

KAJIAN RAYAPAN GELOMBANG PADA TANGGUL LUAR TELUK JAKARTA (FASE B) NCICD

WAVE RUNUP ON THE JAKARTA OUTER SEA DIKE (PHASE B) NCICD

¹Ma'ruf Hadi Sutanto, ²Bayu Purnama, ³Ida Ayu Irawati Diah Ratna Putra, ⁴Adi Prasetyo
^{1,2,3,4}Balai Teknik Pantai, Direktorat Sungai dan Pantai, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air,
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Buleleng – Bali
¹maruf.hadi@pu.go.id

Abstrak

Sebagai bentuk perlindungan Kota Jakarta terhadap permasalahan banjir dan intrusi air laut, solusi penanganan yang diberikan dalam program NCICD (National Capital Integrated Coastal Development) adalah membangun tanggul luar (outer sea dike). Uji model fisik tanggul luar Teluk Jakarta (Fase B) dilakukan untuk mengetahui tingkat rayapan gelombang terhadap komponen lapis lindung yang menggunakan armor tumpukan batu pada tipikal tanggul luar dengan trase yang diusulkan. Penentuan nilai tinggi rayapan dilakukan dengan menggunakan Metode Time Stack Image berdasarkan pengukuran dari video kamera. Hasil yang diperoleh pada pengujian yaitu tidak ada rayapan melebihi puncak tanggul untuk semua tipe potongan melintang baik seksi 1, 2, 3 dan 4. Pada seksi 1 dan 2, rayapan hanya merayap pada berm badan tanggul. Elevasi berm pada seksi 1 dan 2 adalah +3,5 m LWS. Untuk seksi 3, tinggi rayapan mencapai +7 m LWS untuk $H_{desain} = 3,01$ m dengan $T = 9,30$ s. Sedangkan pada seksi 4, tinggi rayapan mencapai +5,4 m LWS untuk $H_{desain} = 2,05$ m dengan $T = 10,28$ s. Berdasarkan hasil kajian, elevasi puncak tanggul yang telah didesain tidak akan terlampaui oleh gelombang, sehingga selain berfungsi sebagai tanggul luar juga aman digunakan sebagai akses jalan.

Kata Kunci: NCICD, model fisik, runup, tanggul luar

Abstract

Protection of the City of Jakarta against flooding and seawater intrusion problems, the solution provided in the NCICD (National Capital Integrated Coastal Development) program, is to build an outer seadike in Jakarta Bay (Phase B). Outerseadike physical modeling was carried out to determine the wave runup level of the armour layer using rubble mound on a typical outer seadike, wave runup value analysis was performed using the Time Stack Image method based on measurements from the video camera. The results in the test are that there is no runup over the top of the seadike for all typical sections 1, 2, 3 and 4. Sections 1 and 2, runup only up to berm. The berm elevation in sections 1 and 2 is LWS +3.5 m. For section 3, the runup height is up to LWS +7 m for $H_{design} = 3.01$ m with $T = 9.30$ s. While in section 4, the runup height reaches LWS +5.4 m for $H_{design} = 2.05$ m with $T = 10.28$ s. Based on the results of the study, the elevation of the top of the dike that has been designed will not be overrun by waves, so that apart from functioning as an outer seadike, it is also safe to use as an access road.

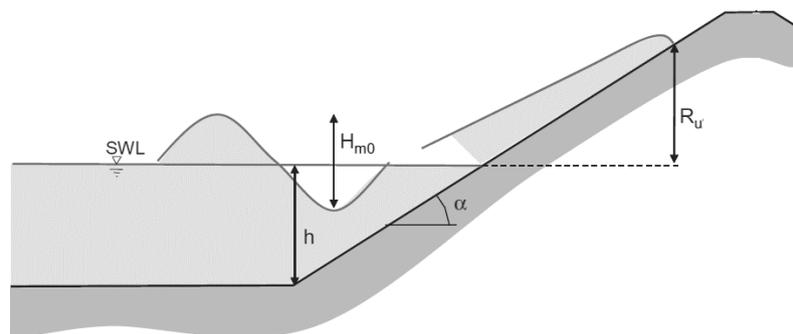
Keywords: NCICD, physical model, runup, outer seadike

PENDAHULUAN

Kegiatan perlindungan Kota Jakarta terhadap banjir dan intrusi air laut atau yang lebih dikenal sebagai *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD) yang dalam terjemahan lain juga dikenal sebagai Proyek PTPIN (Pengembangan Terpadu Pesisir Ibu Kota Negara). Penanganan solusi yang akan diterapkan dalam Proyek PTPIN adalah membangun tanggul pantai, tanggul muara, dan tanggul lepas pantai untuk melindungi Jakarta dari intrusi air laut. Proyek ini juga mengintegrasikan pulau-pulau reklamasi yang ada di Teluk Jakarta dengan tanggul yang akan dibangun. Pembangunan tanggul laut Teluk Jakarta (Fase B) merupakan salah satu fase dalam program NCICD, masih dalam tahap penyusunan konsep desain (Korea Rural Community Corporation *et al.*, 2020). Salah satu kajian untuk membantu dalam desain tanggul laut Teluk Jakarta (Fase B) ini adalah dengan melakukan uji model fisik pada skala laboratorium. Dalam uji model fisik tersebut ditinjau kinerja dari desain tanggul laut yang meliputi stabilitas batu penyusun tanggul akibat gelombang laut, tinggi rayapan akibat gelombang yang terjadi pada tanggul, serta limpasan pada puncak tanggul akibat dari rayapan yang terjadi. Kajian pada tulisan ini

untuk mengetahui tingkat rayapan gelombang terhadap komponen lapis lindung yang menggunakan armor tumpukan batu pada tipikal tanggul luar dengan trase yang diusulkan. Kajian ini sekaligus merupakan verifikasi analisis *runup* dan *overtopping* sebagai pertimbangan aspek ekonomis dari desain tanggul serta fungsi tanggul sebagai akses jalan.

Rayapan gelombang (*runup*) adalah fenomena di mana puncak gelombang datang (H_{m0}) naik di sepanjang kemiringan struktur (α) sampai ke elevasi yang dimungkinkan lebih tinggi dari puncak gelombang. Jarak vertikal antara muka air tenang atau *still water level* (SWL), dengan titik tertinggi yang dicapai oleh lidah gelombang disebut sebagai *runup* (R_u). Dari definisi ini, jelas bahwa *runup* diperoleh ketika elevasi puncak struktur lebih tinggi dibanding elevasi *runup*. Gambaran proses rayapan gelombang dari kedalaman di kaki struktur (h) hingga mencapai elevasi tertinggi disajikan pada Gambar 1. Bilangan *runup* digunakan untuk menentukan probabilitas elemen tertentu dari struktur akan dicapai oleh gelombang. *Runup* secara tidak langsung digunakan untuk mengestimasi risiko kerusakan pada bagian dalam *slope* struktur.



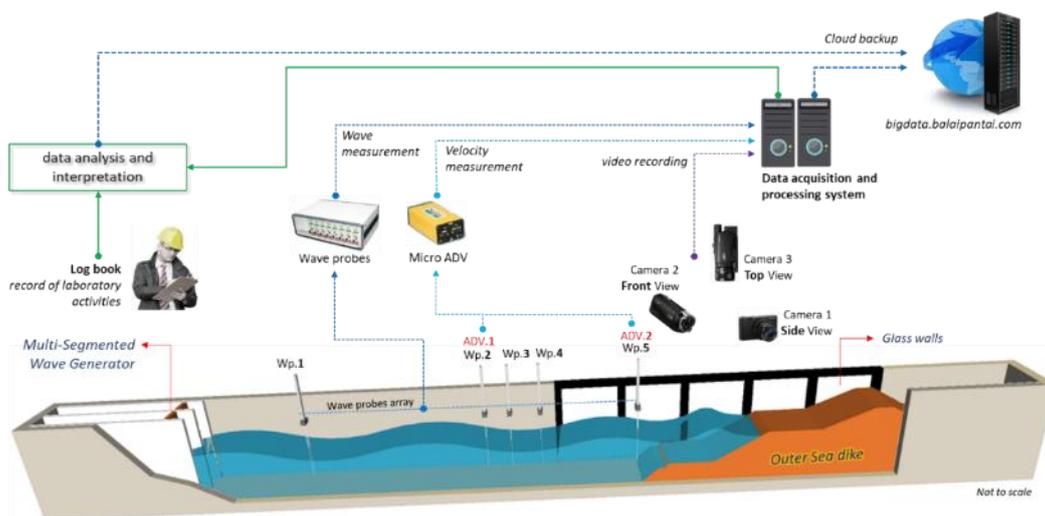
Gambar 1. Definisi Rayapan (*Runup*) Gelombang pada Kemiringan Struktur

Sumber: Schüttrumpf *et al.*, 2009.

METODOLOGI PENELITIAN

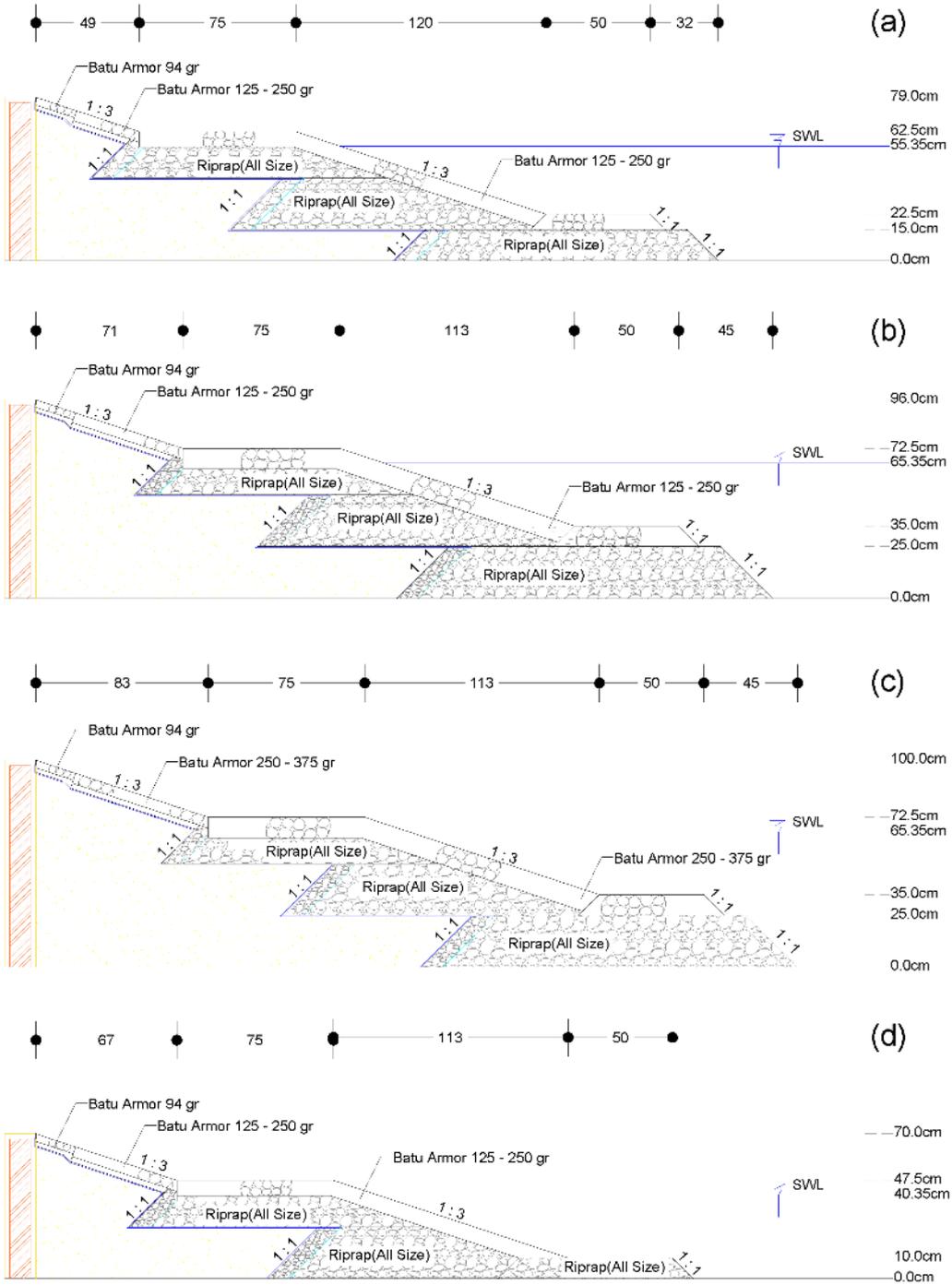
Pengujian model fisik 2-dimensi dilakukan di saluran gelombang fasilitas yang dimiliki Laboratorium Balai Teknik Pantai, dengan dimensi panjang 45 m, lebar 1 m dan tinggi 1 m, serta skala pemodelan yang digunakan 1:20. Uji model fisik ini mengamati gaya-gaya gelombang dan interaksi gelombang dengan tanggul, refleksi gelombang, disipasi energi gelombang, rayapan gelombang, gelombang pecah yang terbentuk akibat struktur, stabilitas lapisan pelindung, serta terjadinya limpasan air pada puncak tanggul jika ada. Tulisan ini difokuskan pada kajian rayapan gelombang (*runup*). Gambaran *setup* saluran gelombang secara keseluruhan dan skema proses akuisisi data dapat dilihat pada Gambar 2. Pengujian model fisik dibagi menjadi 4 skenario utama, yaitu berdasarkan 4 tipikal penampang melintang dari tanggul laut yang telah didesain oleh Konsultan KOICA (Gambar 3). Setiap 1 penampang melintang mempunyai 1 tinggi

gelombang desain maksimum yang terjadi di depan struktur, 1 periode gelombang, 1 dimensi penampang melintang, 1 berat batu dan 1 kedalaman. Untuk mengetahui tingkat keandalan stabilitas armor, maka setiap 1 skenario utama akan dikenakan beban gelombang 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,3 dan 1,5 tinggi gelombang desain maksimum (H_{desain}). Periode gelombang dianggap sama untuk setiap tinggi gelombang dengan anggapan bahwa semakin tinggi gelombang dengan periode yang tetap, akan meningkatkan kecuraman gelombang. Semakin curam gelombang, maka akan berdampak kepada semakin tinggi risiko kerusakan struktur. Durasi gelombang yang dibebankan kepada model adalah sebanyak 2000 gelombang untuk semua nilai periode gelombang. Jenis gelombang yang akan diujikan adalah jenis gelombang regular dan *irregular* dengan spektrum gelombang adalah *jonswap*. Gambaran setup model struktur tanggul luar di saluran gelombang dapat dilihat pada Gambar 4.

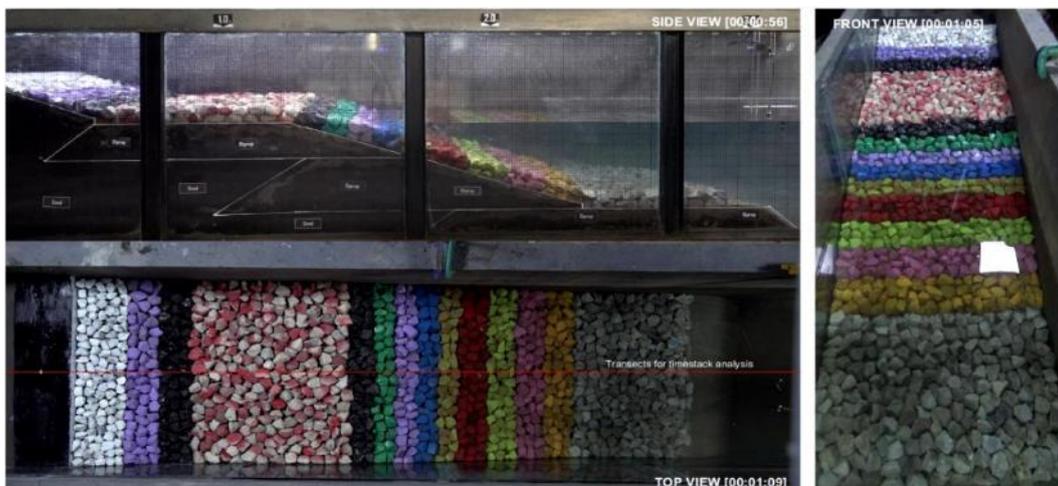


Gambar 2. Skema Setup Instrumen dan Proses Akuisisi Data Pengujian

Sumber: Balai Teknik Pantai, 2020.



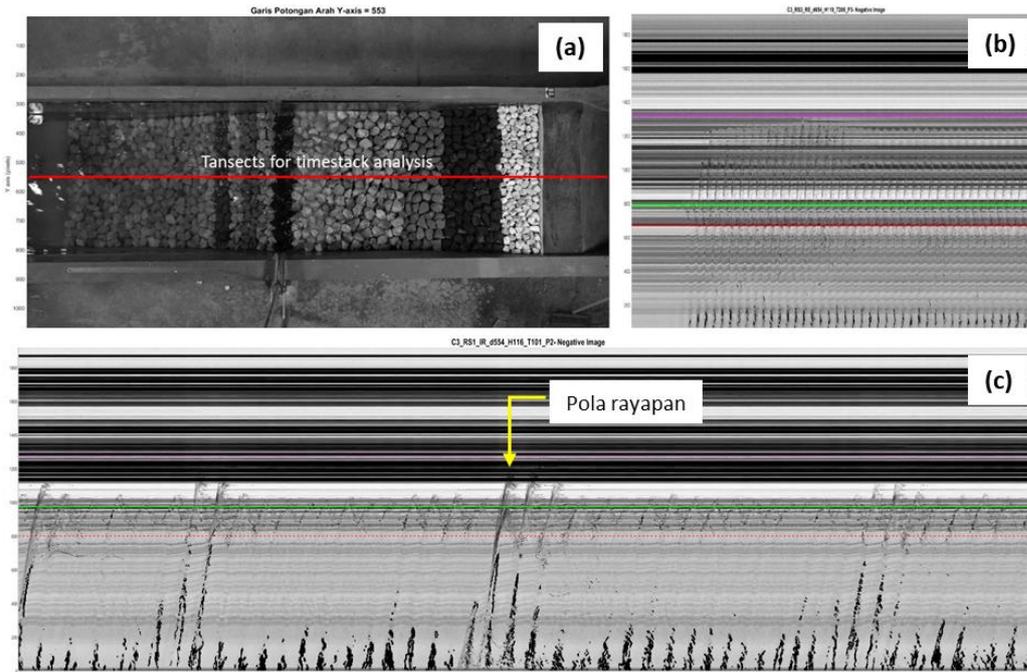
Gambar 3. Skema Setup Model Uji Struktur Tanggul Luar Skala 1:20, Tipikal Penampang Seksi 1 (a), Seksi 2 (b), Seksi 3 (c), dan Seksi 4 (d)
 Sumber: Balai Teknik Pantai, 2020.



Gambar 4. Gambaran Setup Model Struktur Tanggul Luar di Saluran Gelombang
 Sumber: Balai Teknik Pantai, 2020.

Beberapa pengujian model fisik untuk mengevaluasi kinerja struktur terhadap rayapan dan limpasan gelombang (Shankar and Jayaratne, 2002), (Bruce *et al.*, 2009), (Van Broekhoven, 2011), (Victor, van der Meer and Troch, 2012), (Bornschein *et al.*, 2014). Berbagai metode dalam mengukur rayapan maupun limpasan gelombang pada suatu struktur, salah satunya dengan penggunaan *laser scanner* (Oosterlo *et al.*, 2019). Pada kajian ini rayapan gelombang yang terjadi pada benda uji yaitu tanggul luar dievaluasi dengan menggunakan metode *Time Stack Image Analysis* (Schimmels *et al.*, 2012). Cara kerja metode ini adalah dengan cara mengukur jarak rayapan muka air yang merayap akibat gelombang yang terekam oleh kamera yang dipasang pada ketinggian 3 m di atas benda uji. Kamera yang digunakan dalam uji model fisik ini adalah kamera dengan kapasitas rekam 25 *frame*/detik. Dalam

setiap *frame*, akan diambil 1 gambar dengan ukuran lebar gambar sebesar 1 pixel dan panjang sepanjang benda uji yang dapat terekam sebagaimana terlihat pada Gambar 5 (a). Garis merah pada gambar merupakan ukuran gambar yang akan diambil untuk analisis. Setiap gambar yang terambil tersebut kemudian akan ditempel sehingga akan terbentuk seperti pada Gambar 5 (b), merupakan gambar negatif dari video yang terekam. Pola rayapan gelombang dapat terlihat pada perbesaran Gambar 5 (c), selanjutnya dilakukan digitasi agar dapat diketahui titik puncak rayapan (*runup*) dan titik *rundown*. Setelah dilakukan proses digitasi dengan metode *digital image processing*, selanjutnya dilakukan konversi dari satuan *pixel* menjadi satuan jarak (m). Jarak titik puncak rayapan terhadap elevasi muka air pada *flume* merupakan tinggi rayapan.

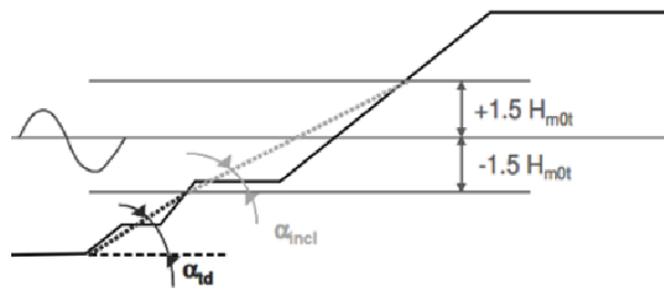


Gambar 5. Cuplikan Frame pada Kamera Atas yang Digunakan untuk Analisis Rayapan dengan Metode *Time Stack Analysis* (a), Tumpukan Gambar dari Cuplikan *Frame* (b) Pola Rayapan Gelombang (c).

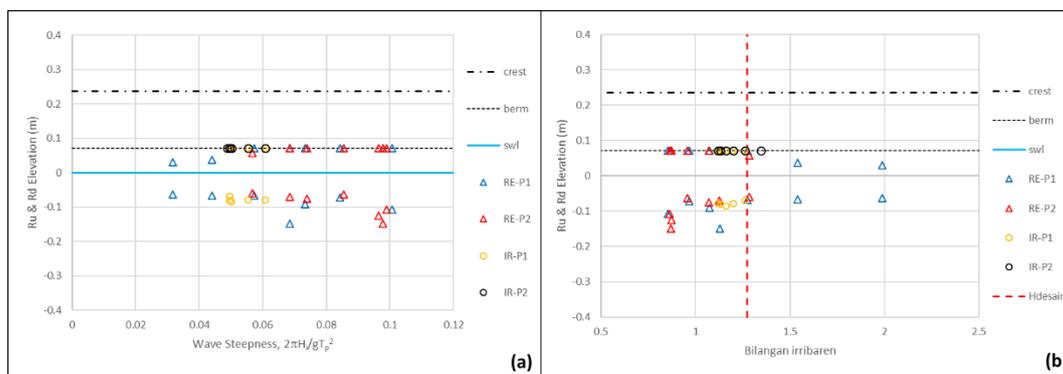
Sumber : Balai Teknik Pantai, 2020.

Nilai *runup* yang diamati adalah rayapan gelombang maksimum yang terjadi di sepanjang suatu skenario pengujian. Rayapan maksimum yang teramati pada suatu area warna kemudian dikuantifikasi dengan mengetahui jarak vertikal antara elevasi batas atas area warna dengan elevasi muka air tenang. Selisih antara kedua jarak tersebut yang kemudian dinotasikan sebagai '*Ru*'. Variasi besaran rayapan gelombang yang terjadi pada benda uji selanjutnya diplotkan terhadap kecuraman gelombang (*s*) dan bilangan *Iribarren* (ξ). Bilangan *Iribarren* merupakan suatu parameter yang digunakan untuk menggambarkan perilaku gelombang pada suatu kemiringan dasar perairan. Bilangan

Iribarren didefinisikan sebagai perbandingan antara kemiringan dasar perairan dengan akar dari kecuraman gelombang ($\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{s}}$), dimana kecuraman gelombang adalah perbandingan antara tinggi gelombang dengan panjang gelombang ($s = 2 \pi H / g T^2$). Ilustrasi kemiringan dasar perairan pada tanggul NCICD dalam menentukan bilangan *Iribarren* digambarkan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut dibuatkan suatu kemiringan khayal akibat adanya *berm* pada tanggul sedangkan elevasi untuk penentuan tinggi pada kemiringan khayal ditentukan sampai dengan $1,5 H_{\text{desain}}$ diukur dari elevasi muka air tenang (SWL)



Gambar 6. Ilustrasi Kemiringan Tanggul untuk Menentukan Bilangan Iribarren
 Sumber: Zanuttigh and van der Meer, 2009.

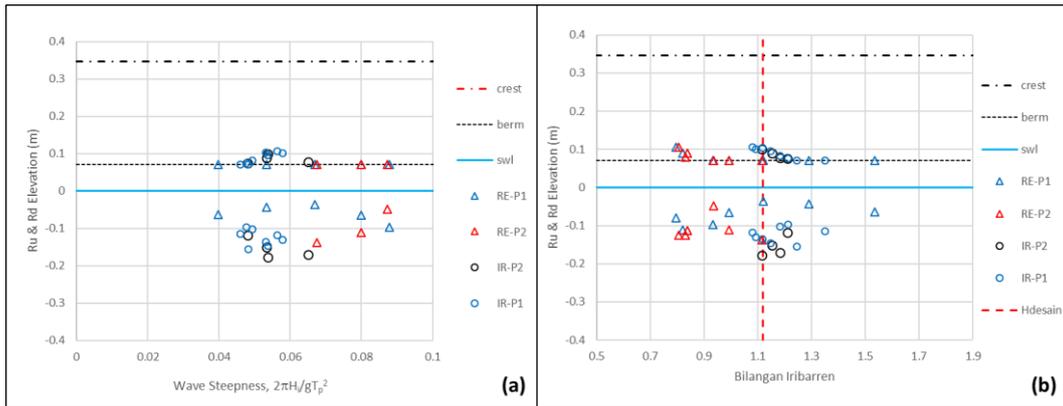


Gambar 7. Tinggi Rayapan terhadap Wave Steepness (a) dan Bilangan Iribarren (b) pada Seksi 1 (RS1)

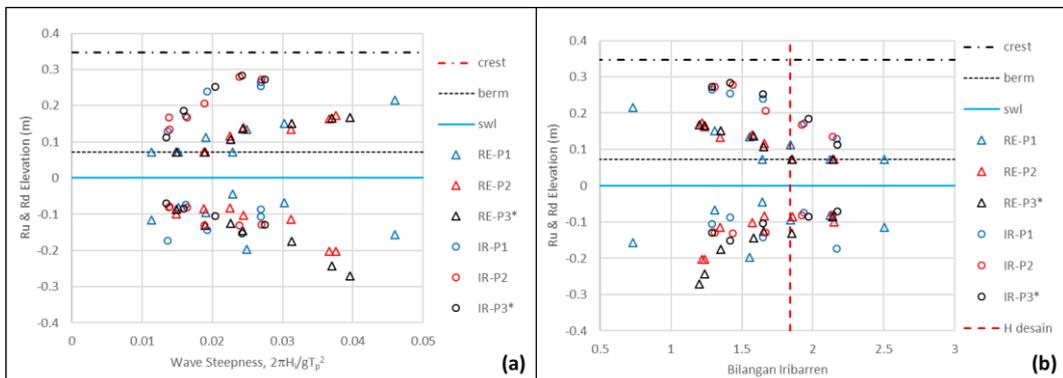
HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara keseluruhan, tinggi rayapan untuk Tipikal Tanggul Luar Seksi 1, 2, 3 dan 4 disarikan dalam Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Terlihat bahwa semakin besar tinggi gelombang, maka jarak antara *runup* dan *rundown* semakin besar. Hal tersebut semakin terlihat jelas jika gelombang yang digunakan adalah gelombang *irregular* sedangkan gelombang *regular* jarak antara *runup* dan *run down* tidak berubah secara

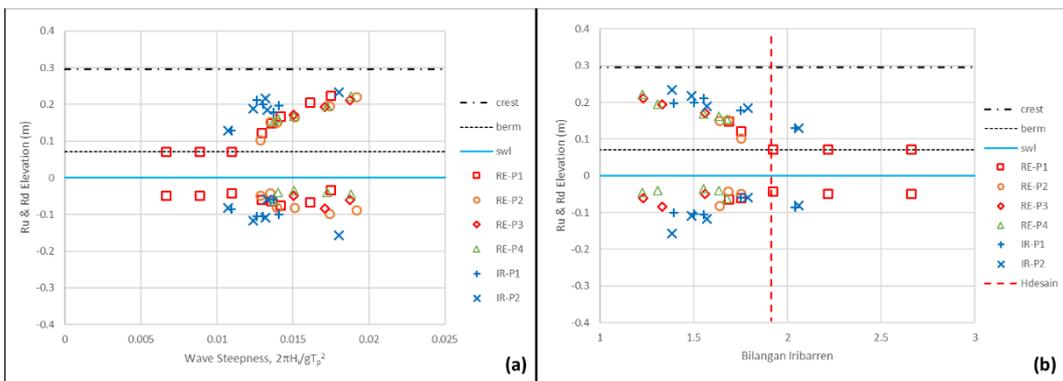
signifikan. Pada gelombang *irregular* nilai *runup* cenderung membesar sedangkan nilai *run-down* relatif konstan. Hal tersebut disebabkan periode gelombang yang relatif pendek sehingga sebelum *rundown* mencapai titik terendah datang kembali gelombang datang yang menaikkan kembali muka air. Oleh karena tidak ada *runup* yang melewati elevasi puncak tanggul, maka tidak terjadi limpasan (*overtopping*).



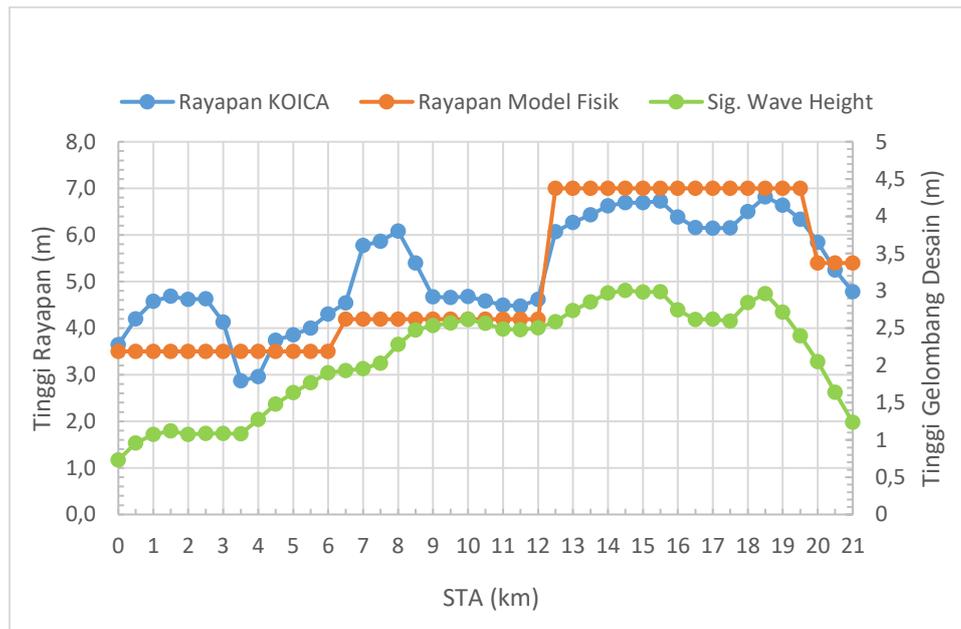
Gambar 8. Tinggi Rayapan terhadap Wave Steepness (a) dan Bilangan Iribarren (b) pada Seksi 2 (RS2)



Gambar 9. Tinggi Rayapan terhadap Wave Steepness (a) dan Bilangan Iribarren (b) pada Seksi 3 (RS3)



Gambar 10. Tinggi Rayapan terhadap Wave Steepness (a) dan Bilangan Iribarren (b) pada Seksi 4 (RS4)



Gambar 11. Grafik Perbandingan Tinggi Rayapan KOICA Terhadap Uji Model Fisik

Perbandingan tinggi rayapan hasil uji model fisik dengan hasil numerik yang dihitung oleh KOICA dibandingkan sebagaimana pada Gambar 11. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tren perubahan tinggi rayapan hasil uji model fisik mengikuti tren perubahan perhitungan numerik. Pada kurva rayapan model fisik, nilai rayapan adalah sama untuk masing-masing seksi karena yang digunakan adalah nilai rayapan maksimum di masing-masing seksi akibat tinggi gelombang maksimum di masing-masing seksi.

SIMPULAN

Secara umum, tidak ada rayapan melebihi puncak tanggul untuk semua tipe potongan melintang baik seksi 1, 2, 3 dan 4. Pada seksi 1 dan seksi 2, rayapan hanya merayap pada berm pada badan tanggul. Elevasi *berm* pada seksi 1 dan 2 adalah +3,5 m LWS. Untuk seksi 3, tinggi rayapan mencapai +7 m LWS untuk $H_{desain} = 3,01$ m dengan $T = 9,30$ detik. Sedangkan pada seksi 4, tinggi rayapan mencapai +5,4 m LWS untuk $H_{desain} = 2,05$ m dengan $T = 10,28$ detik. Atas hasil pengujian model fisik tersebut, elevasi puncak

tanggul yang telah didesain oleh KOICA tidak akan terlampaui.

DAFTAR PUSTAKA

- Bornschein, A. *et al.* (2014) 'which is only exceeded by 2 % of the incoming waves and the mean wave overtopping discharge q per meter dike crest length: R' ', 0(July), pp. 1–10.
- Van Broekhoven, P. J. M. (2011) 'The influence of armour layer and core permeability on the wave run-up', (April), p. 160. Available at: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:d60a9711-aefc-44fa-b91e-1ab47930f2ec?collection=research>.
- Bruce, T. *et al.* (2009) 'Overtopping performance of different armour units for rubble mound breakwaters', *Coastal Engineering*. Elsevier B.V., 56(2), pp. 166–179. doi: 10.1016/j.coastaleng.2008.03.015.
- Korea Rural Community Corporation *et al.* (2020) *National Capital Integrated Coastal Development Consulting Project (Draft Pre-Design Report)*.

- Jakarta.
- Oosterlo, P. *et al.* (2019) 'Measuring (Oblique) Wave Run-Up and Overtopping with Laser Scanners', *Proc. Coastal Structures*, pp. 442–452.
- Schimmels, S. *et al.* (2012) 'Wave Run-Up Observations on Revetments With Different Porosities', *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33), p. 73. doi: 10.9753/icce.v33.structures.73.
- Schüttertrumpf, H. *et al.* (2009) 'Wave Run-Up and Wave Overtopping at Armored Rubble Slopes and Mounds', in *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*. WORLD SCIENTIFIC, pp. 383–409. doi: 10.1142/9789812819307_0015.
- Shankar, N. J. and Jayaratne, M. P. R. (2002) 'Wave run-up and overtopping on smooth and rough slopes of coastal structures', *Ocean Engineering*, 30(2), pp. 221–238. doi: 10.1016/S0029-8018(02)00016-1.
- Victor, L., van der Meer, J. W. and Troch, P. (2012) 'Probability distribution of individual wave overtopping volumes for smooth impermeable steep slopes with low crest freeboards', *Coastal Engineering*. Elsevier B.V., 64, pp. 87–101. doi: 10.1016/j.coastaleng.2012.01.003.
- Zanuttigh, B. and van der Meer, J. W. (2009) 'Wave Reflection From Composite Slopes', in *Coastal Structures 2007*. World Scientific Publishing Company, pp. 749–759. doi: 10.1142/9789814282024_0066.