

# Pemodelan Numerik Run Up DAN Overtopping Struktur Seawall Buis Beton

Pangestu Ari Wicaksono<sup>1)</sup>, Haryo Dwito Armono<sup>2)</sup>, M. Zikra<sup>3)</sup> Juventus Welly R. Ginting<sup>4)</sup>

<sup>1),2),3)</sup> Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>4)</sup> Balai Litbang Pantai, Gerokgak, Buleleng, Bali

*e-mail:* pangestuaw@gmail.com; armono@oe.its.ac.id

**Abstrak**—Bangunan pelindung pantai banyak macam dan jenisnya, namun memiliki tujuan yaitu untuk melindungi kawasan pantai dari gelombang. Dikarenakan gelombang akan bersifat katastrofik apabila terlalu besar. Penelitian terhadap bangunan pelindung pantai banyak dilakukan pada analisa transmisi, refleksi, limpasan dan rayapan. Pemilihan buis beton untuk penelitian dikarenakan masyarakat pesisir banyak menggunakannya sebagai bangunan pantai. Karena buis beton mudah dijumpai, murah dan mudah dalam pengaplikasiannya. Namun belum ada analisis secara ilmiah mengenai buis beton sebagai bangunan pantai. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis *run up* dan *overtopping* dengan berdasarkan gelombang regular uji fisik buis beton Balai Pantai menggunakan pemodelan CFD *Flow-3D*. Penelitian ini memvariasikan tinggi *freeboard* buis beton yaitu 0,05 m dan 0,2 m, variasi kemiringan untuk masing-masing *freeboard* 45°, 26,56° dan 18,26° dengan mengubah perletakan buis beton secara vertikal. Untuk hasil variasi, model dengan *freeboard* 0,05 memiliki hasil *run up* sama 0,05 m atau tinggi maksimal struktur, sedangkan nilai *run up* pada struktur dengan *freeboard* 0,2 hasil *run up* terendah yaitu pada model B3.60 dengan kemiringan 18,26° sebesar 0,17 m. Untuk *overtopping* relatif struktur dengan *freeboard* 0,2 lebih kecil dari pada struktur dengan *freeboard* 0,05. Hasil dari *run up* dan *overtopping* dilakukan perbandingan dengan pengaruh kemiringan, tinggi *freeboard* dan *irribaren parameter* dari penelitian lain, namun perbandingan dilakukan hanya untuk melihat trend persebarannya karena struktur yang diteliti berbeda dengan yang dilakukan oleh peneliti lain.

**Kata kunci**— Buis Beton, *Flow-3D*, *Overtopping*, *Regular*, *Run Up*, *Seawall*.

## I. PENDAHULUAN

BANGUNAN pelindung pantai pada umumnya memiliki bentuk sedemikian rupa yang mempunyai fungsi menyalurkan energi gelombang menjadi bentuk lain. Oleh karena itu beberapa jenis bangunan pelindung pantai (*seawall*, *groin*, *revetment*) diberikan *armour* sebagai peredam gelombang. *Armour unit* dapat terbuat dari beton (*concrete armour unit*) dan dari batu pecah. *Armour unit* yang terbuat dari batu menjadi yang terbaik untuk digunakan, namun pengambilan batu dari alam akan berakibat pada kerusakan lingkungan. Oleh karena itu beralih menggunakan beton. *Armour unit* yang terbuat dari beton tidak memiliki penguat atau tulangan baja di dalamnya serta ada beberapa yang menggunakan satu lapis dan dua lapis *armour*[1]. Penggunaan *armour unit* pada bangunan pelindung pantai memanfaatkan berat serta bentuk dari *armour unit* itu sendiri, semakin berat maka akan semakin stabil. Selain itu peletakan *armour unit* pada struktur bangunan pantai juga mempengaruhi stabilitas dan peredaman terhadap gelombang. Di Indonesia banyak menggunakan *armour unit* dari batu karena ekonomis, mudah didapat dan mudah dalam pemasangannya. Selain itu penggunaan *armour unit* bentuk

*tetrapod*, *dolos* dll. Banyak dijumpai di Indonesia tetapi tidak banyak karena kurang ekonomis. Di Indonesia banyak penelitian mengenai *concrete armour unit* contohnya yang dilakukan oleh Balai Litbang Balai Pantai Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang menghasilkan *armour unit* blok beton 3B dan blok beton terkunci. Penelitian tersebut masih dalam tahap pengawasan di lapangan dan pengembangan.

Di daerah pesisir banyak ditemukan struktur pelindung pantai menggunakan buis beton sebagai bangunan pantai. Buis beton sendiri adalah silinder beton berongga yang sering digunakan sebagai sumur galian. Pada pemasangan bangunan pelindung pantai rongga buis beton diisi dengan beton cor, tanah maupun batuan sehingga memperkuat struktur buis menjadi lebih *rigid*. Pemilihan buis beton untuk *armour unit* dikarenakan ekonomis dan mudah didapat di masyarakat. Banyaknya penggunaan buis beton tidak diimbangi dengan adanya penelitian dan kajian mengenai buis beton sebagai bangunan pelindung pantai. Belum ada penelitian yang membahas kekurangan dan kelebihan buis beton sebagai penahan gelombang.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan pemodelan numerik struktur bangunan pantai dengan *armour unit* buis beton. Pemodelan ini dilakukan untuk mengetahui *run up* dan *overtopping* yang diakibatkan oleh *armour unit* buis beton. Pemodelan menggunakan perangkat lunak *Flow-3D*. Hasil pemodelan dengan perangkat lunak kemudian divalidasi dengan data hasil eksperimen di lab. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan variasi *slope* (kemiringan) struktur untuk mengetahui *run up* dan *overtopping*.

## II. DASAR TEORI

### A. Dasar Teori

Penelitian *run up* dan *overtopping* telah banyak dilakukan oleh Dentale, dkk[2]–[4]. dan Jilani dkk.[5], penelitian tersebut menggunakan pemodelan numerik untuk mendapatkan hasil variasi yang banyak. *Overtopping* adalah



Gambar 1. Pemasangan buis beton sebagai *seawall*

proses *run up* gelombang yang mengenai struktur miring *slope* dan akhirnya *run up* gelombang melewati struktur *slope* paling rendah *run up crest*. *Run up* dan *overtopping* adalah dua hal yang saling berkaitan terjadinya *overtopping* akan diawali dengan proses *run up*. Pada penelitian ini akan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Dentale, dkk. Penelitian yang dilakukan oleh Dentale, dkk. berupa pemodelan *rubble mound seawall* dengan menggunakan *Computational fluid dynamic* (CFD)[4]. Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Universitas Catania, Italia dengan ukuran Panjang 18 m, lebar 3,2 m, dan tinggi 1,2 m. Dentale melakukan pemodelan terhadap beberapa jenis armor yang kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian *seawall* di Sant’Erasmus, Italia. Armor yang dilakukan pemodelan antara lain *Cube Antifer*, *Tetrapod*, *Xbloc*, *Accropode*, *Core-loc* dan batu pecah.

Kondisi suatu gelombang dipengaruhi oleh 3 parameter utama, yaitu panjang gelombang (L), tinggi gelombang (H) dan kedalaman tempat gelombang terjadi (d). Dengan diketahuinya tiga parameter ini, nilai parameter yang lain dapat di tetukan secara teoritis.

Pada ilustrasi gelombang harmonik dua dimensi, terdapat Hubungan panjang gelombang (L), kecepatan (*celerity*) gelombang (C) dan periode (T) dapat berbeda untuk kondisi laut dalam, laut sedang dan laut dangkal, yaitu:

$$\text{Laut dalam } C = \frac{L}{T} \tag{2,1}$$

$$\text{Laut sedang } C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kd} \tag{2,2}$$

$$\text{Laut dangkal } C = \sqrt{gh} \tag{2,3}$$

Dengan persamaan kecepatan gelombang maka nilai Panjang gelombang dapat diketahui, yaitu:

$$\text{Laut dalam } L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tag{2,4}$$

$$\text{Laut sedang } L = \frac{gk \tanh kd}{2\pi} \tag{2,5}$$

$$\text{Laut dangkal } L = T \sqrt{gh} \tag{2,6}$$

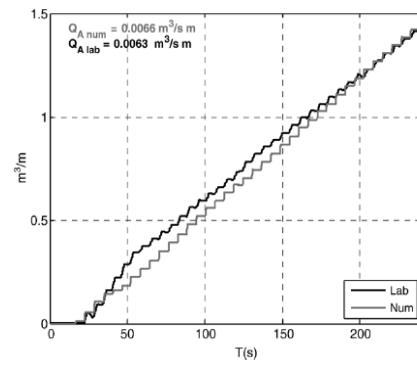
Untuk membedakan kriteria laut dalam atau dangkal dapat menggunakan persamaan:

Dangkal		Dalam
$\frac{1}{20}$	$\leq$	$\frac{d}{L} \leq \frac{1}{2}$

**B. Run up**

*Run up* adalah jarak vertikal maksimum yang terkena rayapan gelombang yang mengenai pantai atau struktur pantai pada Dentale dkk[6]. Gelombang *run up* dipengaruhi oleh kecuraman *slope*, tinggi gelombang dan periode gelombang dan *wave setup* dari gelombang pecah. Selain itu kekasaran pada *slope* atau struktur juga dapat meningkatkan gelombang *run up*[7]. Karena dengan permukaan *slope* yang kasar akan terjadi disipasi energi gelombang pada permukaan *slope*.

Losada[8] dan Dentale[6] melanjutkan penelitian yang dilakukan oleh Battjes (1974) dengan menyederhanakan hasil dari studi yang dilakukan pada daerah rayapan gelombang seperti penelitian Iribarren dan Noagles (1949), Hunt (1959) dan Bowen dkk. (1968) dan dari persamaan (2,10) di dapatkan persamaan tanpa dimensi yang disebut bilangan Iribarren yang sering digunakan untuk melakukan perhitungan desain bangunan pantai.



Gambar 2. Grafik kumulatif *overtopping* numerik dan eksperimen[8]

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0/L_0}} \tag{2,11}$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \tag{2,12}$$

Dimana  $\alpha$  adalah sudut kemiringan struktur,  $H_0$  adalah tinggi gelombang pada toe struktur, dan  $L$  adalah panjang gelombang.

**C. Overtopping**

Gelombang *overtopping* terjadi karena tinggi *run up* yang terjadi lebih tinggi dari puncak struktur. *Overtopping* di definisikan sebagai aliran air laut yang melewati puncak struktur pantai akibat *run up*, gelombang pecah dan pengaruh angin [9]. Hal tersebut akan membanjiri dan merusak bagian belakang struktur yang terlindungi [10]. *Overtopping* dapat dipengaruhi oleh berapa tinggi *freeboard* pada struktur, selain itu bentuk dari dinding struktur seperti *curved wall* dapat membalikkan arah limpasan gelombang *run up* dan permukaan *slope* struktur yang kasar dapat mengurangi energi dari gelombang *run up*.

Analisis *overtopping* dengan menghitung debit rata-rata limpasan per satuan panjang struktur,  $q$  [ $m^3/s$  per m].

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} \tag{2,13}$$

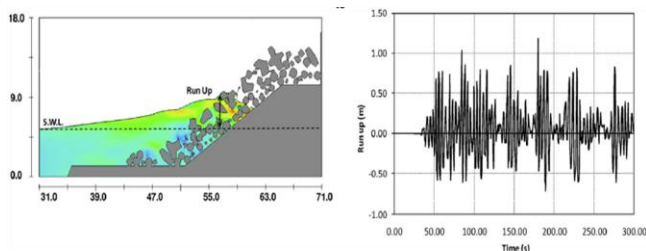
Dimana  $Q_{ov}$  [ $m^3/s$ ] merupakan debit limpasan,  $d$  adalah lebar struktur [m].

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian terhadap *overtopping*, mereka melakukan uji laboratorium dengan skala model. Mereka merumuskan persamaan untuk perbandingan hasil penelitian. Klabbers, 2003 melakukan pengujian untuk mendapatkan *overtopping* akibat pengaruh *freeboard* dengan armor *xbloc*. Formulasi yang digunakan memasukan Ursell Parameter. Formulasi untuk membandingkan *overtopping* dan *freeboard* adalah.

$$Q = \frac{q}{\sqrt{gH^3}} = \text{Parameter } \textit{overtopping} \text{ [-]} \tag{2,14}$$

$$R = \frac{R_c}{H} = \text{Parameter } \textit{freeboard} \text{ [-]} \tag{2,15}$$

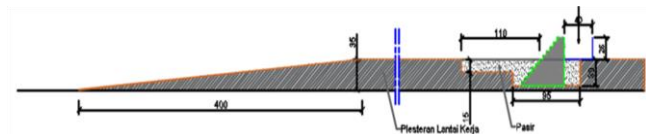
Pada umumnya penelitian yang telah dilakukan hanya untuk mengetahui debit limpasan rata-rata, padahal hal tersebut bukanlah parameter utama. Akan lebih baik jika penelitian didasarkan untuk mengetahui probabilitas terjadinya gelombang *overtopping* dan tinggi maksimal gelombang *overtopping* pada tiap kejadian[8]. Untuk



Gambar 3. Run up terhadap time series; elevasi gelombang run up[4]

Tabel 1. Data flume balai pantai

Ukuran	
Panjang flume	26,5 m
Lebar flume	1 m
Tinggi flume	1 m



Gambar 3.1 Geometri pengujian model fisik

pengujian numerik dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)* dengan perangkat lunak *Flow-3D* dengan bantuan 3D CAD untuk membuat struktur yang akan berinteraksi dengan fluida (Cavallaro dkk., 2012). Penelitian serupa juga banyak dilakukan dengan metode yang bervariasi. Diantaranya yaitu dengan metode *Reynolds Average Navier-Stokes (RANS/VOF)*[11] dan melakukan metode *Cornell Breaking Wave and Structures (COBRAS)* untuk memodelkan 2D dan 3D *overtopping*[8].

D. *Computational fluid dynamic*

*Computationan Fluid Dynamics (CFD)* digunakan untuk simulasi gelombang terhadap *seawall*. Penggunaan CFD menggunakan persamaan *Reynolds Average Navier-Stokes (RANS)* yang selanjutnya dikembangkan oleh Hirt dan Nichols menjadi *Volume of Fluid (VOF)*[11]. Pengaplikasian CFD dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Flow-3D, ANSYS Fluent, CFX*, dll.

*Volume of Fluid* adalah pemodelan permukaan bebas fluida dengan metode Eulerian yang dibatasi oleh *boundary condition* berupa *mesh*. Formulasi *Eulerian* digunakan karena mempertimbangkan batasan yang tidak dapat dilakukan oleh metode *Langrang*[11]. Pada metode ini mempertimbangkan pengaruh fluida terhadap deformasi struktur, permukaan bebas fluida, bentuk geometri, gelombang dan hubungan material dengan fluida. Pada setiap *mesh* menjadi daerah yang terpengaruh oleh fluida. Selain itu ditentukan fungsi F yang disebut *step function* yang menyatu dengan fluida atau mengikuti bentuk fluida.

Fungsi turunan F terhadap waktu adalah:

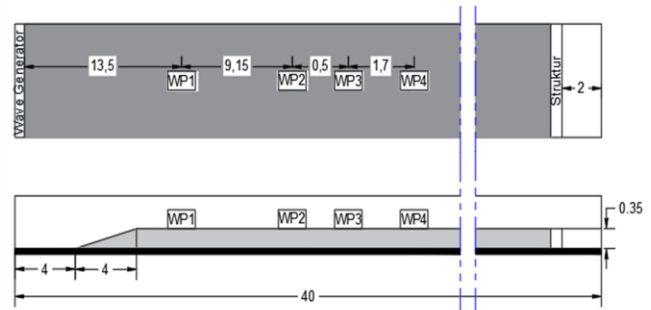
$$\frac{\partial F}{\partial t} = u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} = 0 \quad (2,16)$$

Fungsi *mesh* selain mendefinisikan *boundary condition*, namun juga penanda letak partikel fluida[11].

Solusi algoritma VOF yang digunakan untuk menentukan variabel *mesh* memiliki keakuratan dibandingkan dengan metode elemen hingga lainnya. Persamaan fluida yang

Tabel 3.2 Data perletakan wave probe

Jarak	
WG-WP1	13,5 m
WP1-WP2	9,15 m
WP2-WP3	0,5 m
WP3-WP4	1,7 m



Gambar 3.2 Perletakan wave probe dan ukuran geometri flume

digunakan oleh Hirt dan Nichols adalah persamaan Navier Stokes, yaitu:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_y + f_y \quad (2,17)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_y + f_y \quad (2,18)$$

Dimana:

- u dan v : kecepatan fluida pada sumbu (x,y)
  - Ax dan Ay : daerah terbuka fraksional pada aliran dalam sumbu (x,y)
  - Vf : volume terbuka fraksional pada aliran terbuka
  - t : waktu
  - p : tekanan
  - ρ : densitas fluida
  - fx dan fy : viskositas kinematic fluida
  - gx dan gy : percepatan gravitasi sumbu (x,y)
- karena fluida adalah air, dan air bersifat inkompresibel maka harus memenuhi persamaan:

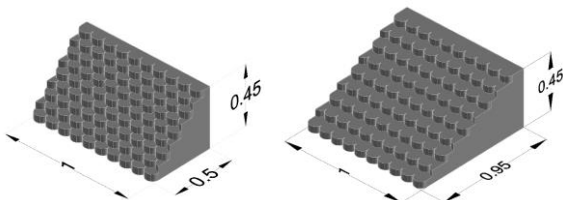
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2,19)$$

Namun, untuk mengijinkan terjadinya pengaruh kompresibilitas yang terbatas maka persamaan (2,15) diubah menjadi:

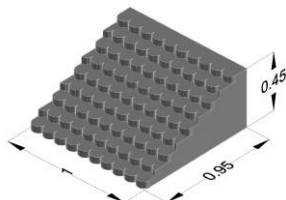
$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + \frac{\partial v A_y}{\partial y} = 0 \quad (2,20)$$

E. *Flow-3D*

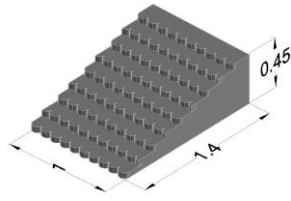
Pada penelitian ini dilakukan pemodelan CFD menggunakan perangkat lunak *Flow-3D*. *Flow-3D* adalah perangkat lunak CFD yang dikembangkan oleh *FlowScience* da berdasarkan persamaan RANS (*Reynolds Averaged Navier-Stokes*) dan dikombinasikan dengan metode VOF (*Volume of Fluid*) untuk melacak letak permukaan fluida dengan asumsi beberapa aliran turbulen seperti k-ε atau RNG. Aliran turbulen fluida yang digunakan dalam metode RANS dan digunakan dalam penelitian ini adalah RNG (*Re-Normalization group*)[12].



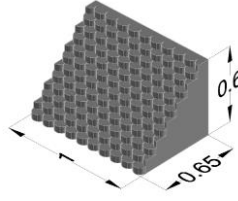
Gambar 3.3 Model B1



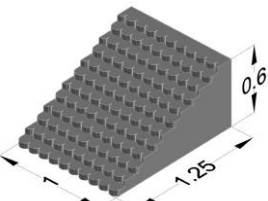
Gambar 3.4 Model B2



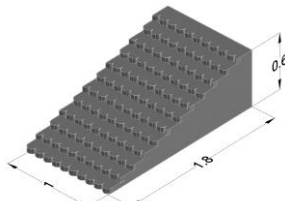
Gambar 3.5 Model B3



Gambar 3.6 Model B1.60



Gambar 3.7 Model B2.60



Gambar 3.8 Model B3.60

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Data geometri flume

Flume yang digunakan untuk pengujian model fisik buis beton adalah flume milik Balai Pantai, Buleleng dengan ukuran sebagai berikut.

Data perletakan *wave probe* yang berfungsi sebagai titik perekaman data.

WP1 berfungsi untuk mengamati  $H_i$ , WP2, WP3 dan WP4 untuk mengamati gelombang refleksi akibat struktur.

Variabel yang digunakan untuk simulasi numerik adalah hasil dari perekaman uji model fisik model M1 dengan  $H=0,15$  m dan  $T=2$  detik.

#### B. Pemodelan geometri struktur dengan AutoCAD 3D

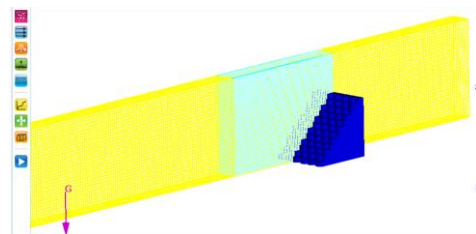
Model struktur yang divariasikan memiliki ukuran dimensi buis yang sama, yaitu tinggi 0.05 m dan diameter 0.1 m. Hanya *slope* yang dibuat berbeda dengan mengatur *offset/perletakan* buis beton secara vertikal. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

#### C. Pemodelan Flow-3D

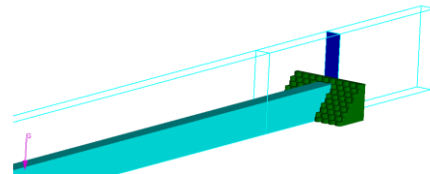
Pemodelan *Flow-3D* digunakan untuk mensimulasikan model numerik *Run up* dan *Overtopping* pada struktur *seawall* Buis Beton berdasarkan uji model fisik yang dilakukan oleh Balitbang Balai Pantai.

Pada penelitian kali ini terdapat dua parameter yang aktif, yaitu *Grafiti* and *Non-inertial Reference Frame* untuk memberikan pengaruh nilai grafitasi pada fluida yaitu sebesar -9,81 pada sumbu Z. Dan *Viscosity and Turbulance* untuk mengaktifkan parameter jenis aliran fluida *Viscous Flow* dan *turbulen* fluida menggunakan *Two-equation K-ε Model*.

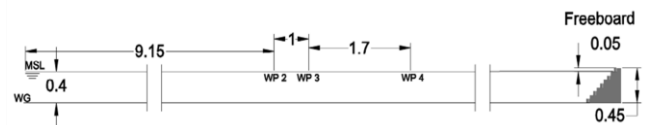
*Mesh window* yang digunakan untuk menentukan *mesh block* sebagai daerah pengamatan gelombang pada pemodelan ini. Semakin rapat ukuran mesh maka semakin detail pengamatan yang dilakukan oleh *Flow-3D* namun berdampak pada ukuran file *output* yang akan semakin besar



Gambar 3.9 Mesh window



Gambar 3.10 Initial condition



Gambar 3.11 Dimensi flume untuk validasi

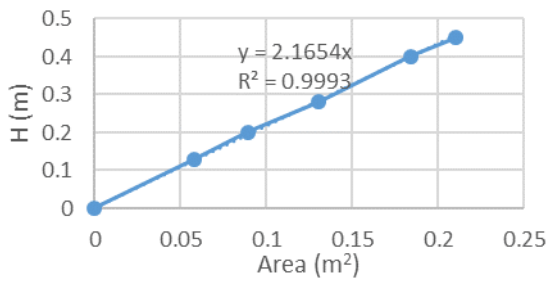
Tabel 3.3  
Validasi  $H_{avg}$  gelombang

WP	Havg (m)		
	Uji model fisik	Numerik	Error
2	0.1471	0.1532	4%
3	0.1464	0.1361	7%
4	0.1409	0.1226	13%

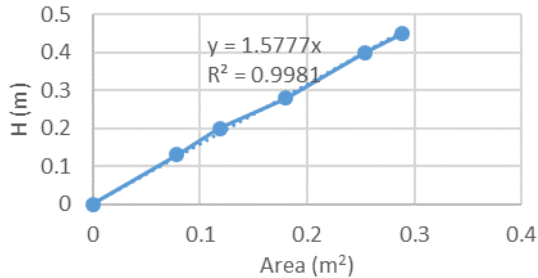
dan simulasi berjalan lebih lama. Pada pemodelan kali ini menggunakan 2 *mesh Block*, yaitu untuk mesh Flume dan Struktur. Mesh struktur dengan ukuran mesh 0.03 m, dengan Panjang menyesuaikan flume pada sumbu  $X = 26,5$  m, lebar sumbu  $Y = 0,2$  m dan tinggi sumbu  $Z = 1$  m. dilihat pada Gambar 3.9. mesh flume berwarna kuning. Sedangkan mesh struktur menggunakan metode *Nested* yaitu disisipkan kedalam mesh flume. Ukuran mesh struktur yaitu 0,01. Panjang sumbu  $X = 2$  m, lebar sumbu  $Y = 0,2$  m dan tingi sumbu  $Z = 1$  m. *Initial condition* simulasi ini dilakukan dengan *fluid region* sedalam 0,4 m dari  $X=0$ , hingga  $X=26,5$ .

Struktur yang di lakukan validasi adalah model B1 divalidasikan dengan model M1. Validasi ini membandingkan data  $H$  rata-rata uji model fisik dan uji numerik. Menggunakan  $H$  rata-rata karena simulasi menggunakan gelombang reguler. Pada uji model fisik menggunakan empat *wave probe* sedangkan untuk uji numerik ini panjang *flume* dipotong pada titik *wave probe* 1 dan diasumsikan *wave probe* 1 sebagai *wave generator*. Selain itu struktur yang digunakan juga mengalami perubahan tinggi dari yang digunakan untuk uji model fisik. Yaitu model B1 pada uji model fisik memiliki tinggi struktur 0,25 m sedangkan untuk uji model fisik ini 0,45 m. oleh karena itu kedalaman air flume juga disesuaikan agar menyisakan *freeboard* yang sama dengan uji model fisik. Kedalaman flume untuk uji model fisik setelah dipotong adalah 0,4 m. Sehingga total tingi *freeboard* uji model fisik dan uji numerik untuk validasi sama yaitu 0,05 m. Hal ini dilakukan karena *Flow-3D* tidak dapat mensimulasikan gelombang dengan tinggi 0,18 m pada kedalaman flume 0,2 m.

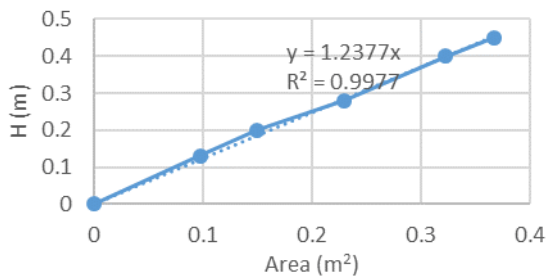
Untuk validasi perbandingan yang dilakukan yaitu membandingkan nilai  $H$  rata-rata pada *wave probe* 2, 3 dan 4



Gambar 3.12 Kalibrasi model B1. Pers konversi model B1  $y=2,1654x$



Gambar 3.13 Kalibrasi Model B2. Pers konversi model B2  $y=1,5777x$



Gambar 3.14 Kalibrasi Model B3. Pers konversi model B3  $y=1,2377x$

uji model fisik dan uji numerik. Dengan toleransi error >15%. Didapatkan data perbandingan seperti pada Tabel 3.3.

Kalibrasi *wetted area* dilakukan untuk mengkonversi nilai luas permukaan basah pada permukaan struktur menjadi tinggi ( $H_{run up}$ ). Karena untuk analisis *run up* dilakukan dengan mengaktifkan fitur *wetted area geometry*, pada permukaan struktur yang tidak rata dan bervariasi sehingga nilai area dengan satuan ( $m^2$ ) harus dikalibrasikan menjadi elevasi *run up* (m). Kalibrasi dilakukan tiga kali untuk masing-masing struktur B1; B2 dan B3 karena memiliki perbedaan kemiringan. Sedangkan tiga struktur lainnya hanya penambahan tinggi dari struktur B1; B2 dan B3 dan tidak perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi ini dilakukan dengan melakukan 5 kali simulasi menggunakan waktu 10 detik untuk setiap simulasi *Flow-3D* dengan melakukan perubahan kedalaman air untuk mengetahui grafik *wetted area* yang terjadi pada kondisi *Mean Water Level*, artinya struktur belum terkena pengaruh gelombang dan tidak ada perubahan terhadap luas permukaan basah struktur. Hasil kalibrasi adalah sebagai berikut. Syarat agar kalibrasi ini valid adalah nilai  $R^2$  yang terbentuk mendekati nilai 1.

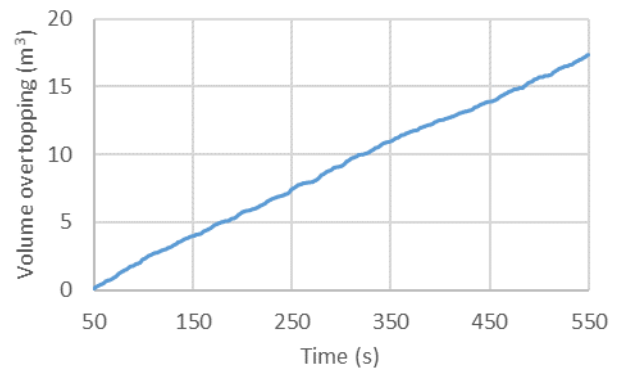
Pengujian numerik variasi *slope* dan *freeboard* untuk mengetahui terjadinya gelombang *run up* dan *overtopping*. Simulasi dilakukan selama 500 detik dan interval pengambilan data selama 0,04 detik, sehingga akan terdapat sebanyak 12.500 data dalam sekali simulasi pada masing-masing *output*. Model variasi adalah B2; B3; B1.60; B2.60 dan B3.60. Kedalaman yang divariasikan tetap yaitu 0,4 m diukur dari dasar *flume*. Dan variasi *freeboard* dilakukan dengan menambah tinggi struktur atau menambah jumlah

Tabel 3.4  
Skenario variasi model

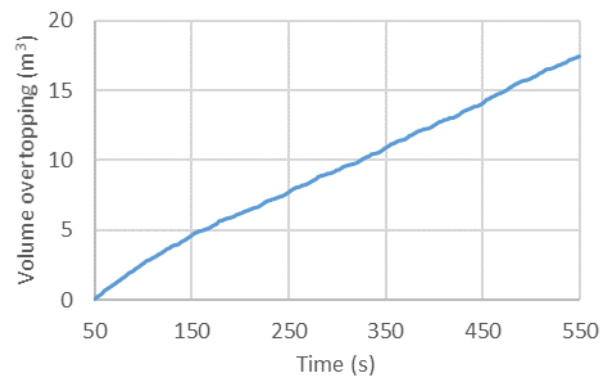
Model	H (m)	T (s)	D (m)
B1	0,18	1,7	0,4
B2	0,18	1,7	0,4
B3	0,18	1,7	0,4
B1.60	0,18	1,7	0,4
B2.60	0,18	1,7	0,4
B3.60	0,18	1,7	0,4

Tabel 4.1  
*Run up*

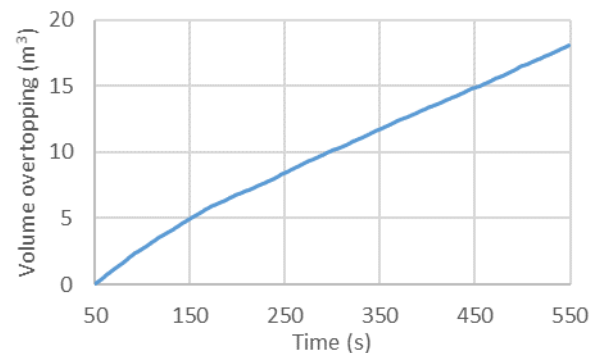
Struktur	Rc [m]	Ru,2% [m]	Ru/H <sub>0</sub> [-]
B1	0.05	0.05	0.278
B2	0.05	0.05	0.278
B3	0.05	0.05	0.278
B1.60	0.20	0.19	1.111
B2.60	0.20	0.18	1.111
B3.60	0.20	0.17	1.111



Gambar 4.1 Grafik kumulatif volume *overtopping* model B1

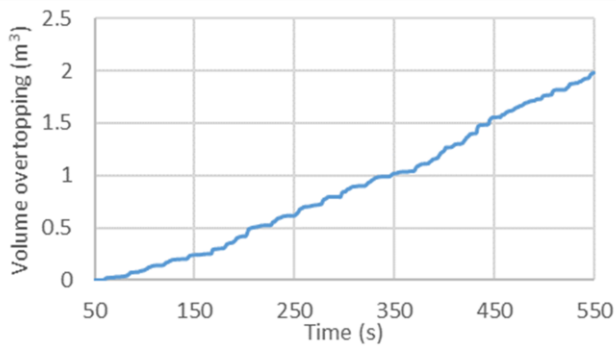


Gambar 4.2 Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B2

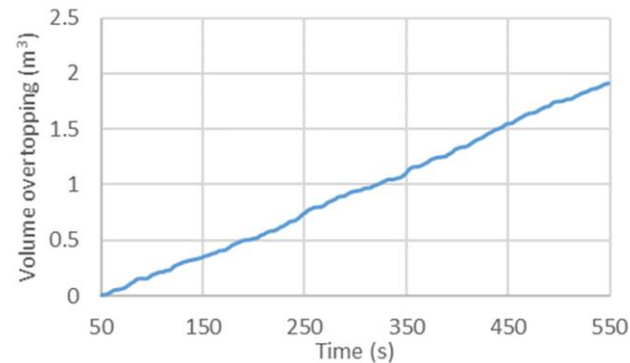


Gambar 4.3 Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B3

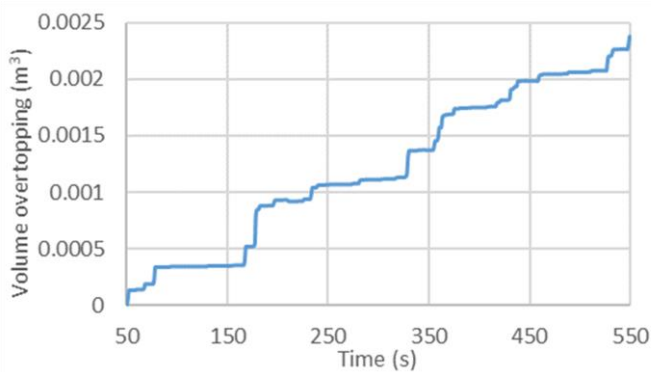
susunan buis beton. Sedangkan untuk variasi kemiringan yaitu mengubah *offset* peletakan buis beton.



Gambar 4.4 Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B1.60



Gambar 4.5 Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B2.60



Gambar 4.6 Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B3.60

Table 4.2  
*Overtopping*

Struktur	$\tan \alpha$ [-]	$q$ [m <sup>3</sup> /s/m]	$\frac{q}{\sqrt{gH_0^3}}$ [-]	$\xi_0$
B1	1	0.17	0.728	4.384
B2	0.5	0.17	0.727	2.211
B3	0.33	0.17	0.695	1.369
B1.60	1	0.02	0.083	5.174
B2.60	0.5	0.02	0.080	2.065
B3.60	0.33	0.00	0.000	1.358

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. *Run up*

Hasil *run up* dilakukan analisa statistik untuk mengetahui nilai *run up* yang terjadi.

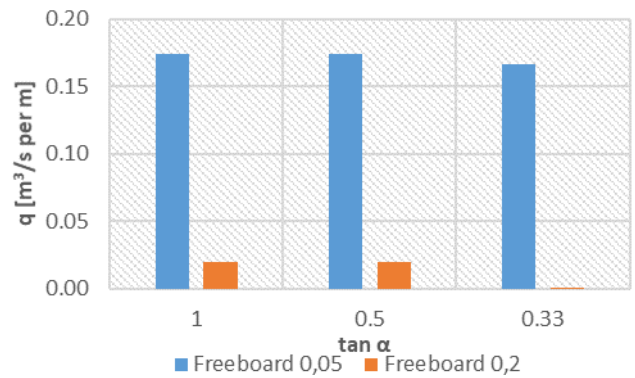
*Run up 2%* (rata-rata nilai 2% *run up* tertinggi)

*Run up 10%* (rata-rata nilai 10% *run up* tertinggi)

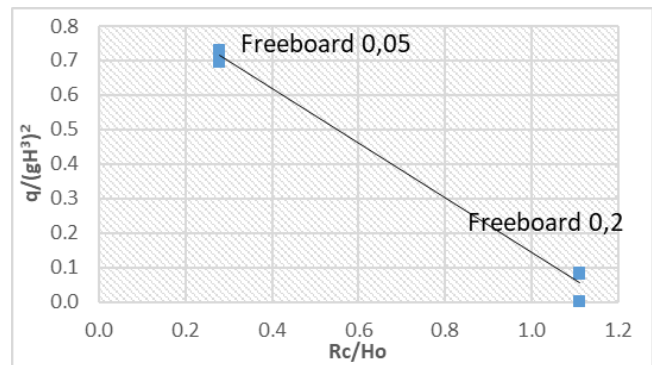
*Run up 1/3* (rata-rata nilai 1/3 *run up* tertinggi)

B. *Overtopping*

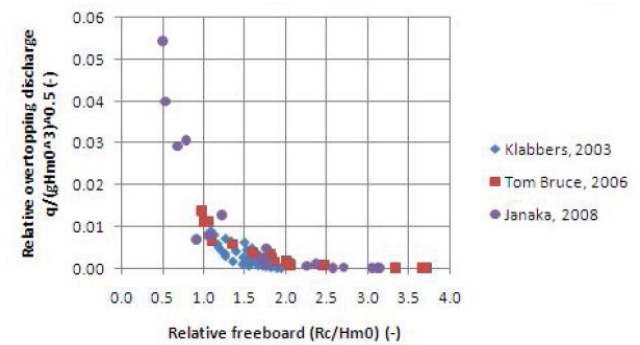
Analisa *overtopping* dilakukan dengan menghitung debit *overtopping* per satuan panjang struktur (*overtopping relative*). Di bawah ini adalah grafik kumulatif pertambahan volume *overtopping* pada masing-masing model.



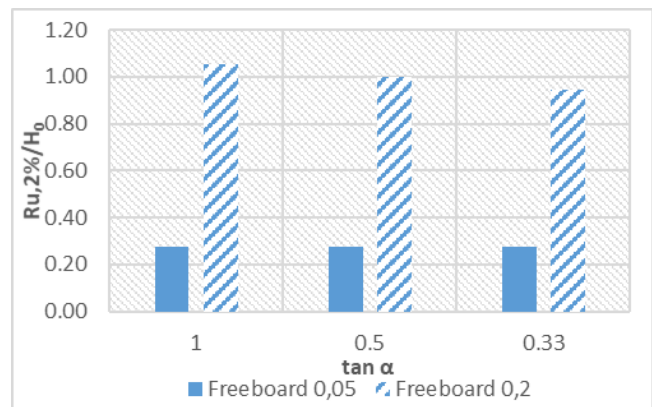
Gambar 4.7 Grafik perbandingan  $q$  dengan *slope* ( $\tan \alpha$ )



Gambar 4.8 Grafik perbandingan  $q$  dengan *freeboard* ( $R_c$ )

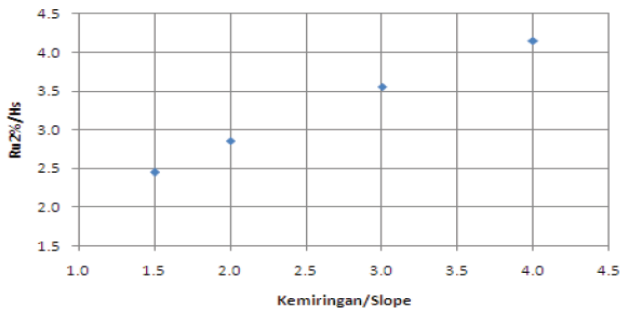


Gambar 4.9 Perbandingan sebaran *overtopping*[13]

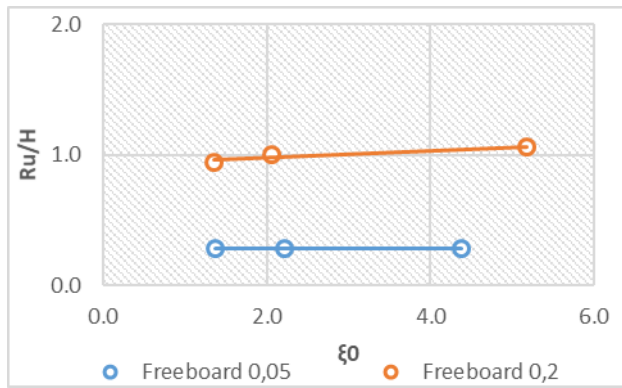


Gambar 4.10 Grafik perbandingan *run up* dengan kemiringan

Struktur yang lebih landai memiliki debit *overtopping* yang lebih kecil, terlihat pada nilai  $\tan \alpha$  0,33. Hal tersebut dikarenakan struktur landai memiliki lintasan yang lebih panjang sehingga energi gelombang *run up* akan terdisipasi sepanjang lintasan rayapan struktur. Sehingga *run up* tidak mencapai puncak struktur dan tidak terjadi limpasan. Pada nilai  $\tan \alpha$  1 dan 0,5 debit *overtopping* memiliki besar yang sama pada *freeboard* 0,05 m. Untuk *freeboard* 0,2 struktur



Gambar 4.11 Perbandingan *run up* dan kemiringan[13]



Gambar 4.12 Grafik perbandingan *run up* dengan *breaker parameter*

yang landai dan di kombinasikan dengan *freeboard* yang tinggi akan menghasilkan limpasan yang sedikit.

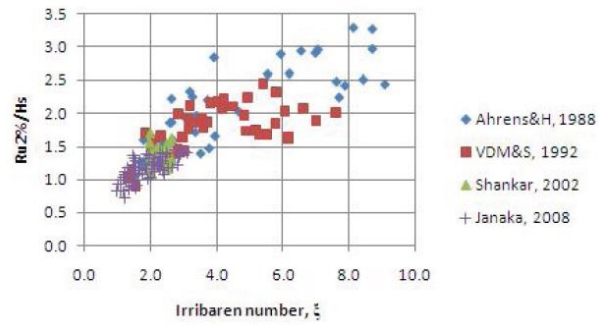
Gambar 4.8 di atas dikelompokkan berdasarkan kemiringan struktur, yaitu model B1 dan B1.60,  $\alpha$  45°; B2 dan B2.60,  $\alpha$  26,56°; B3 dan B3.60,  $\alpha$  18,26°.

Perbandingan hasil *overtopping* relatif dan *freeboard* telah dilakukan oleh Alfansuri, dkk[13]. Alfansuri membandingkan hasil sebaran *overtopping* dari peneliti Tom Bruce, dkk[14]. Dimana hasil penelitian lain menunjukkan trend yang sama. Semakin rendah *freeboard* maka debit *overtopping* yang terjadi akan semakin besar.

Perbandingan dengan mengelompokkan struktur berdasarkan tinggi *freeboard*, struktur B1; B2; B3 memiliki *freeboard* 0,05 m, sedangkan B1.60; B2.60; B3.60 memiliki *freeboard* 0,2 m. Dari gambar 4.10 *run up* yang terjadi pada struktur dengan *freeboard* 0,05 adalah sama pada setiap kemiringan struktur. Hal tersebut dapat terjadi karena rayapan gelombang memiliki energi yang tinggi sehingga terjadi rayapan hingga mencapai puncak struktur. Sedangkan struktur dengan *freeboard* 0,2 dapat menyerap energi dari rayapan gelombang karena lintasan rayapan gelombang.

Perbandingan dengan hasil penelitian lain juga menunjukkan trend yang sama dimana semakin curam struktur maka nilai *run up* semakin tinggi. Gambar 4.11 adalah hasil dari penelitian Alfansuri[13].

Semakin tinggi nilai *breaker parameter* maka *run up* yang terjadi akan semakin tinggi. Kemiringan pada struktur dengan *freeboard* 0,05 m tidak berpengaruh terhadap elevasi *run up*. Dari ketiga struktur dengan *freeboard* 0,05 m, elevasi *run up* mencapai puncak struktur hingga terjadi *overtopping*. Pada model B1; B2; B3 elevasi *run up* adalah 0,45 m. Penggunaan bus beton tidak terlalu berpengaruh untuk meredam gelombang *run up*. Sedangkan untuk struktur dengan *freeboard* 0,2 m elevasi *run up* terjadi bervariasi. Pada struktur B3.60 ( $\tan\alpha$  0,33) elevasi *run up* terendah. Trend dari



Gambar 4.13 Karakteristik perbandingan sebaran data *run up* gelombang [13]

grafik *run up* di atas menunjukkan semakin curam elevasi struktur maka semakin tinggi elevasi *run up* yang terjadi. Pengaruh dari perletakan bus beton terlihat pada perletakan 1,5D dengan lintasan rayapan gelombang yang panjang dan bus beton dapat menahan rayapan gelombang yang terjadi. Sedangkan perletakan 0,5D lintasan rayapan struktur yang pendek dan permukaan yang lebih curam bus beton tidak terlalu berpengaruh untuk menahan *run up*. Dari hasil sebaran *run up* penelitian lain sebaran yang terbentuk memiliki tren yang sama, yaitu *run up* naik terhadap pertambahan *irribaren number*. Semakin curam struktur, nilai  $\xi_0$  akan semakin tinggi, *run up* juga semakin tinggi dan *overtopping* semakin besar.

## V. KESIMPULAN & SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan numerik struktur bus beton dengan variasi kemiringan dan *freeboard*, maka hasil *run up* dan *overtopping* yang didapatkan memiliki hasil bervariasi. Struktur bus beton tidak berpengaruh dalam menahan rayapan gelombang. Namun apabila mempertimbangkan desain, perletakan seperti model B3.60 maka akan didapatkan hasil yang baik.

Pengaruh kemiringan (B1 45°; B2 26,56°; B3 18,26°) dan *freeboard* sangat berkaitan.

1. Model B1; B2; dan B3: Kemiringan struktur tidak berpengaruh pada hasil *run up*, hasil elevasi *run up* struktur B1; B2; dan B3 adalah 0,05 m. Sedangkan untuk debit rata-rata *overtopping* yang terjadi B1; B2; dan B3 secara berturut-turut 0,1741 m<sup>3</sup>/s per m; 0,1739 m<sup>3</sup>/s per m; dan 0,1662 m<sup>3</sup>/s per m.
2. Model B1.60; B2.60; dan B3.60 Kemiringan struktur berpengaruh terhadap *run up*. Struktur B1.60; B2.60; dan B3.60 elevasi *run up* secara berturut-turut 0,19 m; 0,18 m; dan 0,17 m. Sedangkan untuk debit *overtopping* pada Struktur B1.60; B2.60; dan B3.60 debit rata-rata yang terjadi secara berturut-turut 0,0198 m<sup>3</sup>/s per m; 0,0191 m<sup>3</sup>/s per m; dan 0 m<sup>3</sup>/s per m. Struktur B3.60 debit yang terjadi sangat kecil dan dilakukan pembulatan menjadi 0.

Dari hasil uji numerik disimpulkan bahwa struktur bus beton dengan perletakan 1,5D lebih baik untuk menahan rayapan gelombang sehingga berpengaruh pada besar debit *overtopping* yang terjadi akan lebih kecil.

### B. Saran

Perlunya mengetahui parameter lain sebelum melakukan hasil uji numerik sebagai acuan, seperti nilai kekasaran struktur, kekasaran permukaan lantai karena sangat berpengaruh pada perambatan gelombang pada *flume*.

Dilakukan variasi gelombang dengan mengubah nilai tinggi gelombang dan periode, maupun jenis gelombang untuk mengetahui pengaruhnya.

Melakukan analisa mengenai refleksi gelombang akibat struktur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. E. Smith, "Types of marine concrete structures," in *Marine Concrete Structures*, Elsevier, 2016, pp. 17–64.
- [2] L. Cavallaro, F. Dentale, G. Donnarumma, E. Foti, R. E. Musumeci, and E. Pugliese, "Rubble mound breakwater overtopping: Estimation of the reliability of a 3D numerical simulation," *Coast. Eng.*, vol. 85, pp. 4–5, 2012.
- [3] F. Dentale, G. Donnarumma, and E. P. Carratelli, "Wave run up and reflection on tridimensional virtual breakwater," *J. Hydrogeol. Hydrol. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2012.
- [4] F. Dentale, F. Reale, A. Di Leo, and E. P. Carratelli, "A CFD approach to rubble mound breakwater design," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 10, no. 5, pp. 644–650, 2018.
- [5] A. Najafi-Jilani, M. Z. Niri, and N. Naderi, "Simulating three dimensional wave run-up over breakwaters covered by antifer units," *Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 297–306, 2014.
- [6] F. Dentale, G. Donnarumma, and E. Pugliese Carratelli, "Rubble mound breakwater: run-up, reflection and overtopping by numerical 3D simulation," in *ICE Conference*, 2013, pp. 120–130.
- [7] U. S. Army and others, "Shore protection manual," *US Army Eng. Waterw. Exp. Station. US Gov. Print. Off. Washingt. (DC), USA*, 1984.
- [8] I. J. Losada, J. L. Lara, R. Guanche, and J. M. Gonzalez-Ondina, "Numerical analysis of wave overtopping of rubble mound breakwaters," *Coast. Eng.*, vol. 55, no. 1, pp. 47–62, 2008.
- [9] J. W. der Meer *et al.*, "Manual on wave overtopping of sea defences and related structures," *An Overtopping Man. Largely Based Eur. Res. but Worldw. Appl. Available online www. overtopping-manual. com (accessed 11 Sept. 2017)*, 2016.
- [10] W. Allsop, L. Franco, and P. J. Hawkes, "Wave run-up on steep slopes—a literature review," 1985.
- [11] C. W. Hirt and B. D. Nichols, "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries," *J. Comput. Phys.*, vol. 39, no. 1, pp. 201–225, 1981.
- [12] F. Dentale, G. Donnarumma, E. P. Carratelli, and F. Reale, "A numerical method to analyze the interaction between sea waves and rubble mound emerged breakwaters," *WSEAS Trans. Fluid Mech.*, vol. 10, pp. 106–116, 2015.
- [13] S. Alfansuri, Suntoyo, and H. D. Armono, "Analisa perbandingan formula runup dan overtopping untk gelombang irregular pada struktur dasar kasar," *Tek. Kelaut. FTK ITS*, 2010.
- [14] H. Schüttrumpf, J. van der Meer, A. Kortenhaus, T. Bruce, and L. Franco, "Wave run-up and wave overtopping at Armored Rubble Slopes and Mounds," in *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, World Scientific, 2010, pp. 383–409.