dihubungkan dengan anker yang

terbuat dari besi beton ulir, sehingga menjadi satu kesatuan dengan fondasi. Buis beton dibuat dengan tulangan susut agar tidak mudah retak dan mempunyai kekuatan yang cukup baik.



Gambar 3. Konstruksi tembok laut dengan buis beton



Gambar 4. Tembok Laut dengan *Wave Reflector*

### c. Bangunan pelindung pantai tanjung piayu

Dari kedua alternatif tersebut di atas perlu dipilih alternatif yang paling layak untuk dibangun di lokasi pekerjaan. Kalau ditinjau dari segi kekuatan, kemudahan pelaksanaan, dan kecocokan fondasi, kedua alternatif tersebut mempunyai keunggulan dan kelemahan yang sama. Namun bilamana ditinjau dari sudut unjuk kerja dan tinggi bangunan yang diperlukan maka konstruksi tembok laut dengan reflektor mempunyai keunggulan yang lebih, diantaranya adalah gelombang dapat dipantulkan kembali ke laut sehingga tidak diperlukan tembok laut yang terlalu tinggi.

#### Uji Model Hidraulik

##### Tujuan uji model hidraulik

Tujuan uji model hidraulik pada penelitian ini adalah untuk mendapatkan pedoman perencanaan tembok laut dengan konstruksi reflektor gelombang. Dengan adanya uji model ini diharapkan akan didapatkan konstruksi yang

relatif murah namun mempunyai unjuk kerja yang bagus, dan efektif dalam menghadang gelombang.

#### Dasar-dasar permodelan

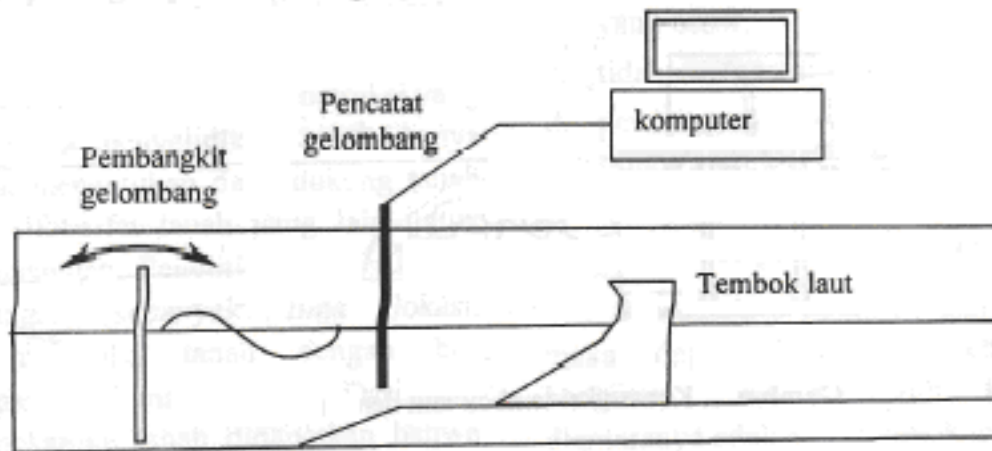
Konsep dasar uji model hidraulik, adalah membentuk kembali masalah atau fenomena yang ada di prototipe dalam skala yang lebih kecil, sehingga fenomena yang terjadi di model tersebut mirip atau sebangun dengan yang ada di prototipe. Agar supaya model sebangun dengan prototip, maka harus memenuhi tiga kesebangunan yaitu sebangun geometrik, sebangun kinematik dan sebangun dinamik.

Mengingat pada permasalahan ini yang penting adalah gaya berat dan gaya inersia, maka antara model dan prototip harus memenuhi persyaratan kesebangunan dinamik Froude (Yuwono, 1994). Karena permasalahan gaya pada konstruksi tembok laut ini adalah tiga dimensi, maka pembuatan model dilakukan dengan model tanpa distorsi (*undistorted model*).

Model tembok laut dengan konstruksi pemantul gelombang di buat dari bahan kayu dan

aluminium (lihat Gambar 5). Sisi depan tembok laut mempunyai kemiringan 1,5 horizontal : 1,0 vertikal. Pelaksanaan uji model dilakukan di Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, Pusat

Studi Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada (PS IT UGM). Fasilitas uji model yang digunakan adalah saluran gelombang dengan dinding kaca.



Gambar 5. Saluran gelombang dengan model tembok laut.

### Hasil uji model

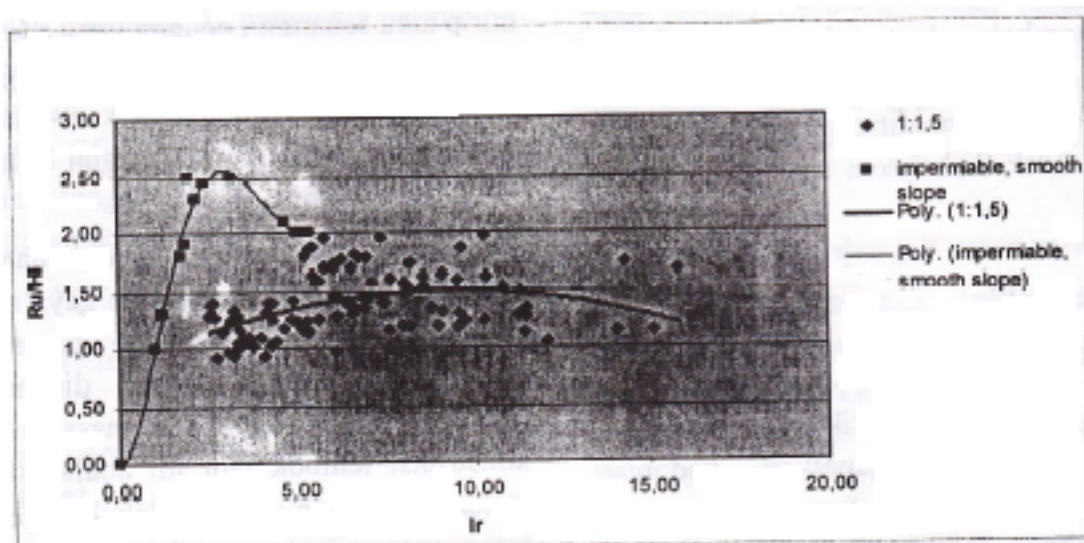
#### a. Uji model gelombang *run-up*.

Berdasarkan hasil uji model hidraulik pemecah gelombang dengan konstruksi pemantul gelombang, didapatkan tinggi *run-up* gelombang yang terjadi kurang lebih sebesar 1,5 kali tinggi gelombang datang ( $H$ ), dengan tinggi maksimum  $2 H$ . Tinggi *run-up* ini relatif lebih rendah dibandingkan dengan *run-up* bilamana tidak menggunakan reflektor gelombang (*impermeable smooth slope*). Hasil uji model ini dapat dilihat pada Gambar 6 (PS IT UGM, 2002, Yuwono, 2002)

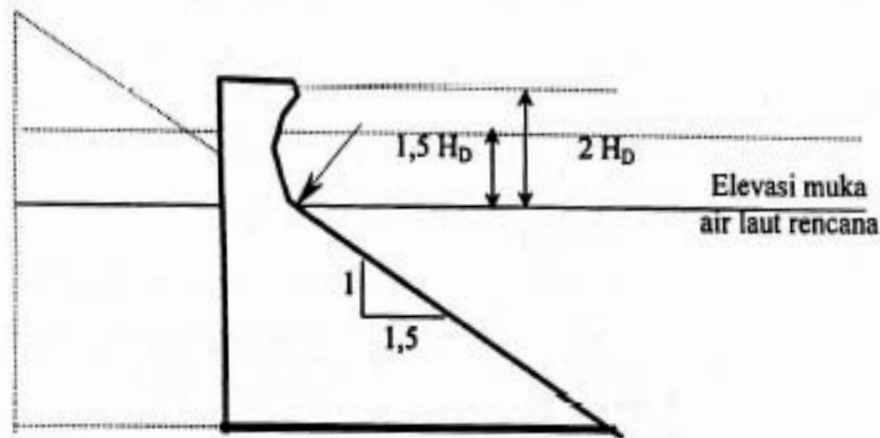
#### b. Uji model unjuk kerja reflektor

Berdasarkan uji unjuk kerja reflektor didapatkan bahwa: untuk mendapatkan lengkung reflektor yang efektif perlu menggunakan pedoman perancangan berikut ini (PS IT UGM, 2002):

- lengkung berupa lingkaran dengan pusat berada  $1,5 H_D$  dari muka air laut rencana;
- elevasi mercu tembok laut berada  $2,0 H_D$  dari muka air laut rencana;
- awal lengkung dimulai dari muka air laut rencana (lihat Gambar 7).



Gambar 6.  $Ru/H_i$  versus Iribarren Number ( $I_r$ ) untuk tembok laut dengan Konstruksi reflektor gelombang dan dinding miring



Gambar 7. Pedoman perancangan tembok laut dengan reflektor gelombang

## Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai

### Perancangan tembok laut

- Bagian-bagian konstruksi tembok laut (lihat Gambar 8 dan 9).
  - Tembok laut terbuat dari pasangan batu kualitas bagus.
  - Lebar puncak tembok laut 75 cm
  - Sistem drainasi lewat dinding tembok dengan PVC diameter 3" setiap 3 m
  - Sedangkan pada sisi daratan dilengkapi saluran drainasi terbuat dari buis beton setengah lingkaran, yang di beberapa tempat dihubungkan dengan pipa PVC untuk membuang air ke laut.
  - Fondasi terbuat dari dua baris buis beton dengan diameter 80 cm, yang dirakit dihubungkan dengan balok beton.
  - Buis beton dibuat dengan tulangan besi dan dengan kualitas beton K-225
  - Konstruksi pelindung kaki dibuat dari tumpukan batu yang diberi lapisan geotextile untuk mencegah pencucian material bawah material batu.
  - Pada tempat tempat tertentu diberi konstruksi tangga agar seseorang dapat naik turun ke pantai dengan mudah.
- Tinggi gelombang rencana.  
Tinggi gelombang rencana diambil tinggi gelombang pecah di lokasi bangunan:  
 $(H_D) = 0,50 \text{ m}$

### c. Tinggi muka air rencana:

Tinggi muka air rencana diikatkan dengan hasil pengukuran topografi. Berdasarkan hasil pengukuran topografi HWS sesuai dengan Elevasi + 9,65 m. Dengan menganggap SS (*storm surge*) sangat kecil (*fetch* sangat pendek) dan tidak memperhitungkan SLR (*sea level rise*), maka tinggi muka air rencana dapat ditentukan sebagai berikut (Yuwono, 1992):

$$DWL = HWS + SS + SLR$$

$$DWL = + 9,65 \text{ m} + 0 + 0 = + 9,65 \text{ m}$$

### d. Tinggi mercu tembok laut.

Berdasarkan hasil uji model hidraulik tinggi gelombang run-up =  $2 H_D = 1,00 \text{ m}$

$$El_{(mercu)} = DWL + Ru$$

$$El_{(mercu)} = + 9,65 \text{ m} + 1,00 \text{ m} = 10,65 \text{ m}$$

### e. Berat batu pelindung kaki.

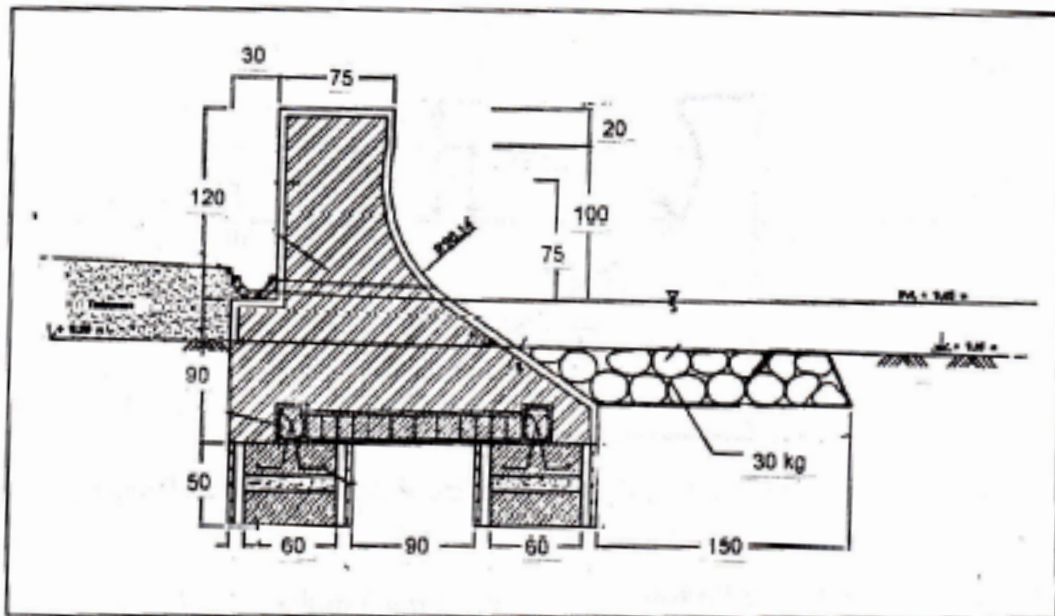
Berat batu pelindung kaki dihitung dengan rumus Hudson yang dimodifikasi.

$$W = \frac{\gamma H^3}{K_D \Delta^3} = \frac{2,5 \cdot 0,5^3}{4,143^3} = 0,027 \quad Tf$$

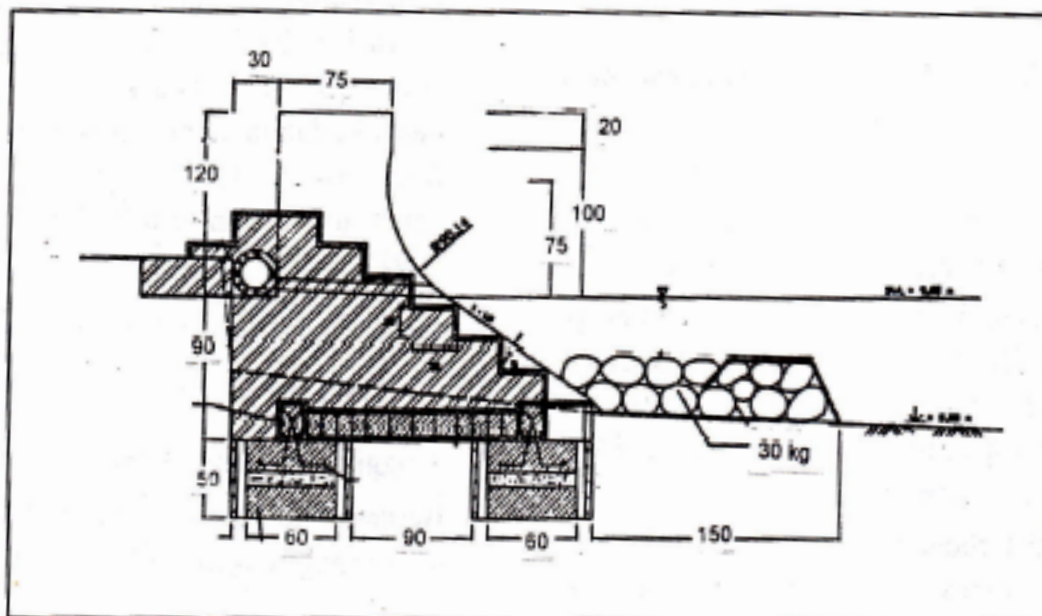
$$\text{Berat batu diambil } W = 30 \text{ kg}$$

### Gambar detail tembok laut

Potongan gambar detail tembok laut dapat dilihat pada Gambar 8, sedangkan potongan pada konstruksi tangga dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Detail tembok laut



Gambar 9. Detail konstruksi tangga pada tembok laut

### Spesifikasi teknik bangunan tembok laut

- Mutu beton yang dipergunakan adalah beton K-225
- Buis beton berdiameter 80 cm, dengan tebal dinding 10 cm, diberi tulangan melingkar dengan  $\phi = 8$  mm, dengan jarak 10 cm, dan tulangan membujur dengan  $\phi = 10$  mm. Tulangan membujur dipasang pada posisi setiap seperduabelas lingkaran.
- Beton penutup dibuat pada dasar dan atas buis beton dengan tebal 20 cm. Untuk menghubungkan buis beton dengan konstruksi lain dipergunakan kait yang terbuat dari besi beton ulir dengan diameter  $\phi = 25$  mm, dan diangkerkan ke beton penutup.
- Tembok laut terbuat dari pasangan batu dengan mutu bahan sangat bagus, dan harus memenuhi standar bangunan maritime. Khusus bagian depan tembok laut dilapisi beton dengan tebal 5 cm, dimaksudkan agar permukaan tembok laut tidak mudah aus akibat gempuran gelombang.
- Pekerjaan urugan pada beberapa bagian diperlukan untuk mempertinggi elevasi tanah di bagian belakang tembok laut agar tidak terlalu rendah. Material timbunan terdiri dari tanah yang cukup baik, dan diusahakan



mempergunakan tanah hasil galian fondasi. Timbunan harus dipadatkan lapis demi lapis, hingga mencapai kepadatan yang diinginkan.

- f. Kualitas batu yang dipergunakan untuk konstruksi pelindung kaki (*toe protection*) dipergunakan batu bersudut (batu pecah) dengan rapat massa minimum  $2500 \text{ kg/m}^3$ , dan diutamakan dari jenis batu granit atau andesit dengan berat minimum 30 kg per buah. Pasangan batu harus diatur rapi sesuai dengan ukuran dan ketebalan yang diperlukan, dan dipasang di atas lapisan geotextile sehingga butiran tanah di bawah lapisan batu dapat terlindungi.
- g. Geotextile yang digunakan adalah geotextile yang mempunyai spesifikasi: berat 230 gr/m<sup>2</sup>, dengan kualitas minimal setara dengan HATE Reinfox-385250 XT.

### Penutup

Perencanaan detail bangunan pengaman tebing pantai Tanjung Piayu, Batam merupakan kerjasama antara Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, dengan Proyek Perencanaan dan Pengawasan Teknis Sungai Rawa Pantai dan Danau, Propinsi Riau. Bersama ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Pemerintah Daerah Propinsi Riau atas kesempatan dan kepercayaan yang diberikan kepada institusi kami. Untuk melaksanakan kegiatan perencanaan ini, penulis dibantu oleh anggota peneliti model hidraulik (sdr Yuwono) dan anggota staf perencana (Efendi Saputra), dan atas kerjasamanya yang baik diucapkan banyak terimakasih.

### Daftar Pustaka

- Anonim, 2001, *Atlas Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Laut Riau Kepulauan Propinsi Riau*, Bappeda Propinsi Riau bekerjasama dengan Pusat Kajian Sumber Daya Pesisir dan Kelautan IPB, Pekanbaru.
- CERC, 1984, *Shore Protection Manual*, Department of The Army, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi
- Dinas Hidro-Oseanografi, 2002, *Daftar Pasang Surut*, Dinas Hidro-Oseanografi, TNI AL, Jakarta.
- PS IT UGM, 2002, *Model Test dan Detail Desain Pengaman Tebing Pantai Pulau Pulau Batam*, Pusat Studi Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada bekerjasama dengan Proyek Perencanaan dan Pengawasan Teknis Sungai, Rawa, Pantai dan Danau, Propinsi Riau, Pekanbaru
- Yuwono, 2003, *Optimasi Konstruksi Pemantul Gelombang Lengkung Pada Tebing Dengan Kemiringan 1 : 1,5*, Tugas Akhir mahasiswa S-1, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Yuwono, N., 1992, *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Volume II, Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yuwono, N., 1994, *Perencanaan Model Hidraulik*, Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.