

STUDI KARAKTERISTIK LIMPASAN GELOMBANG OVERTOPPING PADA STRUKTUR TANGGUL LAUT

Novandy¹, Oki Setyandito^{1*}, dan Andrew John Pierre¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bina Nusantara

*osetyandito@binus.edu

Pemasukan: 3 Nopember 2022 Perbaikan: 23 Nopember 2022 Diterima: 24 Nopember 2022

Intisari

Tanggul laut merupakan salah satu struktur bangunan pelindung pantai dari serangan gelombang. Berdasarkan studi terdahulu, salah satu faktor yang menyebabkan kerusakan tanggul laut adalah gelombang yang melimpas pada tanggul laut (*wave overtopping*). Aliran yang terjadi di atas tanggul laut akibat variasi gelombang dan *runup* gelombang dapat menyebabkan ketidakstabilan struktur. Pada naskah hasil penelitian ini, disajikan hasil studi karakteristik gelombang dan aliran yang melimpas di atas tanggul laut dengan variasi gelombang datang dan sudut kemiringan struktur. Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan uji numerik model tanggul laut dengan metode komputasi dinamika fluida (*computational fluid dynamics*) melalui perangkat lunak FLOW-3D. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan karakteristik gelombang pada variasi struktur tanggul laut dipengaruhi oleh volume aliran gelombang yang melimpas dan nilai bilangan Iribarren.

Kata Kunci: tanggul laut, gelombang *overtopping*, FLOW-3D, gelombang

Latar Belakang

Struktur tanggul laut merupakan struktur yang dibangun pada daerah pesisir/pantai untuk memberikan perlindungan terhadap daerah di sekitarnya. Bangunan ini dibangun untuk melindungi dataran yang sejajar dengan pantai dari genangan akibat air pasang, gelombang, dan juga badai. Siegel (2020) menyatakan bahwa tanggul laut berfungsi untuk melindungi garis pantai dataran rendah dari banjir dan erosi. Salah satu penyebab rusaknya struktur tanggul laut ini adalah gelombang laut yang melimpas di atas struktur (*wave overtopping*).

Gelombang *overtopping* adalah kondisi di mana gelombang laut menghantam suatu struktur pantai, diawali dengan adanya kenaikan gelombang di sepanjang muka struktur pantai (*runup*) hingga gelombang laut tersebut melimpas melewati puncak dari struktur pantai tersebut. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Li dkk. (2004), gelombang *overtopping* pada struktur tanggul laut menjadi faktor utama yang berpengaruh terhadap kerusakannya dikarenakan aliran gelombang menjadi terlalu turbulen sehingga menyebabkan deformasi pada struktur. Hal ini juga berdasarkan oleh Geeraerts dkk. (2007), yang menyebutkan aliran gelombang *overtopping* yang terlalu cepat dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan dapat menimbulkan korban jiwa khususnya pada kondisi ekstrem.

Seiring dengan gelombang *overtopping* yang terus-menerus menghantam struktur tanggul laut, risiko kegagalan struktur pasti akan terjadi, sehingga sangat penting mempelajari bagaimana dampak serta karakteristik dari gelombang *overtopping* terhadap tanggul laut. Untuk mempelajari hal tersebut, dapat digunakan metode analisis secara numerik untuk melakukan pemecahan masalah gelombang laut yang melimpas. Salah satu perangkat lunak yang dapat digunakan adalah FLOW-3D. Pendekatan numerik dengan perangkat lunak ini mampu meniru kondisi atau fenomena yang sesuai terhadap data eksperimen serta mampu menangani masalah pada pantai terutama untuk mengevaluasi parameter gelombang yang melimpas (Bayon dkk., 2016; Fuentes- Pérez dkk., 2022; Musa dkk., 2017). FLOW-3D sendiri menggunakan pendekatan berdasarkan metode volume hingga (*finite volume method*) dengan persamaan kontinuitas massa dan momentum yang digunakan untuk penyelesaian masalah secara iterasi. Selain itu, FLOW-3D juga menyimplifikasi pemodelan simulasi gelombang dengan penggunaan satu jenis fluida untuk aliran permukaan bebas (Oertel dan Bung, 2012). Studi yang meneliti struktur tanggul laut dengan metode numerik melalui perangkat lunak *computational fluid dynamics* baik dengan pendekatan metode volume hingga maupun metode partikel sebelumnya telah dilakukan dan menghasilkan hasil yang baik secara umum (Wang dkk. 2020; Neves dkk. 2021; Chen dkk. 2021a; Chen dkk. 2021b).

Studi terdahulu yang dilakukan oleh Chen dkk. (2015) telah meneliti bagaimana dampak gelombang laut yang melimpas pada tanggul laut dengan melakukan uji model fisik dan mengukur kekuatan limpasan tersebut. Karena masih terbatas dengan uji model fisik, studi ini menganalisis karakteristik aliran gelombang *overtopping* terhadap tanggul laut dengan Metode *Computational Fluid Dynamics* melalui perangkat lunak FLOW-3D.

Metodologi Studi

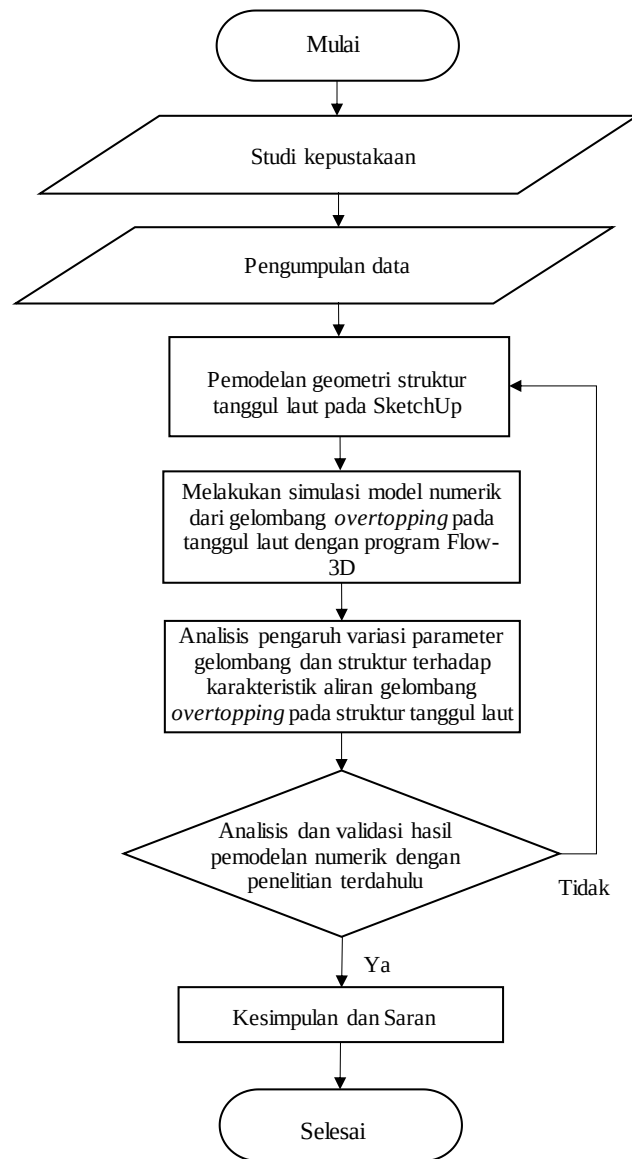
Tahapan Penelitian

Studi dimulai dengan studi literatur yang relevan dengan studi saat ini sebagai referensi. Studi dilanjutkan dengan mengumpulkan data parameter gelombang dan struktur tanggul laut. Model geometris struktur digambar dengan menggunakan SketchUp dan diekspor sebagai file .STL. Pada FLOW-3D, model struktur dan parameter gelombang digunakan sebagai input untuk melakukan simulasi pemodelan numerik. Kemudian, hasil dikumpulkan dan dianalisis mengenai karakteristik gelombang limpasan pada tanggul. Hasil divalidasi dari penelitian sebelumnya dan diulang dari pemodelan geometris jika hasilnya tidak sesuai. Jika hasilnya sesuai, maka dapat ditarik kesimpulan dari analisis tersebut (Gambar 1).

Data Penelitian

Studi yang dilakukan terdiri dari 8 model dengan 2 variasi utama: parameter gelombang dan struktur. Parameter gelombang memiliki 2 variasi di kedalaman alirannya (d_o) dan 2 variasi di periode gelombang (T). Untuk parameter strukturnya terdiri dari 2 variasi sudut struktur (β). Data dan variasi ini merupakan adopsi dari

penelitian sebelumnya oleh Chen dkk. (2015). Variasi-variasi ini dapat dilihat pada Tabel 1, matriks dengan masing-masing nama modelnya.

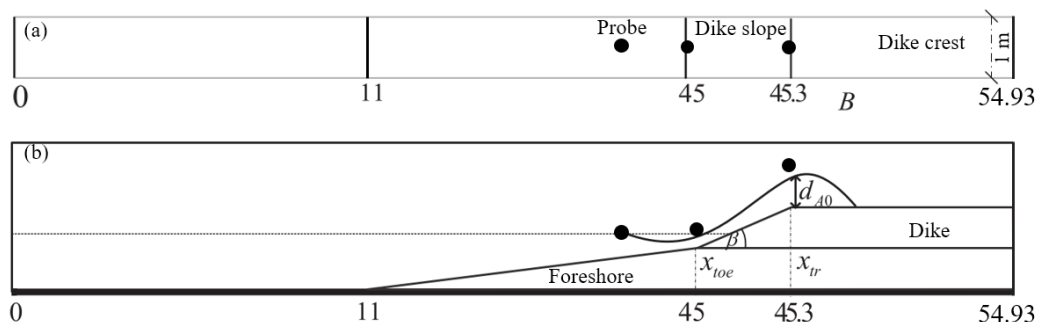


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Matriks Penelitian

Parameter Gelombang	Parameter Struktur	$\beta_{9.5^\circ}$	$\beta_{18.5^\circ}$
$d_o = 0.96\text{m}$	T_{3s}	Var1	Var2
	T_{5s}	Var3	Var4
$d_o = 1\text{m}$	T_{3s}	Var5	Var6
	T_{5s}	Var7	Var8

Di bawah ini merupakan tampilan dari model geometri yang diteliti.

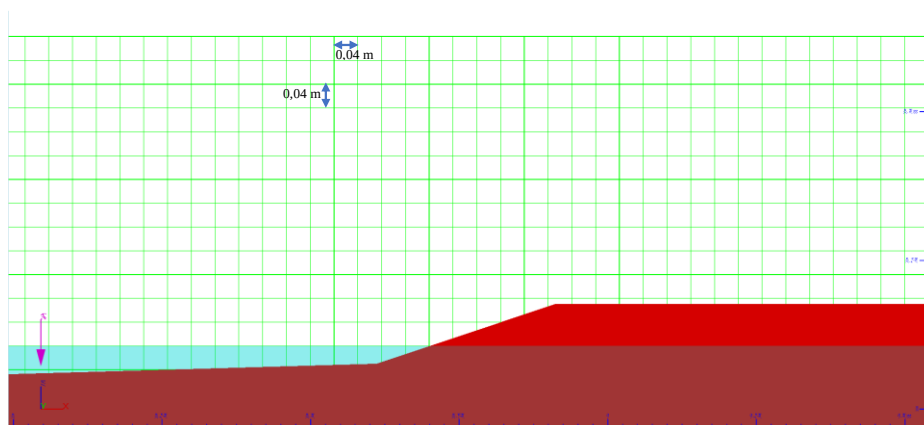


Gambar 2. Tampilan Model Numerik, a) Tampak Atas, b) Tampak Samping

Dari Gambar 2 terlihat ada beberapa *probe* yang digunakan untuk pengambilan data pada FLOW-3D. Data yang didapatkan ini kemudian diolah menjadi hasil untuk keperluan analisis.

Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik untuk studi ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak FLOW-3D. Model geometri struktur yang telah dibuat beserta dengan data parameter gelombang dari masing-masing variasi kemudian dimasukkan ke dalam FLOW-3D untuk disimulasikan.



Gambar 3. Mesh pada FLOW-3D

Dalam penyelesaian permasalahan numerik, persamaan kontinuitas massa dan persamaan momentum digunakan oleh FLOW-3D secara iterasi untuk mencapai suatu kondisi konvergen. Kondisi ini bergantung dari tingkat keakuratan dari kondisi batas, asumsi yang digunakan, serta *mesh*. Besar ukuran *mesh* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebesar 0,04 m untuk setiap arah.

Persamaan kontinuitas massa:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i A_i) = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum:

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \frac{\partial (\rho u_i u_j A_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{1}{V_f} \frac{\partial}{\partial x_j} A_j \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \tau u'_i u'_j \right] = 0 \quad (2)$$

dengan:

V_F : perbandingan volume fluida dan udara

ρ : kerapatan jenis fluida (kg/m³)

t : waktu (s)

p : tekanan (Pa)

i : arah x, y, dan z

x : koordinat kartesius

u : kecepatan aliran dalam arah x,y (m/s)

A : daerah terbuka fraksional dalam arah x dan y

μ : viskositas absolut fluida (Pa.s)

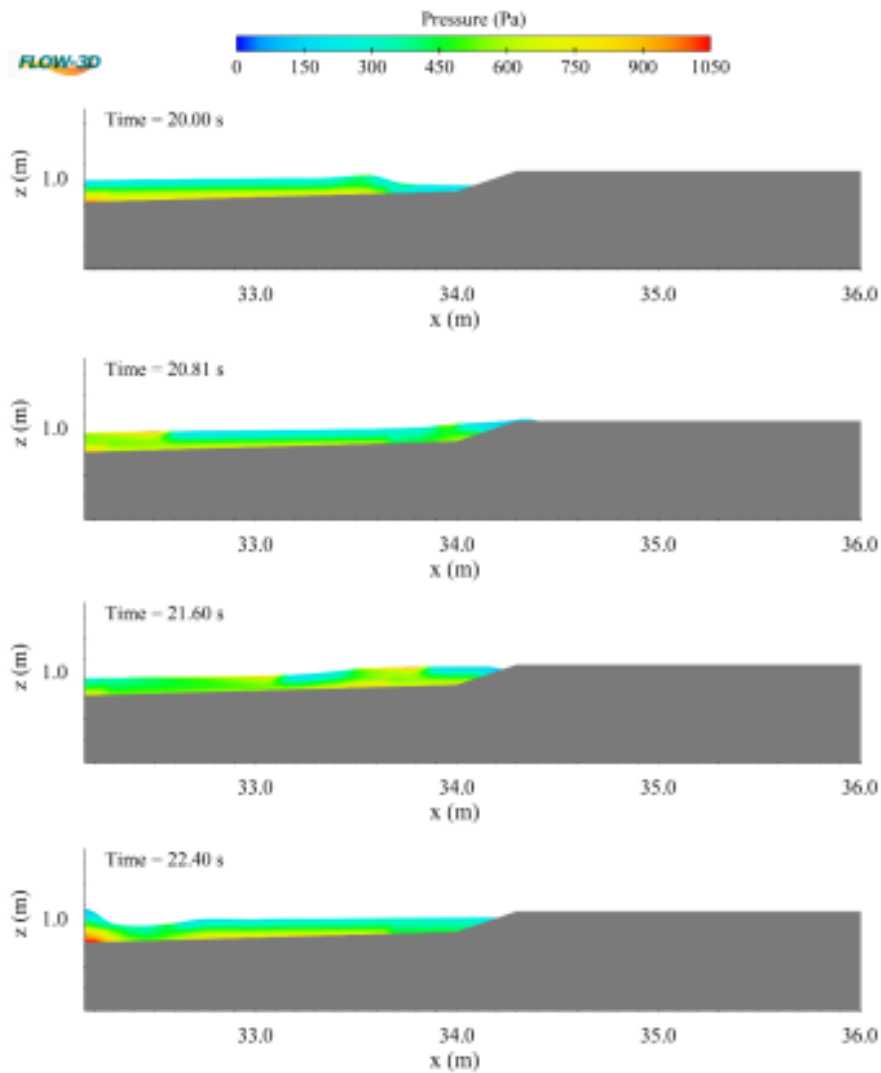
τ : tegangan Reynolds (Pa)

Hasil Studi dan Pembahasan

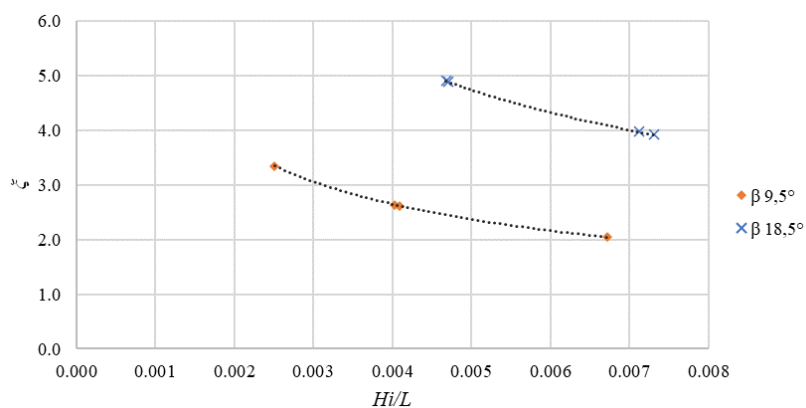
Berikut ini adalah hasil dari studi ini beserta dengan pembahasannya. Adapun hasil yang dianalisis untuk studi ini adalah hubungan dari beberapa parameter untuk dijadikan sebagai perbandingan. Hubungan parameter tersebut terdiri dari kecuraman gelombang baik pada kaki struktur maupun pada laut terhadap bilangan Iribarren pada struktur, hubungan dari bilangan Iribarren terhadap debit yang melimpas (*overtopping*), serta hubungan dari tinggi jagaan relatif (*relative freeboard*) dengan debit *overtopping*. Gambar 4 merupakan contoh dari hasil simulasi model numerik dari gelombang yang merambat pada struktur tanggul laut.

Pengaruh Nilai Kecuraman Gelombang terhadap Bilangan Iribarren

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara nilai kecuraman gelombang yang berada tepat pada kaki struktur dengan bilangan Iribarren dari gelombang laut yang melimpas. Hubungan dari kedua parameter pada Gambar 5 menunjukkan hubungan yang berbanding terbalik, di mana semakin bertambahnya kecuraman gelombang pada kaki struktur, semakin berkurang nilai bilangan Iribarren. Terdapat perbedaan rentang nilai bilangan Iribarren dari kedua variasi struktur tanggul laut, terutama untuk nilai kecuraman gelombang yang sama atau berdekatan, di mana untuk struktur tanggul laut bersudut 9,5° memiliki rentang bilangan Iribarren yang lebih rendah dibandingkan dengan struktur tanggul laut bersudut 18,5°. Bilangan Iribarren merupakan bilangan yang menunjukkan perilaku dari gelombang pecah ketika merambat menuju struktur. Dengan lebih rendahnya nilai bilangan Iribarren dari struktur tanggul laut bersudut 9,5°, menunjukkan bahwa gelombang laut akan cenderung lebih tenang dengan kondisi tinggi gelombang (H) yang lebih rendah jika merambat pada variasi struktur tanggul laut tersebut. Melalui grafik pada Gambar 5 tersebut, dapat diprediksi bagaimana perilaku gelombang pecah ketika merambat pada struktur tanggul laut sesuai dengan kondisi nilai kecuraman gelombang pada kaki struktur (*toe*) yang terjadi.

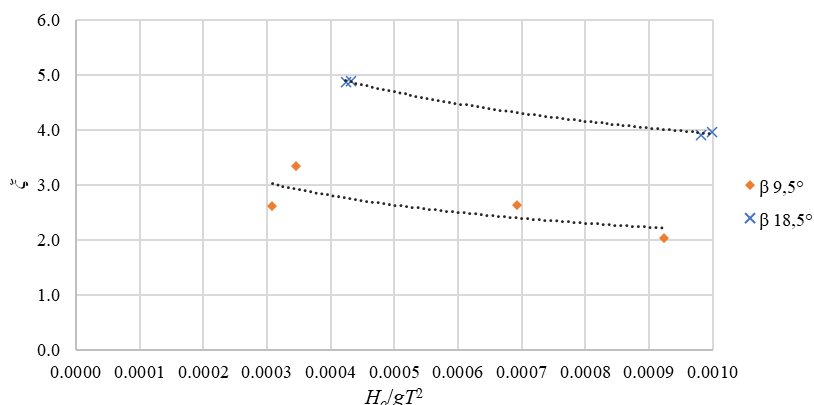


Gambar 4. Tampilan Hasil Simulasi Model Numerik Gelombang yang Merambat pada Struktur Tanggul Laut untuk Var2



Gambar 5. Hubungan Kecuraman Gelombang di Kaki Struktur (H/L) dengan Bilangan Iribarren pada Struktur Tanggul Laut dengan Kemiringan $9,5^\circ$ dan $18,5^\circ$

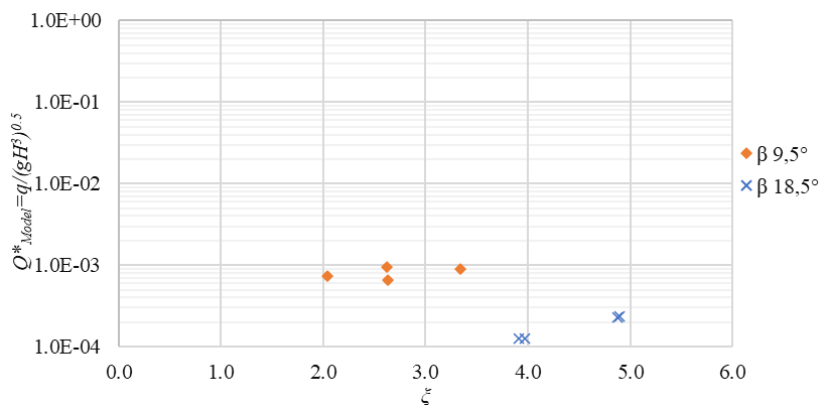
Hubungan dari nilai kecuraman gelombang di laut dengan bilangan Iribarren pada Gambar 6 ini hampir menyerupai hubungan pada grafik di Gambar 5, yakni adanya hubungan berbanding terbalik antar parameter. Namun, perbedaan terletak pada hasil dari nilai kecuraman gelombangnya sendiri, pada Gambar 6, kecuraman gelombang di laut terlihat lebih renggang dibandingkan dengan kecuraman gelombang pada kaki struktur. Dapat dilihat pada Gambar 5, terdapat setidaknya dua data yang saling berdekatan, untuk hasil nilai kecuraman gelombang pada kaki struktur dari kedua variasi sudut struktur tanggul laut. Hal ini berbeda untuk hasil pada grafik Gambar 5, di mana untuk struktur tanggul laut bersudut $9,5^\circ$, tidak menghasilkan perilaku yang sama.



Gambar 6. Hubungan Nilai Kecuraman Gelombang (H_o/gT^2) dengan Bilangan Iribarren pada Struktur Tanggul Laut dengan Kemiringan $9,5^\circ$ dan $18,5^\circ$

Pengaruh Bilangan Iribarren terhadap Karakteristik Debit *Overtopping* pada Struktur Tanggul Laut

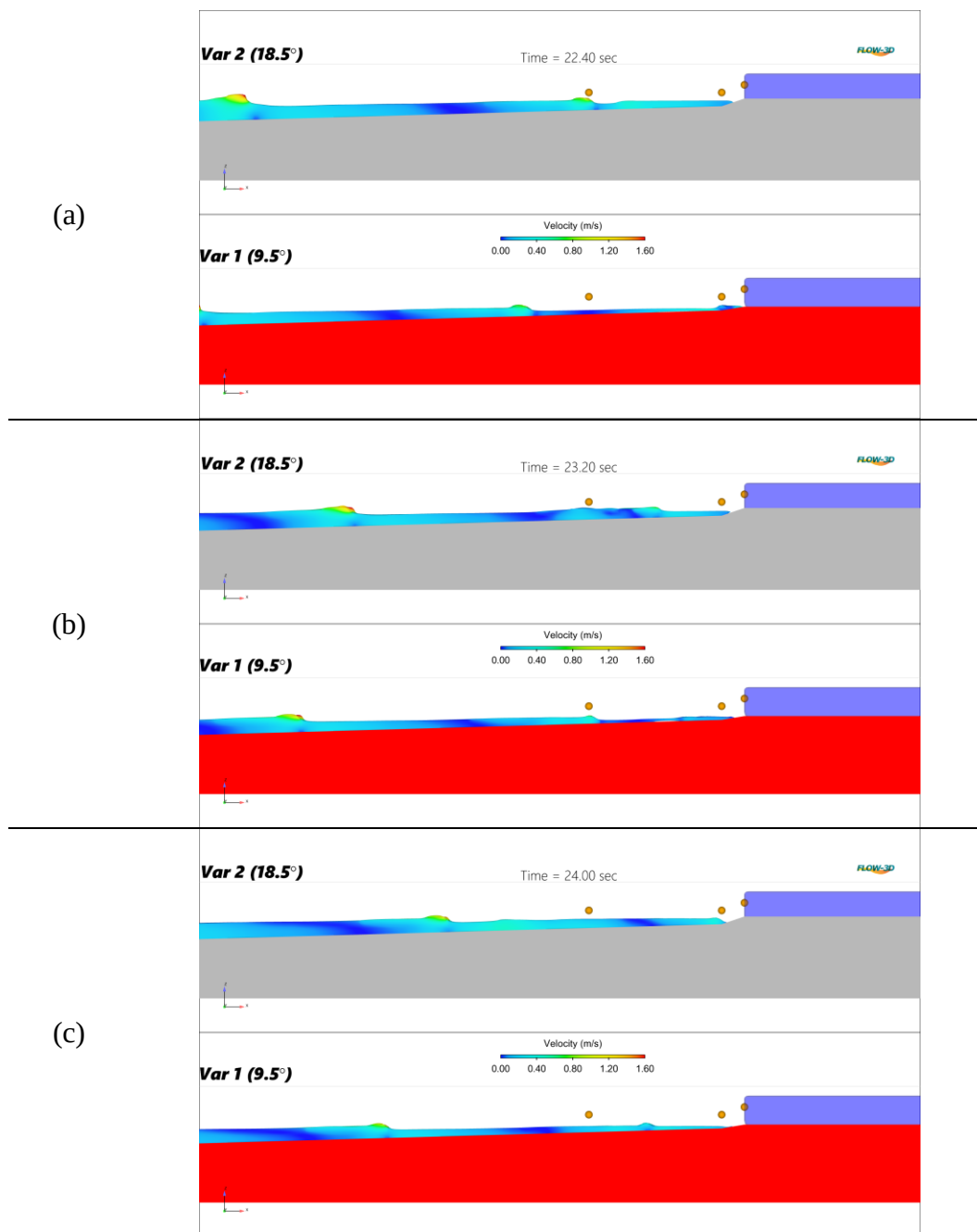
Gambar 7 menunjukkan hubungan dari parameter bilangan Iribarren dengan debit air yang melimpas (*overtopping*) .



Gambar 7. Hubungan Bilangan Iribarren terhadap Karakteristik Debit *Overtopping* pada Struktur Tanggul Laut dengan Kemiringan $9,5^\circ$ dan $18,5^\circ$

Berdasarkan grafik hubungan antar parameter Bilangan Iribarren (ξ) terhadap Debit *Overtopping* (Q^*) pada Gambar 7 di atas, dapat dilihat bahwa untuk struktur tanggul laut dengan sudut $9,5^\circ$ menghasilkan bilangan Iribarren yang lebih rendah,

namun menghasilkan debit *overtopping* yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanggul laut dengan sudut $18,5^\circ$. Hal ini karena semakin landai atau semakin rendahnya sudut struktur tanggul laut menyebabkan tinggi gelombang di kaki struktur menjadi lebih tinggi, akibatnya, volume air laut yang melimpas melewati struktur menjadi lebih banyak.

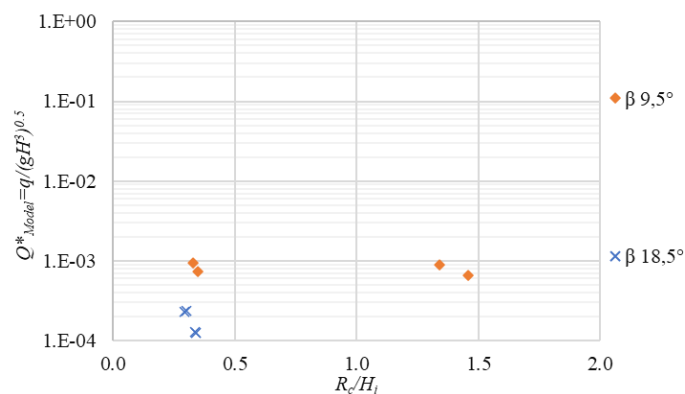


Gambar 8. Tampilan Simulasi Model Numerik Gelombang yang Merambat pada Masing-masing Variasi Struktur pada a) $t=22,4$ detik, b) $23,2$ detik, dan c) 24 detik

Selain itu, terlihat bahwa untuk struktur tanggul laut dengan sudut $9,5^\circ$ memiliki rentang hasil debit *overtopping* yang tidak jauh berbeda meski bilangan Iribarren yang dihasilkan memiliki rentang yang cukup signifikan bila dibandingkan dengan hasil dari struktur tanggul laut dengan sudut $18,5^\circ$. Untuk struktur tanggul laut $9,5^\circ$, terlihat memiliki perilaku yang lebih acak bila dibandingkan dengan struktur tanggul laut $18,5^\circ$, hal ini terlihat melalui dihasilkannya nilai debit *overtopping* yang sama atau berdekatan, dengan tiga nilai bilangan Iribarren yang berbeda cukup jauh. Berbeda dengan struktur tanggul laut dengan sudut $18,5^\circ$ yang nilai debit *overtopping* masih berada pada nilai bilangan Iribarren yang sama atau berdekatan. Dari grafik ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa untuk struktur tanggul laut $18,5^\circ$ dapat mengurangi debit yang melimpas pada struktur tanggul laut meski gelombang laut yang merambat tidak setenang gelombang laut yang merambat pada struktur tanggul laut $9,5^\circ$.

Pengaruh *Relative Freeboard* terhadap Karakteristik Debit *Overtopping* pada Struktur Tanggul Laut

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara variasi tinggi jagaan relatif (*relative freeboard*) dengan debit *overtopping*.

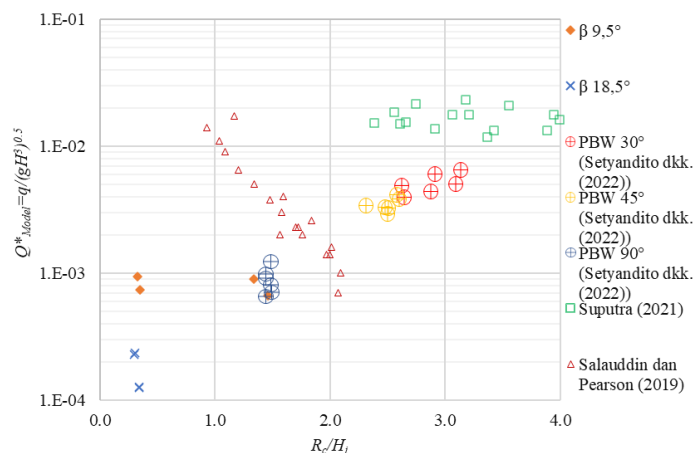


Gambar 9. Hubungan *Relative Freeboard* terhadap Debit *Overtopping* pada Struktur Tanggul Laut dengan Kemiringan $9,5^\circ$ dan $18,5^\circ$

Tinggi jagaan relatif (R_c/H_t) adalah perbandingan antara jarak antara muka air tertinggi (HWL) dengan elevasi puncak dari struktur tanggul laut dengan ketinggian gelombang pada kaki struktur. Berdasarkan grafik pada Gambar 8 di atas, terlihat bahwa untuk struktur tanggul laut dengan sudut $18,5^\circ$ memiliki nilai *relative freeboard* yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur tanggul laut dengan sudut $9,5^\circ$, meskipun dua hasil dari sudut $9,5^\circ$ berada pada rentang nilai *relative freeboard* yang sama. Lebih kecilnya nilai *relative freeboard* ini menunjukkan bahwa struktur tanggul laut $18,5^\circ$ cenderung tidak menyebabkan gelombang laut melimpas ke atas struktur. Sama seperti perilaku bilangan Iribarren, struktur tanggul laut $9,5^\circ$ terlihat lebih acak, ditunjukkan oleh hasil debit *overtopping* yang sama atau berdekatan untuk nilai *relative freeboard* yang berbeda.

Gambar 10 di bawah ini menunjukkan hubungan *relative freeboard* dengan debit *overtopping* untuk hasil studi ini dan hasil studi penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Setyandito dkk. (2022) yang meneliti struktur *perforated breakwater* dengan

uji numerik, Suputra (2021) yang meneliti struktur *perforated breakwater* dengan uji fisik, serta Salaudhin dan Pearson (2019) yang meneliti struktur laut yang impermeabel dengan kemiringan 1:2.



Gambar 10. Perbandingan Hubungan *Relative Freeboard* dengan Debit *Overtopping* dengan Penelitian Terdahulu

Bila dibandingkan dengan hasil penelitian lainnya, struktur tanggul laut yang bersudut $9,5^\circ$ menghasilkan debit *overtopping* yang sama atau berdekatan dengan hasil penelitian struktur *perforated breakwater* bersudut 90° yang diteliti oleh Setyandito dkk. (2022) serta beberapa hasil dari struktur laut impermeabel dengan kemiringan 1:2 oleh Salaudhin dan Pearson (2019). Meskipun menghasilkan nilai debit yang sama, tinggi jagaan relatif yang dihasilkan oleh struktur tanggul laut untuk kedua variasi dari penelitian ini masih berada pada rentang yang aman terlihat dari nilai yang masih di bawah 1. Selain itu, untuk tren dari penelitian ini, terutama untuk struktur variasi sudut $18,5^\circ$, semakin besar nilai *relative freeboard*, nilai debit *overtopping* terlihat berkurang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan tren yang berbanding terbalik antar kedua parameter. Tren ini serupa dengan hasil penelitian oleh Salaudhin dan Pearson (2019). Melalui grafik pada Gambar 9 dan Gambar 10, dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur tanggul laut dengan sudut $18,5^\circ$ memiliki tingkat keamanan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan sudut $9,5^\circ$, dikarenakan tinggi jagaan yang masih relatif rendah dengan debit limpasan gelombang laut yang rendah juga.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan studi yang dilakukan terhadap struktur tanggul laut dengan variasi sudut dan parameter gelombang secara metode numerik dengan perangkat lunak FLOW-3D, didapatkan bahwa secara umum, struktur tanggul laut dengan sudut $9,5^\circ$ menyebabkan gelombang yang merambat di atas strukturnya menjadi lebih tenang, terlihat dari lebih kecilnya bilangan Iribarren. Namun, debit *overtopping* yang dianalisis dan tinggi jagaan relatif (*relative freeboard*) pada struktur tanggul

laut $9,5^\circ$ menunjukkan jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanggul laut $18,5^\circ$.

Saran

Diperlukannya penelitian atau studi lebih lanjut dengan variasi-variasi yang lebih banyak untuk mendapatkan kebaharuan serta mendapatkan hasil atau hubungan antar parameter yang lebih ekstensif. Selain itu, untuk menambah keakuratan hasil, *mesh* yang digunakan dapat diperkecil bila perangkat keras yang digunakan memadai.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Universitas Bina Nusantara, khususnya Program Studi Teknik Sipil, yang telah menyediakan fasilitas penunjang untuk melaksanakan penelitian yang dilakukan hingga selesai.

Daftar Referensi

- Bayon, A., Valero, D., Garcia-Bartual, R., Vallés-Morán, F. J., & López-Jiménez, P. A., 2016. Performance assessment of OpenFOAM and FLOW-3D in the numerical modeling of a low Reynolds number hydraulic jump. *Environmental Modelling & Software*, 80, 322–335. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.02.018>
- Chen, W., Warmink, J. J., Van Gent, M. R. A., & Hulscher, S., 2021a. Numerical investigation of the effects of roughness, a berm and oblique waves on wave overtopping processes at dikes. *Applied Ocean Research*, 102971. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102971>
- Chen, W., Warmink, J. J., Van Gent, M. R. A., & Hulscher, S., 2021b. Numerical modelling of wave overtopping at dikes using OpenFOAM®. *Coastal Engineering*, 166, 103890. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103890>
- Chen, X., Hofland, B., Altomare, C., Suzuki, T., & Uijtewaal, W., 2015. Forces on a vertical wall on a dike crest due to overtopping flow. *Coastal Engineering*, 95, 94–104. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2014.10.002>
- Fuentes-Pérez, J. F., Quaresma, A. L., Pinheiro, A., & Sanz-Ronda, F. J., 2022. OpenFOAM vs FLOW-3D: A comparative study of vertical slot fishway modelling. *Ecological Engineering*, 174, 106446. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106446>
- Geeraerts, J., Troch, P., De Rouck, J., Verhaeghe, H., & Bouma, J. J., 2007. Wave overtopping at coastal structures: prediction tools and related hazard analysis. *Journal of Cleaner Production*, 15(16), 1514–1521. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.07.050>
- Li, T., Troch, P., & De Rouck, J., 2004. Wave overtopping over a sea dike. *Journal of Computational Physics*, 198(2), 686–726. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2004.01.022>

- Musa, M. A., Maliki, A. Y., Ahmad, M. F., Sani, W. N., Yaakob, O., & Samo, K. B., 2017. Numerical simulation of wave flow over the overtopping breakwater for energy conversion (OBREC) device. *Procedia Engineering*, 194, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.131>
- Neves, M. G., Didier, E., Brito, M., & Clavero, M., 2021. Numerical and physical modelling of wave overtopping on a smooth impermeable dike with promenade under strong incident waves. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(8), 865. <https://doi.org/10.3390/jmse9080865>
- Oertel, M., & Bung, D. B., 2012. Initial stage of two-dimensional dam-break waves: laboratory versus VOF. *Journal of Hydraulic Research*, 50(1), 89-97. <https://doi.org/10.1080/00221686.2011.639981>
- Salaududin, M., & Pearson, J. M., 2020. Laboratory investigation of overtopping at a sloping structure with permeable shingle foreshore. *Ocean Engineering*, 197, 106866. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106866>
- Setyandito, O., Novandy, N., Nizam, N., Anda, M., Kusumadewi, R. A., & Wijayanti, Y., 2022. Study of modified perforated breakwater as renewable energy device. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(2), 148–159. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v5i2.13536>
- Siegel, F. R., 2020. Structures that protect coastal populations, assets, and GDPs: sea dikes, breakwaters, seawalls. In *Adaptations of Coastal Cities to Global Warming, Sea Level Rise, Climate Change and Endemic Hazards* (pp. 11–25. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22669-5_3
- Suputra, G. D., 2021. Penelitian Awal Model Konversi Energi Gelombang dengan Dinding Porforasi Berkatup. *Skripsi*, Universitas Gadjah Mada. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/200948>
- Wang, L., Jiang, Q., & Zhang, C., 2020. Numerical simulation of solitary waves overtopping on a sloping sea dike using a particle method. *Wave Motion*, 95,. <https://doi.org/10.1016/j.wavemoti.2020.102535>