

UJI MODEL DETAIL DESAIN TANGGUL LAUT SEMARANG

MODEL TEST DETAILS DESIGN SEMARANG SEA DIKE

Suprpto¹⁾ Juventus Welly Ginting¹⁾

¹⁾ Balai Litbang Pantai, Buleleng, Bali

E-mail: juventus.ginting@gmail.com

ABSTRAK

Pelaksanaan model test detail desain tanggul laut Semarang dilakukan untuk mengetahui tingkat stabilitas struktur tanggul laut berupa armor blok beton berbentuk kubus dengan sisi 1 m. Selain itu, model test juga dilakukan untuk mengevaluasi elevasi puncak tanggul laut terhadap berbagai kondisi gelombang dan kenaikan elevasi muka air akibat penurunan tanah (land subsidence). Tanggul laut Semarang didesain untuk menahan gelombang dan air pasang, serta sebagai jalan tol, sehingga model test dilakukan untuk menguji stabilitas lapis lindung dan limpasan. Terdapat 5 skenario pengujian yang dilakukan yaitu LS01, LS05, LS10, LS15 dan LS15-120% dimana masing-masing skenario menunjukkan kondisi land subsidence yang terjadi setelah 1 tahun, 5 tahun, 10 tahun dan 15 tahun dengan asumsi besarnya land subsidence di Semarang 0,1 m/tahun. Hasil model test menunjukkan bahwa stabilitas struktur lapis lindung armor dengan kubus beton cukup tinggi, dibuktikan dengan kerusakan struktur (damage level) yang cukup rendah ($NoD < 0.5$) pada seluruh kondisi skenario pengujian. Limpasan mulai terjadi pada skenario LS 10, LS 15 dan LS 15 120% masing-masing sebesar 1.192 lt/dt/m, 6.588 lt/dt/m dan 20.215 lt/dt/m. Limpasan yang terjadi tersebut dapat dikategorikan secara fungsional tidak aman untuk kendaraan (unsafe at any speed) sedangkan untuk kondisi struktur dikategorikan tidak ada kerusakan (no damage). Oleh karena itu perlu dilakukan evaluasi menyeluruh terkait stabilitas dan ketinggian/kebutuhan elevasi puncak tanggul setelah masa layanan 10 tahun.

Kata kunci : tanggul laut, model fisik, semarang, tol, penurunan tanah, stabilitas tanggul, limpasan

ABSTRACT

The implementation of a detailed test model for the design of the Semarang sea wall was carried out to determine the level of stability of the sea dike structure in the form of cube-shaped concrete block armor with 1 m side. Besides, a test model was also conducted to evaluate the elevation of the sea dike against various wave conditions and increase in water level due to land subsidence. The Semarang sea wall was designed to with stand waves and tides, as well as toll roads, so that the model test was carried out to test the stability of the protective and runoff layers. There are 5 test scenarios carried out, namely LS01, LS05, LS10, LS15 and LS15-120% where each scenario shows land subsidence that occurs after 1 year, 5 years, 10 years and 15 years assuming the amount of land subsidence in Semarang 0,1 m / year. The test model results show that the stability of the protective armor structure with the concrete cube is quite high, as evidenced by the damage level which is quite low ($NoD < 0.5$) in all conditions of the test scenario. Runoff starts in the LS 10, LS 15 and LS 15 scenarios 120% for 1,192 lt / dt / m, 6,588 lt / dt / m and 20,215 lt / dt / m, respectively. The runoff that occurs can be categorized functionally unsafe for vehicles in status (unsafe at any speed) while for the condition of the structure it is categorized as no damage. Therefore, a comprehensive evaluation of the stability and elevation / peak elevation needs of the embankment needs to be carried out after a 10-year service period.

Keywords: sea dike, physical model, Semarang, Toll, land subsidence, dike stability, runoff

PENDAHULUAN

Ekosistem pesisir di Indonesia mempunyai potensi yang cukup besar. Namun, ada masalah yang terkait dengan pengembangan penggunaan sumber daya alam di ekosistem pesisir dan laut. Beberapa masalah dan isu yang terjadi dalam pengembangan dan pembangunan daerah pesisir antara lain: pembangunan industri, dampak deforestasi, kerusakan ekosistem pesisir, dan *Mangrove Forest Kliring*. (Samekto, 2017).

Mayoritas industri berkembang pesat di kota-kota besar, terutama di daerah pesisir. Sayangnya, tidak semua industri dilengkapi dengan instalasi pengolahan air limbah. Oleh karena itu, limbah mereka sering mencemari sungai atau aliran, dengan demikian mereka akhirnya mencemari laut. Selain membuang limbah ke laut sebagian besar industri di Indonesia masih menggunakan air tanah sebagai pemenuhan kebutuhan air bakunya

Akibat deforestasi banyak hutan di daerah hulu sungai diubah peruntukannya, baik untuk tujuan pertanian atau pemukiman. Deforestasi tersebut menghasilkan tingkat sedimentasi yang tinggi di perairan pesisir. Deforestasi dan pengelolaan lahan yang buruk di daerah-daerah hulu telah menghasilkan tingkat sedimentasi yang tinggi di daerah pesisir.

Rusaknya ekosistem pesisir karena sebagian besar industri yang terletak di daerah pesisir menyebabkan daerah operasi penangkapan ikan dari nelayan skala kecil menjadi sempit. Karena keterbatasan pengetahuan dan tingkat pendidikan masyarakat yang rendah sehingga sulit untuk bersaing dengan nelayan dengan teknologi penangkapan ikan yang modern. Sebagai hasil dari pendidikan dan keterampilan yang rendah, banyak dari mereka yang hanya digunakan di daerah pesisir. Beberapa dari mereka bahkan menggunakan teknik penangkapan ikan yang merusak, seperti penggunaan bahan *explosives* dan beracun seperti potasium sianida (KCN). Praktek ini ditemukan di banyak tempat di ekosistem pesisir dan laut di Indonesia

Mangrove Forest Kliring, mangrove sebagai bagian dari ekosistem, memberikan potensi ekonomi yang berharga di daerah pesisir, karena sistem ini mengandung produktivitas laut tinggi, seperti ikan, udang, lobster, moluska, dan kura-kura.. Sayangnya, pemanfaatan hutan bakau sering dipotong karena beberapa alasan. Banyak hal membuktikan bahwa persentase hidup cakupan bakau menurun, baik karena langsung dan tidak langsung efek dari aktivitas manusia di daerah pesisir. Deforestasi hutan mangrove atau

pembukaan lahan di banyak daerah pesisir, seperti di Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, untuk pengembangan perikanan dan produksi arang mengakibatkan penurunan jumlah total ikan yang ditangkap. Beberapa daerah di pantai utara mengalami *Mangrove Forest Kliring* atau perubahan fungsi hutan mangrove dilakukan untuk pengembangan wilayah pesisir menjadi tambak udang dan bandeng dimana pada akhirnya akibat pemanfaatan daerah mangrove menjadi tambak mengakibatkan erosi di beberapa daerah di Jawa Tengah. (Bakti, 2010)

Selain empat permasalahan dan isu yang terjadi dalam pengembangan dan pembangunan daerah pesisir adalah permasalahan banjir akibat rob. Naiknya muka air laut saat pasang dan menggenangi permukiman biasa disebut dengan istilah rob merupakan fenomena yang selalu terjadi di Kota Semarang Lama bagian utara. Dari tahun ke tahun, frekuensi kejadian rob semakin meningkat dan cenderung semakin meluas. Hal ini diduga disebabkan oleh adanya penurunan muka tanah yang mencapai 3 sampai 15 cm per tahun, dan kondisi oceanografi dan klimatologi di Semarang dan sekitarnya. Kerugian sosial dan ekonomi akibat banjir rob ini tidak sedikit. Secara sepietas, banjir yang menggenangi permukiman dan pertokoan di Kota Lama telah mereduksi pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya unit-unit ruko atau bangunan yang ditinggalkan

Jalur Pantura yang merupakan urat nadi utama transportasi darat yang menghubungkan berbagai wilayah di pulau Jawa. Jalur ini sangat berperan didalam mendukung pertumbuhan ekonomi kota-kota diwilayah pulau Jawa. Akhir-akhir ini jalur pantura yang melewati pesisir utara Kota Semarang hingga ke wilayah Kabupaten Demak sudah mulai terdampak dengan adanya banjir rob. Air rob menggenangi beberapa ruas jalan pada waktu-waktu tertentu dan sudah sangat mengganggu kelancaran lalulintas di jalur Pantura. Apalagi jika dibarengi dengan kondisi musim hujan dimana debit air yang besar dari sungai-sungai di wilayah Semarang dan Demak membuat jalur Pantura ini menjadi semakin macet serta struktur jalan juga cepat sekali mengalami kerusakan.

Penanggulangan banjir ROB dapat dilakukan dalam skala regional, lokal, atau bahkan spesifik pada satu unit bangunan saja. Sebagai contoh, rumah-rumah penduduk di sekitar Pelabuhan Tanjung Mas dan Jalan Ronggo Warsito, yang selalu menjadi langganan banjir, mengantisipasi penurunan muka tanah dan banjir dengan cara menimbun halaman dan membuat tanggul-tanggul sederhana.

Antisipasi banjir per unit bangunan, meskipun tampak lebih murah, namun akan mengurangi estetika kota dan tidak menyelesaikan masalah secara tuntas. Di sisi lain, ide pembuatan bangunan air dalam skala regional melalui pembangunan Dam Lepas Pantai (DLP) yang menutup kemungkinan masuknya ROB di sepanjang garis pantai Semarang juga merupakan opsi yang memerlukan investasi jutaan dolar dan penyelesaian yang *multiyears*. Pilihan lain yang diduga cukup rasional adalah dengan membuat polder baru, membuat pintu-pintu air dan atau tanggul penahan yang mencegah masuknya air laut ke daratan pada lokasi-lokasi tertentu saja menurut skala prioritas. Prioritas tertinggi tentu saja diberikan pada lokasi-lokasi yang memang didominasi oleh pemukiman padat atau sentra industri.

Konsep sistem polder adalah salah satu solusi yang tepat dalam menangani permasalahan banjir rob khususnya di wilayah Terminal Terboyo Semarang Utara sampai dengan wilayah Kecamatan Sayung Kabupaten Demak. Komponen dari suatu sistem polder terdiri dari tanggul penutup, kolam retensi, pompa dan sistem drainase. Tanggul penutup didesain selain menutup masuknya air laut ke wilayah darat juga difungsikan sebagai jalan lingkar atau jalan tol untuk semakin memperlancar arus lalu lintas Jalur Pantura. Untuk keperluan penyiapan desain penanganan, terutama desain tanggul laut, dilakukan Model Test skala laboratorium. Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, melaksanakan kegiatan perencanaan untuk sistem tata air/polder Semarang Timur serta desain tanggul lautnya.

KAJIAN PUSTAKA

Sistem Polder

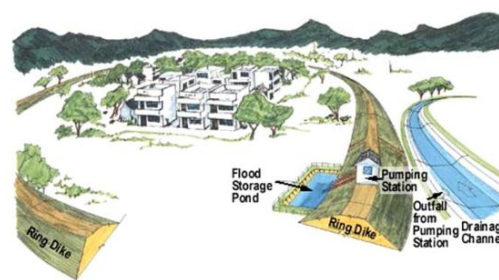
Pemanfaatan sistem polder pada umumnya dimanfaatkan sebagai perlindungan terhadap banjir. Di Belanda, desain tanggul dan struktur penahan air lainnya didasarkan pada probabilitas (frekuensi) limpasan yang dapat diterima. Pada tahun 1993 konsep keamanan baru diperkenalkan berdasarkan risiko banjir total. Risiko didefinisikan sebagai hasil dari probabilitas dan konsekuensi. Dalam beberapa tahun terakhir alat canggih telah tersedia untuk menghitung risiko banjir aktual polder. (Manen & Brinkhuis, 2005). Selain penanganan risiko banjir dengan menggunakan *hardstructure* perlu juga diterapkan penanganan banjir dengan

menggunakan manajemen risiko banjir yang diterapkan oleh Thailand. (Singkran, 2017).

Sistem polder adalah suatu cara penanganan banjir dengan kelengkapan bangunan sarana fisik yang meliputi saluran drainase, kolam retensi, pompa air, yang dikendalikan sebagian satu kesatuan pengelolaan (Gambar 1). Dengan sistem polder, maka lokasi rawan banjir akan dibatasi dengan jelas. Sehingga elevasi muka air, debit, dan volume air yang harus dikeluarkan dari sistem dapat dikendalikan. Oleh karena itu, sistem polder disebut juga sebagai sistem drainase yang terkendali.

Sistem polder adalah suatu cara penanganan banjir dengan kelengkapan bangunan sarana fisik yang meliputi saluran drainase, kolam retensi, pompa air, yang dikendalikan sebagian satu kesatuan pengelolaan (Gambar 1). Dengan sistem polder, maka lokasi rawan banjir akan dibatasi dengan jelas, sehingga elevasi muka air, debit dan volume air yang harus dikeluarkan dari sistem dapat dikendalikan. Oleh karena itu, sistem polder disebut juga sebagai sistem drainase yang terkendali.

Sistem ini dipakai untuk daerah-daerah rendah dan daerah yang berupa cekungan. ketika air tidak dapat mengalir secara gravitasi. Agar daerah ini tidak tergenang, maka dibuat saluran yang mengelilingi cekungan. Air yang tertangkap dalam daerah cekungan itu sendiri ditampung di dalam suatu waduk, dan selanjutnya dipompa ke kolam tampungan.



Sumber: Tanuwidjaja & Widjaya, 2010

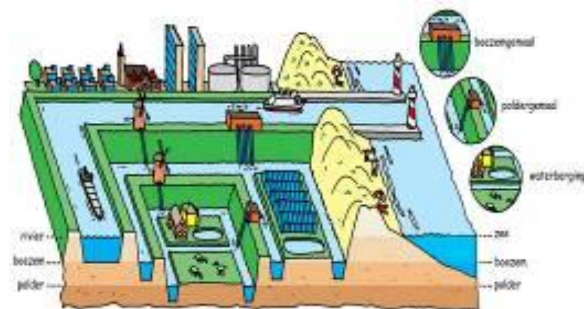
Gambar 1. Sketsa tipikal sitem folder sumber :

Pada awalnya polder dibuat untuk kepentingan pertanian. Tetapi beberapa dekade belakangan ini sistem polder juga diterapkan untuk kepentingan pengembangan industri, permukiman, fasilitas umum serta untuk kepentingan lainnya dengan alasan keamanan.

Fungsi utama polder adalah sebagai pengendali muka air di dalam sistem polder tersebut. Untuk kepentingan permukiman, muka air di dalam Sistem dikendalikan supaya tidak terjadi banjir / genangan. Air di dalam sistem dikendalikan sedemikian rupa sehingga jika

terdapat kelebihan air yang dapat menyebabkan banjir, maka kelebihan air itu dipompa keluar sistem polder

Sebuah polder strategis yang diterapkan di Belanda ialah Proyek Delta (1953). Konsepnya ialah untuk mengurangi risiko banjir di South Holland dan Zeeland untuk sekali per 10.000 tahun. Upaya ini dilakukan dengan membuat tanggul sepanjang 3.000 kilometer dari tanggul laut dan 10.000 kilometer saluran mikro, kanal, dan tanggul sungai dan menutup dari muara laut dari provinsi Zeeland. Proyek Delta merupakan salah satu upaya pembangunan terbesar dalam sejarah manusia yang diselesaikan pada 1997 dengan penyelesaian *Maeslantkering* (*storm surge barrier*) pintu perlindungan terhadap pasang akibat badai. Ilustrasi penerapan polder dapat dilihat pada Gambar 2.

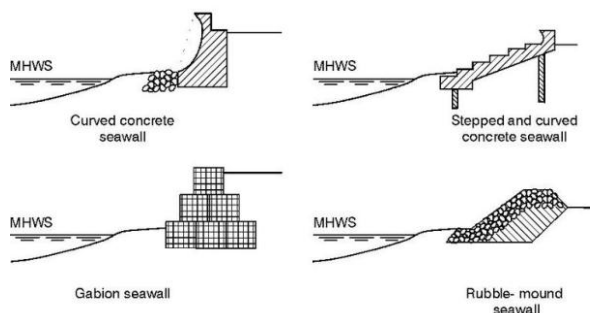


Sumber: Tanuwidjaja & Widjaya, 2010

Gambar 2. Ilustrasi system polder di Belanda

Tanggul Laut

Seawall atau tanggul laut adalah sebuah struktur yang memisahkan daratan dan perairan. *Seawall* dirancang untuk mencegah erosi pantai dan kerusakan lainnya akibat aksi gelombang dan gelombang badai, seperti banjir. *Seawall* adalah struktur yang sangat masif karena dirancang untuk menahan kekuatan ombak dan gelombang badai. Dalam prakteknya, *seawall* dan *revetment* dapat dikatakan sama.



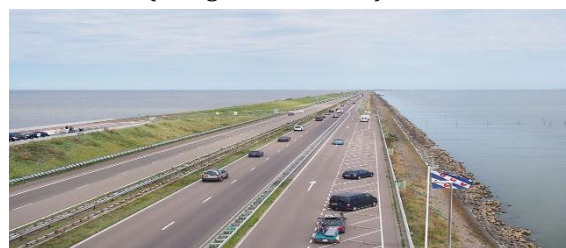
Sumber : Mangor, Drønen, Kærgaard, & Kristensen, 2016

Gambar 3. Tipe-Tipe *Seawall*

Seawall dibangun di garis pantai, di kaki tebing atau bukit pasir yang mungkin. *Seawall*

biasanya berupa struktur beton miring, dengan permukaan mulus atau melengkung. *Seawall* juga bisa dibangun sebagai struktur rubble-mound, sebagai blok *seawall*, baja atau struktur kayu. Struktur dirancang untuk menahan aksi gelombang dan gelombang badai yang parah. *Rubble mound* revertment sering melindungi kaki dari *seawall* yang tidak fleksibel. *Rubble mound seawall* memiliki kemiripan dengan *rubble mound revetment*. Namun *revetment* sering digunakan sebagai pelengkap *seawall* atau sebagai struktur yang berdiri sendiri di lokasi yang kurang terpapar. Tanggul terbuka, yang telah diperkuat untuk menahan aksi gelombang disebut sebagai *seawall*.

Permukaan yang hampir vertikal, yang terutama digunakan di masa lalu, memiliki fungsi yang tidak menguntungkan untuk memantulkan beberapa energi gelombang, dimana erosi diperparah, yang mengakibatkan percepatan hilangnya pantai. Namun, semua jenis *seawall* melibatkan degradasi pantai karena mereka digunakan di lokasi di mana pantai terkena erosi. *Seawall* akan memperbaiki lokasi garis pantai, namun tidak akan menahan erosi yang sedang berlangsung di profil pantai. Sebaliknya, *seawall* akan ke tingkat yang berbeda-beda mempercepat erosi. Cukup normal bahwa pantai lenyap di depan *seawall*. *Seawall* akan mengurangi pelepasan sedimen dari bagian yang dilindungi dan akan berdampak negatif pada sedimen di sepanjang garis pantai yang berdekatan (Mangor et al., 2016).



Sumber: Dina, 2013

Gambar 4. Afsluitdijk, Tanggul Laut di Belanda Sebagai Pertahanan Saat Terjadi Badai, Sekaligus difungsikan Sebagai Akses Jalan/Motorway

Untuk rencana pelaksanaan di Semarang, tanggul laut direncanakan sebagai pelindung dari air laut, serta sebagai jalan akses kendaraan. Disamping itu, tanggul ini juga nantinya secara langsung akan berfungsi sebagai tanggul polder untuk sistem tata air Semarang Timur. Salah satu contoh sukses penerapan tanggul laut sebagai struktur penahan banjir dari laut, serta sekaligus sebagai infrastruktur jalan raya adalah tanggul

laut Afsluitdijk di Belanda yang dibangun pada tahun 1927 hingga 1932 (Gambar 4).

Limpasan (Overtopping Discharge)

Kejadian *overtopping* pada suatu struktur pengaman pantai sangat mempengaruhi stabilitas dari struktur tersebut. Banyak sekali kejadian kegagalan struktur yang disebabkan oleh adanya *overtopping* ini sehingga ada batasan volume *overtopping* yang masih diijinkan terjadi pada suatu struktur pengaman pantai. Berdasarkan penelitian Owen, 1980 dalam buku *Coastal Engineering : Processes, Theory and Design Practice* oleh Dominic Reeve, Andrew Chadwic dan Chris Fleming, klasifikasi *overtopping* yang diijinkan dapat dilihat pada Gambar 5.

Rayapan gelombang (Wave Run-up)

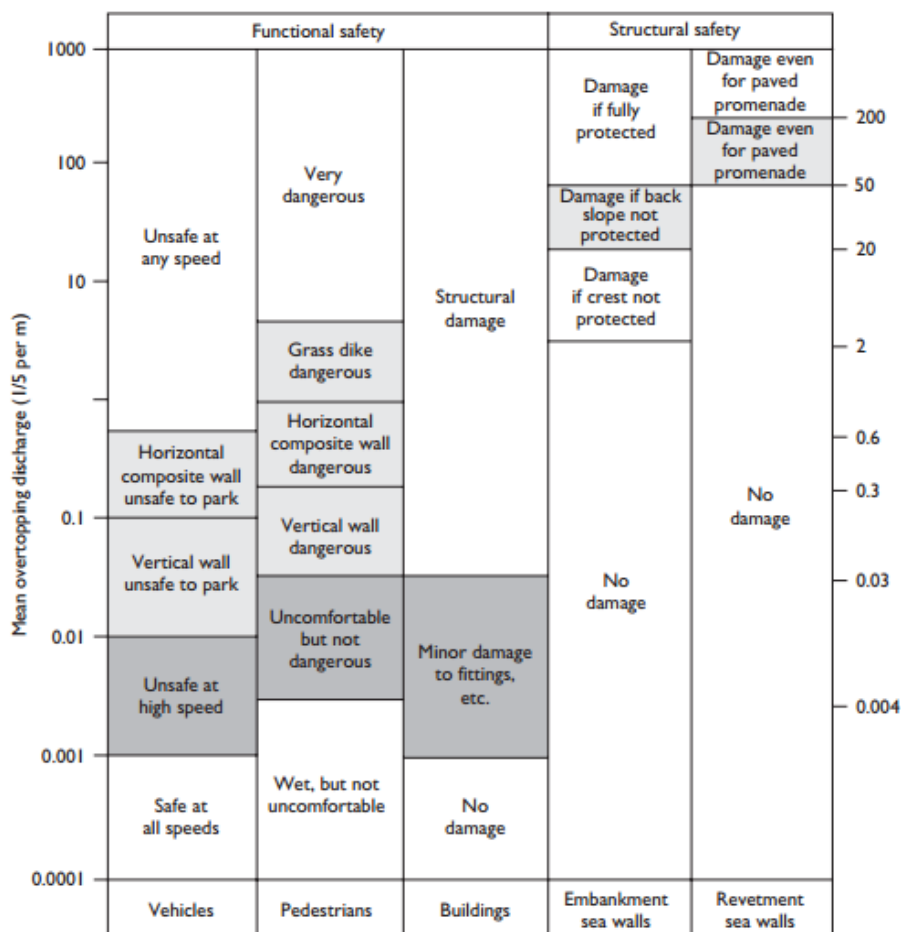
Estimasi tinggi rayapan yang lebih sederhana diberikan oleh (van der Meer & Stam, 1993) sebagai berikut :

$$\frac{R_{2\%}}{H_s} = 1.5r_f \xi_p \quad \text{untuk } \xi_p < 2$$

$$\frac{R_{2\%}}{H_s} = 3.0r_f \quad \text{untuk } \xi_p \geq 2$$

.....(1)

Dimana $R_{2\%}$ adalah rayapan yang terlampaui oleh gelombang 2%, r_f adalah faktor untuk memperhitungkan gesekan, bagian *berm* horisontal lereng depan, sudut datang gelombang dan apakah gelombang berpuncak pendek (*short crested waves*). Parameter similaritas pantai, ξ_p , berdasarkan perioda puncak spektrum gelombang. Untuk pemecah gelombang urugan dan gelombang datang normal terhadap lereng muka, $r_f = 0,5$. Untuk dolos $r_f = 0,45$ dan untuk kemiringan dengan permukaan halus $r_f = 1,0$. Faktor r_f tersebut akan berkurang sesuai dengan arah gelombang datang. Untuk gelombang berpuncak pendek pada umumnya, r_f dapat dikalikan dengan faktor yang berkurang secara linear dengan sudut gelombang dari 1,0 pada 0° hingga 0,8 pada 90°.



Sumber : Owen, 1980

Gambar 5 Overtopping yang Diijinkan

Number of Displacement (NoD)

Kerusakan pada struktur *rubble mound* terjadi ketika unit armor berpindah posisi dari tempat semula di pasang. Hasil dari uji coba kerusakan struktur ini dapat dijadikan acuan apakah armor berpindah atau tidaknya pada kondisi yang sesungguhnya. Distribusi ukuran armor dan hubungan sebuah armor dengan armor yang lain memiliki pengaruh yang besar pada stabilitas struktur *rubble mound*. Oleh karena itu, kerusakan tidak dapat di ekspetasikan terdistribusi seragam melalui sebuah *model test*, tetapi kerusakan terjadi di sebuah titik tertentu.

Terdapat dua metode yang biasa di gunakan untuk menghitung kerusakan model struktur *rubble mound* Pertama menghitung jumlah armor yang berpindah dari posisi awal, yang kedua menentukan volume yang berubah di sebuah area ketika unit armor telah berpindah. Untuk metode menghitung armor yang berpindah dibutuhkan sebuah cara untuk mengidentifikasi armor unit ketika berpindah. Teknik yang biasa digunakan adalah dengan membuat model struktur memiliki perbedaan warna unit armor di tempatkan di susunan warna (BV, 2018). Unit armor yang lepas akan berpindah ke area yang memiliki warna yang berbeda sehingga mudah untuk mengetahuinya. Unit yang berpindah dapat terobservasi dan tercatat, untuk lebih memudahkannya biasa di dokumentasikan dengan foto atau video.

Untuk menghitung kerusakan dengan Metode Perubahan Volume dibutuhkan profil sebelum tes dan setelah tes berdasarkan kemiringan armor yang diukur dengan cara tetap sebagai perbandingan. Setiap pengujian harus menggunakan grid dengan resolusi yang cukup untuk menentukan perubahan profil dengan akurasi yang masuk akal. Persentasi kerusakan di tentukan dengan beberapa cara, sebagai contoh (Hudson & J, 1959) menentukan kerusakan sebagai persentasi dari unit armor yang lepas dengan total keseluruhan armor unit:

$$Nd = \frac{N_{displaced}}{N_{total}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana $N_{displaced}$ (-) adalah bilangan batu yang berpindah dan N_{total} (-) adalah total batu di sebuah area warna. Persentasi dari kerusakan biasanya di hitung untuk bagiannya tersendiri. Batuan yang di kategorikan berpindah harus lebih besar dari diameter unit (D_{n50}). Kerusakan dalam hal unit yang berpindah sering di gunakan sebagai nilai relatif perpidahan untuk sebuah

bilangan dari zona spesifik sekitar SWL (US Army Corps of Engineers, 1989).

Metode yang lain untuk mendeskripsikan kerusakan adalah dengan menggunakan parameter NoD dan ini yang digunakan di Laboratorium Balai Penelitian dan Pengembangan Pantai untuk mendefinisikan kerusakan pada struktur. NoD adalah parameter kerusakan pada breakwater setelah diterjang gelombang. NoD di gunakan untuk mengklasifikasi kelayakan stuktur *breakwater*. Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan nilai NoD (Van der Meer, 1987).

$$N_{oD} = \frac{N}{(L/D_{n50})} \quad \dots\dots\dots(3)$$

- dimana:
 Nod = Parameter kerusakan breakwater
 N = Jumlah armor yang berpindah
 Dn50 = Nominal diameter Armor/Batu
 L = Lebar breakwater

Setelah di hitung nilai NoD dapat diklasifikasikan jenis kerusakannya yang di temukan oleh Gerding pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1 Klasifikasi Kerusakan Struktur

NoD	Penjelasan
< 0.5	Kuat terhadap kerusakan lebih
0.5-2	Kriteria Desain yang dapat diterima
>4	Desain kriteria yang tidak dapat diterima, struktur kehilangan fungsinya

Sumber: Gerding, 1993

Pada dasarnya NoD dapat merepresentasikan hasil yang lebih baik dibandingkan parameter kerusakan yang lainnya. Sejak dahulu parameter kerusakan selalu di hubungkan dengan jumlah total batuan. (Ward & Ahrens, 1992) mengenakan parameter kerusakan S_d , di dasarkan pada median diameter unit armor. Ini biasanya di gunakan untuk mendeskripsikan kerusakan pada kemiringan batu:

$$S_d = \frac{A_e}{D_{n50}^2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

- dimana:
 A_e = luas penampang area yang ter erosi (m^2)
 D_{n50} = nilai median dari diameter unit armor (m)

Konsep Model Fisik

Pada tahap desain awal, banyak struktur pantai dapat didesain menggunakan formula empiris dan nomogram berdasarkan Model Test skala kecil dari stuktur pada umumnya. Desain

ini seringkali cukup untuk mengestimasi biaya atau memilih tipe struktur yang tepat sesuai dengan kebutuhan proyek. Tapi, untuk desain struktur pantai yang besar dan lebih mahal, sering kali harus diuji terlebih dahulu dan dioptimalkan dengan model hidraulik fisik.

Biaya untuk mengadakan studi pemodelan relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan biaya struktur yang over desain atau struktur yang sering membutuhkan perbaikan (Hudges, 1993). Markle (1989) telah membuat 5 (lima) tujuan pemodelan stabilitas dari struktur rubble-mound sebagai berikut:

- 1 Menghitung gaya hidrodinamik yang terjadi pada struktur monolit akibat gaya gelombang;
- 2 Mengoptimalkan tipe, ukuran dan bentuk geometri struktur untuk memenuhi spesifikasi dan anggaran keuangan;
- 3 Mengestimasi karakteristik struktur seperti *run up*, *run down*, *overtopping*, pantulan, transmisi, absorpsi dan tekanan internal statis atau dinamis untuk tiap tipe dan bentuk geometri struktur yang berbeda dan atau metoda konstruksinya;
- 4 Membuat dan atau menguji metoda untuk memperbaiki kerusakan pada struktur yang ada atau memperbaiki fungsi struktur tersebut;
- 5 Menentukan efek dari modifikasi yang dilakukan terhadap fungsi dan kestabilan struktur.

Uji model yang dilakukan dengan tujuan diatas akan memberikan hasil yang kuantitatif dengan syarat model diskalakan dan dioperasikan dengan benar, serta efek skala yang terjadi tidaklah besar. Model fisik struktur pantai dibedakan menjadi dua dimensi (2D) atau tiga dimensi (3D). Model 3D yang lebih mahal digunakan untuk mendapatkan posisi, panjang, tinggi dan susunan yang optimum untuk struktur pantai seperti *breakwater* pelabuhan (Markle

1989). Model ini juga dapat untuk mempelajari serangan gelombang acak dan stabilitas jetty.

METODOLOGI

Skenario Model dan Skala Model

Pengujian dilakukan sebanyak 5 skenario dengan mempertimbangkan perioda ulang gelombang 100 tahun, kondisi penurunan tanah (*land subsidence*) diasumsikan 10 cm/tahun dan durasi setiap seri pengujian adalah sedemikian rupa sehingga rata-rata jumlah gelombang yang terjadi dan membebani struktur armor adalah 3000 gelombang. Masing-masing skenario menunjukkan kondisi *land subsidence* yang terjadi setelah 1 tahun, 5 tahun, 10 tahun dan 15 tahun paska pembangunan tanggul. Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2, skenario kedua pengujian berdasarkan *land subsidence* yang terjadi selama 5 tahun (LS 05). Pada skenario ini, terjadi penurunan tanah yang menyebabkan permukaan *desain water level* (DWL) bertambah sebesar +1,9 m menjadi +2,4 m (asumsi besarnya *land subsidence* adalah 0,1 m/tahun, sehingga setelah 5 tahun total penurunan adalah 0,5 m)(Abidin, Andreas, Gumilar, & Sidiq, 2010). Dalam kondisi pelaksanaan pengujian di laboratorium, yang akan dilakukan bukanlah menurunkan model dari tanggul laut itu sendiri melainkan dengan menambah ketinggian permukaan air sebesar angka tersebut yang telah diskalakan.

Berdasarkan kemampuan mesin pembangkit gelombang Laboratorium Balai Litbang Pantai, skala yang digunakan dalam pembuatan model test tanggul laut rob Semarang ini adalah 1 : 20, dengan hukum *Froude* yang dijadikan acuan.

Layout Desain Tanggul Laut

Tanggul laut yang akan dibangun sesuai dengan rencana trase yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada lokasi ini, elevasi dasar laut cukup merata, yaitu -2 m dari surut terendah. Gambar potongan melintang dari rencana tanggul ditunjukkan pada Gambar 7.

Tabel 2 Skenario dan Parameter Pengujian

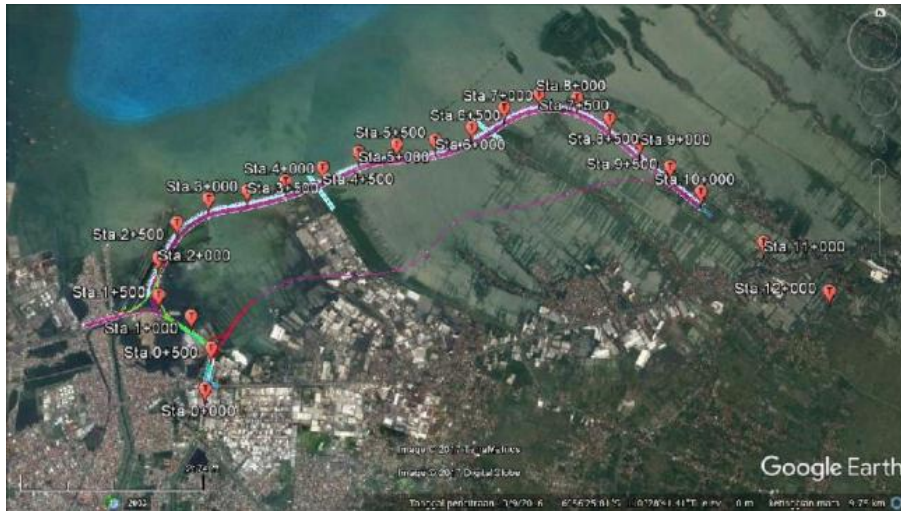
No	Skenario Uji	Periode Ulang (tahun)	Land Subsidence (m)	DWL (m LLWL)	DWL +2 (m)	Hs (m)	Tp (s)
1	LS01	100	0	1.9	3.9	3	8
2	LS05	100	0.5	2.4	4.4	3.4	8
3	LS10	100	1.0	2.9	4.9	3.8	8.5
4	LS15	100	1.5	3.4	5.4	3.8	8.5
5	LS15 – 120%	120%	1.5	3.4	5.9	4.56	9.3

Pada awalnya, lapisan armor yang digunakan dalam pembangunan tanggul laut ini adalah batu dengan ukuran nominal $D_n = 0.75$ m (grading 1 sampai 3 ton) untuk lereng bawah, dan $D_n = 0.97$ m (standar grading 1 sampai 3 ton) untuk lereng atas dengan massa jenis batu adalah 2550 kg/m^3 . Namun desain dari tanggul laut Semarang itu sendiri diubah sehingga lapisan armor yang akan digunakan adalah blok kubus beton berukuran 1 meter x 1 meter x 1 meter dengan massa jenis beton adalah 2400 kg/m^3 . Pada desain tanggul, selain tanggul sendiri juga direncanakan terdapat

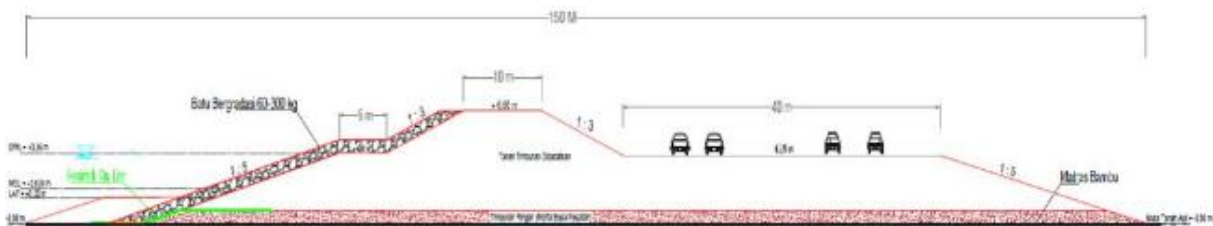
Jalan Tol memutar kawasan Kecamatan Sayung Kab. Demak

Layout Model Tanggul Laut

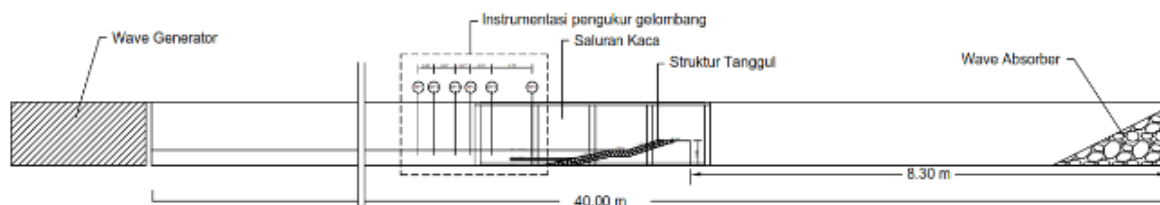
Uji model ini dilakukan pada saluran gelombang (*flume*), sehingga dapat dilakukan pemodelan yang memenuhi kaidah pemodelan 1 dimensi pada saluran. Saluran gelombang dan fasilitas pendukungnya dapat membangkitkan gelombang acak dengan spektrum JONSWAP. Layout model pada saluran *flume* disajikan pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.



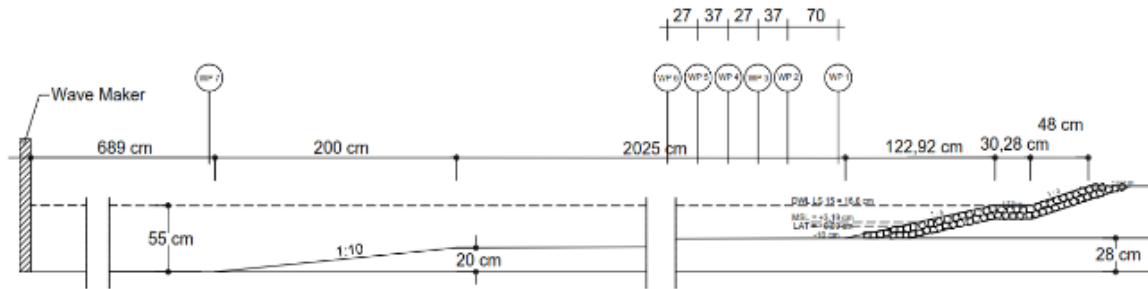
Gambar 6 Lokasi tanggul laut



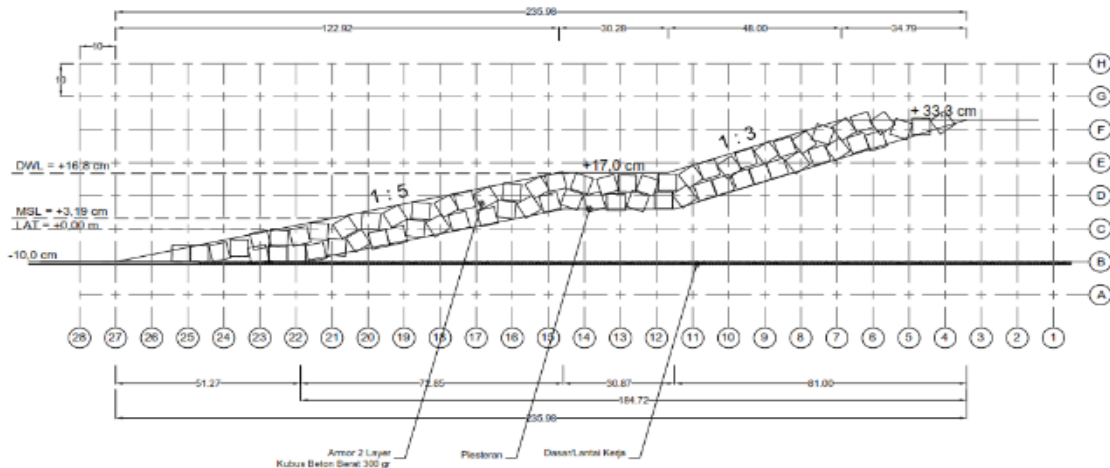
Gambar 7. Potongan melintang tanggul laut semarang



Gambar 8. Layout Saluran Gelombang (*Flume*)



Gambar 9. Layout Struktur dan Penempatan *Wave Probe*



Gambar 10. Layout Model Struktur Tanggul Skala 1 : 20

Pada uji model ini ada beberapa parameter yang harus diukur dan diamati seperti yang tercantum dalam proposal Model Test yang diajukan, yaitu :

- 1 Pengukuran kerusakan armor/*damage level*
Kerusakan pada lapis lindung armor tanggul diamati dan didokumentasikan setiap skenario pengujian untuk menentukan kuantifikasi atau klasifikasi jenis kerusakan yang terjadi (Safari, Mouaz, Ropert, Haquin, & Ezersky, 2018);
- 2 Pengukuran gelombang
Pengukuran gelombang dilakukan di depan struktur (kaki struktur) tanpa refleksi serta di bagian laut dalam (depan mesin pembangkit gelombang) (Medina, Molines, & Gómez-martín, 2014);
- 3 Pengukuran limpasan/*overtopping*
Struktur tanggul didesain dengan pendekatan non-*overtopping* namun pengukuran dilakukan untuk mengetahui peluang terjadinya limpasan dan

mengklasifikasikan pengaruh kejadian limpasan tersebut terhadap struktur. (Herrera, Molines, & Medina, 2016)

Proses Membangun Model

Pencetakan Armor

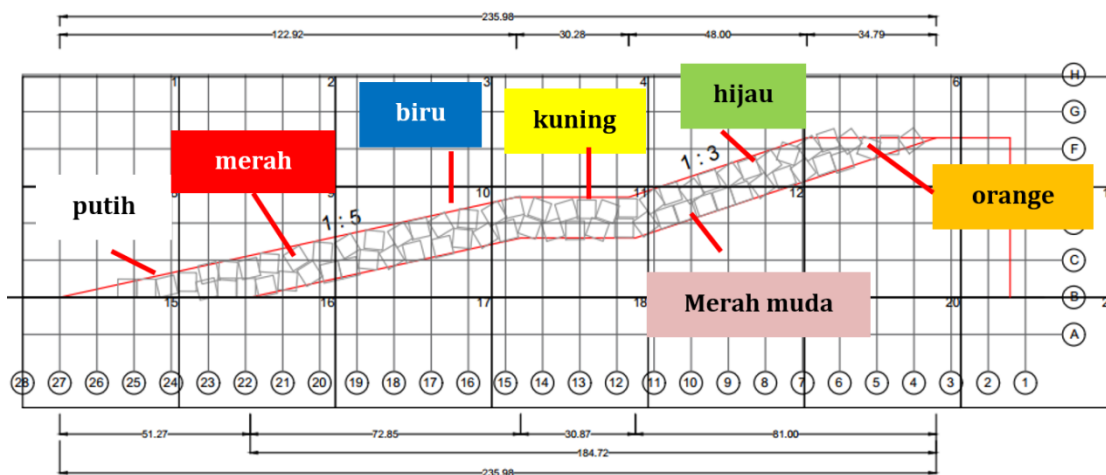
Armor terbuat dari campuran semen dan pasir dengan perbandingan tertentu, sebelumnya dilakukan trial untuk mendapatkan perbandingan campuran serta berat yang sesuai dengan yang ditargetkan (± 300 gr). Mortar semen dicetak pada cetakan yang telah dibuat dan dibongkar setelah 2 – 3 hari. Armor yang telah tecetak di bersihkan dicek dimensi dan ukurannya kemudian di timbang. Armor yang dipakai adalah armor dengan berat 300 gram dengan toleransi $\pm 10\%$. Pewarnaan armor dilakukan untuk pembagian segmen pada struktur sehingga mudah dalam mengidentifikasi melakukan pengamatan terhadap pergerakan armor. Proses pencetakan armor disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Proses pembuatan armor



Gambar 12. Pembuatan Struktur Tanggul



Gambar 13 Pembagian Segmen Tanggul

Pembuatan Struktur Tanggul

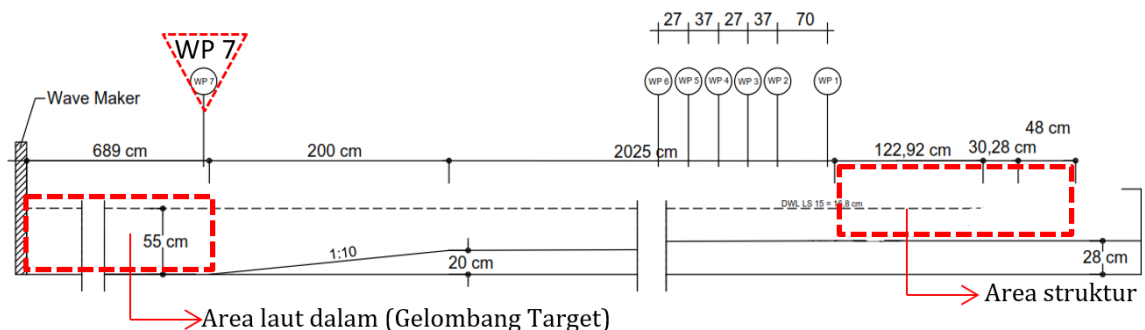
Pembuatan struktur tanggul dilakukan dengan metode penggambaran struktur pada dinding kaca saluran dengan bantuan print out gambar struktur terskala yang ditempelkan pada dinding kaca saluran flume. Setelah tergambar pada dinding kaca saluran flume struktur sudah

bisa mulai disusun mengikuti garis gambar tersebut (Gambar 12).

Pembagian segmen tanggul sesuai dengan pewarnaan armornya menjadi 7 segmen untuk mempermudah dalam identifikasi pengamatan pergeseran armor pasca dilakukan running model. Pembagian segmen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 14. Pewarnaan segmen tanggul



Gambar 15. Layout Posisi Gelombang Target

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Model

Kalibrasi dilakukan 2 tahap yaitu kalibrasi instrumentasi serta kalibrasi model. Kalibrasi instrumentasi dilakukan untuk menjamin keakuratan pembacaan dari alat pengukur tinggi gelombang (*Wave Probe*). Kalibrasi instrumentasi ini dilakukan setiap hari, setiap kali akan melakukan *running model*. Sedangkan kalibrasi model dilakukan untuk mendapatkan nilai settingan pembangkitan gelombang pada mesin yang menghasilkan parameter tinggi dan periode gelombang sesuai yang ditargetkan pada lokasi tertentu akibat pengaruh faktor kemiringan dasar saluran sesuai dengan kondisi bathimetri struktur yang dimodelkan.

Pada *model test* tanggul laut Semarang gelombang target terletak pada posisi laut dalam

dengan instrumentasi terpasang *Wave Probe* no 7 (WP 7). Tata letak instrumentasi, area gelombang target dan area perletakan struktur ditunjukkan pada Gambar 15. Kalibrasi model dilakukan pada setiap skenario model sehingga didapatkan 5 hasil kalibrasi model. Resume hasil kalibrasi yang dilakukan di sajikan pada Tabel 3. Dari hasil kalibrasi dapat dilihat bahwa H_s dan T_p yang terjadi pada WP07 hampir sama dengan H_s dan T_p yang ditargetkan.

Running Model

Running model dilakukan sebanyak 5 (lima) kali sesuai dengan jumlah skenario yang direncanakan. Selain *Wave Probe*, instrumentasi lain yang dipasang adalah kamera pada posisi dari atas struktur dan dari samping struktur untuk mendokumentasikan kondisi struktur sebelum dan sesudah pelaksanaan running.

Instrumentasi *Measurement overtopping box* and *Graduated Cylinder* juga dipasang pada bagian belakang struktur untuk menghitung berapa besarnya volume *overtopping* yang terjadi. Kerusakan pada lapis lindung armor tanggul diamati dan didokumentasikan setiap skenario pengujian untuk menentukan kuantifikasi atau klasifikasi jenis kerusakan yang terjadi, apabila ada armor yang bergeser saat akan mulai *running* berikutnya armor tersebut ditata lagi ke kondisi semula. Skenario dan durasi pelaksanaan *running* model disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 3 Skenario dan Durasi *Running* Model

No	Skenario	Hs (cm)	Tp (s)	h muka air flume (cm)	Jumlah Gelombang (n)	Durasi (menit)
1	LS 01	15.0	1.79	47.50	3000	89.44
2	LS 05	17.0	1.79	50.00	3000	89.44
3	LS 10	19.0	1.90	52.50	3000	95.03
4	LS 15	19.0	1.90	55.00	3000	95.03
5	LS 15 (120%)	22.8	2.08	55.00	3000	103.98

Hasil *running* model

Uji stabilitas armor (*stability of armor*)

A. Skenario 1 : LS_01 Hs=15cm Tp=1.79 s Kedalaman Air Flume = 47.5 cm Gambar 16 menunjukkan dokumentasi kondisi struktur sebelum dan sesudah seri *running* skenario 1.

Hasil pengamatan setelah seri *Running* Skenario 1 (LS 01) :

- 1 Tidak terjadi perpindahan armor pada masing – masing segmen
- 2 Tidak terjadi *overtopping*/limpasan
- 3 *Run up* = 30-60 cm dari permukaan air rata rata
- 4 *Run down* = 20 – 32 cm dari permukaan air rata rata

B. Skenario 2 : LS_05_Hs=17 cm_Tp=1.79 s_ Kedalaman Air *Flume*=50 cm

Gambar 17 menunjukkan dokumentasi kondisi struktur sebelum dan sesudah seri *running* skenario 2. Hasil pengamatan yang dilakukan setelah seri *Running* Skenario 2 (LS 05) :

- 1 Tidak terjadi perpindahan armor pada masing - masing segmen
- 2 Tidak terjadi *Overtopping*/Limpasan
- 3 *Run_Up* = 30 - 40 cm dari permukaan air rata-rata
- 4 *Run_down* = 35 - 60 cm dari permukaan air rata-rata

C. Skenario 3 : LS_10_Hs=19 cm_Tp=1.90 s_ Kedalaman Air *Flume* = 52.5 cm **Gambar 18** menunjukkan dokumentasi kondisi struktur sebelum dan sesudah seri *running* skenario

Hasil pengamatan yang dilakukan setelah seri *Running* Skenario 3 (LS 10) :

- 1 Tidak terjadi perpindahan armor pada masing- masing segmen

Tabel 4 Tinggi Gelombang dan Periode Target Skala Model

No	Skenario	M.A Flume (cm)	Hs (cm)	Tp (s)	Durasi Running (menit)	H 1/3 atau Hs							TP WP 07 (s)
						WP 01 (cm)	WP 02 (cm)	WP 03 (cm)	WP 04 (cm)	WP 05 (cm)	WP 06 (cm)	WP 07 (cm)	
1	LS 01	47,50	15,00	1,79	89,44	12,50	11,90	11,60	11,60	11,40	11,00	15,00	1,670
2	LS 05	50,00	17,00	1,79	89,44	13,20	12,80	13,10	13,10	12,30	12,50	17,00	1,820
3	LS 10	52,50	19,00	1,90	95,03	15,30	14,80	14,90	14,90	14,40	15,10	19,00	1,720
4	LS 15	55,00	19,00	1,90	95,03	14,20	14,60	15,10	15,10	14,30	15,30	19,20	1,850
5	LS 15 (120%)	55,00	22,80	2,08	103,98	21,60	15,70	16,30	16,30	15,10	16,60	21,70	2,130



Gambar 16 Dokumentasi Sebelum dan Sesudah Seri *Running* Skenario 1

- 2 Terjadi *overtopping* rata-rata sebanyak 1 kali dalam kurung waktu 10 menit awal, 10 menit pertengahan dan 10 menit terakhir.
 - 3 Volume *overtopping* sebanyak 3,8 liter selama 95.03 menit (*running* 3000 gelombang)
- D. Skenario 4 : $LS_{15} H_s = 19$ cm $T_p = 1,90$ s
Kedalaman Air Flume = 55 cm
- Hasil pengamatan yang dilakukan setelah seri *Running* Skenario 4 (LS 15) :

- 1 Tidak terjadi perpindahan armor pada masing – masing segmen
- 2 Terjadi *overtopping* rata- rata sebanyak 7 kali dalam kurung waktu 10 menit awal, 10 menit pertengahan dan 10 menit terakhir.
- 3 Volume *overtopping* sebanyak 21 liter selama *running* 95,03 menit (durasi *running* 3000 gelombang)

- E. Skenario 5 : LS_{15} (120%) $H_s=22.8$ cm $T_p=2.08$ s
Ked. Air Flume = 55 cm
- Hasil pengamatan yang dilakukan setelah seri *Running* Skenario 5 (LS 15-120%) :

- 1 Terjadi perpindahan armor setelah *running* disegmen 4, armor berwarna kuning 1 buah, pada segmen yang lain tidak terjadi perpindahan armor
- 2 Terjadi *overtopping* rata-rata sebanyak 25 kali dalam kurun waktu 10 menit awal, 10 menit pertengahan dan 10 menit terakhir.
- 3 Volume *overtopping* sebanyak 70,5 liter selama *running* 103,98 menit (durasi *running* 3000 gelombang)

Hasil resume seluruh *running* model disajikan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.



Gambar 17 Dokumentasi Sebelum dan Sesudah Seri *Running* Skenario 2



Gambar 18 Dokumentasi Sebelum dan Sesudah Seri *Running* Skenario 3



Gambar 19 Dokumentasi Sebelum dan Sesudah Seri *Running* Skenario 4



Gambar 20 Dokumentasi Sebelum dan Sesudah Seri *Running* Skenario 5

Tabel 5 Resume Hasil *Running* Model

No	Keterangan	M.A Flume (cm)	Hs (cm)	Tp (s)	Durasi Running (menit)	H 1/3 atau Hs							TP WP 07 (s)
						WP 01 (cm)	WP 02 (cm)	WP 03 (cm)	WP 04 (cm)	WP 05 (cm)	WP 06 (cm)	WP 07 (cm)	
1	LS 01	55,00	15,00	1,79	89,44	11,50	12,20	12,20	11,50	11,60	12,30	15,40	1,820
2	LS 05	55,00	17,00	1,79	89,44	11,60	13,10	13,10	12,40	12,40	12,30	16,00	1,790
3	LS 10	55,00	19,00	1,90	95,03	13,70	14,00	14,00	13,70	13,20	13,90	18,20	1,890
4	LS 15	55,00	19,00	1,90	95,03	14,40	14,70	14,70	14,60	13,60	14,70	18,60	1,890
5	LS 15 (120%)	55,00	22,80	2,08	103,98	14,90	14,90	15,40	15,40	14,40	15,70	21,00	2,130

Tabel 6 Resume Jumlah Pergeseran Armor dan Volume *Overtopping*

No	Skenario	h (cm)	M.A Flume (cm)	Hs (cm)	Tp (s)	Durasi Running (menit)	N (Buah)	Volume Overtopping (Liter)
1	LS 01	19,5	47,50	15,00	1,79	89,44	0	0,0
2	LS 05	22,0	50,00	17,00	1,79	89,44	0	0,0
3	LS 10	24,5	52,50	19,00	1,90	95,03	0	3,8
4	LS 15	27,5	55,00	19,00	1,90	95,03	0	21,0
5	LS 15 (120%)	27,0	55,00	22,80	2,08	103,98	1	70,5

Stabilitas Struktur

Stabilitas struktur di tunjukkan dengan kondisi kerusakan/*damage level* dari armor lapis lindung struktur tanggul setelah dilakukan *running* model. Untuk mendeskripsikan kerusakan, metode yang digunakan yaitu dengan menggunakan parameter NoD. *Damage level* ditunjukkan dengan adanya perpindahan armor akibat pengaruh gaya yang ditimbulkan oleh gelombang yang bekerja. Perpindahan armor dihitung bila armor tersebut pindah dari tempatnya sejauh ukuran sisi armor tersebut yang dalam hal ini adalah sekitar 5 cm. Dari hasil *resume* perhitungan stabilitas struktur dapat disimpulkan bahwa pada seluruh kondisi skenario pengujian, struktur dapat dikatakan masih kuat terhadap kerusakan atau struktur dalam kondisi sangat stabil karena nilai *Damage Level*-nya masih dibawah 0.5.

Analisis Limpasan/*Overtopping*

Pada dasarnya struktur tanggul ini di desain dengan pendekatan *non overtopping*, namun

demikian saat dilakukan *running* model setiap skenario apabila terjadi limpasan akan di hitung persentase kejadian serta diukur volume limpasannya. Berdasarkan resume hasil pengujian, kejadian limpasan teramati pada seri *running* model skenario 3 (LS10), skenario 4 (LS15) dan skenario 5 (LS15-120%). Berikut perhitungan analisis limpasan berdasarkan data hasil pengujian disajikan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Resume hasil analisa limpasan menunjukkan pada skenario LS 10, LS 15 dan LS 15-120%, limpasan yang terjadi secara fungsi tidak aman untuk kendaraan (*unsafe at any speed*) sedangkan untuk kondisi struktur tidak ada kerusakan (*no damage*). Namun demikian karena desain tanggul menggunakan pendekatan *non overtopping* dan fungsi tanggul selain menahan gelombang juga sebagai jalan tol maka dengan limpasan yang terjadi tidak aman untuk kendaraan sehingga mulai tahun ke 10 struktur tanggul harus sudah mulai ditinggikan agat tidak terjadi limpasan.

Tabel 7 Resume Hasil Perhitungan Stabilitas Struktur / *Damage Level*

No	Skenario	M.A Flume (cm)	Hs (cm)	Tp (s)	Durasi Running (menit)	N (Buah)	D _{n50} (cm)	L (cm)	N _{0D}	Kriteria
1	LS 01	55,00	15,00	1,79	89,44	0	5	100	0	Kuat terhadap Kerusakan
2	LS 05	55,00	17,00	1,79	89,44	0	5	100	0	Kuat terhadap Kerusakan
3	LS 10	55,00	19,00	1,90	95,03	0	5	100	0	Kuat terhadap Kerusakan
4	LS 15	55,00	19,00	1,90	95,03	0	5	100	0	Kuat terhadap Kerusakan
5	LS 15 (120%)	55,00	22,80	2,08	103,98	1	5	100	0,05	Kuat terhadap Kerusakan

Tabel 8 Data Hasil Pengujian Limpasan (*Overtopping*)

No	Skenario	Durasi Running (menit)	Kejadian <i>overtopping</i> (kali)				Volume (Liter)
			10 menit awal	10 menit tengah	10 menit akhir	Rata- rata	
1	LS 01	89,44	0	0	0	0	0,0
2	LS 05	89,44	0	0	0	0	0,0
3	LS 10	95,03	1	1	1	1	3,8
4	LS 15	95,03	6	8	7	7	21,0
5	LS 15 (120%)	103,98	25	24	26	25	70,5

Tabel 9 Resume Hasil Analisis Limpasan (*Overtopping*)

No	Skenario	Durasi Running (menit)	Kejadian <i>Overtopping</i> (kali)				Volume (Liter)	T (s)	POV (%)	<i>Overtopping</i> Discharge (Lt/s/m)		Kriteria
			10 menit awal	10 menit tengah	10 menit akhir	Rata- rata				model	Lapangan	
1	LS 01	89,44	0	0	0	0	1,79	0,00	0,0000	0,000	Secara Fungsional aman untuk kendaraan, secara struktur masih aman	
2	LS 05	89,44	0	0	0	0	1,79	0,00	0,0000	0,000	Secara Fungsional aman untuk kendaraan, secara struktur masih aman	
3	LS 10	95,03	1	1	1	1	1,90	0,32	0,0007	1,192	Secara Fungsional tidak aman untuk kendaraan, secara struktur masih aman	
4	LS 15	95,03	6	8	7	7	1,90	2,22	0,0037	6,588	Secara Fungsional tidak aman untuk kendaraan, secara struktur masih aman	
5	LS 15 (120%)	103,98	25	24	26	25	2,08	8,67	0,0113	20,215	Secara Fungsional tidak aman untuk kendaraan, secara struktur masih aman	

KESIMPULAN

Stabilitas struktur lapis lindung armor dengan kubus beton cukup tinggi, yang ditandai dengan kerusakan struktur (*damage level*) yang cukup rendah ($N_{0D} < 0.5$) pada seluruh kondisi skenario pengujian. Dapat disimpulkan struktur armor sangat stabil. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa terjadi limpasan/*overtopping* pada skenario LS 10, LS 15 dan LS 15-120%. Debit limpasan adalah 1.192, 6.588, serta 20.215 liter/detik/m' untuk masing-masing skenario LS 10, LS 15, dan LS 15-120%.

Berdasarkan kriteria yang ditentukan Owen, 1980 dalam buku *Coastal Engineering: Processes, Theory and Design Practice* oleh Dominic Reeve,

Andrew Chadwic dan Chris Fleming, terdapat dua kriteria keamanan tanggul terhadap limpaan/*overtopping*, yaitu *functionality safety* dan *structural safety*. Berdasarkan hasil uji di laboratorium, limpasan yang terjadi secara fungsional tidak aman untuk kendaraan (*unsafe at any speed*) sedangkan untuk kondisi struktur dikategorikan tidak ada kerusakan (*no damage*). Namun demikian dalam hal desain tanggul rob untuk Semarang, karena fungsi tanggul selain menahan gelombang dan air pasang surut juga sebagai jalan tol maka dengan limpasan yang terjadi tidak aman untuk kendaraan. Direkomendasikan untuk melakukan evaluasi menyeluruh terkait stabilitas dan ketinggian/kebutuhan elevasi puncak tanggul setelah masa layan 10 tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada kepala Balai Litbang Pantai Dr. Leo Eliasta Sembiring, S.T.,M.Sc., atas bimbingannya selama masa pengujian. Serta kepada Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, PT Amythas selaku konsultan perencana yang telah bekerjasama dengan baik sehingga pelaksanaan pengujian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Gumilar, I., & Sidiq, T. P. (2010). Studying Land Subsidence in Semarang (Indonesia) Using Geodetic Methods Studying Land Subsidence in Semarang (Indonesia) Using Geodetic Methods. *FIG Congress*, (January).
- Bakti, L. M. (2010). *Kajian Sebaran Potensi Rob Kota Semarang Dan Usulan Penanganannya* . Semarang: Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro .
- BV, C. i. (2018, Maret 14). *CDR international*. Diambil kembali dari CDR international: <http://cdr-international.nl/portfolio/south-east-asia-investigation-and-design-study-of-revetment-remediation-works-including-2d-physical-model-testing/>
- CERC, U. A. (1984). *Shore protection manual*. Washington: US Army Corps of Engineers.
- Dina. (2013, Mei 15). *kompetiblog2013*. Diambil kembali dari kompetiblog2013: <https://kompetiblog2013.wordpress.com/tag/ata-kota/>
- Gerding, E. (1993). *Structure Stability of rubble mound breakwaters*. Delft, Netherland: MSC Thesis (report) Delft University of Tecnology .
- Hudson, R. Y., & J, W. H. (1959). Labortory Invistigation of rubble-mound breakwaters. Dalam *Proc. ASCE 85 WW 3* (hal. 93-121). New York, USA: ASCE.
- Hughes, S. A. (1993). Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering, Volume 7 of Advanced series on ocean engineering. Singapore: World Scientific, 1993.
- Herrera, M. P., Molines, J., & Medina, J. R. (2016). Hydraulic stability of nominal and sacrificial toe berms for mound breakwaters on steep sea bottoms. *Coastal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2016.05.006>
- Manen, S. E. Van, & Brinkhuis, M. (2005). Quantitative flood risk assessment for Polders. *Reliability Engineering and System Safety* 90, 90(43), 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2004.10.002>
- Mangor, K., Drønen, N. K., Kærgaard, K. H., & Kristensen, S. E. (2016). *Shoreline management guidelines*. DHI Water and Environment.
- Medina, J. R., Molines, J., & Gómez-martín, M. E. (2014). Influence of armour porosity on the hydraulic stability of cube armour layers. *Ocean Engineering*, 88, 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2014.06.012>
- Markle, D. G. (1989). Physical models of coastal structures as designed and used by the US Army Corps of Engineers. *Journal of Coastal Research*, 573-592.
- Owen, M. V. (1980). *Design of sea walls allowing for wave overtopping*. Wallingford, UK: HR Wallingford, Report EX 924.
- Safari, I., Mouaz, D., Ropert, F., Haquin, S., & Ezersky, A. (2018). Hydraulic stability and wave overtopping of Starbloc[®] armored mound breakwaters. *Ocean Engineering*, 151(November 2017), 268–275. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.12.061>
- Samekto, A. (2017). Permasalahan Pesisir Dan Sumber Daya Laut Manajemen Di Indonesia. *Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim; Stimart Amni Semarang* .
- Singkran, N. (2017). Cutting dikes, cutting ties? Reintroducing Flood Dynamics in Coastal Polders in Bangladesh and the Netherlands. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.08.003>
- Tanuwidjaja, G., & Widjaya, J. M. (2010). Integrasi Tata Ruang Dan Tata Air untuk Mengurangi Banjir di Surabaya. *Seminar Nasional Arsitektur (Di) Kota " Hidup Dan Berkehidupan Di Surabaya "*, 8–27.
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Penerbit Beta Offset.
- US Army Corps of Engineers. (1989). Environmental Engineering for Coastal Protection, 192. Retrieved from <http://www.publications.usace.army.mil/USACEPublications/EngineerManuals/tabid/16439/u43544q/73686F72652070726F74656374696F6E/Default.aspx>
- van der Meer, J. W., & Stam, C.-J. M. (1993). Wave Runup on Smooth and Rock Slope of Coastal Structure, 118(5), 534–550.
- Ward, D. L., & Ahrens, J. P. (1992). Laboratory Study Of A Dynamic Berm Revetment. *Technical Report CERC-92-1*.