



**TUGAS AKHIR (MO184804)**

**PEMODELAN NUMERIK *RUN UP* DAN *OVERTOPPING*  
STRUKTUR *SEAWALL* BUIS BETON**

**Pangestu Ari Wicaksono  
NRP : 0431154000056**

**Dosen Pembimbing:  
Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc**

**Departemen Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**



**FINAL PROJECT (MO184804)**

**NUMERICAL MODELLING RUN UP AND  
OVERTOPPING BUIS BETON SEAWALL STRUCTURE**

**Pangestu Ari Wicaksono  
NRP : 0431154000056**

**Supervisors:**

**Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc**

**Ocean Engineering Department  
Faculty of Marine Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2019**

**PEMODELAN NUMERIK *RUN UP* DAN *OVERTOPPING* STRUKTUR  
*SEAWALL* BUIS BETON**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi  
Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Pangestu Ari Wicaksono

NRP. 04311540000056

Disetujui oleh:

1. Haryo Dwito Armono, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)



2. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T. M.Sc. (Pembimbing 2)



3. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)



4. Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc (Penguji 2)



5. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 3)



Surabaya, Juli 2019

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

**PEMODELAN NUMERIK *RUN UP* DAN *OVERTOPPING* STRUKTUR  
*SEAWALL* BUIS BETON**

**Nama Penulis** : Pangestu Ari Wicaksono  
**NRP** : 0431154000056  
**Departemen** : Teknik Kelautan  
**Dosen Pembimbing** : Haryo Dwito A, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.sc.

**ABSTRAK**

Bangunan pelindung pantai banyak macam dan jenisnya, namun memiliki tujuan yaitu untuk melindungi kawasan pantai dari gelombang. Dikarenakan gelombang akan bersifat katastropik 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 peletakan 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 tren persebarannya karena struktur yang diteliti berbeda dengan yang dilakukan oleh peneliti lain.

Kata kunci: *run up*, *overtopping*, *Flow-3D*, *seawall*, *buis beton*

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

**NUMERICAL MODELLING RUN UP AND OVERTOPPING *BUIS*  
*BETON* SEAWALL STRUCTURE**

**Name** : Pangestu Ari Wicaksono  
**Reg. Number** : 0431154000056  
**Departement** : Teknik Kelautan  
**Supervisors** : Haryo Dwito A, S.T., M.Eng., Ph.D.  
Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.sc.

**ABSTRACT**

Coastal structures have many kinds and types, but they have a purpose to protect the coastal area from waves attack. Because the waves will be catastrophic if they are too large. Research on coastal structures is mostly done in the analysis of transmission, reflection, run up and overtopping. The choice of *buis beton* for research is because many of coastal communities use it as a coastal structure. The reasons are *buis beton* is easy to find, cheap and easy in its application. However, there is no scientific analysis of *buis beton* as a coastal structure. In this study using Flow-3D CFD for modeling run-up and overtopping, and they are analyzed with regular wave same as done by Balai Litbang Pantai's physical test. This study varied the freeboard height of structure, which was 0,05 m and 0,2 m, the slope variations for each freeboard is 45 °, 26.56 ° and 18.26 ° by changing the vertical placement of the *buis beton*. For variation results Ru2%, the model with 5 cm freeboard has the same run up result, the run up up to 0,05 m height or the maximum height of the structure, while the run up for 0,2 m freeboard, the lowest run up elevation, named the model B3.60 with a slope of 18.26° it reach 0,17 m. For relative overtopping, structure with 0,2 m freeboard has less volume than the structure with 0,05 m freeboard. The results of run up and overtopping were compared with the effect of slope, freeboard height and parameter variation from other studies, but the comparison was made only to see the trend of distribution because the structure studied was different from what was done by other researchers

*Key Words: run up, overtopping, Flow-3D, seawall, buis beton*

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr wb,

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pemodelan Numerik *Run up* dan *Overtopping* Struktur *Seawall* Buis Beton.” Sebagai syarat utama untuk memperoleh gelar sarjana (S-1) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Tugas akhir ini berisi penelitian tentang model numerik struktur *seawall* buis beton sebagai lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Balai Litbang Pantai Buleleng, Kementerian PUPR. Semoga tugas akhir ini turut memberikan tambahan ilmu pengetahuan dan rujukan bagi pembaca yang akan melakukan penelitian serupa.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk memberikan masukan mengenai penulisan dan penyusunan laporan tugas akhir ini sebagai catatan penulis agar lebih baik selanjutnya.

Wassalamu'alaikum wr wb.

Surabaya, Juli 2019

Penulis.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini tidak akan dapat diselesaikan tanpa doa, dukungan, dan bantuan dari pihak lain yang terkait secara langsung maupun tidak langsung, sehingga penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu, Bapak, Kekak dan Nenek yang selalu memberikan doa serta dukungan baik secara moril maupun finansial kepada penulis. Serta kakak dan adik yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan kepada penulis.
2. Bapak Juventus Welly, S.Si.,MPSDA yang telah mengizinkan penulis untuk menggunakan data penelitiannya, Mbak Ida Ayu Diah R.P., S.T. yang telah memberikan data untuk penelitian tugas akhir ini. (Balai Pantai, Buleleng)
3. Bapak Haryo Dwito A, S.T., M.Eng., Ph.D dan Bapak Dr.Eng. M. Zikra, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang selalu memberi saran, dukungan dan motivasi kepada penulis.
4. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D.; Dr. Ir. Hasan Ikhwani, M.Sc.; Sujantoko, S.T., M.T. selaku dosen penguji sidang tugas akhir ruang sidang Flume Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang memberikan masukan, nasehat dan kesempatan kepada penulis untuk memperbaiki tugas akhir.
5. Bapak Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D. sebagai koordinator tugas akhir yang selalu memberikan informasi, bimbingan, perizinan dan persetujuan sehingga penulis dapat mengikuti sidang tugas akhir.
6. Bapak Ibu dosen Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah mengajarkan mata kuliah kepada penulis selama perkuliahan. Serta bapak/ibu staff administrasi TU Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah menyiapkan keperluan dan persyaratan berkas tugas akhir.
7. Dinda Amalia, Mas Harish, dan teman-teman seperjuangan yang membantu dan memberikan dukungan dalam pengerjaan tugas akhir. Serta Nandita Ayu yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
8. Teman-teman Teknik Kelautan FTK ITS angkatan 2015 yang selalu memberikan ilmu, dukungan dan berjuang bersama sejak mahasiswa baru hingga mahasiswa akhir.

Serta semua pihak yang tidak penulis sebutkan satu-persatu, semoga Allah SWT melimpahkan berkat dan rahmat kepada kita semua, Amiin.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
UCAPAN TERIMAKASIH.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Landasan Teori .....	8
2.2.1 Bangunan Pelindung Pantai.....	8
2.2.2 Gelombang.....	11
2.3 <i>Run Up</i> .....	14
2.4 <i>Overtopping</i> .....	17
2.5 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> .....	20
2.5.1 VOF .....	20
2.5.2 <i>Flow-3D</i> .....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram alir.....	25
3.2 Penjelasan Diagram Alir.....	26
3.2.1 Studi literatur .....	26

3.2.2	Pengumpulan Data .....	26
3.2.3	Pemodelan geometri dengan <i>AutoCAD 3D</i> .....	28
3.2.4	Pemodelan dengan <i>Flow-3D</i> .....	30
3.2.5	Validasi .....	41
3.2.6	Pemodelan Buis Beton dengan Variasi <i>Slope</i> dan Kedalaman. ....	47
3.2.7	Analisis dan pembahasan .....	47
3.2.8	Kesimpulan dan saran .....	48
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1	Run up.....	49
4.1.1	<i>Run up</i> Model B1 .....	49
4.1.2	<i>Run up</i> Model B2 .....	52
4.1.3	<i>Run up</i> Model B3 .....	54
4.1.4	<i>Run up</i> Model B1.60 .....	56
4.1.5	<i>Run up</i> Model B2.60 .....	58
4.1.6	<i>Run up</i> Model B3.60 .....	60
4.2	Perhitungan teoritis <i>run up</i> .....	63
4.3	<i>Overtopping</i> .....	63
4.3.1	<i>Overtopping</i> Model B1 .....	63
4.3.2	<i>Overtopping</i> Model B2 .....	65
4.3.3	<i>Overtopping</i> Model B3 .....	66
4.3.4	<i>Overtopping</i> Model B1.60 .....	68
4.3.5	<i>Overtopping</i> Model B2.60 .....	69
4.3.6	<i>Overtopping</i> Model B3.60.....	71
4.4	Perbandingan <i>Overtopping</i> kumulatif.....	72
4.5	Perhitungan teoritis <i>overtopping</i> .....	74
4.6	Perbandingan q dengan pengaruh <i>slope</i> .....	74
4.7	Perbandingan <i>overtopping</i> relatif dengan pengaruh <i>Freeboard</i> .....	75
4.8	Perbandingan <i>Run up</i> dengan <i>slope</i> .....	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		81
5.1	Kesimpulan .....	81
5.2	Saran .....	81
DAFTAR PUSTAKA.....		83
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemasangan buis beton sebagai <i>seawall</i> .....	2
Gambar 2.1 Bentuk buis beton.....	5
Gambar 2.2 Pengujian model fisik buis beton Balai Pantai.....	6
Gambar 2.3 Model struktur virtual.....	7
Gambar 2.4 <i>Meshing Domain</i> .....	7
Gambar 2.5 <i>Run up</i> terhadap <i>time series</i> ; elevasi gelombang <i>run up</i> .....	8
Gambar 2.6 Grafik kumulatif <i>overtopping</i> numerik dan eksperimen .....	8
Gambar 2.7 <i>Rubble mound Seawall</i> .....	9
Gambar 2.8 Tipe tanggul laut.....	10
Gambar 2.9 Gerak partikel air di laut dangkal, transisi dan laut dalam.....	11
Gambar 2.10 Gelombang sinusoidal .....	14
Gambar 2.11 Gelombang <i>run up</i> .....	15
Gambar 2.12 Tinggi <i>run up</i> 2% .....	16
Gambar 2.13 <i>Overtopping</i> .....	17
Gambar 2.14 Nilai fungsi VOF pada permukaan bebas .....	21
Gambar 2.15 Tahap metode perpindahan fluida metode <i>semi-Lagrangian</i> .....	22
Gambar 3.1 Diagram alir.....	25
Gambar 3.2 Geometri pengujian model fisik .....	26
Gambar 3.3 Perletakan <i>wave probe</i> dan ukuran geometri flume .....	27
Gambar 3.4 Model B1 .....	28
Gambar 3.5 Model B1.60.....	28
Gambar 3.6 Model B2 .....	29
Gambar 3.7 Model B2.60.....	29
Gambar 3.8 Model B3 .....	29
Gambar 3.9 Model B3.60.....	29
Gambar 3.10 Tab <i>simulation manager</i> .....	30
Gambar 3.11 <i>Creating new workspace</i> .....	31
Gambar 3.12 Membuat simulasi baru .....	31
Gambar 3.13 Menu tab <i>model setup</i> .....	32
Gambar 3.14 Tab <i>general</i> .....	32

Gambar 3.15 Tab <i>physics</i> .....	32
Gambar 3.16 <i>Fluid properties</i> .....	33
Gambar 3.17 Window pada tab <i>meshing &amp; geometry</i> .....	33
Gambar 3.18 <i>Geometru window</i> .....	34
Gambar 3.19 <i>Mesh window</i> .....	35
Gambar 3.20 <i>Boundary condition window</i> .....	35
Gambar 3.21 <i>Boundary type</i> .....	36
Gambar 3.22 <i>Initial window</i> .....	36
Gambar 3.23 <i>History probes</i> .....	37
Gambar 3.24 <i>Flux surface window</i> .....	38
Gambar 3.25 Geometry model sebelum render .....	38
Gambar 3.26 <i>Rendering</i> dengan <i>FAVOR</i> .....	39
Gambar 3.27 Tab <i>output</i> .....	39
Gambar 3.28 Tab <i>Numerics</i> .....	40
Gambar 3.29 Hasil simulasi model.....	41
Gambar 3.30 Dimensi flume untuk validasi .....	41
Gambar 3.31 Grafik batang validasi gelombang .....	42
Gambar 3.32 Perbandingan letak struktur .....	43
Gambar 3.33 Perbandingan <i>Havg Sensitivity validation</i> .....	44
Gambar 3.34 Kalibrasi model B1 .....	45
Gambar 3.35 Kalibrasi Model B2.....	46
Gambar 3.36 Kalibrasi Model B3.....	46
Gambar 4.1 Model B1 <i>Flowsight</i> .....	49
Gambar 4.2 Profil Gelombang B1 .....	50
Gambar 4.3 <i>Run up</i> Model B1 .....	51
Gambar 4.4 Profil Gelombang B2 .....	52
Gambar 4.5 <i>Run up</i> Model B2.....	53
Gambar 4.6 Profil gelombang B3.....	54
Gambar 4.7 <i>Run up</i> Model B3.....	55
Gambar 4.8 Profil gelombang B1.60.....	56
Gambar 4.9 <i>Run up</i> Model B1.60.....	57
Gambar 4.10 Profil gelombang B2.60.....	58

Gambar 4.11 <i>Run up</i> Model B2.60 .....	59
Gambar 4.12 Profil gelombang B3.60 .....	61
Gambar 4.13 <i>Run up</i> Model B3.60 .....	62
Gambar 4.14 Volume <i>Overtopping</i> per detik Model B1.....	64
Gambar 4.15 Grafik kumulatif volume <i>overtopping</i> model B1 .....	64
Gambar 4.16 Volume <i>overtopping</i> per detik Model B2 .....	65
Gambar 4.17 Grafik kumulatif volume <i>overtopping</i> Model B2 .....	66
Gambar 4.18 Volume <i>overtopping</i> Model B3.....	67
Gambar 4.19 Grafik kumulatif volume <i>overtopping</i> Model B3 .....	67
Gambar 4.20 Volume <i>overtopping</i> Model B1.60.....	68
Gambar 4.21 Grafik kumulatif volume <i>overtopping</i> Model B1.60 .....	69
Gambar 4.22 Volume <i>overtopping</i> Model B2.60.....	70
Gambar 4.23 Grafik kumulatif volume <i>overtopping</i> Model B2.60 .....	70
Gambar 4.24 Grafik volume <i>overtopping</i> Model B3.60 .....	71
Gambar 4.25 Grafik kumulatif volume <i>overtopping</i> Model B3.60 .....	72
Gambar 4.26 Grafik perbandingan <i>overtopping</i> kumulatif Bi.60 .....	73
Gambar 4.27 Grafik perbandingan <i>overtopping</i> kumulatif Bi.60 .....	73
Gambar 4.28 Grafik perbandingan q dengan <i>slope</i> ( $\tan\alpha$ ).....	75
Gambar 4.29 Grafik perbandingan q dengan <i>freeboard</i> ( $R_c$ ) .....	76
Gambar 4.30 Perbandingan sebaran <i>overtopping</i> .....	76
Gambar 4.31 Grafik perbandingan <i>run up</i> dengan kemiringan .....	77
Gambar 4.32 Perbandingan <i>run up</i> dan kemiringan .....	78
Gambar 4.33 Grafik perbandingan <i>run up</i> dengan <i>breaker parameter</i> .....	78
Gambar 4.34 Karakteristik perbandingan sebaran data <i>run up</i> gelombang .....	79

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data flume Balai Pantai .....	26
Tabel 3.2 Data peletakan <i>wave probe</i> .....	26
Tabel 3.3 Hasil rekaman <i>wave probe</i> hasil pengujian model fisik buis beton Balai Pantai .....	27
Tabel 3.4 Data model B1 .....	29
Tabel 3.5 Data model B2 .....	29
Tabel 3.6 Data model B1.60 .....	29
Tabel 3.7 Data model B2.60 .....	29
Tabel 3.8 Data model B3 .....	30
Tabel 3.9 Data model B3.60 .....	30
Tabel 3.10 Validasi <i>Havg</i> gelombang.....	42
Tabel 3.11 <i>Sensitivity validation</i> .....	43
Tabel 3.12 Kalibrasi model B1 .....	45
Tabel 3.13 Kalibrasi Model B2.....	45
Tabel 3.14 Kalibrasi Model B3.....	46
Tabel 3.15 Skenario variasi model.....	47
Tabel 4.1 <i>Run up</i> Model B1 .....	52
Tabel 4.2 <i>Run up</i> Model B2 .....	54
Tabel 4.3 <i>Run up</i> Model B3 .....	56
Tabel 4.4 <i>Run up</i> Model B1.60 .....	58
Tabel 4.5 <i>Run up</i> Model B2.60 .....	60
Tabel 4.6 <i>Run up</i> Model B3.60 .....	63
Tabel 4.7 Perhitungan teoritis <i>run up</i> .....	63
Tabel 4.8 Perhitungan teoritis <i>overtopping</i> .....	74
Tabel 4.9 <i>Overtopping</i> relatif dan <i>slope</i> .....	74
Tabel 4.10 Pengaruh <i>overtopping</i> relatif dengan <i>freeboard</i> .....	76
Tabel 4.11 Perbandingan <i>run up</i> dengan <i>slope</i> .....	77

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia. Data dari Badan Pembinaan Hukum Nasional (BPHN) tahun 2015 Indonesia terdiri dari 17.499 pulau dan 3,25 km<sup>2</sup> lautan dan 2,25 juta km<sup>2</sup> merupakan zona ekonomi eksklusif. Sedangkan data dari Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia memiliki panjang garis pantai 99.093 km. Dengan adanya garis pantai yang panjang tersebut Indonesia memerlukan pengelolaan yang baik agar dapat dimanfaatkan potensinya sebagai tumpuan perekonomian masyarakat pesisir dengan dibuat tempat wisata, pelabuhan ikan dan fasilitas perekonomian lainnya. Namun potensi tersebut bukanlah tanpa ancaman. Ancaman yang diakibatkan oleh alam seperti badai, gelombang tinggi yang bersifat destruktif dan membahayakan keberadaan masyarakat.

Maka dari itu perlu dibangun bangunan pantai. Bangunan pantai dapat digunakan sebagai pelindung pantai dari kerusakan akibat gelombang dan arus (Triatmodjo, 1999). Contoh bangunan pelindung pantai yaitu *groin*, *jetty*, *revetment*, *seawall*, *breakwater*, dan lain-lain. Selain sebagai pelindung, bangunan pantai juga menjadi akses masyarakat menuju ke laut atau sebagai dermaga.

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* (Smith, 2016). 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.



**Gambar 1.1** Pemasangan buis beton sebagai *seawall* (<http://sda.pu.go.id>)

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*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diangkat dalam Tugas Akhir ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh *slope* (kemiringan) dan *freeboard* struktur terhadap *run up* dan *overtopping* struktur *seawall* buis beton?
2. Bagaimana hasil *run up* dan *overtopping* dari *seawall* buis beton?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh *slope* (kemiringan) dan *freeboard* struktur terhadap *run up* dan *overtopping* struktur *seawall* buis beton.
2. Untuk mengetahui *run up* dan *overtopping* dari *seawall* buis beton.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Hasil tugas akhir ini dapat memberikan informasi mengenai pengaruh variasi *slope* (kemiringan) dan *freeboard* struktur terhadap *run up* dan *overtopping*.
2. Hasil tugas akhir ini dapat dijadikan referensi dan pertimbangan untuk membuat pedoman perencanaan dan pembangunan struktur bangunan pantai menggunakan buis beton yang optimal.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan menggunakan perangkat lunak *Flow-3D*.
2. Menggunakan data eksperimen yang sudah ada (Balai Pantai, 2018).
3. Pengujian menggunakan gelombang *regular*.
4. Tinggi dan periode gelombang ditentukan sesuai dengan skenario penguji.
5. Sudut datang gelombang diabaikan.
6. *Scouring* dan sedimentasi diabaikan.
7. Deformasi gelombang (difraksi, refleksi) diabaikan.

8. Penelitian dilakukan pada struktur dasar dengan permukaan halus.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Dalam sistematika penulisan Tugas Akhir ini terdapat lima bab, yaitu:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bagian ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang permasalahan dari penelitian yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang akan dicapai dalam penelitian, manfaat penelitian ini, Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian, dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

Pada bagian ini menjelaskan beberapa teori dasar untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini. Serta referensi penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan untuk acuan penelitian Tugas Akhir.

### **BAB III. METODOLOGI PENULISAN**

Pada bagian ini dijelaskan dan digambarkan diagram alir langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian Tugas Akhir ini yang disusun secara sistematis.

### **BAB IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menjelaskan hasil dan analisa pemodelan untuk validasi model dan pemodelan variasinya menggunakan perangkat lunak *Flow-3D*.

### **BAB V. SARAN DAN KESIMPULAN**

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang didapatkan dari hasil pembahasan penelitian yang dilakukan dan saran-saran yang diberikan penulis untuk dapat memperbaiki penelitian selanjutnya.

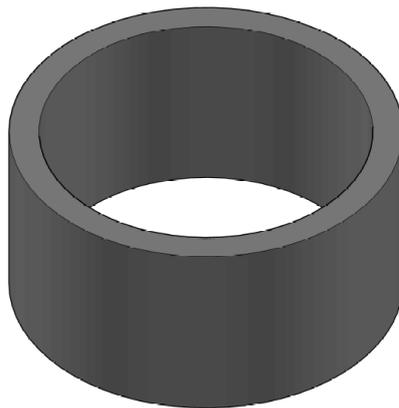
## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Bayak sekali bangunan pelindung pantai *rubble mound* yang dibangun pada 20-50 tahun terakhir untuk melindungi dari gelombang dengan menggunakan *concrete armour unit* (Allsop, 1988). Banyak penelitian mengenai *concrete armour unit* seperti yang dilakukan oleh peneliti Eropa. namun penelitian tersebut kebanyakan untuk mengetahui stabilitas dan refleksi. Penelitian tersebut juga dilakukan dengan menggunakan jenis *concrete armour unit* yang telah ada secara umum.

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian numerik untuk struktur buis beton sebagai lanjutan dari penelitian yang dilakukan Balai Litbang Pantai Kementerian PUPR yang melakukan uji model fisik lab untuk mengetahui *run up* dan volume *overtopping*. Struktur buis beton sendiri dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Bentuk buis beton

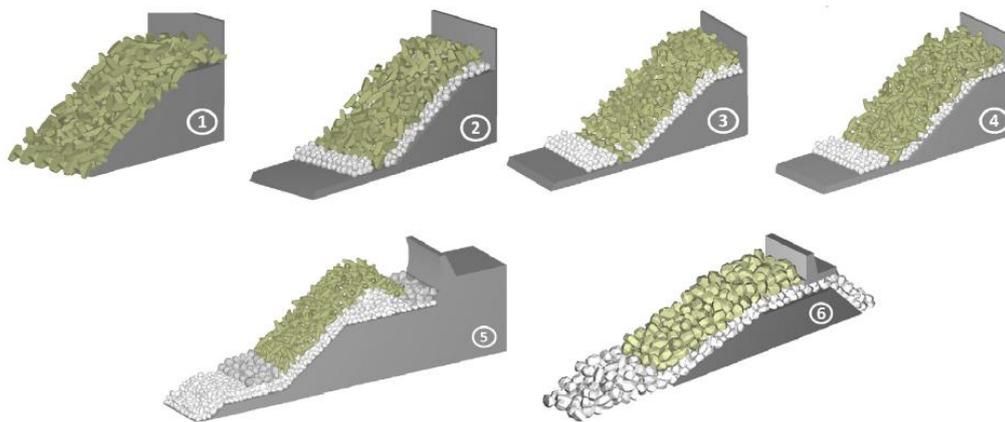


**Gambar 2.2** Pengujian model fisik buis beton Balai Pantai (Balai Pantai,2018)

Gambar 2.2 menunjukkan persiapan penelitian di Balai Pantai. Penelitian ini bertujuan untuk membuat pedoman pembangunan dan penggunaan buis beton sebagai bangunan pantai. Karena banyak penggunaan buis beton di masyarakat namun tidak ada kajian secara ilmiah mengenainya terutama untuk analisa *run up* dan *overtopping*. Sehingga belum dapat diketahui keuntungan dan kerugian secara ilmiah akibat penggunaan struktur buis beton sebagai bangunan pelindung pantai. Hanya saja keuntungan dari segi ekonomi yaitu murah dan buis beton dapat ditemukan dengan mudah di masyarakat karena hampir semua toko bangunan menyediakan buis beton dengan berbagai ukuran.

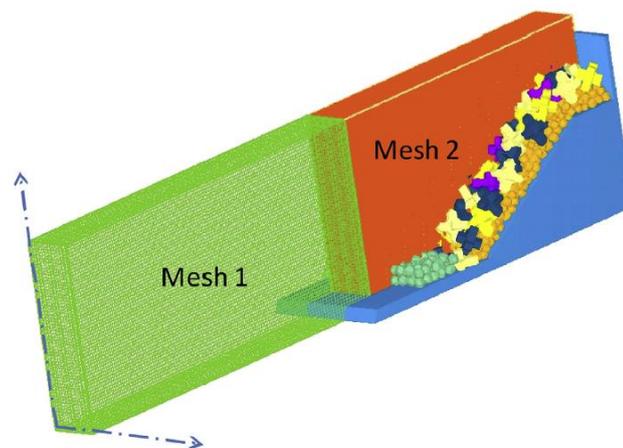
Penelitian *run up* dan *overtopping* telah banyak dilakukan oleh Dentale dkk. (2012; 2017) dan Jilani dkk. (2014), penelitian tersebut menggunakan pemodelan numerik untuk mendapatkan hasil variasi yang banyak. *Overtopping* adalah proses *run up* gelombang yang mengenai struktur miring *slope* dan akhirnya *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. (2017). Penelitian yang dilakukan oleh Dentale dkk. (2017) berupa pemodelan *rubble mound seawall* dengan menggunakan *Computational fluid dynamic* (CFD). 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. Gambar 2.3 penelitian Dentale 2017 menggunakan armor antara lain *Cube Antifer*, *Tetrapod*, *Xbloc*, *Accropode*, *Core-loc* dan batu pecah.



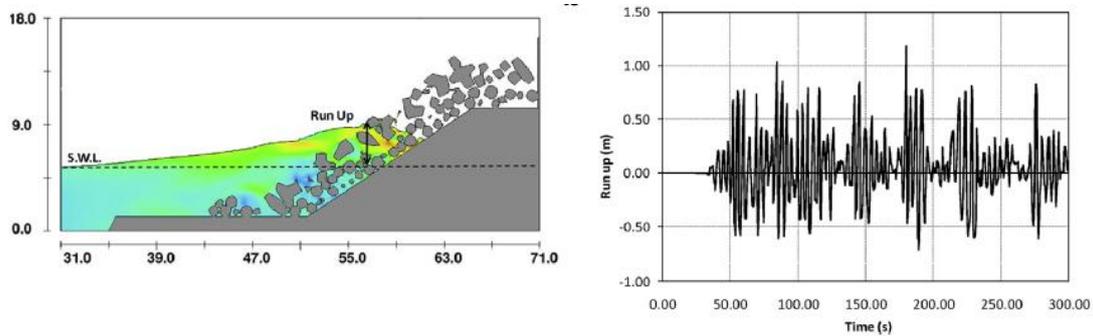
**Gambar 2.3** Model struktur virtual (Dentale,2017)

Penelitian tersebut menggunakan perangkat lunak *Flow-3D* dengan melakukan individual domain seperti pada Gambar 2.4

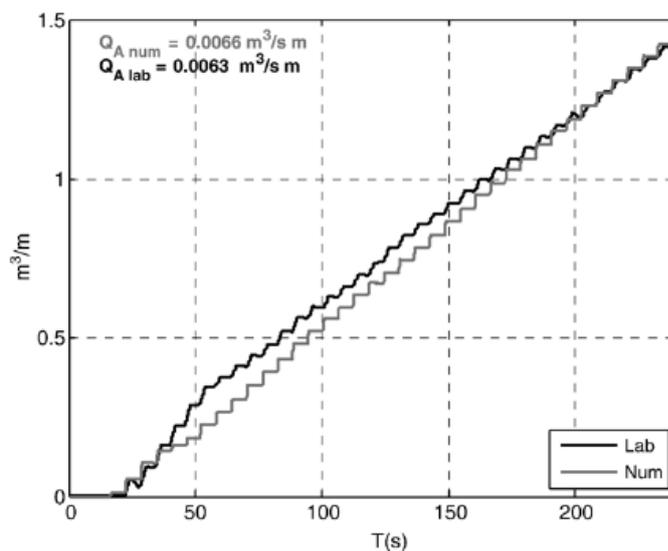


**Gambar 2.4** Meshing Domain (Dentale, 2017)

Hasil dari penelitian ini berupa grafik elevasi untuk gelombang *run up*, kecepatan partikel air, gelombang transmisi dan grafik *overtopping*. Hasil pengamatan akan terbentuk grafik elevasi *run up* seperti Gambar 2.5, dan grafik volume kumulatif ditunjukkan pada Gambar 2.6 di bawah.



**Gambar 2.5** Run up terhadap *time series*; elevasi gelombang *run up* (Dentale, 2017)



**Gambar 2.6** Grafik kumulatif *overtopping* numerik dan eksperimen (Losada, 2008)

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Bangunan Pelindung Pantai

Masalah yang sering terjadi di daerah pantai adalah kerusakan yang diakibatkan oleh alam maupun perilaku manusia. Masalah yang sering terjadi yaitu erosi pantai dan gelombang. Erosi pantai disebabkan oleh faktor alam di mana gelombang yang sampai ke pantai mengakibatkan transport partikel pasir yang berukuran kecil dan terbawa ke laut. Sedangkan gelombang dapat mengakibatkan limpasan air laut dan menyebabkan banjir rob. Gelombang yang

terus-menerus menerjang daerah pesisir perlu diwaspadai karena bersifat merusak. Terlebih pada saat terjadi badai dan gelombang tinggi, daya rusak gelombang dapat menghancurkan fasilitas yang ada di daerah bibir pantai.

Untuk menanggulangi masalah di atas dilakukan investigasi penyebab terjadinya masalah di atas. Dengan mengetahui penyebabnya maka dapat dilakukan dengan membuat perlindungan berupa bangunan pelindung pantai.

Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi kerusakan di daerah pantai antara lain (Triatmodjo, 1999):

- memperkuat pantai agar dapat menahan serangan gelombang.
- mengubah laju sedimen sepanjang pantai
- mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai
- reklamasi dengan menambah suplai sedimen di area tertentu

Bangunan pelindung pantai di klasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu:

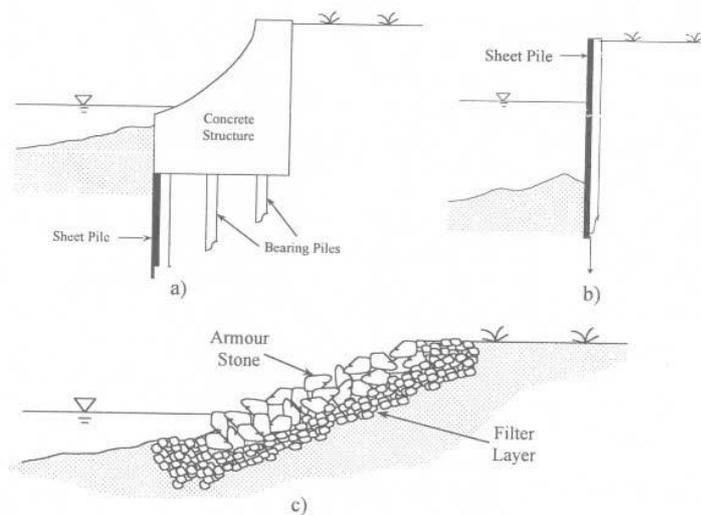
- a. konstruksi dibangun sejajar dan menempel garis pantai (*revetment, sea wall*)
- b. konstruksi dibangun tegak lurus pantai dan sambung pantai (*jetty, groin*)
- c. konstruksi dibangun sejajar dan lepas pantai (*seawall*)

*Seawall* atau tanggul laut adalah bangunan pelindung pantai yang berfungsi untuk melindungi daerah di belakang bangunan tersebut dari banjir akibat gelombang laut. Pada daerah yang memiliki daratan lebih rendah dari muka air laut bangunan ini berfungsi sebagai pelindung agar tidak terjadi *overflowing* dan mengakibatkan banjir. Tanggul laut dibangun sepanjang garis pantai yang membagi dua kawasan darat dan laut. Selain pada Gambar 2.7 dikarenakan konstruksinya berada pada garis pantai sehingga beberapa tanggul laut dapat berfungsi juga sebagai dinding penahan tanah di bibir pantai.



**Gambar 2.7** Ruble mound Seawall (Eurotop Manual 2016)

Tanggul laut berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap energi gelombang laut. Tanggul laut ini dibangun untuk melindungi daerah pemukiman dan fasilitas umum yang berbatasan langsung dengan garis pantai seperti jalan, pelabuhan, permukiman warga dll. Bangunan *seawall* dapat berupa dinding vertikal, dinding miring, dinding lengkung, beton bertangga yang terbuat dari beton, batuan maupun susunan armor lain. (Triatmodjo, 2012) Contoh jenis dan tipe *seawall* dilihat pada Gambar 2.8 di bawah.



**Gambar 2.8** Tipe tanggul laut (Kamphuis, 2000)

Seperti halnya untuk mendesain bangunan pantai, desain *seawall* diperlukan parameter gelombang, pasang surut, dan kondisi badai. Hal tersebut dilakukan agar bangunan yang akan dibuat mampu untuk menahan kombinasi energi dari gelombang *run up* pada saat kondisi ekstrem (badai) dan pasang surut yang berada pada titik tertinggi. Pada tahap desain disesuaikan dengan kebutuhan, untuk menghalau terjadinya *overtopping* maka dibuat dengan *freeboard* yang lebih tinggi. Untuk mengurangi energi gelombang *run up* dapat dipasang blok berpori maupun penghalang pada dinding miring. Sedangkan untuk memudahkan akses dari pantai ke darat dibuat bentuk miring maupun bertangga.

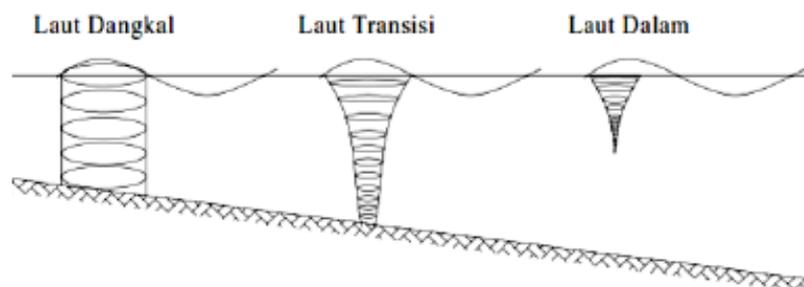
Apabila terjadi limpasan di belakang struktur harus dibuatkan saluran drainase agar tidak terjadi banjir. Dan mempengaruhi kestabilan tanah yang berada di belakang bangunan yang berakibat menurunkan kestabilan tanah dan merusak bangunan. (Triatmodjo, 2012)

### 2.2.2 Gelombang

Permukaan laut merupakan suatu bidang yang kompleks dengan pola yang selalu berubah dan tidak stabil. Gelombang merupakan fenomena alam naik dan turunnya air secara periodik dan dapat dijumpai di semua tempat di seluruh dunia.

Gelombang di laut merupakan gerakan partikel air laut pada jalurnya. Pergerakan partikel air laut disebabkan oleh gaya luar. Ada bermacam-macam gaya luar yang menyebabkan pergerakan partikel air laut seperti gaya angin di permukaan laut, gaya gempa, gaya gravitasi, ataupun karena pergerakan benda sekitarnya. Gaya luar ini akan berinteraksi dengan gaya tarik permukaan air laut dan akhirnya akan menyebabkan terjadinya gelombang.

Gelombang di laut diakibatkan adanya pembangkit yang menyalurkan energinya menjadi gelombang air. Secara umum gelombang di alam dibangkitkan oleh adanya hembusan angin di permukaan air laut secara terus menerus. Sedangkan Sverdrup dkk. (1946) mendefinisikan gelombang akibat dari pasang surut air laut secara periodik. Daerah pembangkitan gelombang akibat angin disebut *fetch*. Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut *seas*, sedangkan daerah di luar daerah pembangkitan gelombang dan tidak terjadi pembangkitan gelombang oleh angin hanya gelombang yang terpropagasi adalah *swell* (CERC vol 1, 1984). Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya yang dinamakan *orbital velocity* seperti ilustrasi Gambar 2.9 di bawah.. Di bawah permukaan, air bergerak dalam orbital yang semakin kecil. Saat mendekati dasar pantai yang dangkal lingkaran gelombang akan bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan gelombang pecah dan membawa material sehingga menyebabkan sedimentasi.



**Gambar 2.9** Gerak partikel air di laut dangkal, transisi dan laut dalam (Triatmodjo, 1999)

Gelombang memiliki ukuran yang bervariasi mulai dari riak dengan ketinggian berapa centimeter sampai gelombang badai yang dapat mencapai puluhan meter. Selain oleh angin, pembentukan gelombang juga terjadi akibat gempa bumi, aktivitas tektonik dan aktivitas vulkanik yang ada di dasar laut, gelombang yang terjadi akibat kedua hal di atas disebut *Tsunami*. Biasanya *Tsunami* yang terbentuk bersifat merusak karena energi yang dibawanya sangat besar bergantung berapa besar kekuatan gempa dan jarak terhadap dasar laut. Selain itu gelombang akibat gravitasi oleh bumi dan bulan disebut gelombang pasang-surut yang menjadi siklus tetap harian. Panjang gelombang pasang surut adalah setengah keliling bumi dengan periode 12 jam (*diurnal*) dan 24 jam (*semi diurnal*).

Sebuah gelombang memiliki beberapa bagian yaitu:

1. Puncak gelombang (*crest*) titik tertinggi suatu gelombang,
2. Lembah gelombang (*trough*) titik terendah gelombang, di antara dua puncak gelombang,
3. Panjang gelombang (*wave length*) panjang satu gelombang, jarak mendatar antar puncak gelombang atau antar lembah gelombang,
4. Tinggi gelombang (*wave height*) jarak tegak antara puncak dan lembah gelombang.
5. Periode gelombang (*wave period*) adalah waktu yang diperlukan untuk membentuk satu gelombang, satu gelombang terdiri dari satu lembah dan satu puncak.

#### **2.2.2.1 Karakteristik gelombang**

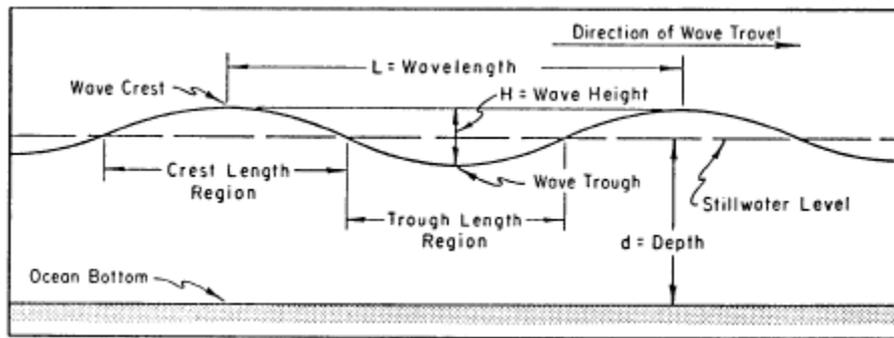
Kondisi suatu gelombang dipengaruhi oleh 3 parameter utama, yaitu panjang gelombang ( $L$ ), tinggi gelombang ( $H$ ) dan kedalaman tempat gelombang terjadi ( $d$ ). Dengan diketahuinya tiga parameter ini, nilai parameter yang lain dapat di tentukan secara teoritis.

Pada ilustrasi gelombang harmonik dua dimensi, terdapat parameter-parameter sebagai berikut:

- $L$  = Panjang gelombang
- $A$  = Amplitudo gelombang
- $H$  = Tinggi gelombang



gelombangnya. Karena diasumsikan tidak ada energi dari gelombang yang terdispersi ke medan tempat gelombang menjalar dan tidak terjadi disipasi gelombang ke dalam bentuk lain. Sehingga dari awal pembentukan gelombang akan memiliki bentuk dan kecepatan yang konstan (*progressive*) serta jarak antar dua puncak gelombang akan selalu sama (*equidistant*).



**Gambar 2.10** Gelombang sinusoidal (CERC vol. I, 1984)

Profil gelombang memiliki bentuk yang *sinusoidal* pada Gambar 2.10 di atas dapat dituliskan persamaannya sebagai berikut:

$$(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (2,7)$$

Untuk pencatatan tinggi gelombang *regular* dapat dilakukan pendekatan dengan persamaan nilai rata-ratanya sebagai berikut:

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i \quad (2,8)$$

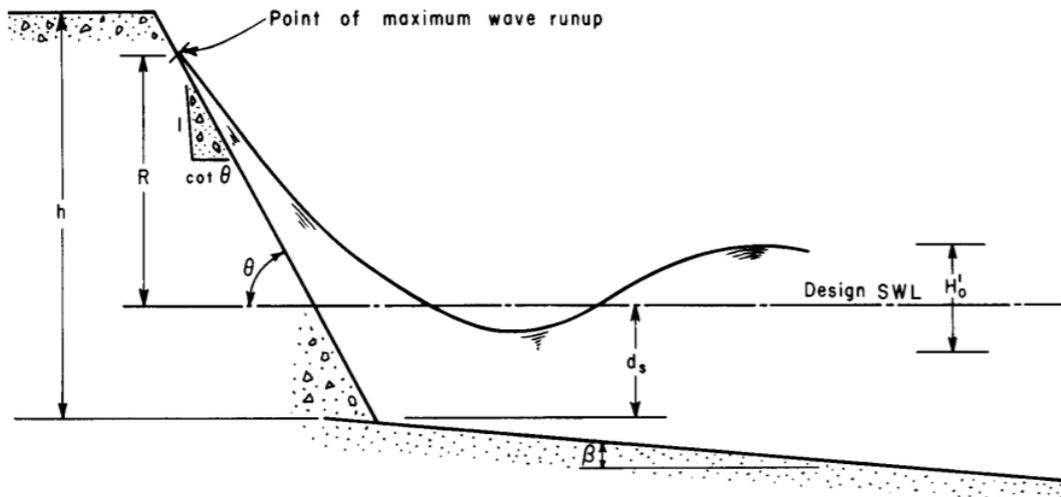
$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i \quad (2,9)$$

Dimana N adalah jumlah gelombang yang terjadi.

### 2.3 Run Up

Wilayah bibir pantai memiliki dua bagian, yaitu bagian yang tertutup oleh air dan bagian yang terkena rayapan ombak seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11. *Run up* adalah jarak vertikal maksimum yang terkena rayapan gelombang yang mengenai pantai atau struktur pantai (Sorensen, 1997) pada Dentale dkk. (2014). 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*

(CERC vol 2, 1984). Karena dengan permukaan *slope* yang kasar akan terjadi disipasi energi gelombang pada permukaan *slope*.



**Gambar 2.11** Gelombang *run up* (CERC vol. II, 1984)

Dikarenakan banyaknya parameter yang mempengaruhi terjadinya gelombang *run up* maka penelitian banyak dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter berkaitan dan dengan beberapa asumsi. Seperti yang dilakukan Hall dan Wats (1953) dengan analisa *run up* pada *impermeable slope* akibat gelombang soliter; Seville (1956) investigasi *run up* akibat gelombang periodik; Hunt (1959) melakukan analisa lab dengan pendekatan empiris hubungan *run up* R, kemiringan struktur  $\alpha$ , tinggi gelombang signifikan  $H_0$  dan Panjang gelombang  $L_0$ . (EuroTop, 2010)

$$\frac{H}{H_0} = K \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H_0/L_0}} \quad (2,10)$$

Dentale (2014) 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.

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

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2,12)$$

Dimana  $\alpha$  adalah sudut kemiringan struktur,  $H_0$  adalah tinggi gelombang pada toe struktur, dan  $L$  adalah panjang gelombang. Kejadian riil *run up* dapat dipengaruhi adanya gelombang refleksi dari struktur yang berlawanan arah dengan gelombang datang.

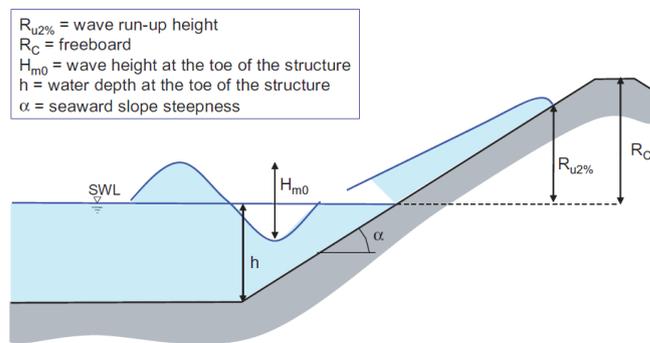
Di berbagai penelitian maupun desain struktur, elevasi *run up* yang digunakan sebagai acuan adalah hasil dari pengolahan data statistik gelombang *run up* yang terjadi. *Run up* diukur dari tinggi permukaan air tenang (SWL), gelombang yang merayap pada struktur di atas datum merupakan *run up*, sedangkan dibawah datum adalah *run down*. Analisa statistik *run up* untuk mengetahui elevasi tertinggi menurut Dentale dkk, (2014) adalah sebagai berikut:

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

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

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

Ilustrasi *Ru2%* dilihat pada Gambar 2.12



**Gambar 2.12** Tinggi *run up* 2% (Schuttrumpf dkk, 2009)

Berbagai penelitian hanya menggunakan  $Ru2\%$  untuk dianalisis dikarenakan asumsi 2% rayapan gelombang efektif dapat mencapai *run up crest* ( $R_c$ ). Penelitian dekade terakhir kebanyakan penelitian yang dilakukan fokus pada tinggi gelombang yang mengakibatkan *overtopping* dari pada analisis *run up*. (Schuttrumpf, 2009)

Perhitungan *run up* secara teoritis terdapat beberapa rumus, namun formulasi tersebut hanyalah prediksi dari hasil percobaan uji model fisik yang pernah dilakukan. Perhitungan *overtopping* lebih banyak diformulasikan daripada untuk perhitungan *run up* sendiri. Padahal *run up* dan *overtopping* adalah suatu hal yang berkaitan (Eurotop, 2016). Persamaan *run up* pada Eurotop 2016 adalah:

$$\frac{R_{uz\%}}{H_{m0}} = 1,65 \cdot \gamma b \cdot \gamma f \cdot \gamma \beta \cdot \xi_0 \quad (2,13)$$

Dengan maksimum *run up* adalah:

$$\frac{R_{uz\%}}{H_{m0}} = 1 \cdot \gamma b \cdot \gamma f \cdot \gamma \beta \cdot \left(4 - \frac{1,5}{\sqrt{\gamma b \cdot \xi_0}}\right) \quad (2,14)$$

Dimana nilai parameternya adalah:

$H_{m0}$  = Tinggi gelombang laut dalam. [m]

$\xi_0$  = *Irribaren number* [-]

$\gamma b$  = Faktor pengurangan akibat tanggul. [-]

$\gamma f$  = Faktor kekasaran dan permeabilitas struktur. [-]

$\gamma \beta$  = Faktor sudut gelombang. [-]

## 2.4 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 (EuroTop, 2016). Hal tersebut akan membanjiri dan merusak bagian belakang struktur yang terlindungi (Allsop dkk, 1985). *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*. Ilustrasi gelombang *overtopping* dilihat pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.13** *Overtopping*: model fisik flume (atas); tanggul pantai (bawah) (Eurotop, 2016)

Pada kondisi badai, gelombang laut akan lebih tinggi dari keadaan normal dan angin bertiup dengan kecepatan lebih tinggi sehingga gelombang *overtopping* menjadi lebih tinggi dan volume limpasan menjadi besar. Hal tersebut sangat berbahaya bagi daerah yang digunakan untuk tempat aktivitas masyarakat. Sehingga dalam desain suatu bangunan dapat untuk menahan gelombang *overtopping* dalam kondisi badai. Perhitungan gelombang *overtopping* dapat dilakukan dengan pendekatan empiris untuk menghitung debit limpasan dan perhitungan volume (Van der Meer, 2011). Panduan dalam melakukan perhitungan *overtopping* pada kondisi riil terdapat pada *EuroTop Overtopping Manual*.

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

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} \quad (2,15)$$

Dimana  $Q_{ov}$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] 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. Klappers, 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.

$$Q = \frac{q}{\sqrt{gH^3}} = \text{Parameter } \textit{overtopping} \text{ [-]} \quad (2,16)$$

$$R = \frac{R_c}{H} = \text{Parameter } \textit{freeboard} \text{ [-]} \quad (2,17)$$

Perhitungan secara teoritis untuk menghitung *overtopping* yang terdapat pada Eurotop (2016) adalah:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = a \exp \left[ - \left( b \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^c \right] \quad (2,18)$$

Nilai koefisien tak berdimensi  $a, b, c$  merupakan hasil perbandingan dari hasil uji model fisik dengan perhitungan analitis. Dari persamaan 2,16 secara umum rumus perhitungan analitis *overtopping* yaitu:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma b \cdot \xi_0 \cdot \exp \left[ -4,75 \frac{R_c}{\xi_0 \cdot H_{m0} \cdot \gamma b \cdot \gamma f \cdot \gamma \beta \cdot \gamma v} \right] \quad (2,19)$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,2 \cdot \exp \left[ -2,6 \frac{Rc}{H_{m0}\gamma f \cdot \gamma \beta \cdot \gamma v} \right] \quad (2,20)$$

Persamaan 2,17 adalah untuk gelombang *overtopping* yang terpengaruh oleh gelombang pecah, dan 2,18 *overtopping* akibat gelombang tidak pecah. Persamaan 2,17 dan 2,18 sudah tidak valid untuk perhitungan dengan syarat  $\frac{Rc}{H_{m0}} < 0,5$  sehingga dilakukan penyempurnaan pada Eurotop 2010 menjadi:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0,023}{\sqrt{\tan \alpha}} \cdot \gamma b \cdot \xi_0 \cdot \exp \left[ - \left( 2,7 \frac{Rc}{\xi_0 \cdot H_{m0} \cdot \gamma b \cdot \gamma f \cdot \gamma \beta \cdot \gamma v} \right)^{1,3} \right] \quad (2,21)$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0,09 \cdot \exp \left[ - \left( 1,5 \frac{Rc}{H_{m0}\gamma f \cdot \gamma \beta \cdot \gamma v} \right)^{1,3} \right] \quad (2,22)$$

Dimana

$H_{m0}$  = Tinggi gelombang laut dalam. [m]

$\tan \alpha$  = Slope struktur. [-]

$\xi_0$  = *Iribaren number* [-]

$\gamma b$  = Faktor pengurangan akibat tanggul. [-]

$\gamma f$  = Faktor kekasaran dan permeabilitas struktur. [-]

$\gamma \beta$  = Faktor sudut gelombang. [-]

$\gamma v$  = Faktor dinding vertikal di atas struktur. [-]

$Rc$  = *freeboard*. [m]

Koefisien yang digunakan dalam perhitungan secara teoritis dapat berbeda bergantung pada jenis struktur yang dianalisa. Perbedaan nilai koefisien tak berdimensi tersebut karena perbedaan karakteristik dan kelebihan suatu struktur dalam menahan *overtopping*. Maka dari itu perlu dilakukan uji model fisik untuk mengetahui koefisien dan didapatkan formulasi persamaan yang valid untuk menghitung *overtopping* pada suatu struktur.

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 (Losada dkk. 2007). Untuk 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. Hirt dan Nichols (1981) dalam melakukan penelitian dengan metode *Reynolds Average Navier-Stokes (RANS/VOF)*; Liu dkk. (1999); Hsu dkk. (2002) dan Losada dkk. (2007) dengan melakukan metode *Cornell Breaking Wave and Structures (COBRAS)* untuk memodelkan 2D dan 3D *overtopping*.

## 2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Pada dekade terakhir *Computational 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 (1981) menjadi *Volume of Fluid (VOF)*. Pengaplikasian CFD dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Flow-3D, ANSYS Fluent, CFX*, dll.

### 2.5.1 VOF

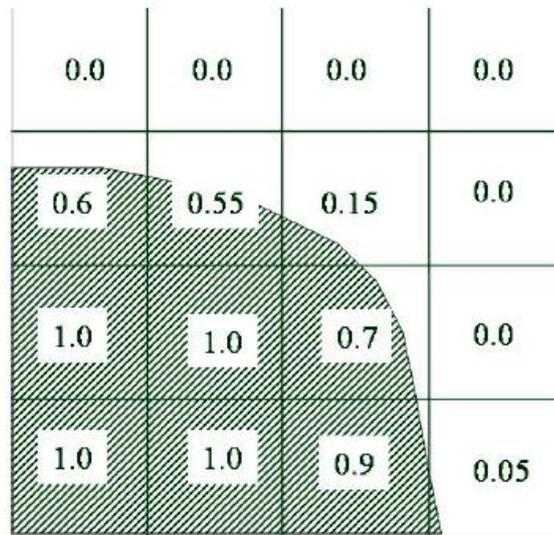
*Volume of Fluid* adalah pemodelan permukaan bebas fluida dengan metode Eulerian yang dibatasi oleh *boundary condition* berupa *mesh*. Formulasi *Eulerian* digunakan karena mempertimbangkan batasan yang tidak dapat dilakukan oleh metode *Langrang* (Hirt dan Nichols, 1981). Pada metode ini mempertimbangkan 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:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} = 0 \quad (2,23)$$

Hirt dan Nichols (1981) menjelaskan fungsi *mesh* selain mendefinisikan *boundary condition*, namun juga penanda letak partikel fluida. Arah normal adalah dimana nilai F berubah mengikuti fluida karena F merupakan *step function* yang dapat diartikan juga volume fluida pada sel. Persamaan turunan nilai F digunakan untuk menentukan letak fluida. Ketika arah normal dan nilai F berada dalam *boundary cell* maka dapat digunakan untuk menentukan *boundary condition*. Sebuah sel akan didefinisikan dengan nilai sama dengan (0,0 ; 1,0), sel didefinisikan nol apabila tidak terisi fluida atau kosong, sedangkan sel akan

didefinisikan satu apabila sel terisi penuh oleh fluida. Sedangkan kondisi dimana fluida dan udara berada dalam sel, dapat dilihat pada Gambar 2.14.

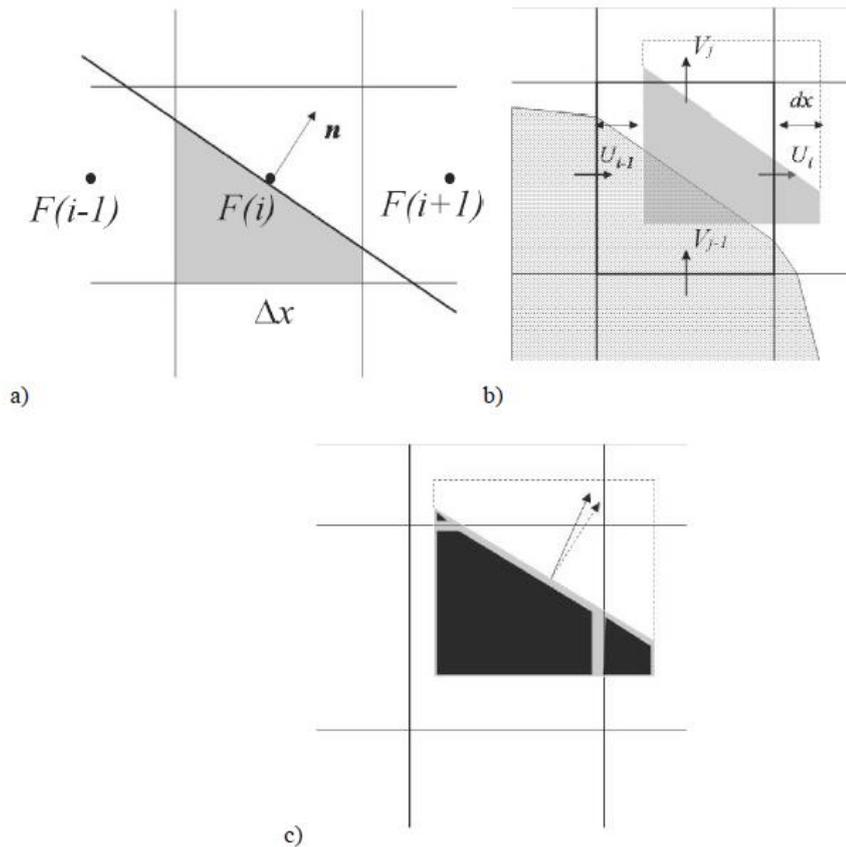


**Gambar 2.14** Nilai fungsi VOF pada permukaan bebas (Flow-3D manual)

Metode perpindahan VOF terdapat tiga tahap:

- Asumsi posisi fluida dengan permukaan sel yang sebidang.
- Perpindahan volume fluida dengan komponen percepatan awal.
- Mendefinisikan kembali nilai fluida pada masing-masing sel menggunakan prosedur *overlay*.

Perpindahan volume fluida dapat terjadi pada tiap sumbu kartesian (x,y,z) searah dengan percepatan fluida, dengan syarat terdapat sel yang sebidang. Sel yang mengalirkan fluida dinamakan sel donor dan penerima volume disebut sel akseptor. Apabila sel donor tidak memiliki sel lain yang sebidang maka fluida diasumsikan terdistribusi keluar dari sel (*overlapping*) dan algoritma VOF secara otomatis melakukan penambahan volume yang disebut konservasi volume. Volume fluida yang keluar dari sel donor memiliki besaran yang sama dengan volume fluida yang masuk ke sel aseptor. Gambar 2.15 menjelaskan skema perpindahan fluida pada *mesh*.



**Gambar 2.15** Tahap metode perpindahan fluida metode *semi-Lagrangian*: a) rekonstruksi bidang sel sebidang dnegan arah normal  $n$ ; b) perpindahan volume; c) masuknya perpindahan kedalam grid baru.

Solusi algoritma VOF yang digunakan untuk menentukan variabel *mesh* memiliki keakuratan dibandingkan dengan metode elemen hingga lainnya. Persamaan fluida yang digunakan oleh Hirt dan Nichols adalah persamaan Navier Stokes, yaitu:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_y + f_y \quad (2,24)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} \right] = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_y + f_y \quad (2,25)$$

Dimana:

- $u$  dan  $v$  : kecepatan fluida pada sumbu  $(x,y)$
- $A_x$  dan  $A_y$  : daerah terbuka fraksional pada aliran dalam sumbu  $(x,y)$
- $V_f$  : volume terbuka fraksional pada aliran terbuka
- $t$  : waktu
- $p$  : tekanan

- $\rho$  : densitas fluida  
 $f_x$  dan  $f_y$  : viskositas kinematic fluida  
 $g_x$  dan  $g_y$  : percepatan gravitasi sumbu (x,y)

karena fluida adalah air, dan air bersifat inkompresibel maka harus memenuhi persamaan:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2,26)$$

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

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial uAx}{\partial x} + \frac{\partial vAy}{\partial y} = 0 \quad (2,27)$$

### 2.5.2 Flow-3D

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan CFD menggunakan perangkat lunak *Flow-3D*. *Flow-3D* adalah perangkat lunak CFD yang dikembangkan oleh *FlowScience* dan 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  $k-\epsilon$ , RNG atau LES. Aliran turbulen fluida yang digunakan dalam metode RANS dan digunakan dalam penelitian ini adalah RNG (*Re-Normalization group*) (Dentale, 2015).

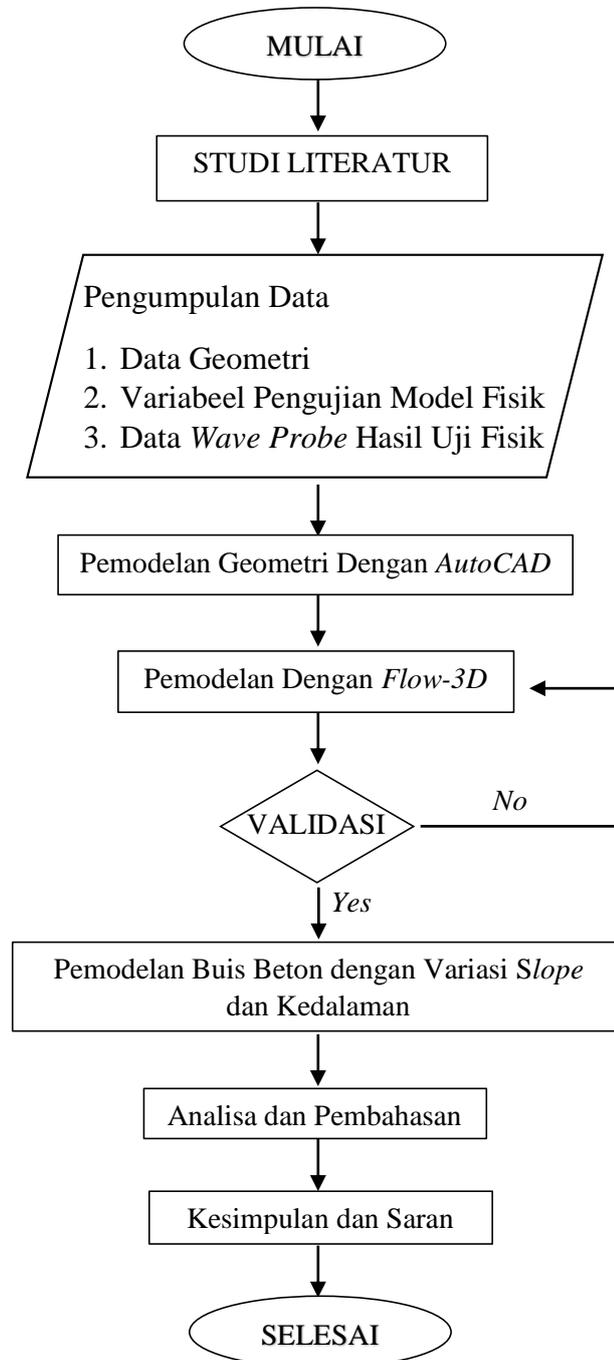
Pada penelitian ini menggunakan analisa 3D untuk pemodelan perairan laut dangkal untuk mengetahui respons gelombang terhadap struktur *seawall* buis beton. *Output* yang diharapkan pada penelitian ini adalah elevasi gelombang, tinggi gelombang *run up* dan *overtopping*.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram alir

Langkah-langkah pengerjaan penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Diagram alir menjelaskan runtutan rencana kegiatan dari mulai hingga selesai.



Gambar 3.1 Diagram alir

### 3.2 Penjelasan Diagram Alir

#### 3.2.1 Studi literatur

Mengumpulkan referensi mengenai penelitian tentang *run up* dan *overtopping* yang sudah pernah dilakukan dari jurnal, buku, tesis, dan penelitian sebagai acuan dalam melakukan kegiatan penelitian dan penyusunan laporan.

#### 3.2.2 Pengumpulan Data

Data yang diambil adalah data yang digunakan untuk melakukan uji model fisik di Balai Pantai. Data tersebut antara lain

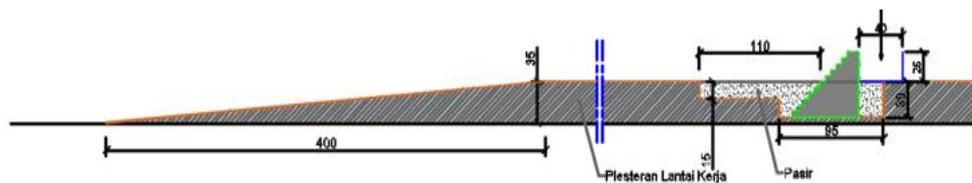
a. Data geometri *flume*

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

**Tabel 3.1** Data flume Balai Pantai

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

Sumber: Balai Pantai, 2018



**Gambar 3.2** Geometri pengujian model fisik (Balai Pantai, 2018)

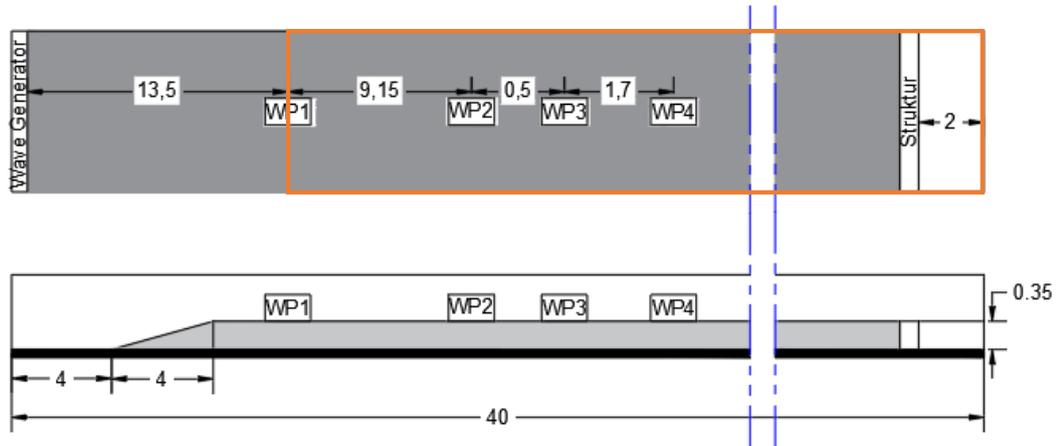
Geometri flume pada Gambar 3.2 terdapat bak pasir yang digunakan untuk Analisa *scouring* pada *toe* struktur *seawall*. Peralatan lain yang digunakan dalam pengujian model fisik adalah *wave probe* yang berfungsi sebagai alat pencatat elevasi gelombang. Pada pengujian fisik terdapat 4 *wave probe*, dengan perletakan yang disajikan dalam tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Data peletakan *wave probe*

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

Sumber: Balai Pantai, 2018

Perletakkan *wave probe* untuk pengujian model fisik berada pada titik tengah *flume* dengan jarak antar *wave probe* yang sudah ditampilkan pada Tabel 3.2. Untuk lebih jelas, pada Gambar 3.3 adalah perletakan *wave probe* pada uji model fisik Balai Pantai.



**Gambar 3.3** Perletakan *wave probe* dan ukuran geometri flume (tampak atas dan samping)

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

b. Variabel pengujian model fisik

Pada uji model fisik dilakukan beberapa variabel, yaitu periode gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman *flume*. Variabel yang digunakan untuk pengujian model fisik yaitu:

**Tabel 3.3** Hasil rekaman *wave probe* hasil pengujian model fisik buis beton Balai Pantai

M1	Wave Generator		WP1		WP2		WP3		WP4	
	d	H	T	h	T	h	T	h	T	h
0.45	0.15	2	1.76	0.18	1.7	0.14	1.7	0.14	1.65	0.14
		2.5	1.8	0.112	1.76	0.1	1.75	0.1	1.76	0.1
		3	2.28	0.11	1.81	0.082	1.46	0.073	2.5	0.12
	0.1	2	1.6	0.096	1.7	0.094	1.68	0.09	1.65	0.08
		2.5	2.05	0.11	1.7	0.08	1.7	0.08	1.86	0.086
		3	2.12	0.11	1.8	0.085	1.69	0.07	2.28	0.099
0.55	0.15	2	1.557	0.113	1.58	0.099	1.57	0.1	1.7	0.1
		2.5	1.93	0.164	2.18	0.187	1.79	0.138	1.86	0.15
		3	1.99	0.12	2.09	0.13	2.09	0.124	2.06	0.123
	0.1	2	1.8	0.14	1.7	0.124	1.83	0.134	1.83	0.132
		2.5	1.887	0.125	2.22	0.17	1.84	0.124	2.024	0.145
		3	1.89	0.082	1.68	0.067	2.08	0.116	1.7	0.092

Sumber: Balai Pantai, 2018

Model yang digunakan sebagai parameter pengujian model numerik adalah model M1. Data hasil uji model fisik berupa rekaman elevasi gelombang pada model M1 yang di berikan warna merah pada Tabel 3.3. Model M1 dilakukan duplikasi menjadi model B1 pada uji numerik dan dilakukan simulasi. Hasil simulasi numerik kemudian dibandingkan nilai tinggi gelombang rata-ratanya untuk validasi. Tabel 3.3 di atas (d) adalah kedalaman, (H) adalah tinggi gelombang, dan (T) adalah periode.

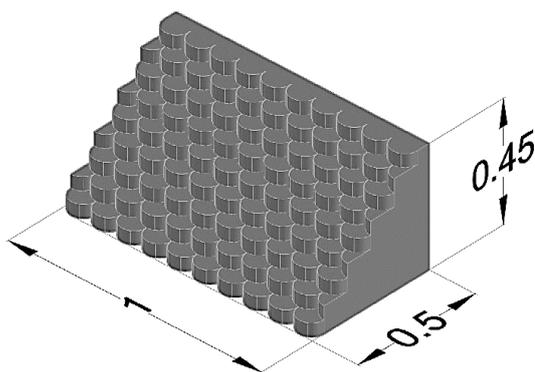
c. Data rekaman *wave probe* hasil pengujian model fisik

Data *wave probe* berupa rekaman bentuk grafik elevasi atau tinggi muka air terhadap waktu pengujian. Tiap *wave probe* memiliki grafik elevasi masing-masing dengan pencatatan waktu yang sama.

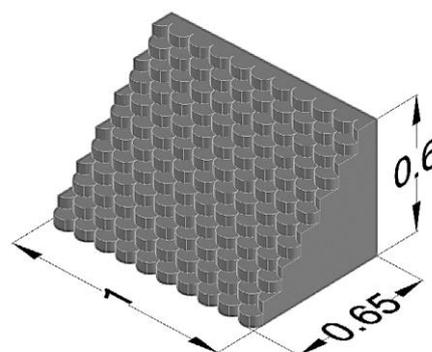
### 3.2.3 Pemodelan geometri dengan *AutoCAD 3D*

Pemodelan geometri *flume* dilakukan dengan *meshing Flow-3D* dengan mengatur *boundary condition* pada tab *meshing & geometry*. Pemodelan struktur 3D untuk diinputkan pada *Flow3D* menggunakan bantuan *AutoCAD 3D*.

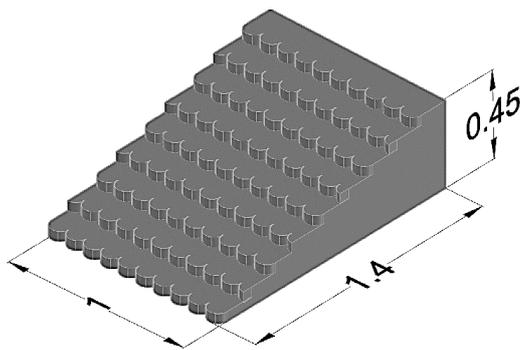
Model struktur yang divariasikan memiliki ukuran dimensi buis yang sama, yaitu tinggi 0.05 m dan diameter 0.1 m. Hanya *slope* yang dibuat berbeda dengan mengatur *offset*/peletakan buis beton secara vertikal. Dapat dilihat pada Gambar 3.4 hingga Gambar 3.9 di bawah ini.



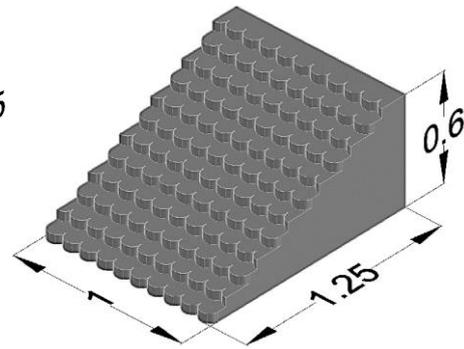
Gambar 3.4 Model B1



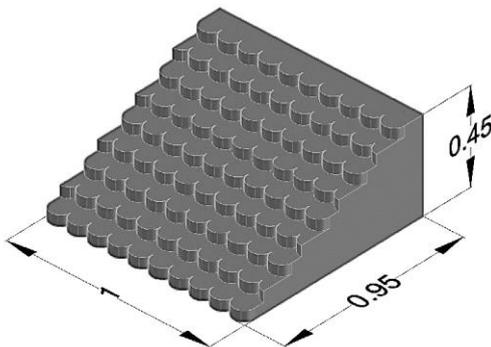
Gambar 3.5 Model B1.60



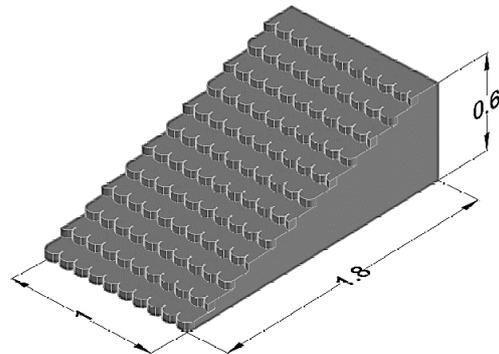
Gambar 3.6 Model B2



Gambar 3.7 Model B2.60



Gambar 3.8 Model B3



Gambar 3.9 Model B3.60

Tabel 3.4 Data model B1

Tinggi buis	= 0,05 m
Diameter	= 0,1 m
Offset	= 0,5 D
Tinggi struktur	= 0,45 m
Lebar struktur	= 1 m
Panjang struktur	= 0,5 m
tan $\alpha$	= 1

Tabel 3.6 Data model B1.60

Tinggi buis	= 0,05 m
Diameter	= 0,1 m
Offset	= 2 D
Tinggi total	= 0,45 m
Lebar	= 1 m
Panjang Struktur	= 1,4 m
tan $\alpha$	= 0,33

Tabel 3.5 Data model B2

Tinggi buis	= 0,05 m
Diameter	= 0,1 m
Offset	= 1 D
Tinggi struktur	= 0,45 m
Lebar struktur	= 1 m
Panjang Struktur	= 0,95 m
tan $\alpha$	= 0,5

Tabel 3.7 Data model B2.60

Tinggi buis	= 0,05 m
Diameter	= 0,1 m
Offset	= 0,5 D
Tinggi struktur	= 0,6 m
Lebar struktur	= 1 m
Panjang Struktur	= 0,65 m
tan $\alpha$	= 1

**Tabel 3.8** Data model B3

Tinggi buis	= 0,05 m
Diameter	= 0,1 m
<i>Offset</i>	= 1 D
Tinggi struktur	= 0,6 m
Lebar struktur	= 1 m
Panjang Struktur	= 1,25 m
tan $\alpha$	= 0,5

**Tabel 3.9** Data model B3.60

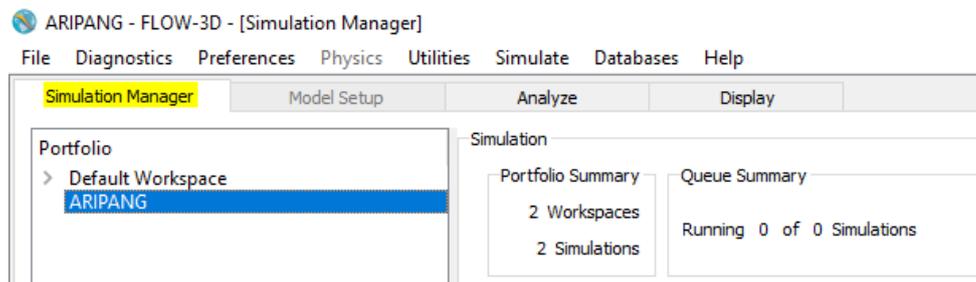
Tinggi buis	= 0,05 m
Diameter	= 0,1 m
<i>Offset</i>	= 1,5 D
Tinggi struktur	= 0,6 m
Lebar struktur	= 1 m
Panjang Struktur	= 1,8 m
tan $\alpha$	= 0,3

### 3.2.4 Pemodelan dengan *Flow-3D*

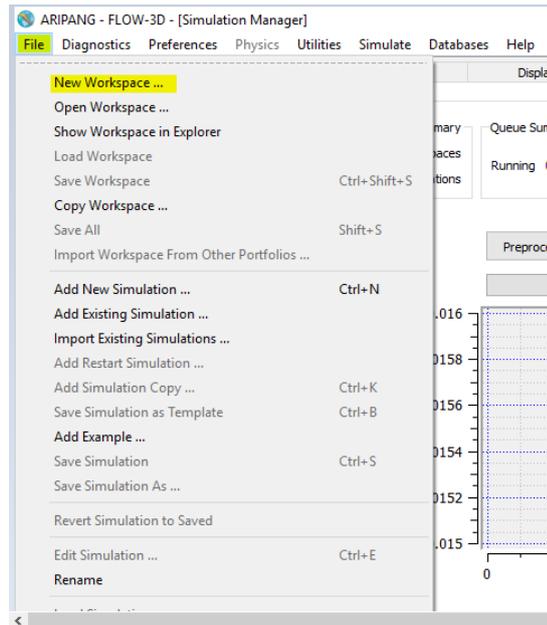
Pemodelan *Flow-3D* digunakan untuk mensimulasikan model numerik *Run up* dan *Overtopping* pada struktur *seawall* Buis Beton berdasarkan uji model fisik yang dilakukan oleh Balitbang Balai Pantai. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam pengoperasian *Flow-3D* pada penelitian ini.

#### 1. Pembuatan *Workspace*

Pada tampilan awal *Flow-3D* akan masuk pada tab *Simulation Manager* seperti Gambar 3.10 di bawah, yang berfungsi untuk memilih *workspace* dan simulasi yang aktif, dan menunjukkan status atau informasi pada simulasi yang sedang *running*.

**Gambar 3.10** Tab *simulation manager*

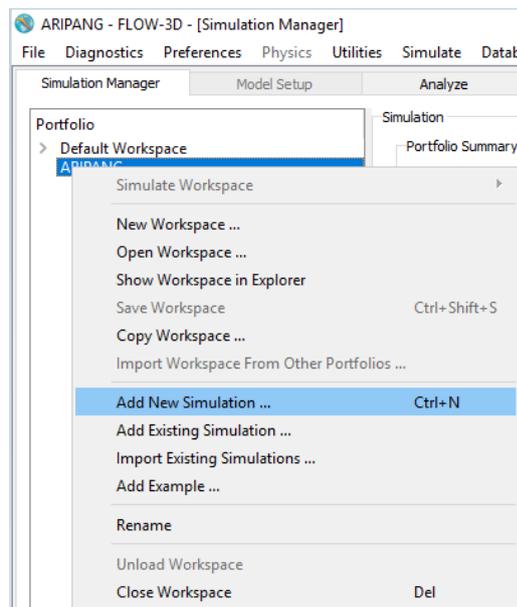
Selanjutnya pilih menu *file* pada *toolbar* kemudian pilih *new workspace* dan pilih direktori file *workspace* seperti Gambar 3.11 di bawah. *Workspace* merupakan sebuah direktori folder yang di dalamnya yang berisi *file* simulasi dan hasil simulasi. Dalam satu *workspace* dapat berisi lebih dari satu *file* simulasi.



**Gambar 3.11** *Creating new workspace*

## 2. Membuat Simulasi

Setelah *workspace* selanjutnya akan muncul portofolio pada sebelah kiri tampilan *Flow-3D*. Klik kanan pada *workspace* kemudian akan muncul *popup* seperti pada Gambar 3.12. selanjutnya pilih *Add New Simulation*. Dan berikan nama untuk simulasi yang dibuat.



**Gambar 3.12** *Membuat simulasi baru*

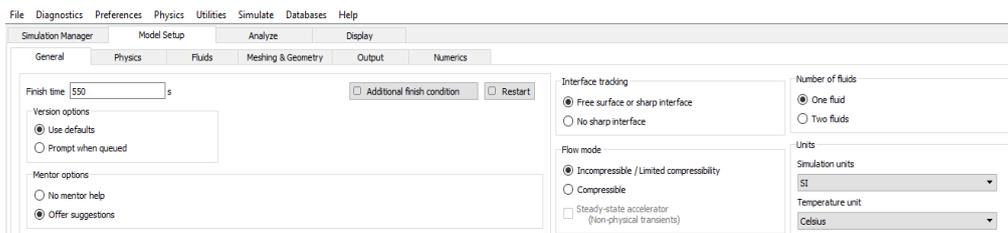
## 3. Pengaturan Menu *Model Setup*

Setelah simulasi dibuat maka tab *Model Setup* akan aktif. Menu ini berisi parameter pengujian yang akan digunakan seperti pada Gambar 3.13.



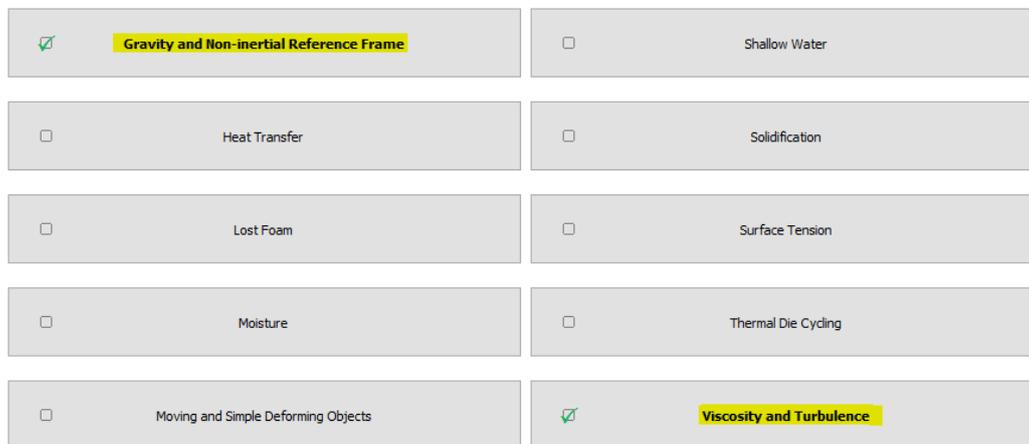
Gambar 3.13 Menu tab *model setup*

Pada tab *General* masukkan waktu yang digunakan untuk melakukan simulasi, yaitu 500 detik dengan asumsi data diambil mulai dari detik ke 50. Sehingga waktu total yang digunakan adalah 550 detik. Untuk menu lainnya tidak diubah atau *default* seperti pada Gambar 3.14.



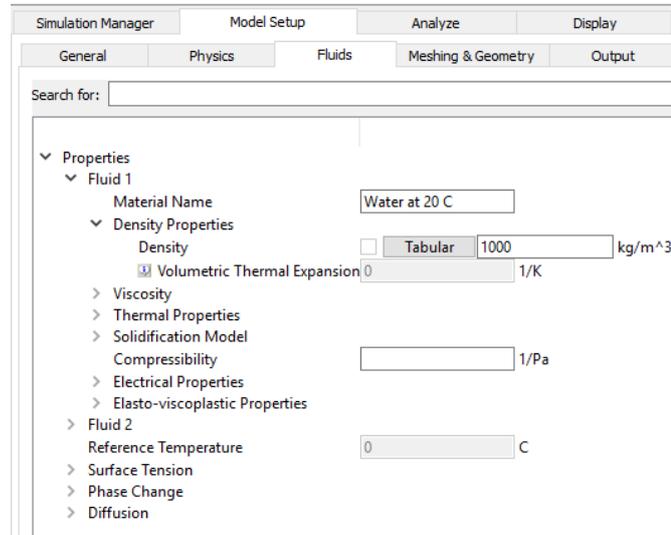
Gambar 3.14 Tab *general*

Pada tab *Physics* akan muncul pilihan mengenai parameter yang dapat dilakukan analisa oleh *Flow-3D* seperti pada Gambar 3.15. Pada penelitian kali ini terdapat dua parameter yang aktif, yaitu *Gravity and Non-inertial Reference Frame* untuk memberikan pengaruh nilai gravitasi pada fluida yaitu sebesar -9,81 pada sumbu *Z*. Dan *Viscosity and Turbulence* untuk mengaktifkan parameter jenis aliran fluida *Viscous Flow* dan *turbulen* fluida menggunakan *Two-equation K-ε Model*.



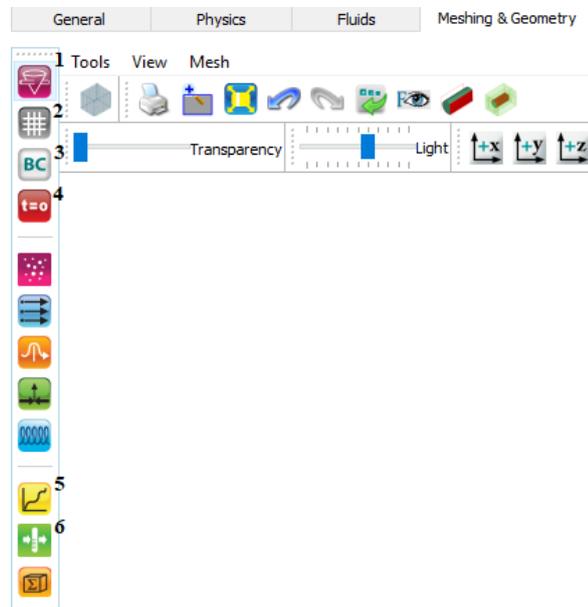
Gambar 3.15 Tab *physics*

Pada tab *Fluids properties* digunakan untuk menentukan jenis dan karakteristik fluida yang digunakan dalam eksperimen. Dalam eksperimen ini fluida yang digunakan adalah air tawar dengan nilai densitas  $1000 \text{ kg/m}^3$  tab ditunjukkan Gambar 3.16 di bawah.



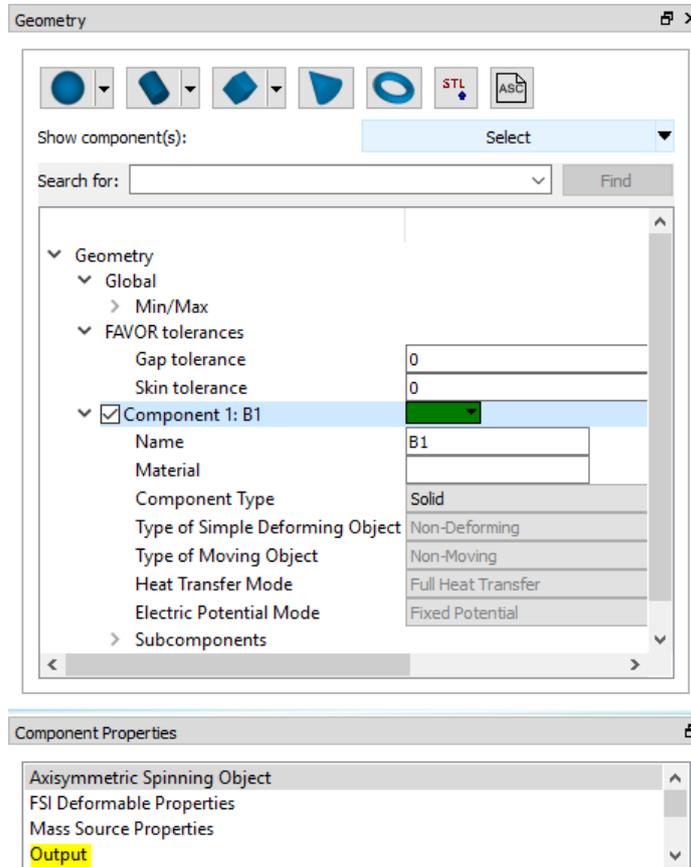
**Gambar 3.16** *Fluid properties*

Setelah memasukkan parameter yang digunakan untuk pemodelan gelombang *run up* dan *overtopping* pada *flume*, masuk pada tab *Meshing & Geometry*. Pada tab ini berisi beberapa fungsi *window* yang digunakan untuk *input* data dan parameter simulasi pengujian *Run up* dan *Overtopping* struktur Buis Beton. Dapat dilihat pada Gambar 3.17.



**Gambar 3.17** Window pada tab *meshing & geometry*

Tab 1 adalah *Geometry window* yang berfungsi untuk *input* geometri berupa struktur ke dalam pemodelan, struktur yang diinputkan telah dibuat sebelumnya menggunakan *Autocad 3D*, dengan ekstensi file *'.stl'*. Gambar 3.18 di bawah ini adalah *Geometry window* dengan struktur B1. *Component type* adalah solid.

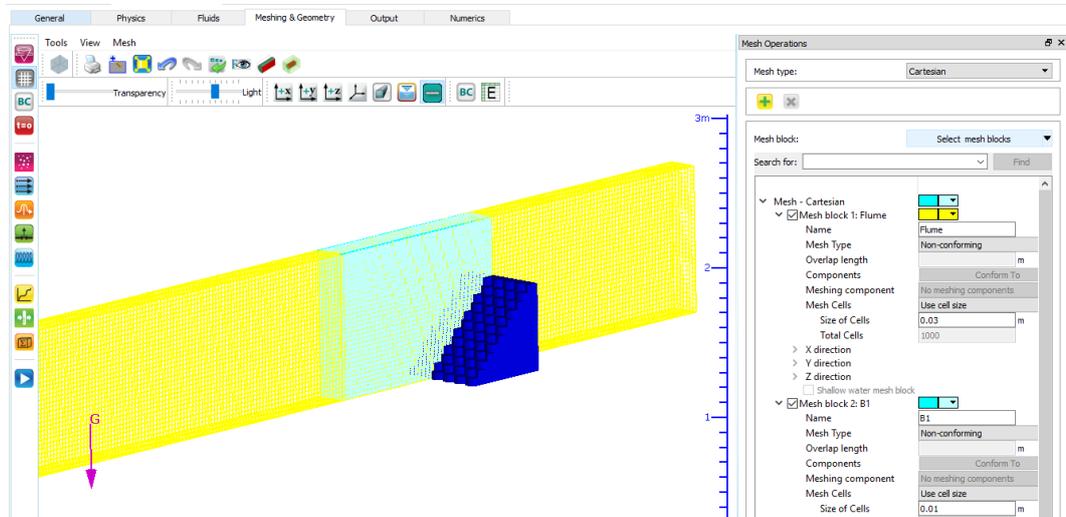


**Gambar 3.18** *Geometru window*

Pada *Geometry window* juga dilakukan pengaktifan fitur *wetted area* pada struktur. Pada *component properties* pilih *output* kemudian aktifkan *component wetted area*.

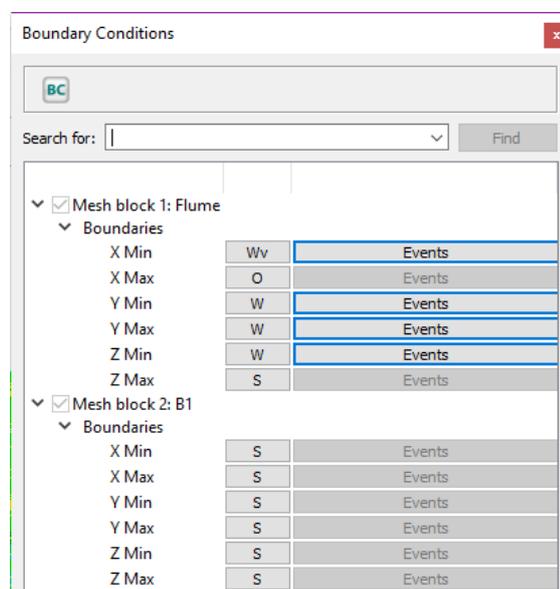
Tab 2 adalah *Mesh window* yang digunakan untuk menentukan *mesh block* sebagai daerah pengamatan gelombang pada pemodelan ini. Semakin rapat ukuran *mesh* maka semakin detail pengamatan yang dilakukan oleh *Flow-3D* namun berdampak pada ukuran *file outpot* yang akan semakin besar dan simulasi berjalan 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 3.18. *mesh flume* berwarna kuning. Sedangkan *mesh* struktur menggunakan metode *Nested* yaitu disisipkan ke dalam *mesh flume*. Ukuran *mesh* struktur yaitu 0,01. Panjang sumbu X = 2 m, lebar sumbu Y = 0,2 m dan tinggi sumbu Z = 1 m. dilihat pada Gambar 3.19. *mesh* struktur berwarna Biru.

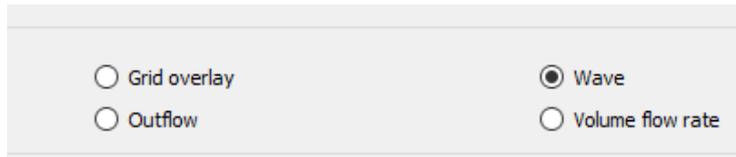


Gambar 3.19 Mesh window

Tab 3 adalah *Boundary Condition window*, berfungsi untuk menentukan batas kondisi dalam melakukan simulasi ini. Dalam tiap *mesh block* terdapat enam *boundaries condition*, yaitu X min X max, Y min Y max dan Z min Z max seperti terlihat pada Gambar 3.20. Masing-masing *boundary condition* terdapat *boundary type* yang dapat dilihat pada Gambar 3.21.

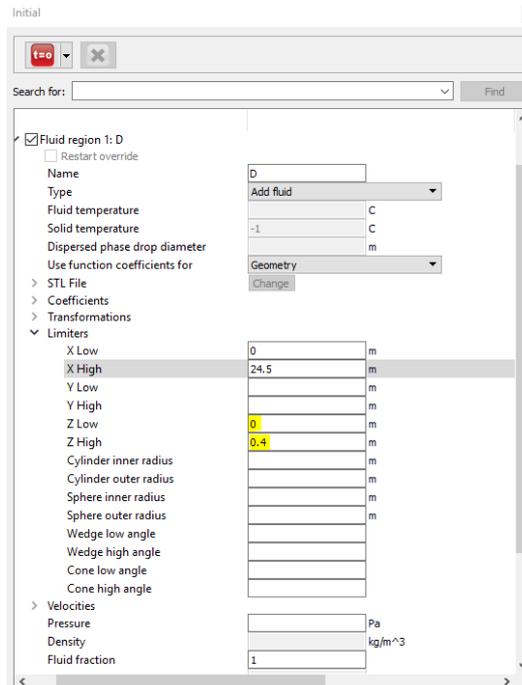


Gambar 3.20 Boundary condition window



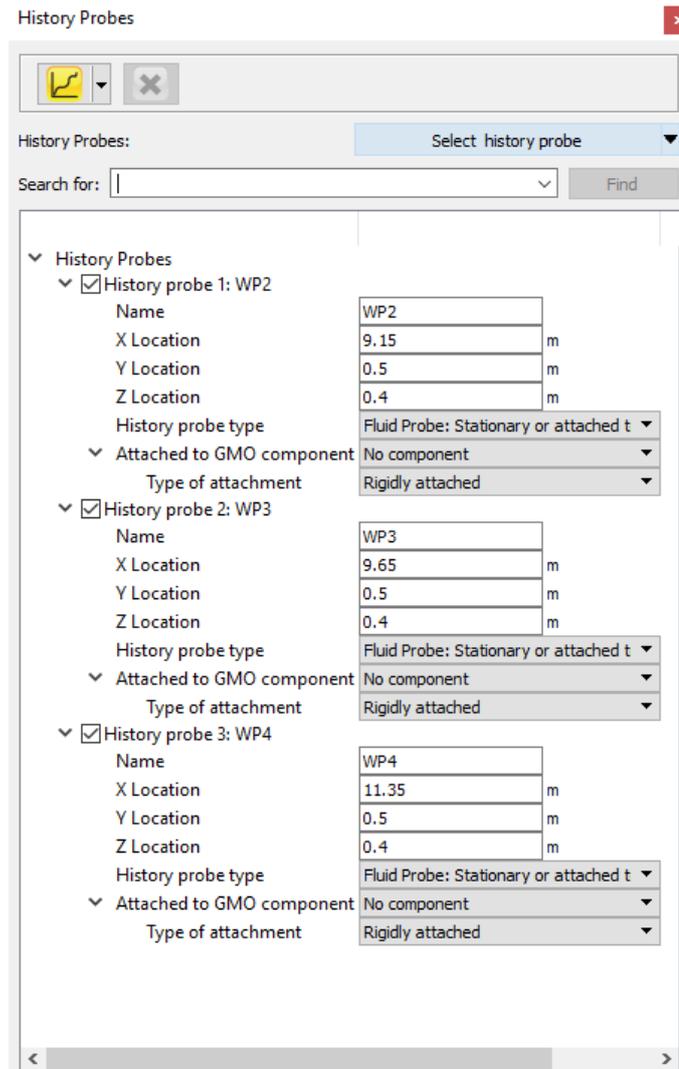
Gambar 3.21 Boundary type

Tab 4 adalah *Initial window* untuk menentukan kondisi awal komponen yang digunakan untuk simulasi yang berada dalam domain *mesh*. Dalam simulasi ini digunakan untuk menentukan kondisi awal fluida yaitu air. Simulasi ini menggunakan *fluid region* karena tidak keseluruhan kolam diisi dengan air, pengaturan *initial window* dilihat seperti Gambar 3.22 di bawah dimana kedalaman air ditentukan 0,4 m sedangkan lainnya dibiarkan *default*.



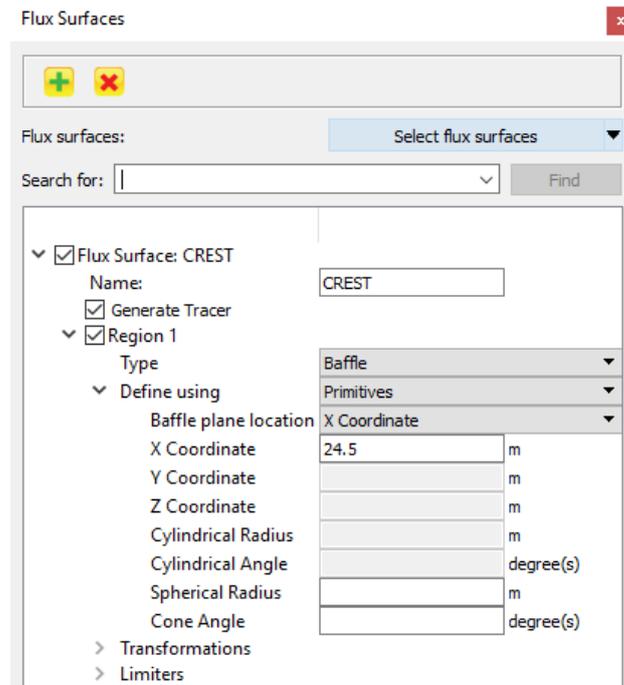
Gambar 3.22 Initial window

Tab 5 adalah *History Probes window* digunakan untuk menentukan letak *wave probe*. *Wave probe* berfungsi untuk mengukur elevasi gelombang terhadap waktu. Pada pemodelan ini digunakan tiga *wave probes*. Pada peletakan *wave probe* menggunakan titik koordinat yang berada di flume. Peletakan *wave probe* harus berada di permukaan air atau nilai *Z wave probe* sama dengan nilai *Z* untuk *initial condition*, sehingga pencatatan data dimulai pada keadaan *Mean Water Level*. Tab *history probes* dapat dilihat pada Gambar 3.23.



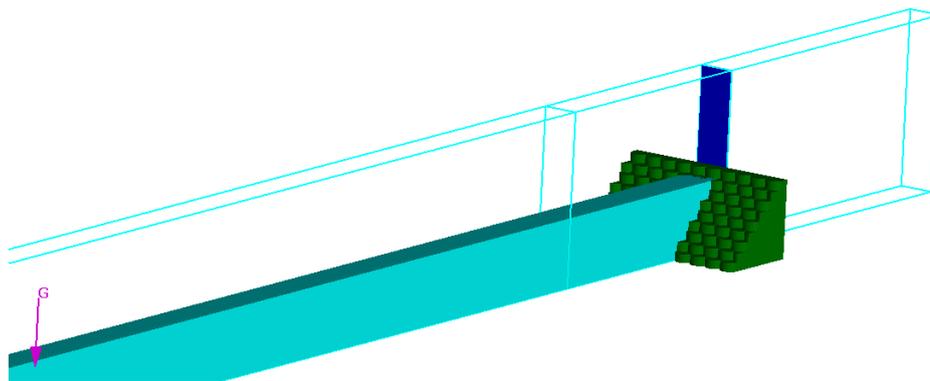
**Gambar 3.23** History probes

Tab 6 *Flux surface window*, yang berfungsi sama dengan *wave probe*, yaitu untuk mencatat data simulasi. *Flux* dapat berupa bidang atau dinding yang berfungsi untuk merekam data partikel yang melaluinya. Dalam simulasi ini menggunakan bidang persegi yang diletakan di atas puncak (Crest) struktur untuk mencatat limpasan air yang terjadi sehingga dapat diketahui *volume flow rate*. Peletakan *Flux* sama seperti *wave probe* menggunakan koordinat namun terdapat limiter pada pengaturan *flux* sehingga bentuk bisa disesuaikan batasannya. Tab *flux* dapat dilihat pada Gambar 3.24.



**Gambar 3.24** Flux surface window

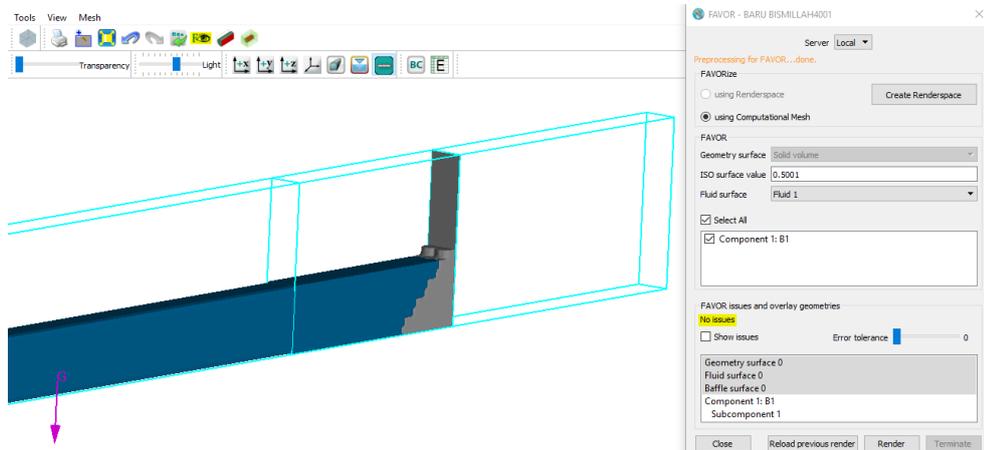
*Render Model*, tahap ini dilakukan untuk melihat model *geometry* yang telah dibuat. Selain itu juga untuk mengetahui apakah *meshing* yang dibuat tidak terjadi *error* terutama pada struktur yang berukuran kecil. Oleh karena itu *mesh* yang dibuat harus menyesuaikan dengan ukuran struktur yang akan disimulasikan.



**Gambar 3.25** Geometry model sebelum render

Gambar 3.25. menunjukkan contoh model yang telah dibuat dengan struktur B1 kedalaman air 0,4 m dan terdapat *flux baffle* di atasnya. Selanjutnya geometri akan dilakukan *render* dengan fitur FAVOR. Rendering akan membutuhkan waktu beberapa saat bergantung dengan ukuran *mesh*

yang digunakan. Semakin rapat *mesh* maka semakin lama untuk *rendering*. Namun dapat berbeda bergantung dengan spesifikasi computer yang digunakan.

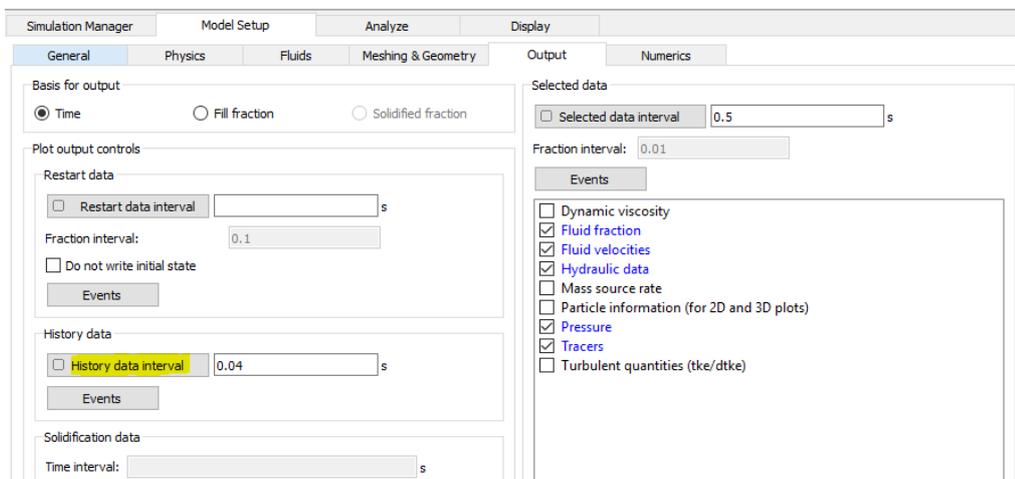


**Gambar 3.26** *Rendering dengan FAVOR*

Pada Gambar 3.26. menunjukkan tidak ada error (*no issue*) dan dapat dilakukan tahap selanjutnya yaitu mengatur *output* simulasi.

#### 4. *Output Model*

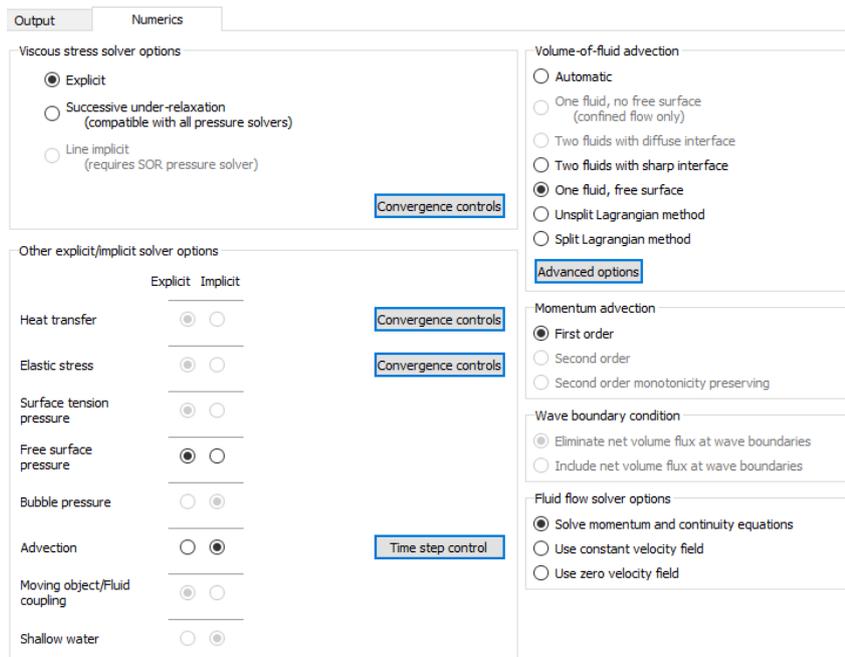
*Output* diatur melalui tab *output*, digunakan untuk mengatur interval waktu pencatatan data simulasi. Pada simulasi kali ini menggunakan *history data interval* 0,04 detik. Selain itu dapat mengaktifkan *output* lain yang diperlukan dengan melakukan *checklist* seperti pada Gambar 3.27. Semakin banyak *output* yang diaktifkan maka akan semakin besar *file output* simulasi yang terbentuk.



**Gambar 3.27** *Tab output*

## 5. Numerics

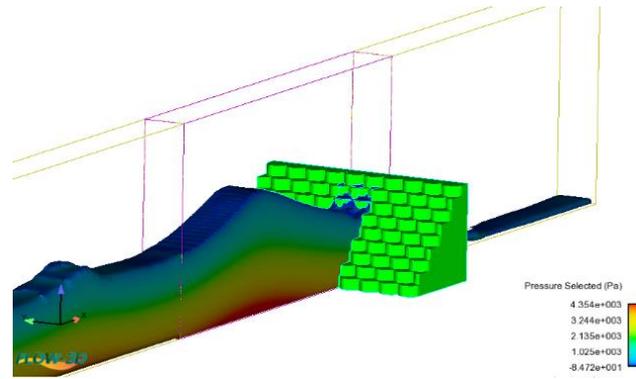
Selanjutnya adalah tab *Numerics*, yang berfungsi untuk mengatur model numerik simulasi agar sesuai dengan hasil yang diinginkan. Pada tab numerik ini dapat dibiarkan *default* sehingga *Flow-3D* dapat menyesuaikan dengan simulasi yang dilakukan atau diatur manual. Simulasi yang dilakukan menggunakan *One fluid, free surface* untuk numerik VOF seperti Gambar 3.28 di bawah. Dan juga menggunakan nilai minimum *time step* sebesar  $1e^{-12}$  selain itu *default*.



Gambar 3.28 Tab *Numerics*

## 6. Hasil simulasi model

Setelah memasukkan parameter dan pengaturan yang diperlukan untuk simulasi ini, selanjutnya dilakukan *Save simulation* dan *run simulation* model pada tab *simulation manager*. Untuk mengetahui hasil simulasi dapat dibuka melalui *Flowsight*, yaitu perangkat lunak yang digunakan untuk *export* data hasil simulasi *Flow-3D*.

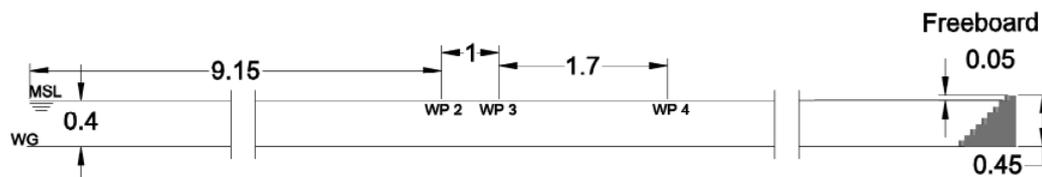


Gambar 3.29 Hasil simulasi model

### 3.2.5 Validasi

#### a. Validasi Gelombang

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 0,2 m. Sehingga total tinggi *freeboard* uji model fisik dan uji numerik untuk validasi sama yaitu 0,5 m. Hal ini dilakukan karena *Flow-3D* tidak dapat mensimulasikan gelombang dengan tinggi 0,18 m pada kedalaman *flume* 0,2 m. Model perletakan untuk validasi dilihat pada Gambar 3.30



Gambar 3.30 Dimensi flume untuk validasi

Data *wave probe* 1 uji model fisik digunakan sebagai parameter pembangkitan gelombang reguler dengan nilai  $D = 0,4$  m;  $H_{avg} = 0,18$  m dan  $T =$

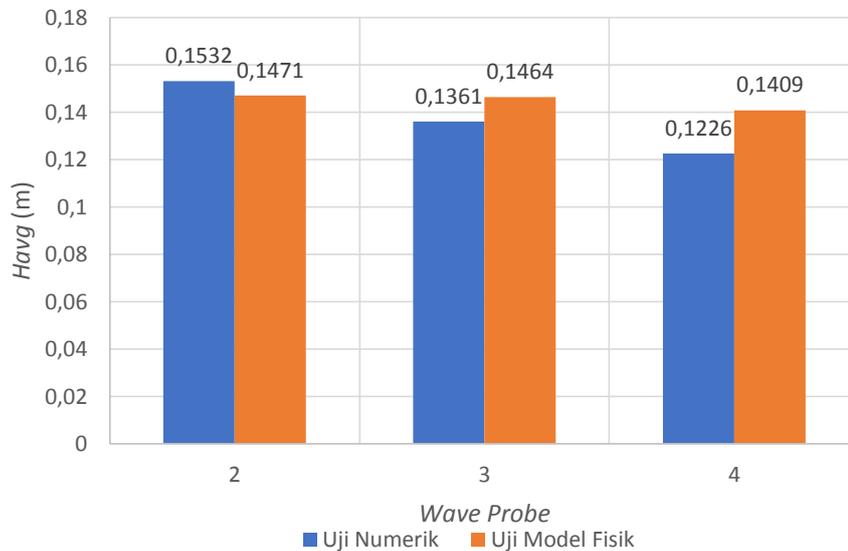
1,7 detik. Data simulasi kemudian dilakukan analisa *wavan* untuk mengetahui nilai *Havg* pada masing-masing *probe* untuk selanjutnya dilakukan validasi.

Validasi dilakukan dengan membandingkan nilai H rata-rata pada (*Havg*) *wave probe* 2, 3 dan 4 uji model fisik dan uji numerik dengan toleransi error >15%. Error dibatasi >15% berdasarkan metode MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*).

Didapatkan data perbandingan sebagai berikut.

**Tabel 3.10** Validasi *Havg* 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%



**Gambar 3.31** Grafik batang validasi gelombang

Pada Gambar 3.31 adalah perbandingan spektrum pada masing-masing *wave probe*, dimana spektrum menunjukan frekuensi gelombang yang tercatat oleh *wave probe* untuk validasi. Pada simulasi yang dibangkitkan gelombang dengan periode 1,7 menunjukkan grafik frekuensi gelombang yang dominan adalah 0,6. Sedangkan pada uji model fisik nilai frekuensi 0,5. Hasil tersebut konsisten pada tiap pencatatan *wave probe* 1, 2 dan 3.

Validasi gelombang di atas menggunakan *meshing* struktur dengan panjang 2 m. Karena untuk digunakan untuk simulasi variasi struktur yang lebih Panjang sehingga diperlukan *mesh* yang dapat menampung ukuran struktur.

b. *Sensitivity validation*

Validasi sensitivitas diperlukan untuk mengetahui seberapa perubahan hasil simulasi *Flow-3D* apabila dilakukan perubahan terhadap satu parameter simulasi. Dalam hal ini dilakukan perbandingan struktur B2 dengan perbedaan pada letak struktur. Gambar 3.32 bagian atas letak struktur normal, bagian yang terkunci adalah belakang struktur seperti pada model B1 untuk validasi. Sedangkan Gambar 3.32 bagian bawah menunjukkan letak struktur dengan *toe* terkunci, atau disamakan dengan letak *toe* model B1 untuk validasi.

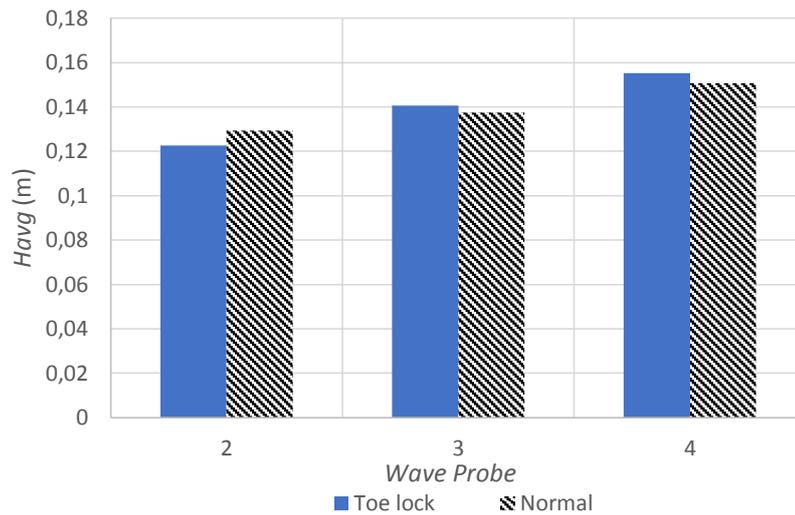


**Gambar 3.32** Perbandingan letak struktur

Validasi di atas hanya membedakan letak struktur dan *mesh* struktur dan tidak mengubah parameter lainnya. Dari dari kedua hasil perbandingan di atas dihasilkan nilai sebagai berikut:

**Tabel 3.11** *Sensitivity validation*

WP	Havg		
	Normal	Toe lock	Error
2	0.1294	0.1225	5%
3	0.1374	0.1406	2%
4	0.1507	0.1551	3%



**Gambar 3.33** Perbandingan  $H_{avg}$  Sensitivity validation

Dari hasil *sensitivity validation* disajikan grafik perbandingan pada Gambar 3.33 di atas, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan akibat perletakan struktur dan pergeseran *meshing* pada pemodelan ini dengan catatan perubahan yang diberikan kecil.

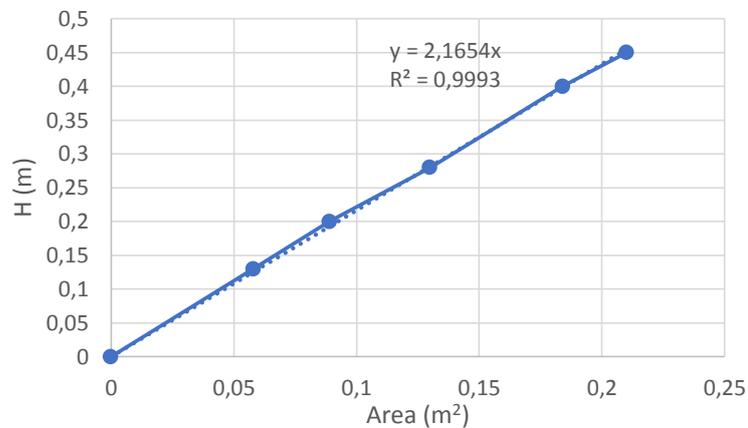
c. Kalibrasi *Wetted area*

Kalibrasi *wetted area* dilakukan untuk mengonversi 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 tinggi *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.

**Tabel 3.12** Kalibrasi model B1

H	Area (m <sup>2</sup> )
0	0
0.13	0.058
0.2	0.089
0.28	0.13
0.4	0.184
0.45	0.21

Pada hasil kalibrasi model B1 pada Gambar 3.34 grafik menunjukkan bentuk linier luas permukaan basah terhadap tinggi *run up*. Nilai  $R^2 = 0,9993$ , mendekati nilai 1 sehingga valid untuk digunakan sebagai kalibrasi. Dari grafik di atas didapatkan persamaan konversi  $y=2,1654x$ . dengan persamaan konversi tersebut dapat digunakan untuk perhitungan tinggi *run up* struktur model B1 dan B1.60.



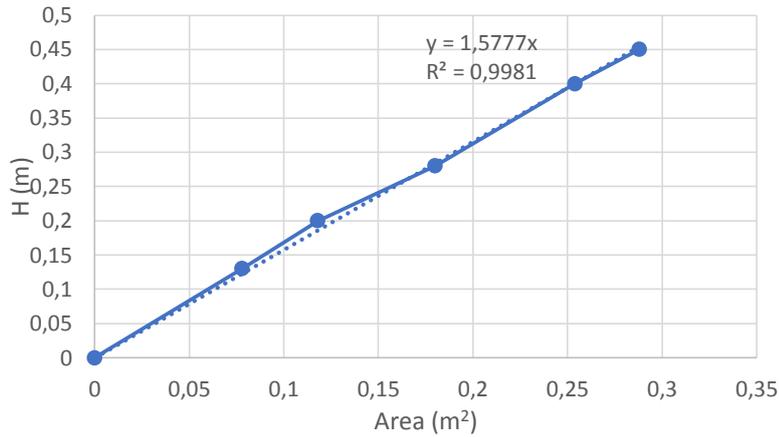
**Gambar 3.34** Kalibrasi model B1

**Tabel 3.13** Kalibrasi Model B2

H	Area (m <sup>2</sup> )
0	0
0.13	0.078
0.2	0.118
0.28	0.18
0.4	0.254
0.45	0.288

Pada hasil kalibrasi model B2 pada Gambar 3.35 grafik menunjukkan bentuk linier luas permukaan basah terhadap tinggi *run up*. Nilai  $R^2 = 0,9981$ , mendekati nilai 1 sehingga valid untuk digunakan sebagai kalibrasi. Dari grafik di atas didapatkan persamaan konversi  $y=1,5777x$ . dengan persamaan nilai konversi

tersebut dapat digunakan untuk perhitungan tinggi *run up* struktur model B2 dan B2.60.

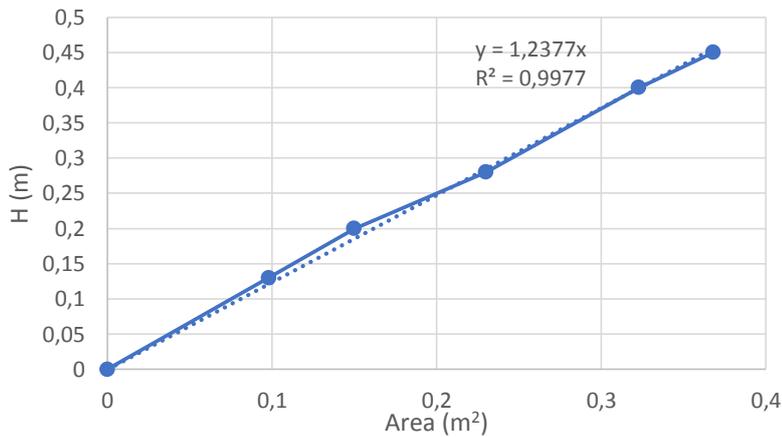


**Gambar 3.35** Kalibrasi Model B2

**Tabel 3.14** Kalibrasi Model B3

H	Area (m <sup>2</sup> )
0	0
0.13	0.098
0.2	0.15
0.28	0.23
0.4	0.323
0.45	0.368

Pada hasil kalibrasi model B3 pada Gambar 3.36 grafik menunjukkan bentuk linier luas permukaan basah terhadap tinggi *run up*. Nilai  $R^2 = 0,9977$ , mendekati nilai 1 sehingga valid untuk digunakan sebagai kalibrasi. Dari grafik di atas didapatkan persamaan konversi  $y=1,2377x$ . dengan persamaan konversi tersebut dapat digunakan untuk perhitungan tinggi *run up* struktur model B3 dan B3.60.



**Gambar 3.36** Kalibrasi Model B3

### 3.2.6 Pemodelan Buis Beton dengan Variasi *Slope* dan Kedalaman.

Setelah hasil tervalidasi selanjutnya dilakukan 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 susunan buis beton. Sedangkan untuk variasi kemiringan yaitu mengubah *offset* peletakan buis beton. Gambar variasi struktur dilihat pada Gambar 3.4 hingga 3.9.

Tabel 3.15 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

Total simulasi berjumlah 6 kali sesuai dengan jumlah struktur, untuk B1 digunakan sebagai validasi dan kalibrasi dan juga dilakukan analisa hasil *run up* dan *overtopping*.

### 3.2.7 Analisa dan pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan analisa hasil *output* dengan variasi *slope* dan *freeboard* yang telah dilakukan dengan *Flow-3D*. Hasil *run up* akan dianalisis mengenai elevasi rayapan dalam bentuk grafik. Selanjutnya itu akan dilakukan analisa statistik *run up* untuk mengetahui elevasi tertinggi yang terjadi (Dentale dkk, 2014).

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

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

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

Sedangkan untuk *overtopping* akan dianalisa untuk mengetahui debit limpasan terbesar yang terjadi dan volume limpasan yang terjadi selama waktu

pengujian. Selain itu, untuk melengkapi analisa akan diberikan hasil pencatatan *wave probe* berupa grafik elevasi. Hasil analisa variasi akan dibandingkan dalam satu grafik.

### **3.2.8 Kesimpulan dan saran**

Pada bab ini akan dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian ini. Akan diberikan penjelasan mengenai kesimpulan yang di ambil. Serta terdapat saran yang dapat digunakan sebagai rujukan penelitian serupa yang akan dilakukan.

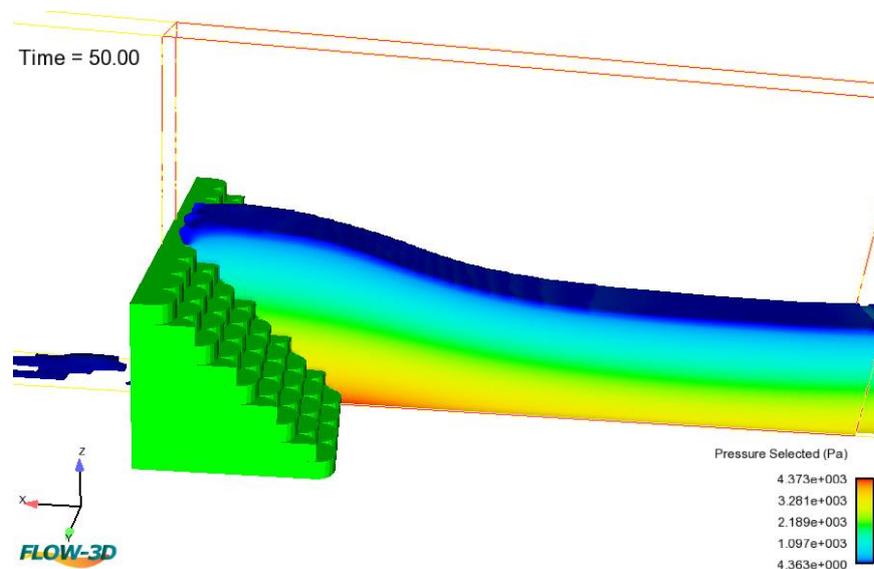
## BAB 4

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Run up

Analisis nilai *run up* diambil data dari simulasi berdasarkan *wetted area* pada struktur. Nilai *wetted area* kemudian dikonversikan menggunakan persamaan konversi yang diperoleh dari grafik korelasi antara *wetted area* dan elevasi *run up* pada bab 3.

Perhitungan *run up* dilakukan mulai dari detik ke 50 sampai detik ke 550. Dengan waktu total simulasi 500 detik. Gambar 4.1 merupakan contoh gelombang *run up* pada detik ke 50.



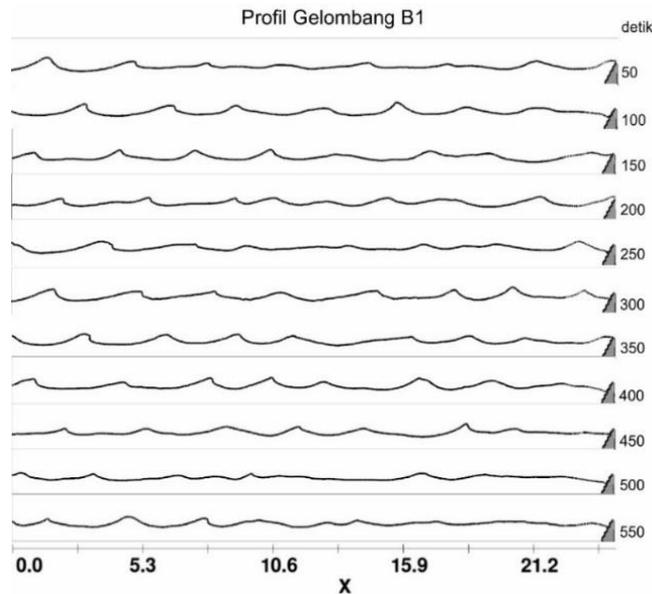
Gambar 4.1 Model B1 *Flowsight*

Gambar 4.1 di atas terlihat nilai *run up* pada detik ke 50 berada di titik tertinggi *run up crest* yaitu 0,45 m. Perhitungan rata-rata *run up* hasil konversi dari *wetted area* ditetapkan kondisi awal di nilai 0,45 m pada detik ke 50.

##### 4.1.1 Run up Model B1

Simulasi dilakukan dengan membangkitkan gelombang reguler. Sampling profil gelombang dibuat dengan waktu pencatatan setiap 50 detik. Profil gelombang digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan air bebas pada saat

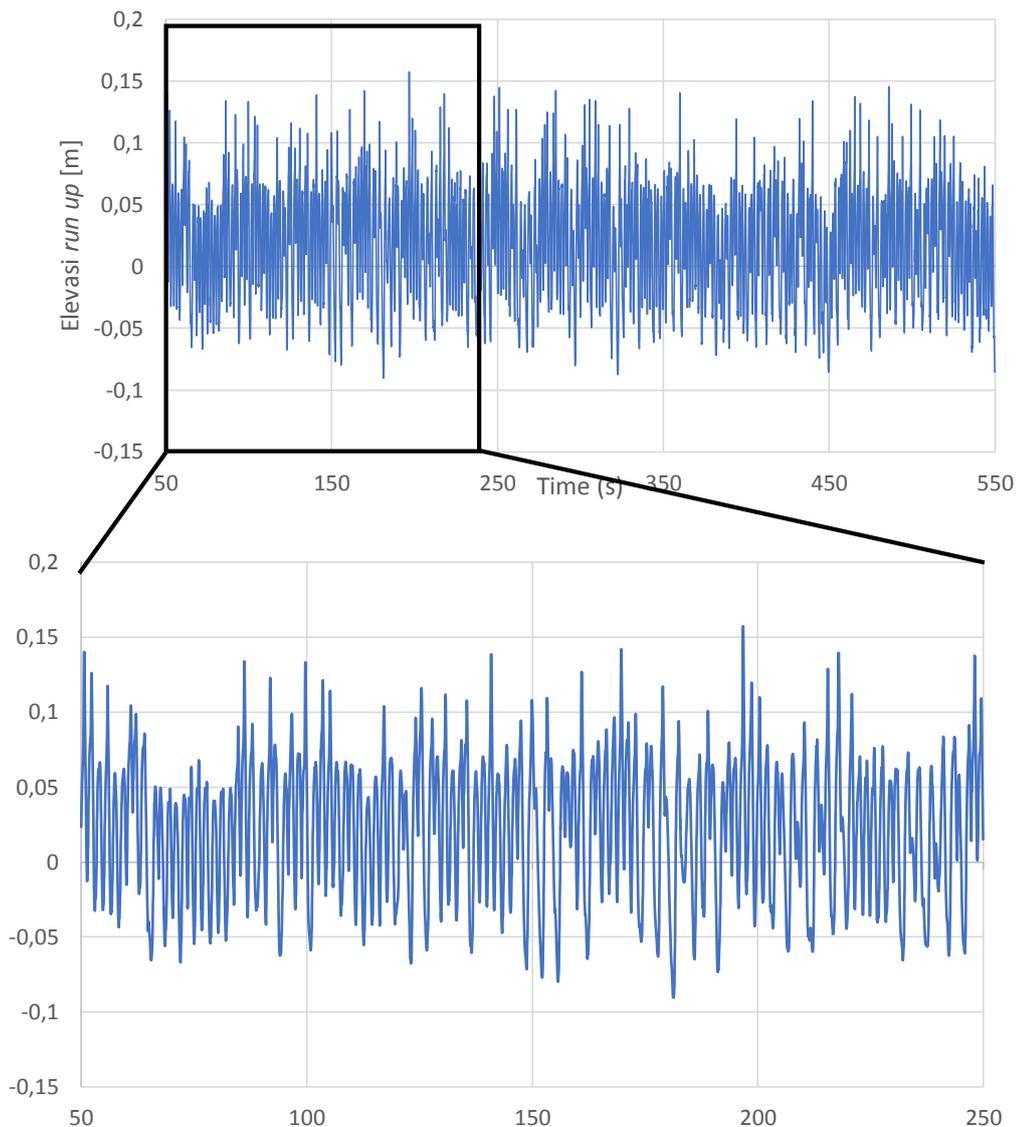
simulasi model B1. Sampling profil gelombang model B1 dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



**Gambar 4.2** Profil Gelombang B1

Gambar 4.2 menunjukkan bentuk elevasi gelombang secara 2D. Gelombang bergerak dari kiri ke kanan menuju struktur. Simulasi model B1 menunjukkan permukaan gelombang yang acak. Hal tersebut diakibatkan oleh refleksi dari struktur B1 yang curam. Selain itu pengaruh kestabilan *volume of fluid* pada saat terjadi limpasan. Terjadinya limpasan mengakibatkan pengurangan volume secara tiba-tiba. *Flow-3D* akan mempertahankan kestabilan gelombang yang disimulasikan sehingga bentuk elevasi muka air menjadi acak.

Dari hasil simulasi Model B1 didapatkan grafik *wetted area* yang kemudian di konversi menggunakan persamaan transfer fungsi  $y=2,1654x$  menjadi elevasi *run up*. Didapatkan 12500 data *time series* yang di plot pada grafik elevasi *run up* seperti pada Gambar 4.3 di bawah.



**Gambar 4.3** *Run up* Model B1

Gambar 4.3 menunjukkan elevasi *run up* selama 500 detik. *Mean Water Level* berada pada elevasi 0,4 m dengan tinggi *run up crest* model B1 0,45 m. Elevasi yang melebihi tinggi *run up crest* merupakan *overtopping*. Untuk memperjelas pola elevasi *run up* diambil sampel selama 100 detik.

Grafik *run up* Gambar 4.3 sebanyak 12500 rekaman data dirata-rata setiap 25 data, di mana 25 data tersebut merupakan hasil dari 1 detik elevasi *run up*. data perhitungan *run up* di urutkan dari yang tertinggi kemudian di kelompokkan untuk mengetahui elevasi tertinggi yang terjadi. Pengelompokan nilai rata-rata yaitu tinggi 1/50 tertinggi (Ru2%), 1/10 tertinggi (Ru10%), dan 1/3 tertinggi (Ru1/3). Nilai rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 4.1,

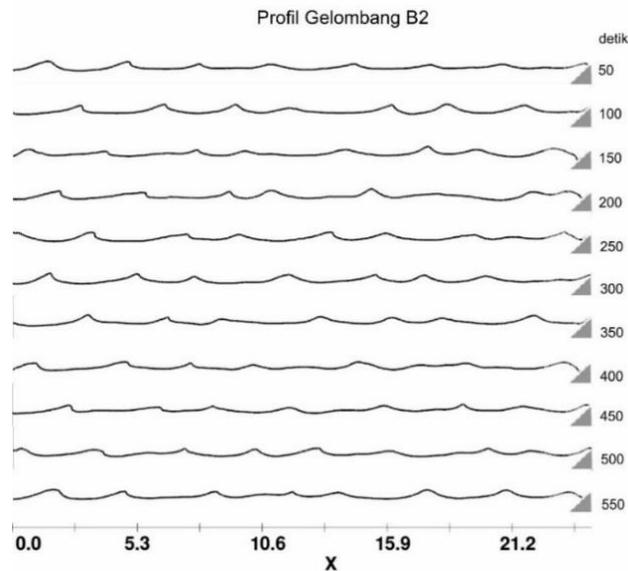
**Tabel 4.1** *Run up* Model B1

Ru		satuan
Ru1/50	0.05	m
Ru1/10	0.04	m
Ru1/3	0.02	m

Dari Tabel 4.1 diketahui tinggi *run up* 2% sebesar 0,05 m sehingga *run up* terjadi hingga puncak struktur.

#### 4.1.2 *Run up* Model B2

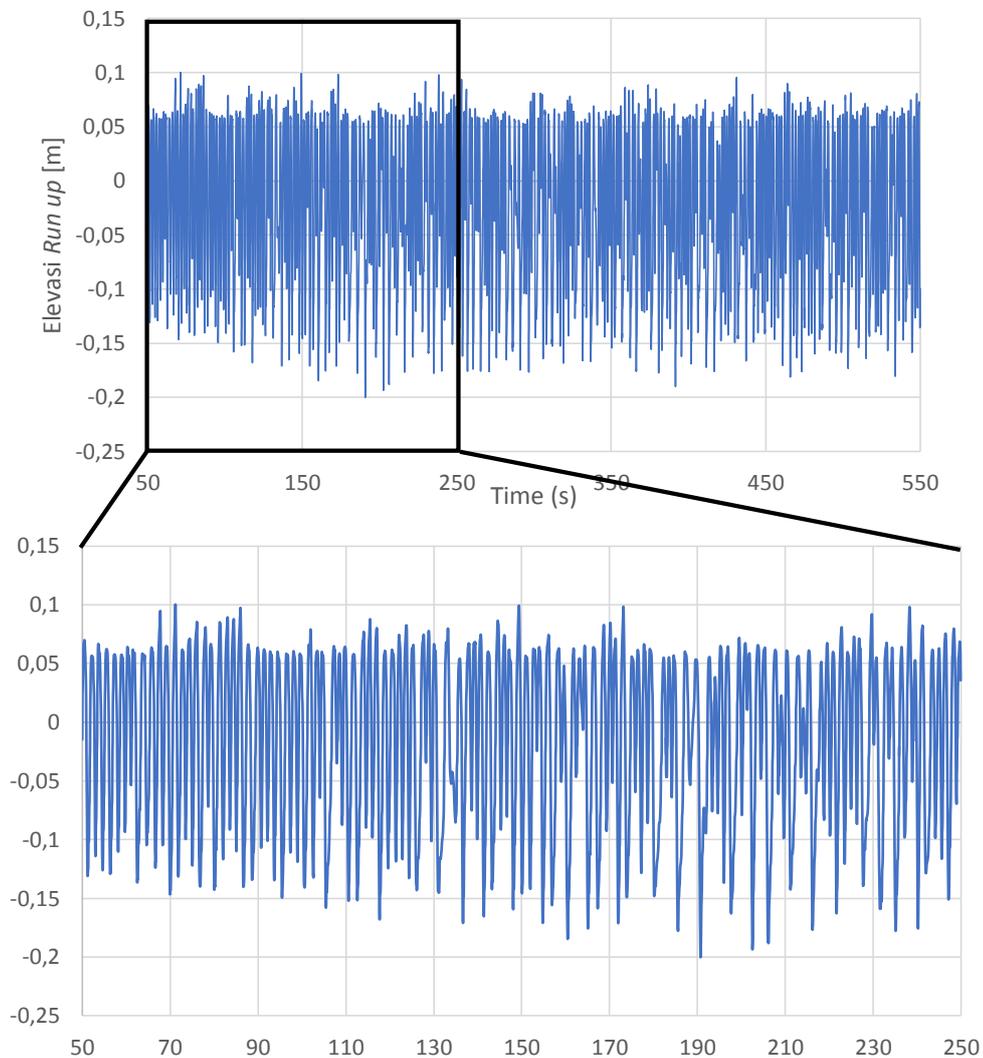
Simulasi dilakukan dengan membangkitkan gelombang reguler. Sampling profil gelombang dibuat dengan waktu pencatatan setiap 50 detik. Profil gelombang digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan air bebas pada saat simulasi model B1. Sampling profil gelombang model B2 dapat dilihat pada Gambar 4.4 di bawah ini.



**Gambar 4.4** Profil Gelombang B2

Gambar 4.4 menunjukkan bentuk elevasi gelombang secara 2D. Gelombang bergerak dari kiri ke kanan menuju struktur. Simulasi model B2 menunjukkan permukaan gelombang yang acak. Hal tersebut diakibatkan oleh refleksi dari struktur B2. Dibandingkan dengan model B1, elevasi gelombang model B2 terlihat lebih teratur. Selain itu pengaruh kestabilan *volume of fluid* pada saat terjadi limpasan. Terjadinya limpasan mengakibatkan pengurangan volume secara tiba-tiba. *Flow-3D* akan mempertahankan kestabilan gelombang yang disimulasikan sehingga bentuk elevasi muka air menjadi acak.

Dari hasil simulasi Model B1 didapatkan grafik *wetted area* yang kemudian di konversi menggunakan persamaan transfer fungsi  $y=1,2377x$  menjadi elevasi *run up*. Didapatkan 12500 data *time series* yang di plot pada grafik elevasi *run up* seperti pada Gambar 4.5 di bawah.



**Gambar 4.5** *Run up* Model B2

Gambar 4.5 menunjukkan elevasi *run up* selama 500 detik. *Mean Water Level* berada pada elevasi 0,4 m dengan tinggi *run up crest* model B2 0,45 m. Elevasi *run up* yang melebihi tinggi *run up crest* merupakan *overtopping*. Untuk memperjelas pola elevasi *run up* diambil sampel selama 100 detik.

Grafik *run up* Gambar 4.5 sebanyak 12500 rekaman data dirata-rata setiap 25 data, di mana 25 data tersebut merupakan hasil dari 1 detik elevasi *run up*. data perhitungan *run up* di urutkan dari yang tertinggi kemudian di kelompokkan untuk mengetahui elevasi tertinggi yang terjadi. Pengelompokan nilai rata-rata yaitu

tinggi *run up* 1/50 tertinggi (Ru2%), 1/10 tertinggi (Ru10%), dan 1/3 tertinggi (Ru1/3). Nilai rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

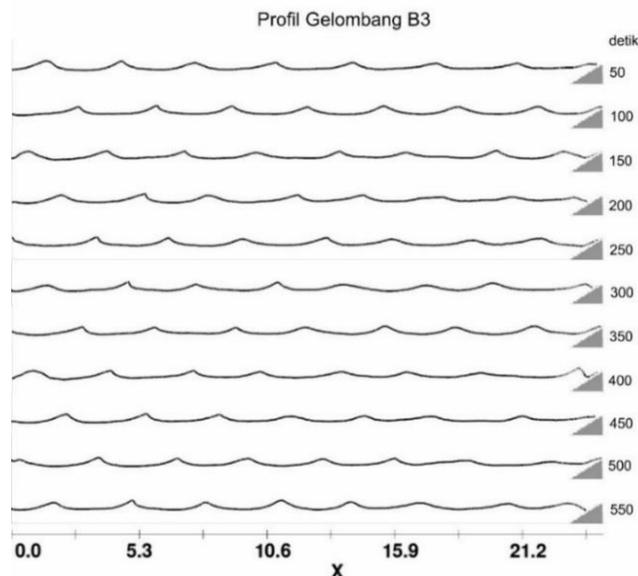
**Tabel 4.2** *Run up* Model B2

Ru		satuan
Ru,1/50	0.05	m
Ru,1/10	0.04	m
Ru,1/3	0.03	m

Dari Tabel 4.2 diketahui tinggi *run up* 2% sebesar 0,05 m sehingga *run up* terjadi hingga puncak struktur.

#### 4.1.3 *Run up* Model B3

Simulasi dilakukan dengan membangkitkan gelombang reguler. Sampling profil gelombang dibuat dengan waktu pencatatan setiap 50 detik. Profil gelombang digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan air bebas pada saat simulasi model B3. Sampling profil gelombang model B3 dapat dilihat pada Gambar 4.6 di bawah ini.

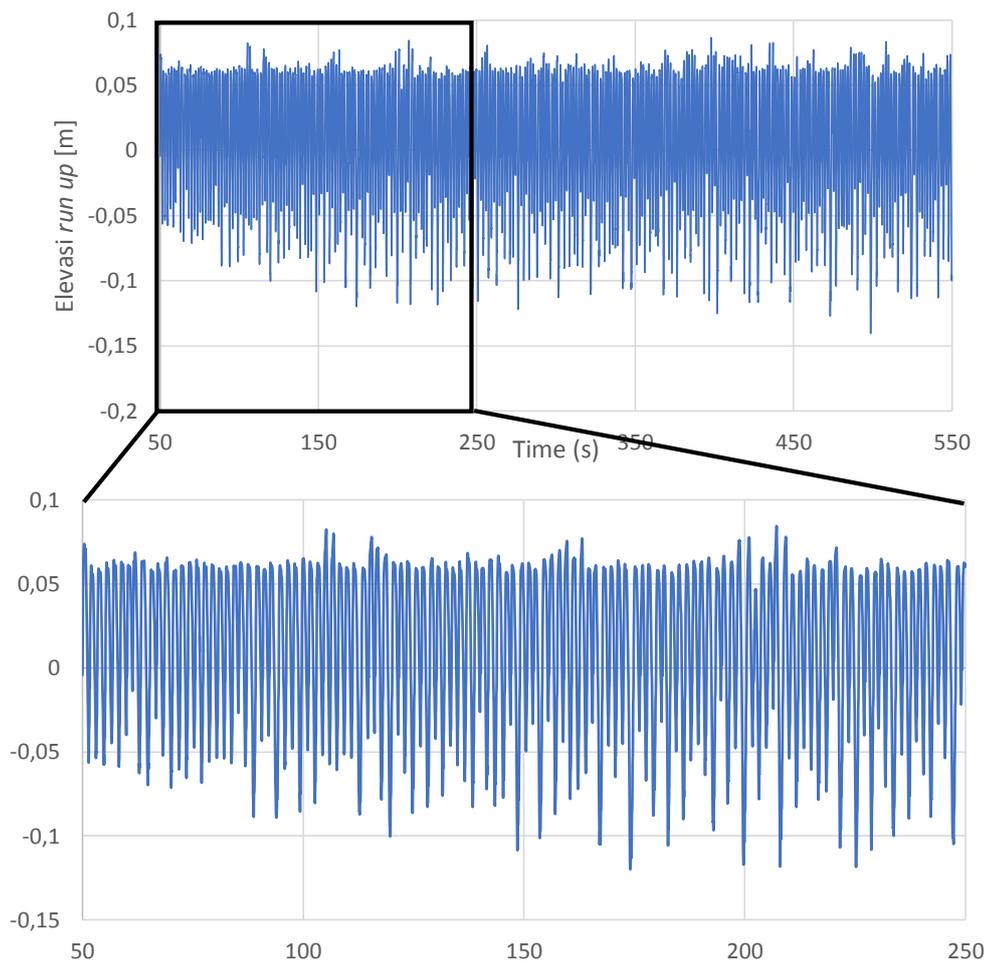


**Gambar 4.6** Profil gelombang B3

Gambar 4.6 menunjukkan bentuk elevasi gelombang secara 2D. Gelombang bergerak dari kiri ke kanan menuju struktur. Simulasi model B3 menunjukkan permukaan gelombang yang teratur membentuk gelombang reguler. Dibandingkan dengan model B1 dan B2, model B3 bentuk elevasi gelombang lebih teratur. Bentuk permukaan gelombang tersebut akibat struktur B3 memiliki kemiringan struktur yang landau sehingga refleksi yang dihasilkan lebih kecil.

Selain itu pengaruh kestabilan *volume of fluid* pada saat terjadi limpasan pada model B3 tetap ada. Terjadinya limpasan mengakibatkan pengurangan volume secara tiba-tiba. *Flow-3D* akan mempertahankan kestabilan gelombang yang disimulasikan sehingga bentuk elevasi muka air menjadi acak.

Dari hasil simulasi Model B1 didapatkan grafik *wetted area* yang kemudian di konversi menggunakan persamaan transfer fungsi  $y=1,2377x$  menjadi elevasi *run up*. Didapatkan 12500 data *time series* yang di plot pada grafik elevasi *run up* seperti pada Gambar 4.7 di bawah.



**Gambar 4.7** Run up Model B3

Dari Gambar 4.7 kemudian diambil data pada detik 50 sampai detik 250, total 100 detik untuk mengetahui lebih jelas elevasi *run up* yang terbentuk. *Mean Water Level* berada pada elevasi 0,4 m dengan tinggi vertikal struktur 0,45 m. artinya nilai yang melebihi 0,45 merupakan area basah di puncak struktur dan menandakan adanya *overtopping*.

Dari 12500 rekaman data di atas dirata-rata setiap 25 data, dimana 25 data tersebut merupakan hasil 1 detik elevasi *run up*. data perhitungan rata-rata nilai *run up* dengan pendekatan statistika. Pengelompokan nilai rata-rata yaitu tinggi *run up* 2%, 10% dan 1/3 tinggi *run up*. Nilai rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

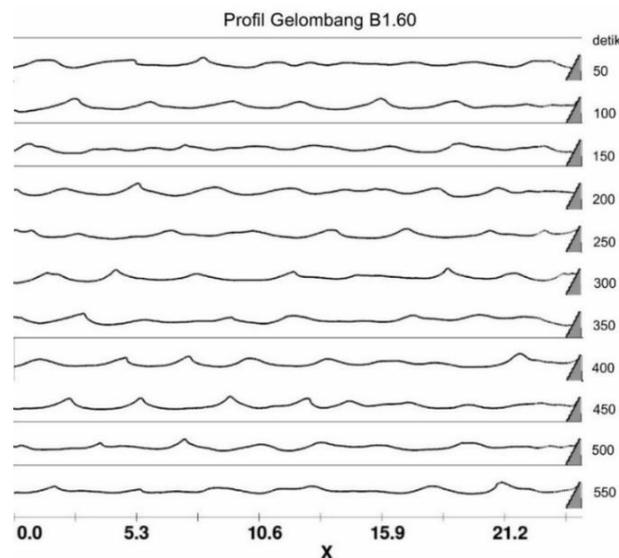
**Tabel 4.3** *Run up* Model B3

Ru		satuan
Ru,1/50	0.05	m
Ru,1/10	0.05	m
Ru,1/3	0.04	m

Dari Tabel 4.3 diketahui tinggi *run up* 2% sebesar 0,05 m sehingga *run up* terjadi hingga puncak struktur.

#### 4.1.4 *Run up* Model B1.60

Simulasi dilakukan dengan membangkitkan gelombang reguler. Sampling profil gelombang dibuat dengan waktu pencatatan setiap 50 detik. Profil gelombang digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan air bebas pada saat simulasi model B1. Sampling profil gelombang model B1 dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.

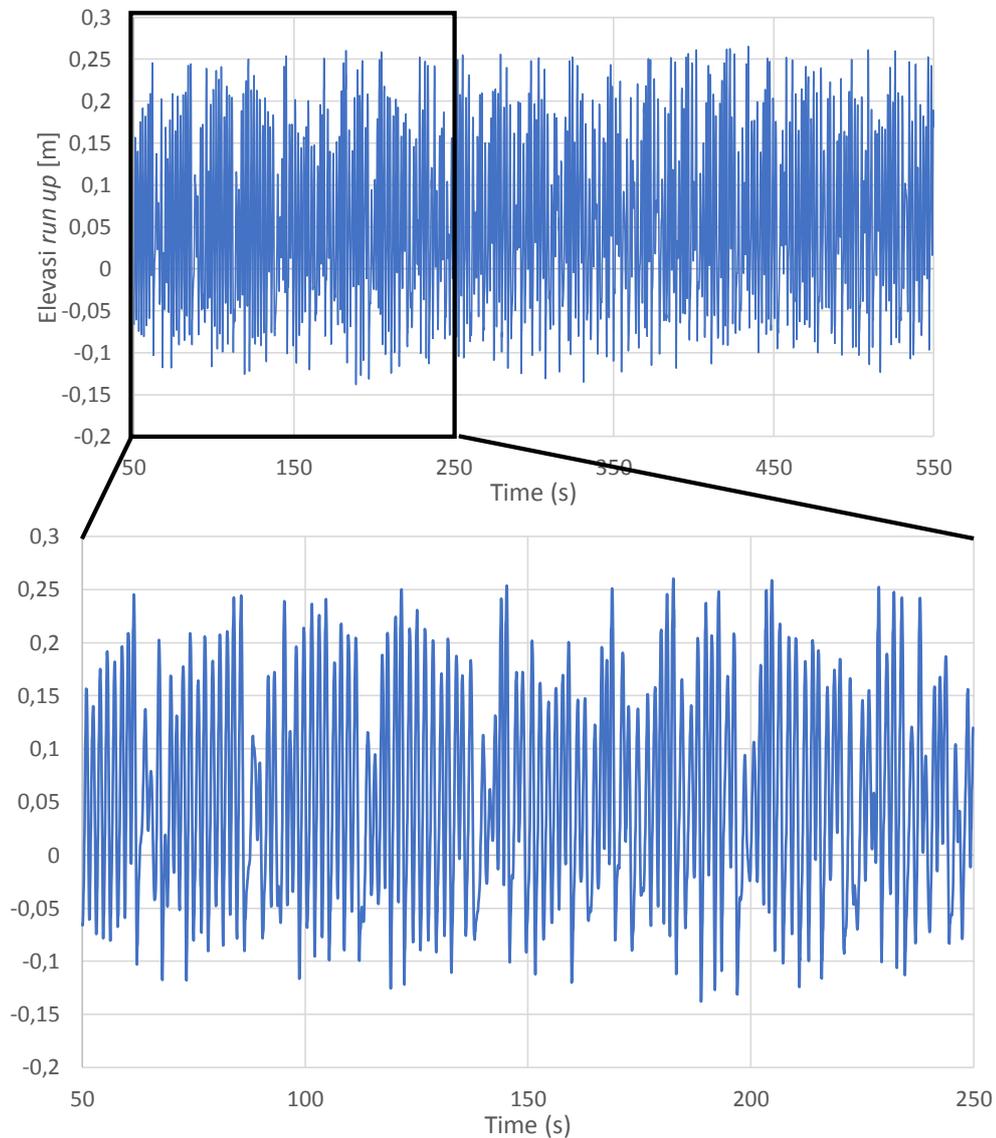


**Gambar 4.8** Profil gelombang B1.60

Gambar 4.8 menunjukkan bentuk elevasi gelombang secara 2D. Gelombang bergerak dari kiri ke kanan menuju struktur. Simulasi model B1.60 menunjukkan permukaan gelombang yang acak. Hal tersebut diakibatkan oleh refleksi dari struktur B1.60 yang curam. Bentuk profil elevasi gelombang model B1.60 tidak

terlalu terpengaruh oleh pengurangan volume yang diakibatkan oleh *overtopping*. Karena volume *overtopping* yang terjadi pada model B1.60 kecil.

Dari hasil simulasi Model B1 didapatkan grafik *wetted area* yang kemudian di konversi menggunakan persamaan transfer fungsi  $y=2,1654x$  menjadi elevasi *run up*. Didapatkan 12500 data *time series* yang di plot pada grafik elevasi *run up* seperti pada Gambar 4.9 di bawah.



**Gambar 4.9** Run up Model B1.60

Gambar 4.9 menunjukkan elevasi *run up* selama 500 detik. *Mean Water Level* berada pada elevasi 0,4 m dengan tinggi *run up crest* model B1.60 0,2 m. Tinggi total struktur B1.60 adalah 0,6 m. Elevasi yang melebihi tinggi *run up*

*crest* merupakan *overtopping*. Untuk memperjelas pola elevasi *run up* diambil sampel selama 100 detik.

Grafik *run up* Gambar 4.9 sebanyak 12500 rekaman data dirata-rata setiap 25 data, di mana 25 data tersebut merupakan hasil dari 1 detik elevasi *run up*. data perhitungan *run up* di urutkan dari yang tertinggi kemudian di kelompokkan untuk mengetahui elevasi tertinggi yang terjadi. Pengelompokan nilai rata-rata yaitu tinggi 1/50 tertinggi (Ru2%), 1/10 tertinggi (Ru10%), dan 1/3 tertinggi (Ru1/3). Nilai rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

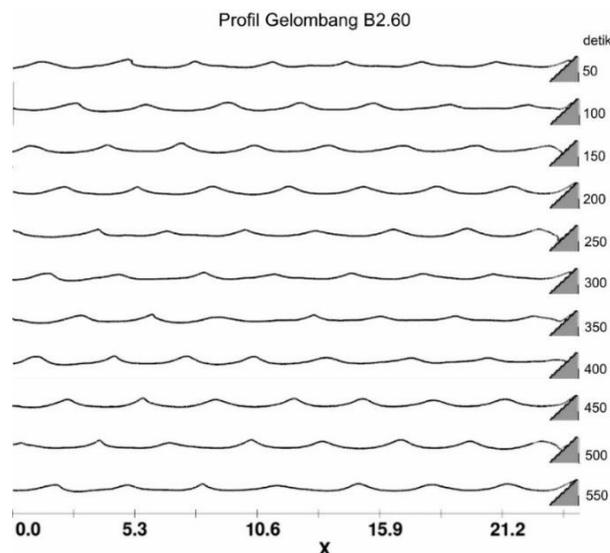
**Tabel 4.4** *Run up* Model B1.60

Ru		satuan
Ru,1/50	0.17	m
Ru,1/10	0.15	m
Ru,1/3	0.13	m

Dari Tabel 4.4 diketahui tinggi *run up* 2% sebesar 0,17 m sehingga *run up* terjadi hingga puncak struktur.

#### 4.1.5 *Run up* Model B2.60

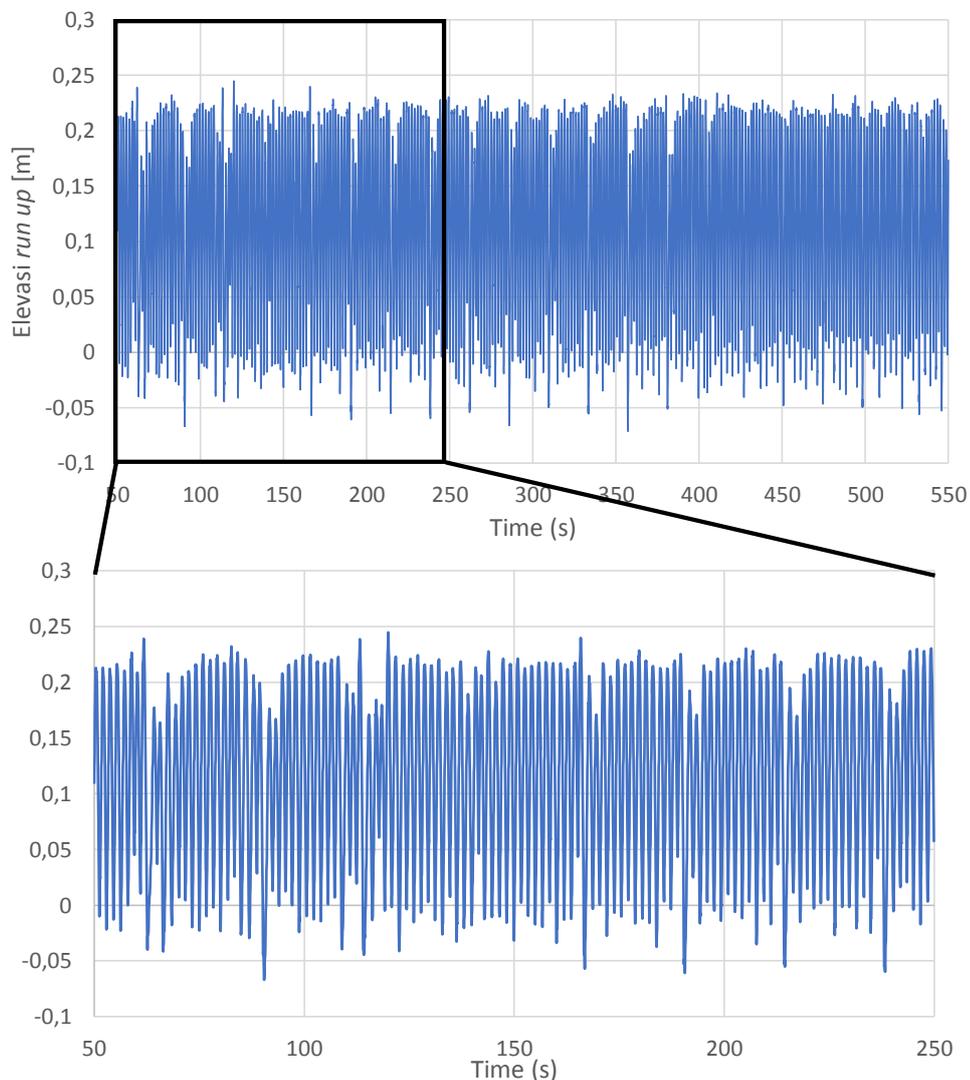
Simulasi dilakukan dengan membangkitkan gelombang reguler. Sampling profil gelombang dibuat dengan waktu pencatatan setiap 50 detik. Profil gelombang digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan air bebas pada saat simulasi model B1.60. Sampling profil gelombang model B1.60 dapat dilihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



**Gambar 4.10** Profil gelombang B2.60

Pada Gambar 4.10 di atas dapat disimpulkan bahwa bentuk profil gelombang B1 tidak rata atau cenderung membentuk profil gelombang *irregular*. Hal tersebut diakibatkan oleh refleksi dari struktur B2.60 yang curam. Dibandingkan dengan model B1.60, elevasi gelombang model B2.60 terlihat lebih teratur karena struktur B2.60 lebih landai dari struktur B1.60. Bentuk profil elevasi gelombang model B2.60 tidak terlalu terpengaruh oleh pengurangan volume yang diakibatkan oleh *overtopping*. Karena volume *overtopping* yang terjadi pada model B2.60 kecil.

Dari hasil simulasi Model B1 didapatkan grafik *wetted area* yang kemudian di konversi menggunakan persamaan transfer fungsi  $y=1,2377x$  menjadi elevasi *run up*. Didapatkan 12500 data *time series* yang di plot pada grafik elevasi *run up* seperti pada Gambar 4.11 di bawah.



**Gambar 4.11** Run up Model B2.60

Gambar 4.11 menunjukkan elevasi *run up* selama 500 detik. *Mean Water Level* berada pada elevasi 0,4 m dengan tinggi *run up crest* model B2.60 0,2 m. Tinggi total struktur B1.60 adalah 0,6 m. Elevasi yang melebihi tinggi *run up crest* merupakan *overtopping*. Untuk memperjelas pola elevasi *run up* diambil sampel selama 100 detik.

Grafik *run up* Gambar 4.11 sebanyak 12500 rekaman data dirata-rata setiap 25 data, dimana 25 data tersebut merupakan hasil dari 1 detik elevasi *run up*. data perhitungan *run up* di urutkan dari yang tertinggi kemudian di kelompokkan untuk mengetahui elevasi tertinggi yang terjadi. Pengelompokan nilai rata-rata yaitu tinggi 1/50 tertinggi (Ru2%), 1/10 tertinggi (Ru10%), dan 1/3 tertinggi (Ru1/3). Nilai rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 4.5.

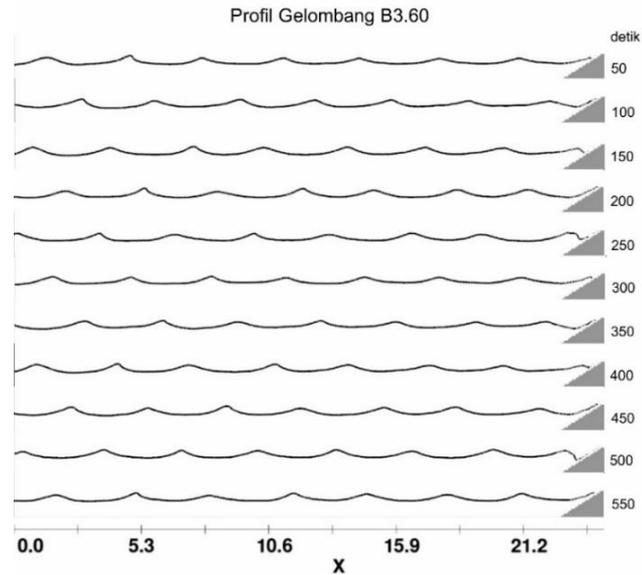
**Tabel 4.5** *Run up* Model B2.60

Ru		satuan
Ru,1/50	0.18	m
Ru,1/10	0.18	m
Ru,1/3	0.16	m

Dari Tabel 4.5 diketahui tinggi *run up* 2% sebesar 0,18 m sehingga *run up* terjadi hingga puncak struktur.

#### **4.1.6 *Run up* Model B3.60**

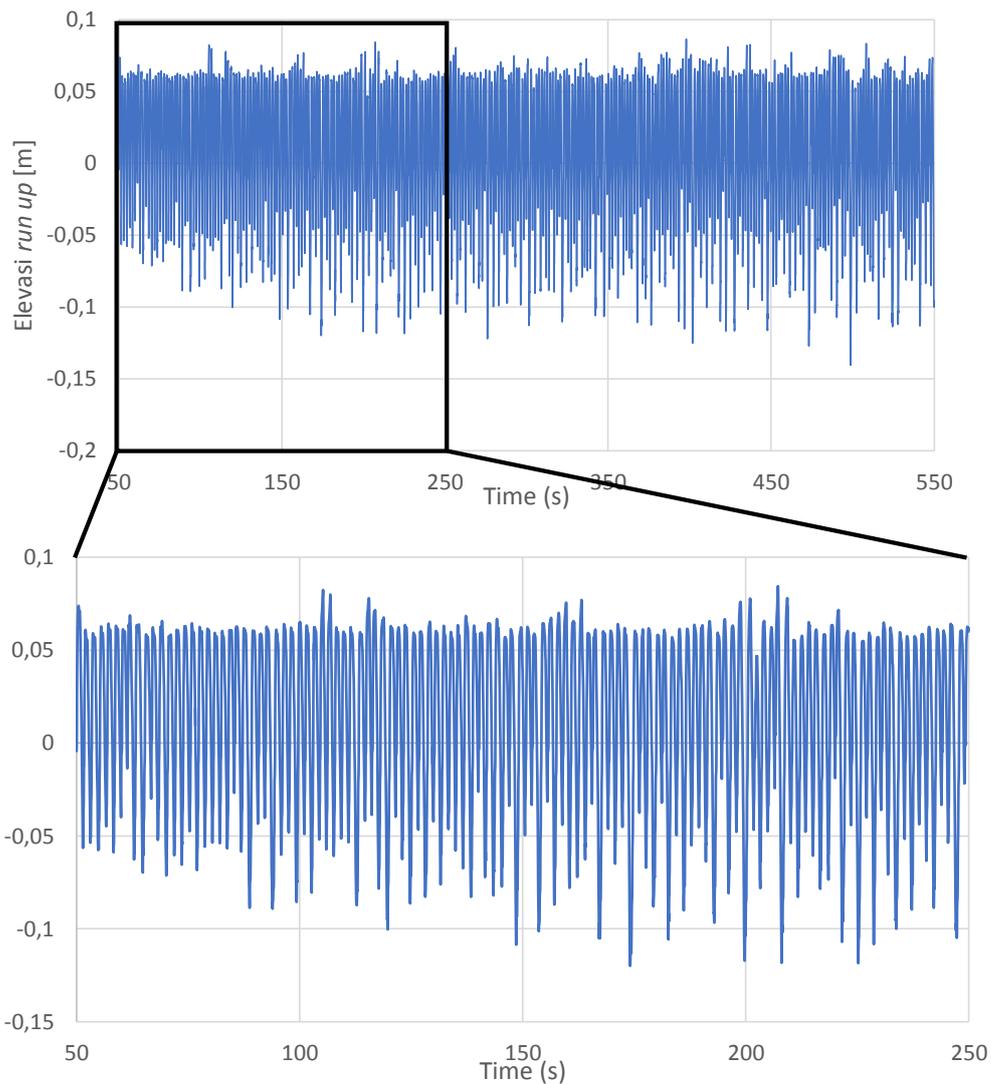
Simulasi dilakukan dengan membangkitkan gelombang reguler. Sampling profil gelombang dibuat dengan waktu pencatatan setiap 50 detik. Profil gelombang digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan air bebas pada saat simulasi model B1.60. Sampling profil gelombang model B3.60 dapat dilihat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



**Gambar 4.12** Profil gelombang B3.60

Pada Gambar 4.12 di atas dapat disimpulkan bahwa bentuk profil gelombang B1 tidak rata atau cenderung membentuk profil gelombang *irregular*. Hal tersebut diakibatkan oleh refleksi dari struktur B2.60 yang curam. Dibandingkan dengan model B1.60 dan B2.60, elevasi gelombang model B3.60 terlihat lebih teratur karena struktur B3.60 lebih landai dari struktur B1.60 dan B2.60. Bentuk profil elevasi gelombang model B3.60 tidak terlalu terpengaruh oleh pengurangan volume yang diakibatkan oleh *overtopping*. Karena volume *overtopping* yang terjadi pada model B3.60 kecil.

Dari hasil simulasi Model B1 didapatkan grafik *wetted area* yang kemudian di konversi menggunakan persamaan transfer fungsi  $y=1,2377x$  menjadi elevasi *run up*. Didapatkan 12500 data *time series* yang di plot pada grafik elevasi *run up* seperti pada Gambar 4.13 di bawah.



**Gambar 4.13** Run up Model B3.60

Gambar 4.13 menunjukkan elevasi *run up* selama 500 detik. *Mean Water Level* berada pada elevasi 0,4 m dengan tinggi *run up crest* model B3.60 0,2 m. Tinggi total struktur B1.60 adalah 0,6 m. Elevasi yang melebihi tinggi *run up crest* merupakan *overtopping*. Untuk memperjelas pola elevasi *run up* diambil sampel selama 100 detik.

Grafik *run up* Gambar 4.13 sebanyak 12500 rekaman data dirata-rata setiap 25 data, di mana 25 data tersebut merupakan hasil dari 1 detik elevasi *run up*. data perhitungan *run up* di urutkan dari yang tertinggi kemudian di kelompokkan untuk mengetahui elevasi tertinggi yang terjadi. Pengelompokan nilai rata-rata yaitu tinggi 1/50 tertinggi (Ru2%), 1/10 tertinggi (Ru10%), dan 1/3 tertinggi (Ru1/3). Nilai rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** *Run up* Model B3.60

Ru		satuan
Ru,1/50	0.17	m
Ru,1/10	0.17	m
Ru,1/3	0.16	m

Dari Tabel 4.6 diketahui tinggi *run up* 2% sebesar 0,17 m sehingga *run up* terjadi hingga puncak struktur.

#### 4.2 Perhitungan teoritis *run up*.

Perhitungan secara teoritis *run up* menggunakan persamaan 2,14 pada bab 2. Penggunaan persamaan tersebut dikarenakan gelombang yang mengenai struktur tidak terjadi kepecahan atau belum pecah. Perhitungan dengan melakukan asumsi pendekatan koefisien pada Eurotop 2016, di mana nilai koefisien sudah diketahui pada penelitian sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah.

**Tabel 4.7** Perhitungan teoritis *run up*

Model	g [m <sup>2</sup> /s]	Hm [m]	tan $\alpha$ [-]	Rc [m]	$\gamma_b$ [-]	$\gamma_\beta$ [-]	$\gamma_v$ [-]	$\gamma_f$ [-]	Ir [-]	Ru2% teoritis [m]
B1	9,81	0.18	1	0,05	1	1	1	0.8	4.116	0.23
B2	9,82	0.18	0,5	0,05	1	1	1	0.7	2.058	0.19
B3	9,83	0.18	0,33	0,05	1	1	1	0.6	1.358	0.15

Perhitungan dilakukan pada model B1; B2; dan B3 saja, karena pada model Bi.60 memiliki hasil yang sama karena memiliki koefisien yang sama.

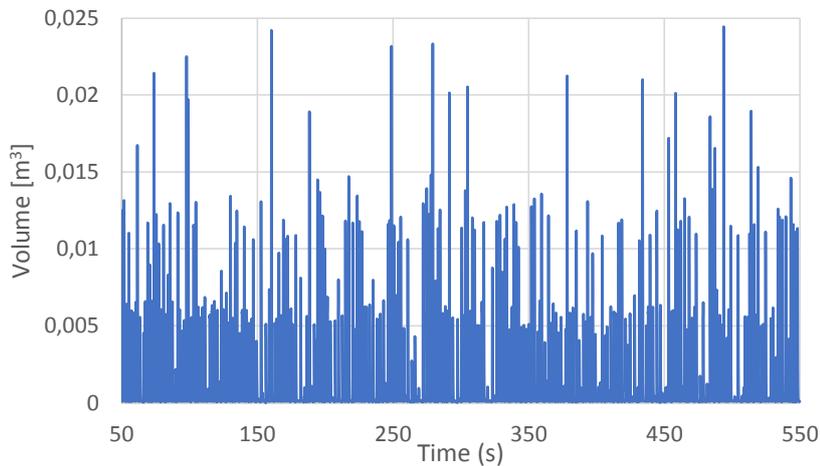
#### 4.3 *Overtopping*

Analisis *overtopping* menggunakan data dari *baffles flux* yang dipasang pada *crest* struktur, data simulasi 500 detik didapatkan 12500 data *time series*. Data dimulai dari detik ke 50 karena pada waktu tersebut terjadi kestabilan *Volume of Fluid*. Selanjutnya nilai volume dirata-rata tiap detik untuk mengetahui *overtopping* yang terjadi setiap detik. Dan dibuat grafik volume *kumulatif* untuk mengetahui volume total *overtopping* selama 500 detik pada tiap simulasi. Selanjutnya dirata-rata nilai *overtopping* per satuan panjang.

##### 4.3.1 *Overtopping* Model B1

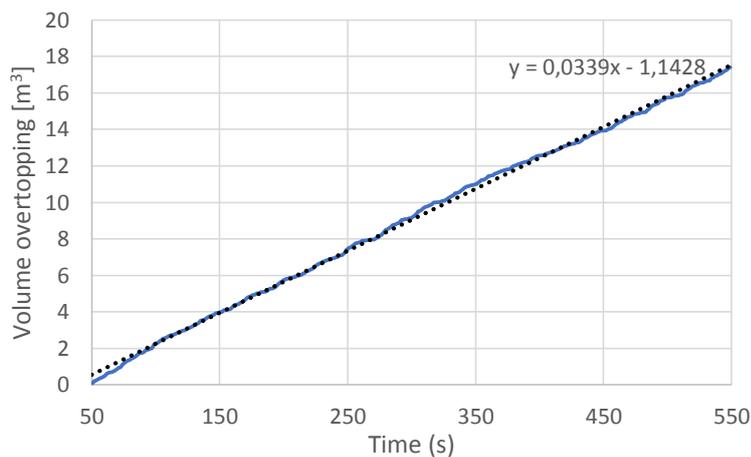
Model B1 dilakukan simulasi dan menghasilkan grafik *volume flow rate*. Simulasi dengan *interval history data* 0,04 maka didapatkan 12500 data *time*

series dimulai dari detik ke 50. Kemudian dari data tersebut dirata-rata tiap detik menjadi 500 data dan menghasilkan grafik pada Gambar 4.14



**Gambar 4.14** Volume *Overtopping* per detik Model B1

Grafik di atas menunjukkan nilai volume limpasan air yang terjadi tiap detik. Sedangkan untuk grafik kumulatif didapatkan dari penjumlahan volume limpasan tiap detik dan didapatkan grafik seperti Gambar 4.15 di bawah.



**Gambar 4.15** Grafik kumulatif volume *overtopping* model B1

Gambar 4.15 di atas adalah grafik kumulatif volume limpasan selama 500 detik untuk model B2. Pertambahan volume limpasan total mencapai  $17,404 \text{ m}^3$ . Gambar 4.15 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi secara linier. Grafik kumulatif membentuk garis yang hampir lurus dan tidak ada variasi pertambahan volume yang lebih besar maupun lebih kecil secara signifikan.

Grafik kumulatif di atas menunjukkan bahwa pada simulasi model B1 dengan waktu 500 detik, volume limpasan yang terjadi adalah 17,404 m<sup>3</sup>. Debit limpasan tiap detik dihitung dengan membagi volume limpasan total dengan waktu simulasi

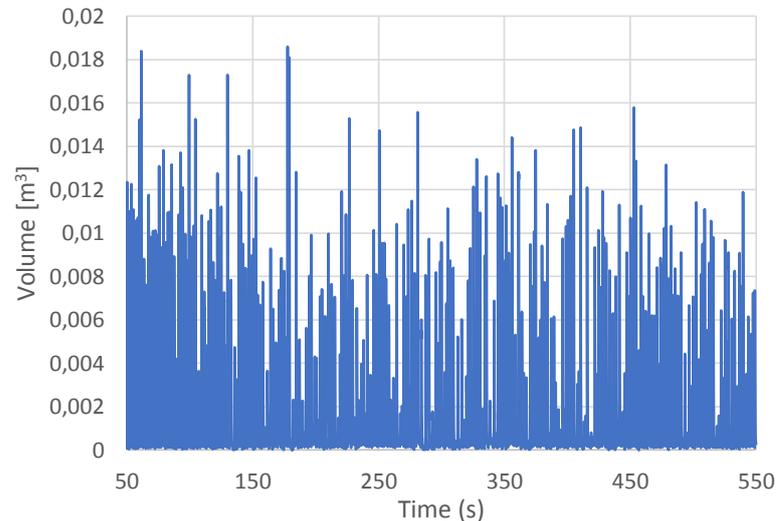
$$\frac{\Sigma Q}{t} = \frac{17,404}{500} = 0,0349 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} = \frac{0,0349}{0,2} = 0,1745 \text{ m}^3/\text{s per m}$$

Sehingga simulasi model B1 dengan waktu 500 detik menghasilkan nilai debit *overtopping* sebesar 0,0349 m<sup>3</sup>/s atau 34,9 liter/detik. *Overtopping* relatif sebesar 0,1745 m<sup>3</sup>/s per m.

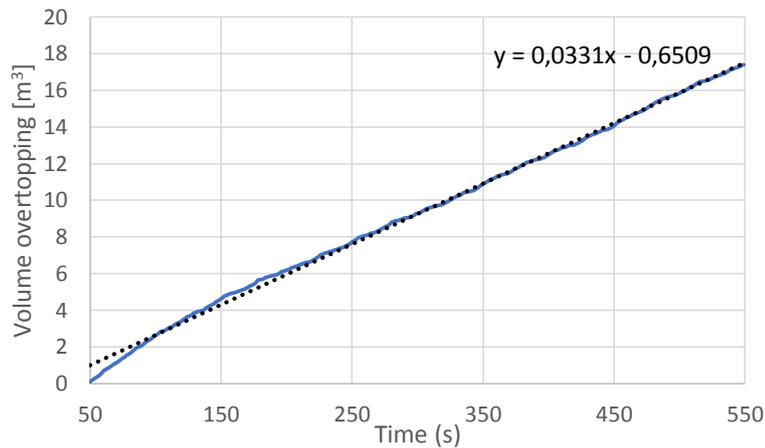
### 4.3.2 Overtopping Model B2

Model B2 dilakukan simulasi dan menghasilkan grafik *volume flow rate*. Simulasi dengan *interval history data* 0,04 maka didapatkan 12500 data *time series* dimulai dari detik ke 50. Kemudian dari data tersebut dirata-rata tiap detik menjadi 500 data dan menghasilkan grafik pada Gambar 4.16.



**Gambar 4.16** Volume *overtopping* per detik Model B2

Grafik di atas menunjukkan nilai volume limpasan air yang terjadi tiap detik. Sedangkan untuk grafik kumulatif didapatkan dari penjumlahan volume limpasan tiap detik dan didapatkan grafik seperti Gambar 4.16 di bawah.



**Gambar 4.17** Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B2

Gambar 417 di atas adalah grafik kumulatif volume limpasan selama 500 detik untuk model B2. Pertambahan volume limpasan total mencapai 17,9 m<sup>3</sup>. Gambar 4.17 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi secara linier. Grafik kumulatif membentuk garis yang hampir lurus dan tidak ada variasi pertambahan volume yang lebih besar maupun lebih kecil secara signifikan.

Grafik kumulatif di atas juga menunjukkan bahwa pada simulasi model B2 dengan waktu 500 detik volume limpasan yang terjadi adalah 17,39 m<sup>3</sup>. Debit limpasan tiap detik dihitung dengan membagi volume limpasan total dengan waktu simulasi.

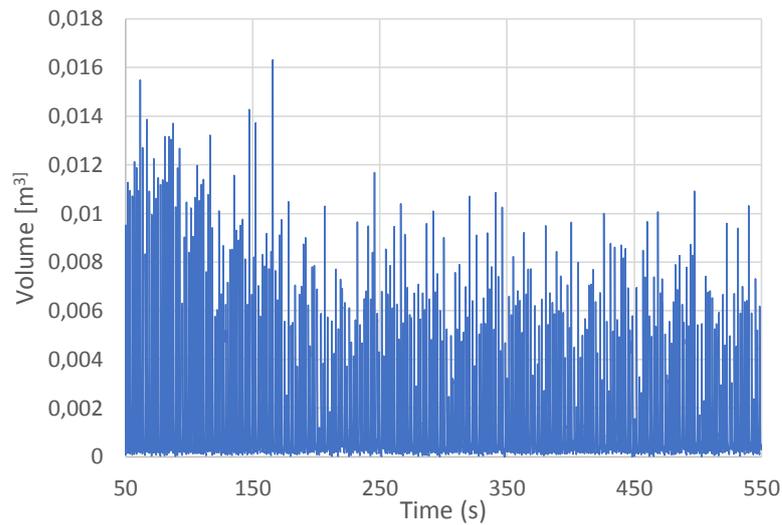
$$\frac{\Sigma Q}{t} = \frac{17,39}{500} = 0,03478 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} = \frac{0,03478}{0,2} = 0,1739 \text{ m}^3/\text{s per m}$$

Sehingga simulasi model B2 dengan waktu 500 detik menghasilkan nilai debit *overtopping* sebesar 0,03478 m<sup>3</sup>/s atau 34,78 liter/detik. *Overtopping* relatif sebesar 0,1739 m<sup>3</sup>/s per m.

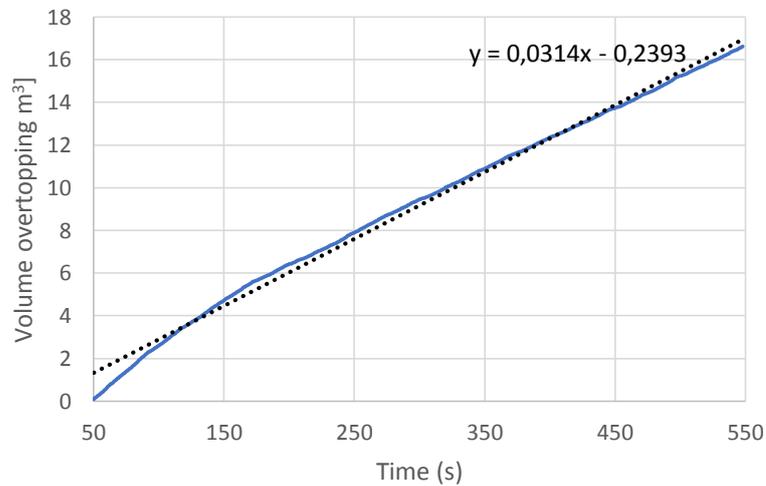
### 4.3.3 Overtopping Model B3

Model B3 dilakukan simulasi dan menghasilkan grafik *volume flow rate*. Simulasi dengan *interval history data* 0,04 maka didapatkan 12500 data *time series* dimulai dari detik ke 50. Kemudian dari data tersebut dirata-rata tiap detik menjadi 500 data dan menghasilkan grafik pada Gambar 4.18 di bawah.



**Gambar 4.18** Volume *overtopping* Model B3

Grafik di atas menunjukkan nilai volume limpasan air yang terjadi tiap detik. Sedangkan untuk grafik kumulatif didapatkan dari penjumlahan volume limpasan tiap detik dan didapatkan grafik seperti Gambar 4.19 di bawah.



**Gambar 4.19** Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B3

Gambar 4.19 di atas adalah grafik kumulatif volume limpasan selama 500 detik untuk model B3. Pertambahan volume limpasan total mencapai 16,62 m<sup>3</sup>. Gambar 4.19 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi secara linier. Grafik kumulatif membentuk garis yang hampir lurus dan tidak ada variasi pertambahan volume yang lebih besar maupun lebih kecil secara signifikan.

Gambar 4.19 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi secara linier. Grafik kumulatif membentuk garis yang hampir lurus dan tidak ada variasi pertambahan volume yang lebih besar maupun lebih kecil secara signifikan. Grafik kumulatif di atas juga menunjukkan bahwa pada simulasi model B3 dengan waktu 500 detik volume limpasan yang terjadi adalah 16,57 m<sup>3</sup>. Debit limpasan tiap detik dihitung dengan membagi volume limpasan total dengan waktu simulasi.

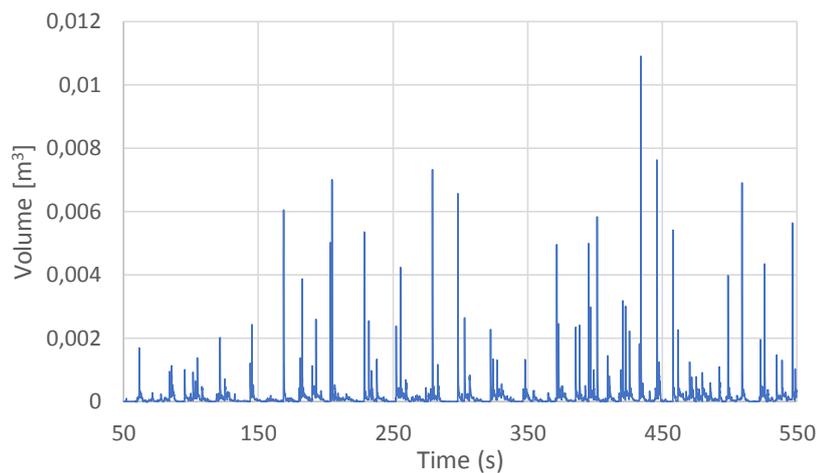
$$\frac{\Sigma Q}{t} = \frac{16,62}{500} = 0,0332 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} = \frac{0,0331}{0,2} = 0,1662 \text{ m}^3/\text{s per m}$$

Sehingga simulasi model B3 dengan waktu 500 detik menghasilkan nilai debit *overtopping* sebesar 0,0332 m<sup>3</sup>/s atau 33,1 liter/detik. *Overtopping* relatif sebesar 0,1662 m<sup>3</sup>/s per m.

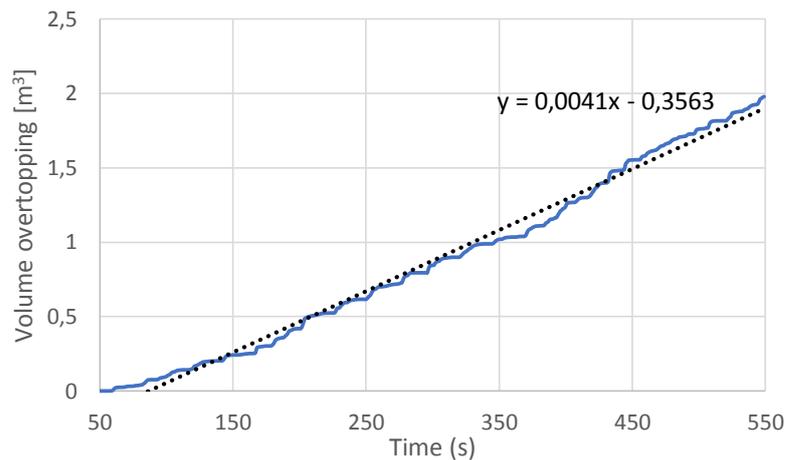
#### 4.3.4 *Overtopping* Model B1.60

Model B1.60 dilakukan simulasi dan menghasilkan grafik *volume flow rate*. Simulasi dengan *interval history data* 0,04 maka didapatkan 12500 data *time series* dimulai dari detik ke 50. Kemudian dari data tersebut dirata-rata tiap detik menjadi 500 data dan menghasilkan grafik pada Gambar 4.20.



**Gambar 4.20** Volume *overtopping* Model B1.60

Grafik di atas menunjukkan nilai volume limpasan air yang terjadi tiap detik. Sedangkan untuk grafik kumulatif didapatkan dari penjumlahan volume limpasan tiap detik dan didapatkan grafik seperti Gambar 4.21 di bawah.



**Gambar 4.21** Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B1.60

Gambar 4.21 di atas adalah grafik kumulatif volume limpasan selama 500 detik untuk model B1.60. Pertambahan volume limpasan total mencapai 1,979 m<sup>3</sup>. Gambar 4.21 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi secara linier. Gambar 4.21 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi tidak linier. Grafik kumulatif membentuk pola naik dan tidak teratur, yang artinya terdapat variasi pertambahan volume bahkan tidak terjadi adanya limpasan pada waktu tertentu sehingga grafik membentuk garis horizontal terhadap *time series*.

Grafik kumulatif di atas juga menunjukkan bahwa pada simulasi model B1.60 dengan waktu 500 detik volume limpasan yang terjadi adalah 1,979 m<sup>3</sup>. Debit limpasan tiap detik dihitung dengan membagi volume limpasan total dengan waktu simulasi.

$$\frac{\Sigma Q}{t} = \frac{1,979}{500} = 0,00395 \text{ m}^3/\text{s}$$

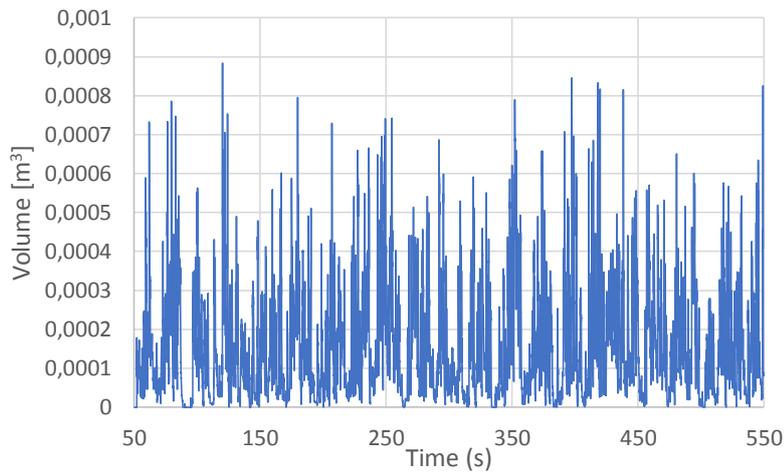
$$q = \frac{Q_{ov}}{d} = \frac{0,00395}{0,2} = 0,0198 \text{ m}^3/\text{s per m}$$

Sehingga simulasi model B2.60 dengan waktu 500 detik menghasilkan nilai debit *overtopping* sebesar 0,00395 m<sup>3</sup>/s atau 3,95 liter/detik. *Overtopping* relatif sebesar 0,1739 m<sup>3</sup>/s per m.

#### 4.3.5 *Overtopping* Model B2.60

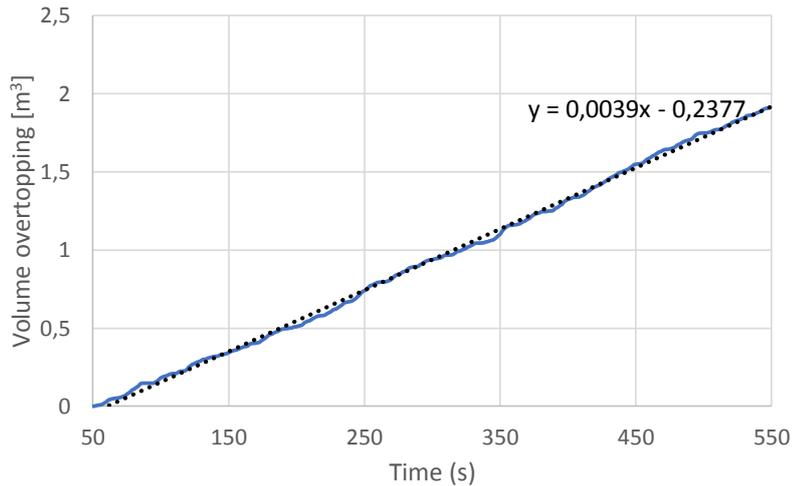
Model B2.60 dilakukan simulasi dan menghasilkan grafik *volume flow rate*. Simulasi dengan *interval history data* 0,04 maka didapatkan 12500 data *time*

series dimulai dari detik ke 50. Kemudian dari data tersebut dirata-rata tiap detik menjadi 500 data dan menghasilkan grafik pada Gambar 4.22



**Gambar 4.22** Volume *overtopping* Model B2.60

Grafik di atas menunjukkan nilai volume limpasan air yang terjadi tiap detik. Sedangkan untuk grafik kumulatif didapatkan dari penjumlahan volume limpasan tiap detik dan didapatkan grafik seperti Gambar 4.23 di bawah.



**Gambar 4.23** Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B2.60

Gambar 4.23 di atas adalah grafik kumulatif volume limpasan selama 500 detik untuk model B2.60. Pertambahan volume limpasan total mencapai  $1,91 \text{ m}^3$ . Gambar 4.23 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik. Gambar 4.23 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi tidak linier. Grafik kumulatif membentuk pola naik dan tidak teratur, yang artinya terdapat variasi pertambahan volume bahkan tidak terjadi

adanya limpasan pada waktu tertentu sehingga grafik membentuk garis horizontal terhadap *time series*.

Grafik kumulatif di atas juga menunjukkan bahwa pada simulasi model B2.60 dengan waktu 500 detik volume limpasan yang terjadi adalah 1,91 m<sup>3</sup>. Debit limpasan tiap detik dihitung dengan membagi volume limpasan total dengan waktu simulasi.

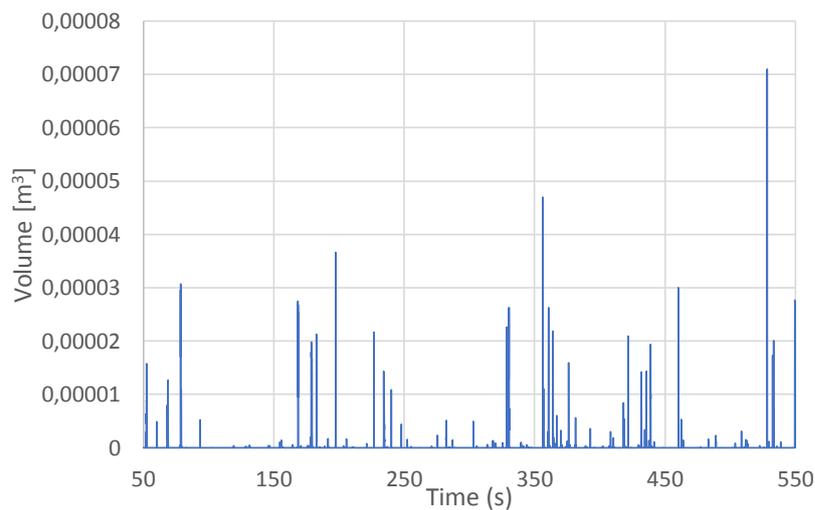
$$\frac{\Sigma Q}{t} = \frac{1,91}{500} = 0,00382 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q = \frac{Q_{ov}}{d} = \frac{0,00382}{0,2} = 0,0191 \text{ m}^3/\text{s per m}$$

Sehingga simulasi model B2.60 dengan waktu 500 detik menghasilkan nilai debit *overtopping* sebesar 0,00382 m<sup>3</sup>/s atau 3,82 liter/detik. *Overtopping* relatif sebesar 0,0191 m<sup>3</sup>/s per m.

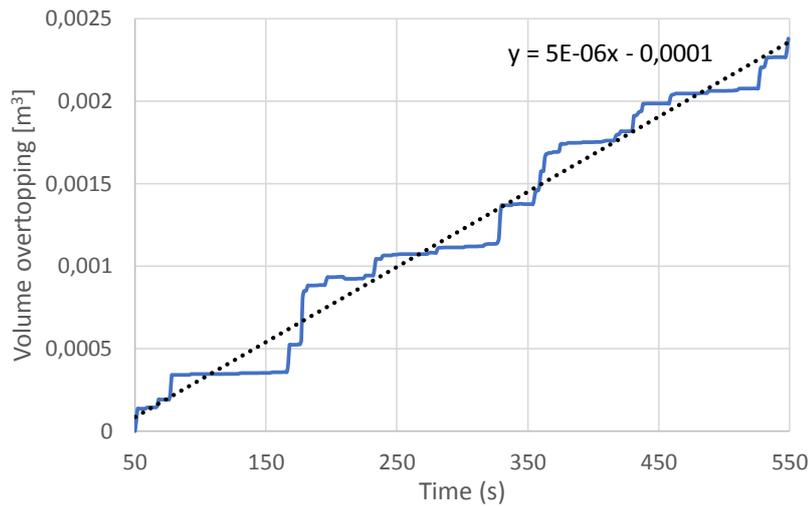
#### 4.3.6 *Ovetopping* Model B3.60

Model B3.60 dilakukan simulasi dan menghasilkan grafik *volume flow rate*. Simulasi dengan *interval history data* 0,04 maka didapatkan 12500 data *time series* dimulai dari detik ke 50. Kemudian dari data tersebut dirata-rata tiap detik menjadi 500 data dan menghasilkan grafik pada Gambar 4.24.



**Gambar 4.24** Grafik volume *overtopping* Model B3.60

Grafik di atas menunjukkan nilai volume limpasan air yang terjadi tiap detik. Sedangkan untuk grafik kumulatif didapatkan dari penjumlahan volume limpasan tiap detik dan didapatkan grafik seperti Gambar 4.25 di bawah.



**Gambar 4.25** Grafik kumulatif volume *overtopping* Model B3.60

Gambar 4.25 di atas adalah grafik kumulatif volume limpasan selama 500 detik untuk model B3.60. Pertambahan volume limpasan total mencapai 0,00238 m<sup>3</sup>. Gambar 4.25 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terhadap waktu simulasi. Gambar 4.25 di atas menunjukkan pertambahan volume limpasan rata-rata setiap detik terjadi tidak linier. Grafik kumulatif membentuk pola naik dan tidak teratur, yang artinya terdapat variasi pertambahan volume bahkan tidak terjadi adanya limpasan pada waktu tertentu sehingga grafik membentuk garis horizontal terhadap *time series*.

Grafik kumulatif di atas menunjukkan bahwa pada simulasi model B3.60 dengan waktu 500 detik volume limpasan total yang terjadi adalah 0,00238 m<sup>3</sup>. Debit limpasan tiap detik dihitung dengan membagi volume limpasan total dengan waktu simulasi.

$$\frac{\Sigma Q}{t} = \frac{0,00238}{500} = 4,7603 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

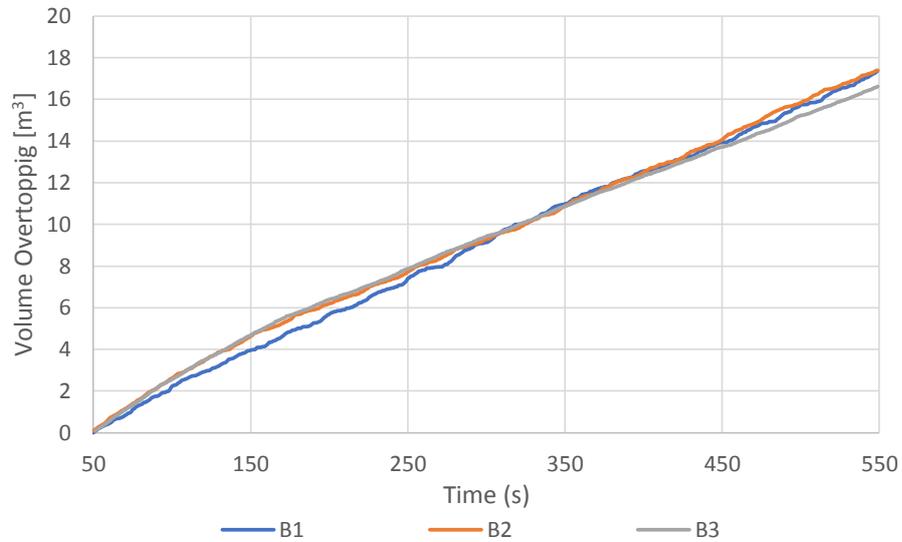
$$q = \frac{Q_{ov}}{d} = \frac{4,7603 \times 10^{-6}}{0,2} = 2,38 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s per m}$$

Sehingga simulasi model B2 dengan waktu 500 detik menghasilkan nilai debit *overtopping* sebesar 0,0000047603 m<sup>3</sup>/s atau 0,0047603 liter/detik. *Overtopping* relatif sebesar 2,38 X 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup>/s per m.

#### 4.4 Perbandingan *Overtopping* kumulatif

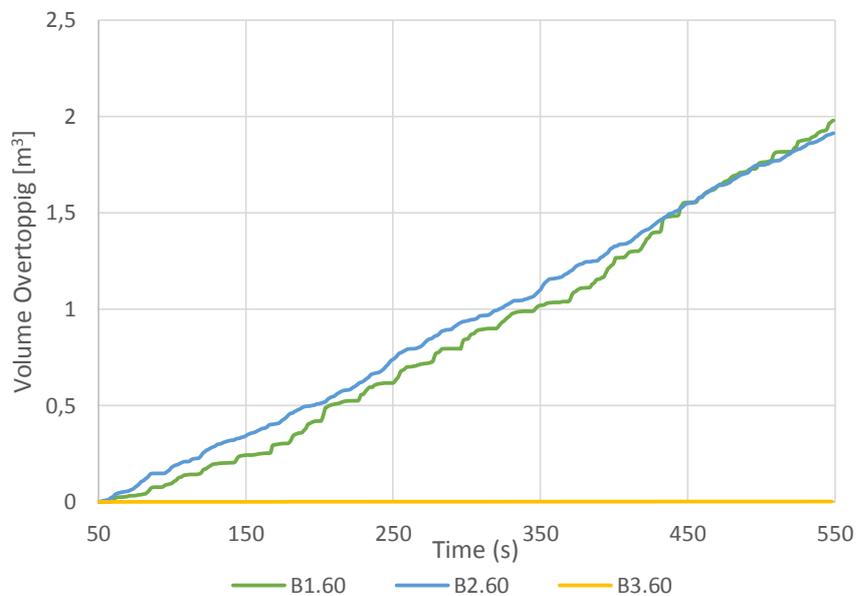
Perbandingan pertambahan volume *overtopping* dari simulasi model di atas disajikan dalam grafik pada Gambar 4.26 dan 4.27. perbandingan kumulatif

*overtopping* untuk mengetahui tren limpasan yang terjadi. Dilakukan perbandingan untuk ketinggian *freeboard* yang sama.



**Gambar 4.26** Grafik perbandingan *overtopping* kumulatif Bi

Gambar 4.26 yaitu perbandingan nilai kumulatif *overtopping* model dengan *freeboard* 0,05 m. Pertambahan volume limpasan yang terjadi memiliki tren yang hampir sama untuk model B1; B2 dan B3. Rata-rata volume yang dicapai selama 500 detik yaitu 0,17 m<sup>3</sup>. Hal tersebut dikarenakan *freeboard* yang rendah sehingga gelombang *run up* dapat mencapai puncak struktur.



**Gambar 4.27** Grafik perbandingan *overtopping* kumulatif Bi.60

Gambar 4.27 yaitu perbandingan nilai kumulatif *overtopping* model dengan *freeboard* 0,2 m. Pertambahan volume limpasan untuk model B1.60 dan B2.60 mencapai nilai 0,019 m<sup>3</sup>. Sedangkan model B3.60 memiliki volume limpasan yang kecil sehingga pada grafik di atas ditunjukkan dengan garis horizontal berwarna kuning. Sehingga dapat disimpulkan model yang optimal dalam menahan limpasan yaitu model B3.60.

#### 4.5 Perhitungan teoritis *overtopping*

Perhitungan secara teoritis *overtopping* menggunakan persamaan 2,20 pada bab 2. Penggunaan persamaan tersebut dikarenakan gelombang yang mengenai struktur tidak terjadi atau belum pecah. Perhitungan dengan melakukan asumsi pendekatan koefisien pada Eurotop 2016, di mana nilai koefisien sudah diketahui pada penelitian sebelumnya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah.

**Tabel 4.8** Perhitungan teoritis *overtopping*

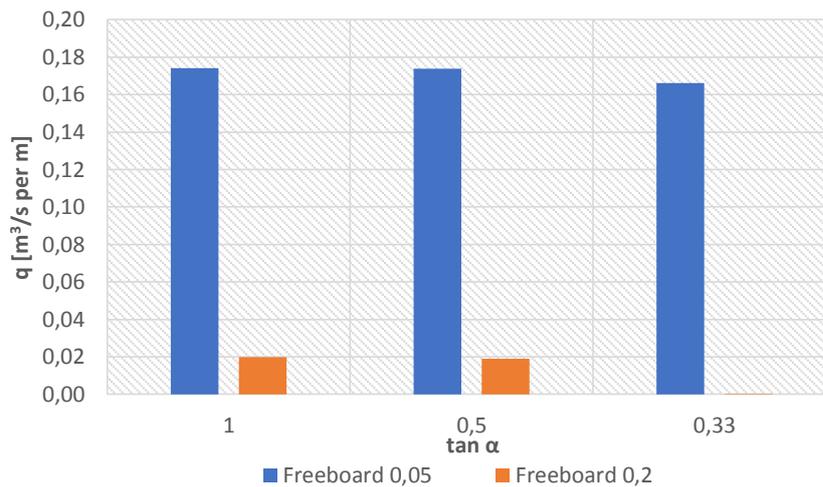
Model	g [m <sup>2</sup> /s]	Hm [m]	tan $\alpha$ [-]	Rc [m]	$\gamma^b$ [-]	$\gamma^\beta$ [-]	$\gamma^v$ [-]	$\gamma^f$ [-]	Q teoritis [-]
B1	9,81	0.18	1	0,05	1	1	1	0,8	0.0457
B2	9,82	0.18	0,5	0,05	1	1	1	0,7	0.0415
B3	9,83	0.18	0,33	0,05	1	1	1	0,4	0.0232
B1.60	9,84	0.18	1	0,2	1	1	1	0,8	0.0060
B2.60	9,85	0.18	0,5	0,2	1	1	1	0,7	0.0041
B3,60	9,86	0.18	0,33	0,2	1	1	1	0,4	0

#### 4.6 Perbandingan q dengan pengaruh *slope*

Variasi yang dilakukan adalah mengubah kemiringan struktur  $\alpha$  menjadi tiga, yaitu sebesar 45° B1; 26,56° B2; 18,26° B3. Debit *overtopping* relatif dibandingkan dengan pengaruh kemiringan struktur. Gambar 4.28 di bawah menunjukkan grafik perbandingan debit *overtopping* relatif (q) dengan tan  $\alpha$ . Tabel *overtopping* disajikan pada Tabel 4.7 di bawah.

**Tabel 4.9** *Overtopping* relatif dan *slope*

Struktur	q [m <sup>3</sup> /s/m]	tan $\alpha$ [-]
B1	0.1741	1
B2	0.1739	0.5
B3	0.1662	0.33
B1.60	0.0198	1
B2.60	0.0191	0.5
B3.60	0.0000	0.33



**Gambar 4.28** Grafik perbandingan  $q$  dengan  $slope$  ( $\tan \alpha$ )

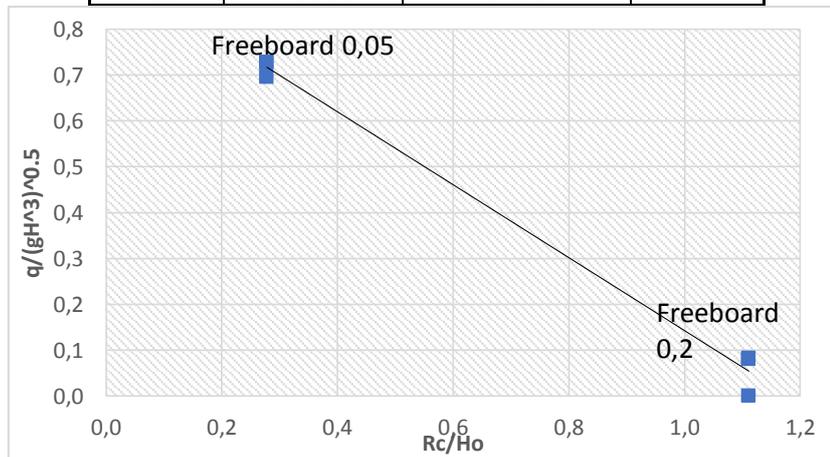
Perbandingan dengan mengelompokkan struktur berdasarkan tinggi *freeboard*, struktur B1; B2; B3 memiliki *freeboard* 0,05 m, sedangkan B1.60; B2.60; B3.60 memiliki *freeboard* 0,2 m. Gambar 4.28 di atas memiliki tren yang sama pada nilai  $\tan \alpha$  yang sama. Struktur yang lebih landai memiliki 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 yang landai dan di kombinasikan dengan *freeboard* yang tinggi akan menghasilkan limpasan yang sedikit. Pada struktur yang landai (B3) peletakan buis beton dengan *offset* 1,5D. Artinya struktur buis beton dengan peletakan yang lebih panjang secara horizontal memiliki debit *overtopping* lebih kecil.

#### 4.7 Perbandingan *overtopping* relatif dengan pengaruh *Freeboard*

Penelitian dilakukan dengan memvariasikan tinggi *freeboard* struktur. Selanjutnya dibandingkan debit volume *overtopping* dengan pengaruh *freeboard* struktur. Gambar 4.29 di bawah menunjukkan grafik perbandingan debit *overtopping* relatif ( $q$ ) dengan *run up crest* ( $R_c$ ).

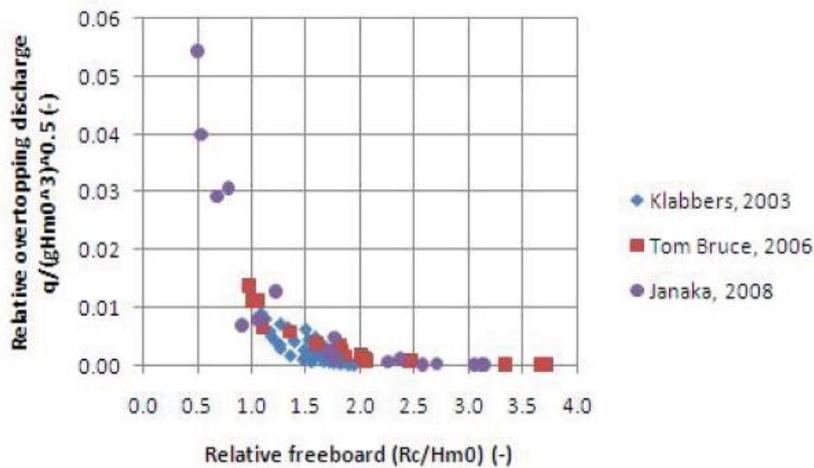
**Tabel 4.10** Pengaruh *overtopping* relatif dengan *freeboard*

Struktur	q [m <sup>3</sup> /s/m]	$\frac{q}{\sqrt{gH_0^3}}$ [-]	$\frac{Rc}{H_0}$ [-]
B1	0.1741	0.728	0.278
B2	0.1739	0.727	0.278
B3	0.1662	0.695	0.278
B1.60	0.0198	0.083	1.111
B2.60	0.0191	0.080	1.111
B3.60	0.0000	0.000	1.111



**Gambar 4.29** Grafik perbandingan q dengan *freeboard* (Rc)

Gambar 4.29 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°.



**Gambar 4.30** Perbandingan sebaran *overtopping* (Alfansuri, 2010)

Perbandingan dengan penelitian lain untuk mengetahui apakah trend yang terjadi pada penelitian ini sama dengan penelitian lain. Perbandingan hasil

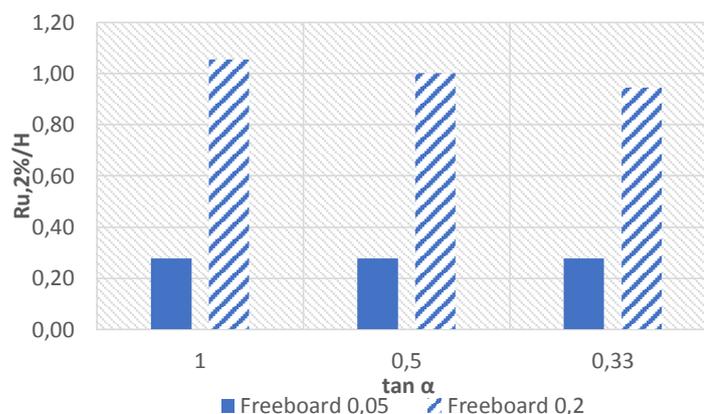
*overtopping* relatif dan *freeboard* telah dilakukan oleh Alfansuri, 2011 pada Gambar 4.30 di atas. Alfansuri membandingkan hasil sebaran *overtopping* dari peneliti Klabers, 2003; Tom Bruce, 2006 dan Janaka, 2008. Di mana hasil penelitian lain menunjukkan tren yang sama. Semakin rendah *freeboard* maka debit *overtopping* yang terjadi akan semakin besar. Struktur yang lebih tinggi memiliki debit *overtopping* yang lebih kecil, terlihat pada struktur dengan *freeboard* 0,2 m yang terjadi debit *overtopping* yang lebih kecil. Hal tersebut diakibatkan oleh energi rayapan gelombang yang terdisipasi pada dinding struktur sebelum mencapai puncak struktur.

#### 4.8 Perbandingan *Run up* dengan *slope*

Variasi yang dilakukan adalah mengubah kemiringan struktur  $\alpha$  menjadi tiga, yaitu sebesar  $45^\circ$  B1;  $26,56^\circ$  B2;  $18,26^\circ$  B3. Selanjutnya dibandingkan debit volume *overtopping* dengan pengaruh kemiringan struktur. Gambar 4.31 di bawah menunjukkan grafik perbandingan elevasi *run up* 2% ( $Ru_{2\%}$ ) dengan  $\tan \alpha$ .

**Tabel 4.11** Perbandingan *run up* dengan *slope*

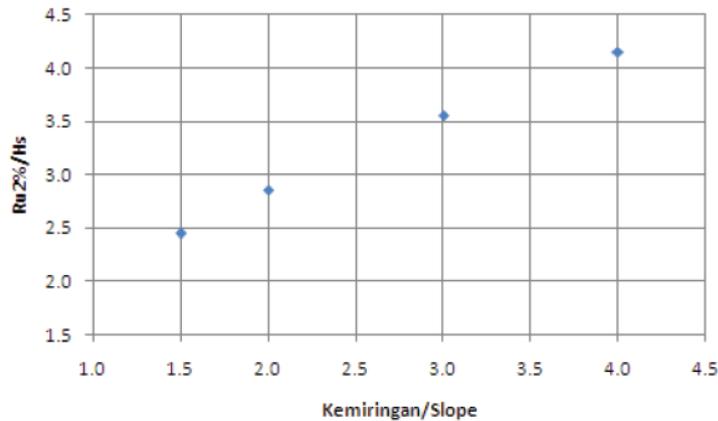
Struktur	$Ru_{2\%}$ [m]	$\tan \alpha$ [-]	$Ru/H_0$ [-]	$\xi_0$
B1	0.05	1	0.278	4.384
B2	0.05	0.5	0.278	2.211
B3	0.05	0.33	0.278	1.369
B1.60	0.19	1	1.056	5.174
B2.60	0.18	0.5	1.000	2.065
B3.60	0.17	0.33	0.944	1.358



**Gambar 4.31** Grafik perbandingan *run up* dengan kemiringan

Perbandingan dengan mengelompokkan struktur berdasarkan tinggi *freeboard*, struktur B1; B2; B3 memiliki *freeboard* 0,05 m, sedangkan B1.60;

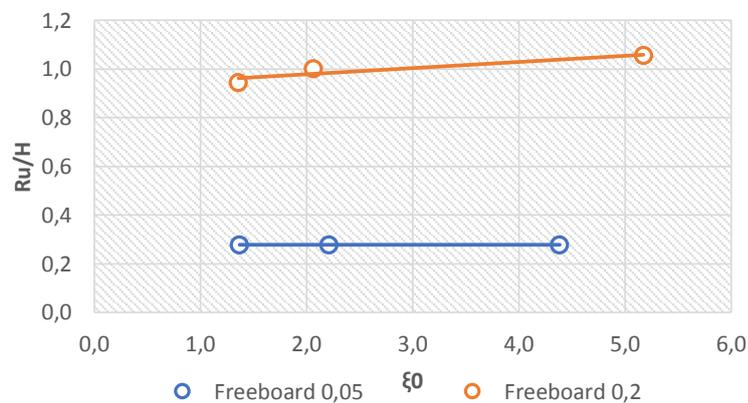
B2.60; B3.60 memiliki *freeboard* 0,2 m. Dari Gambar 4.31 *run up* yang terjadi pada struktur dengan *freeboard* 0,05 adalah sama pada setiap kemiringan struktur. Hal tersebut dapat terjadi karena rayapan gelombang memiliki energi yang tinggi sehingga terjadi rayapan hingga mencapai puncak struktur. Sedangkan struktur dengan *freeboard* 0,2 dapat menyerap energi dari rayapan gelombang karena lintasan rayapan yang panjang.



**Gambar 4.32** Perbandingan *run up* dan kemiringan (Alfansuri, 2011)

Perbandingan dengan hasil penelitian lain juga menunjukkan tren yang sama di mana semakin curam struktur maka nilai *run up* semakin tinggi. Gambar 4.32 adalah hasil dari penelitian Alfansuri (2011).

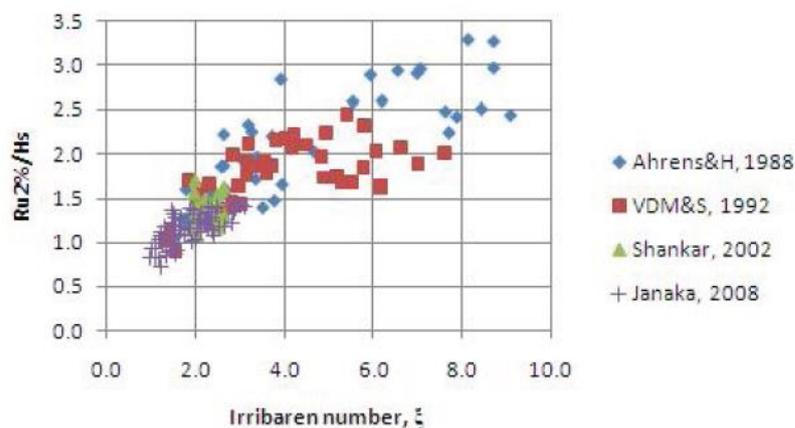
Untuk perbandingan *run up* dengan *breaker parameter*, disajikan pada Gambar 4.33 di bawah ini.



**Gambar 4.33** Grafik perbandingan *run up* dengan *breaker parameter*

Perbandingan dengan *breaker parameter* dilakukan karena parameter tersebut terdapat pengaruh dari kemiringan struktur secara langsung.  $\xi_0$  adalah suatu parameter yang digunakan untuk menentukan bentuk gelombang pecah, dan dapat mempengaruhi rayapan dari gelombang pecah tersebut. Persamaan  $\xi_0$

menggunakan parameter  $\tan\alpha$ . Gambar 4.33 menunjukkan bahwa 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 buis 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 grafik *run up* buis beton di atas menunjukkan semakin curam elevasi struktur maka semakin tinggi elevasi *run up* yang terjadi. Pengaruh dari perletakan buis beton terlihat pada peletakan 1,5D dengan lintasan rayapan gelombang yang panjang dan buis beton dapat menahan rayapan gelombang yang terjadi. Sedangkan peletakan 0,5D lintasan rayapan struktur yang pendek dan permukaan yang lebih curam buis beton tidak terlalu berpengaruh untuk menahan *run up*.



**Gambar 4.34** Karakteristik perbandingan sebaran data *run up* gelombang (Alfansuri, 2011)

Untuk perbandingan dengan penelitian lain dilakukan dengan membandingkan tren sebaran data *run up* dari penelitian lain yaitu dengan penelitian alfansuri (2011) seperti pada Gambar 4.34 di atas. Penelitian ini tidak dapat dibandingkan dalam satu grafik karena struktur yang diuji coba berbeda. Namun dari hasil sebaran *run up* penelitian lain sebaran yang terbentuk memiliki tren yang sama, yaitu *run up* naik terhadap penambahan *irribaren number*. Semakin curam struktur, nilai  $\xi_0$  akan semakin tinggi, *run up* juga semakin tinggi dan *overtopping* semakin besar.

*“halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan pemodelan numerik *run up* dan *overtopping* struktur buis beton yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pemodelan numerik struktur buis beton dengan variasi kemiringan dan *freeboard*, maka hasil *run up* dan *overtopping* yang didapatkan memiliki hasil bervariasi. Struktur buis beton tidak berpengaruh dalam menahan rayapan gelombang. Namun apabila mempertimbangkan desain, peletakan seperti model B3.60 maka akan didapatkan hasil yang baik.
2. Pengaruh kemiringan (B1 45°; B2 26,56°; B3 18,26°) dan *freeboard* sangat berkaitan.
  - a. 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.
  - b. 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 buis beton dengan peletakan 1,5D lebih baik untuk menahan rayapan gelombang sehingga berpengaruh pada besar debit *overtopping* yang terjadi akan lebih kecil.

#### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan peneliti memiliki beberapa yang perlu dilakukan untuk keberlanjutan penelitian sejenis.

1. 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*.
2. Dilakukan variasi gelombang dengan mengubah nilai tinggi gelombang dan periode, maupun jenis gelombang untuk mengetahui pengaruhnya.
3. Melakukan analisa mengenai refleksi gelombang akibat struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

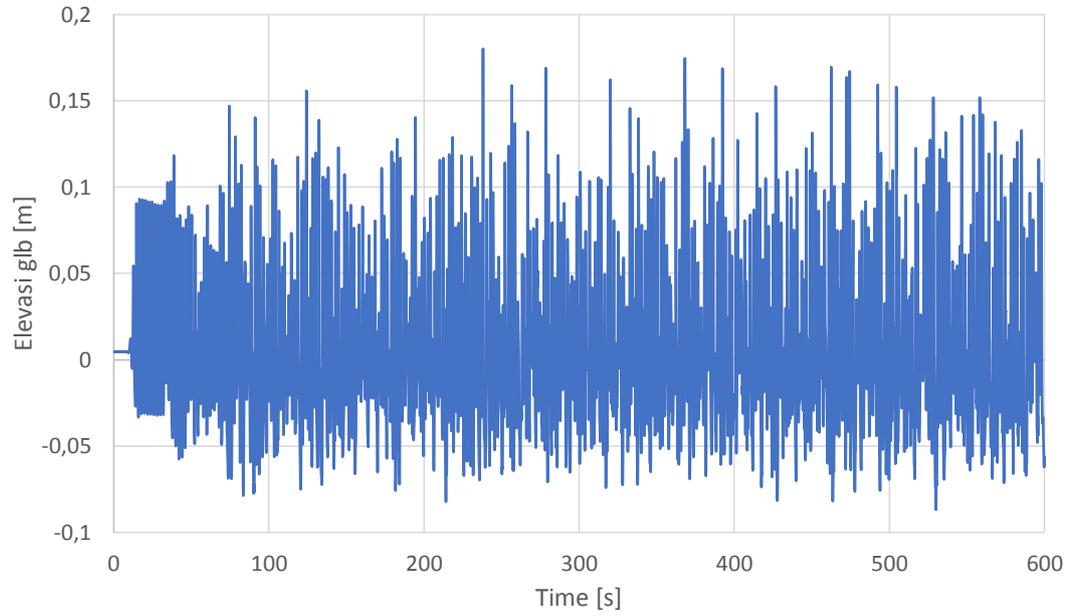
- Alfansuri, S., Suntoyo, H. D. Armono. 2010. *Analisa Perbandingan Formula Run up dan Overtopping Gelombang Irregular Struktur Dasar Kasar*. Teknik Kelautan FTK ITS, Surabaya.
- Allsop, N. W. H., L. Franco, dan P. J. Hawkes. 1985. Wave Run-up on Steep Slopes-A. *Literature Review Hydraulic Research*. Oxfordshire, UK.
- Allsop, N. W. H. 1988. Concrete Armour for Rubble Mound Seawalls and Sea Walls: *Recent Progress. Hydraulic Research*, Oxfordshire, UK.
- Barkhudarov, M. R. 2003. *Semi-Lagrangian VOF Advection Method for FLOW-3D*. Flow Science, Inc.
- Cavallaro, L., F. Dentale, G. Donnarumma, E. Foti, R. E. Msumeci, E. P. Carratelli. 2012. Rubble Mound Seawall Overtopping: Estimation of the Reliability of a 3D Numerical Simulation. *Journal of Coastal Engineering*. Italia.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual Volume 1&2, 4<sup>th</sup> Edition*. Departement of The Army. USA.
- Choi, B. H., E. Pelinovsky, D. C. Kim, I. Didenkulova, S. -B. Woo. 2008. Two- and Three-Dimensional Computation of Solitary Wave Run up on non-Plane Beach. *Nonlin. Processes in Geophysics 15<sup>th</sup>*, 489-502. Jerman.
- Dentale, F., F. Reale, A. Di Leo, E. P. Carratelli. 2017. A CFD Approach to Rubble Mound Seawall Design. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering 10<sup>th</sup>, 10<sup>th</sup>*, 644-650. Italia.
- Dentale, F. G. Donnarumma, E. P. Carratelli. 2012. Wave Run up and Reflection on Tridimensional Virtual Seawall. *Journal of Hydrogeology & Hydrologic Engineering*. SciTechnol, London, UK.
- Dentale, F., G. Donnarumma, E. P. Carratelli. 2014. *Rubble Mound Seawall: Run-Up, Reflection and Overtopping by Numerical 3D Simulation*. Italia
- Dentale, F., G. Donnarumma, E. P. Carratelli, F. Reale. 2015. *A Numerical Method to Analyze the Interaction between Sea Waves and Rubble Mound Emerged Seawalls*. Italia.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS PRESS. Surabaya

- Dodet, G., F. Lecker, F. Ardhuin, S. Suanez, J. F. Filipot. 2017. Wave Run up over the Steep Rocky Cliffs Banneg Island. *Coastal Dynamic no.072*. France.
- EuroTop II Edition. 2016. *Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures*.
- Hirt, C. W. dan B. D. Nichols. 1981. Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries. *Journal of Computational Physics 39*. Los Almos Scientific Laboratory. New Mexico.
- Jilani, A. N., M. Z. Niri, N. Naderi. 2014. Simulating Three-Dimensional Wave Run-up Over Seawalls Covered by Antifier Units. *Int. Journal Naval Architect and Ocean Engineering 6<sup>th</sup>*: 297-306. Iran
- Kamphuis, J. William. 2000. *Introduction to Coastal Engineering and Management*. Canada: World Scientific.
- Losada, I. J., J. L. Lara, R. Guanche, J. M. Ondina. 2008. Numerical Analysis of Wave Overtopping of Rubble Mound Breakwatwers. *Coastal Engineering 55*, 47-62. Spain.
- Machado, F. M. M., A. M. G. Lopes, A. D. Ferreira. 2018. Numerical Simulation of Regular Waves: Optimization of a Numrical Wave Tank. *Journal of Ocean Engineering 170<sup>th</sup>*, 89-99. Portugal.
- Nourani, O., M. B. Askar. 2017. Comparison of the Effect of Tetrapod Block and Armor X Block on Reducing Wave Overtopping in Breakwaters. *Open Journal of Marine Science 2017 7<sup>th</sup>*, 472-484. Iran
- Schuttrumpf, H., J. Van der Meer, A. Kortenhaus, T. Bruce, L. Franco. 2009. Wave Run up and Wave Overtopping at Armored Rubble Slopes and Mounds. *Handbook of Coastal and Ocean Engineering, Chapter15*.
- Smith. P.E. 2016. *Types of Marine Concrete Structures*. Prestedge Retief Dresner Wijnberg (Pty) Ltd. USA.
- Sverdrup, H. U. dan W. H. Munk. 1946. *Empirical and Theoretical Between Wind, Sea, and Swell*. American Geophysical Union. USA.
- Triatmodjo. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Jogjakarta.
- Van der Meer, J. 2011. *Design Aspects of Seawalls and Sea Defences*. 5<sup>th</sup> International Short Conference on Aplied Coastal Research. Germany.

DATA UJI MODEL FISIK BUIS BETON  
(BALAI PANTAI, 2018)

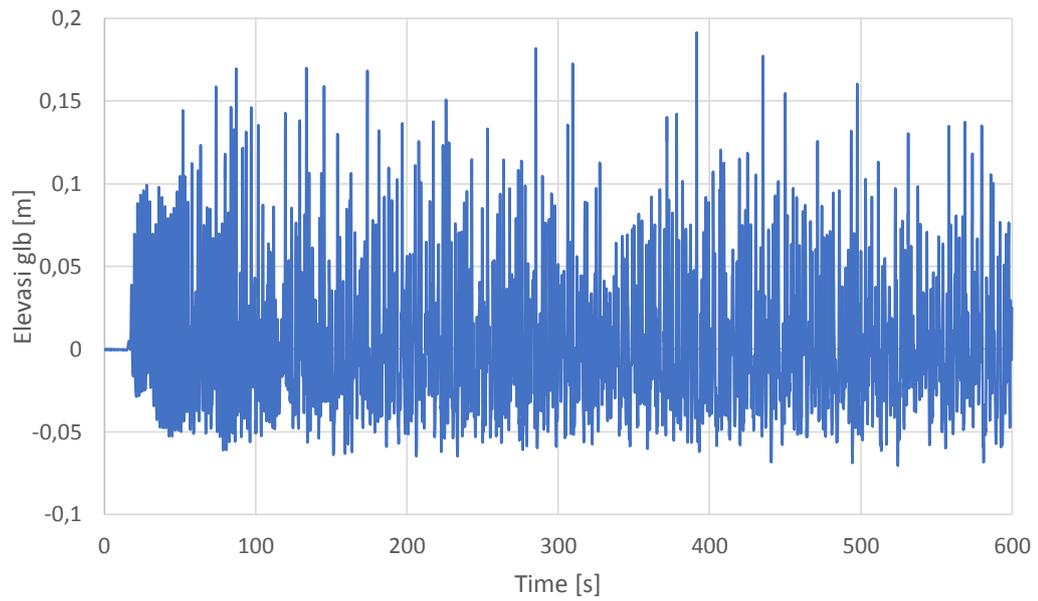
**MODEL M1\_H15\_T2\_D45**  
GRAFIK ELEVASI MUKA AIR PENGUJIAN FISIK. PEREKAMAN  
*WAVE PROBE*

WP 1



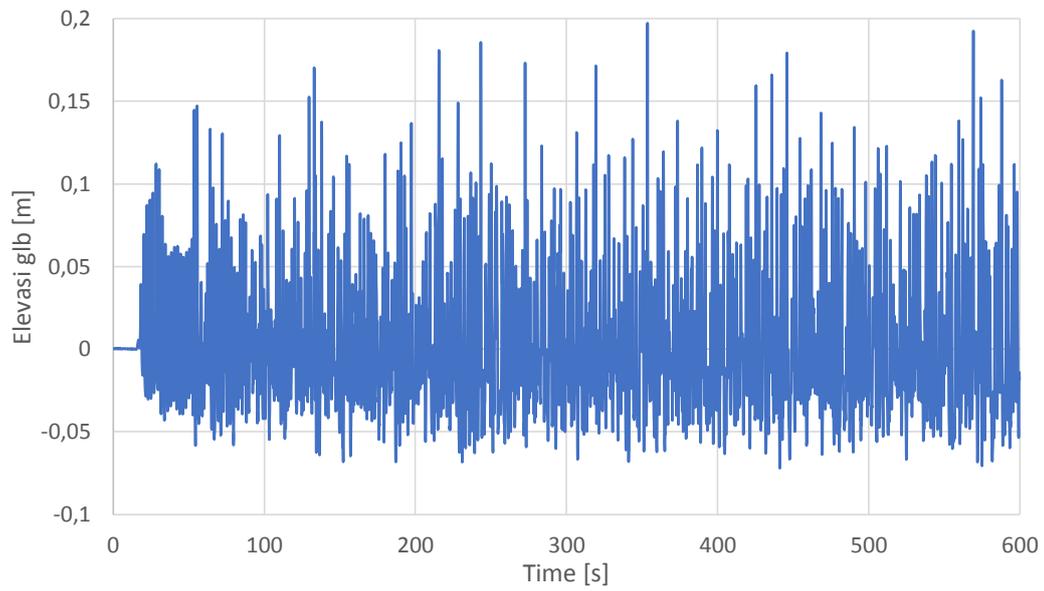
Gambar grafik elevasi gelombang WP1

WP2



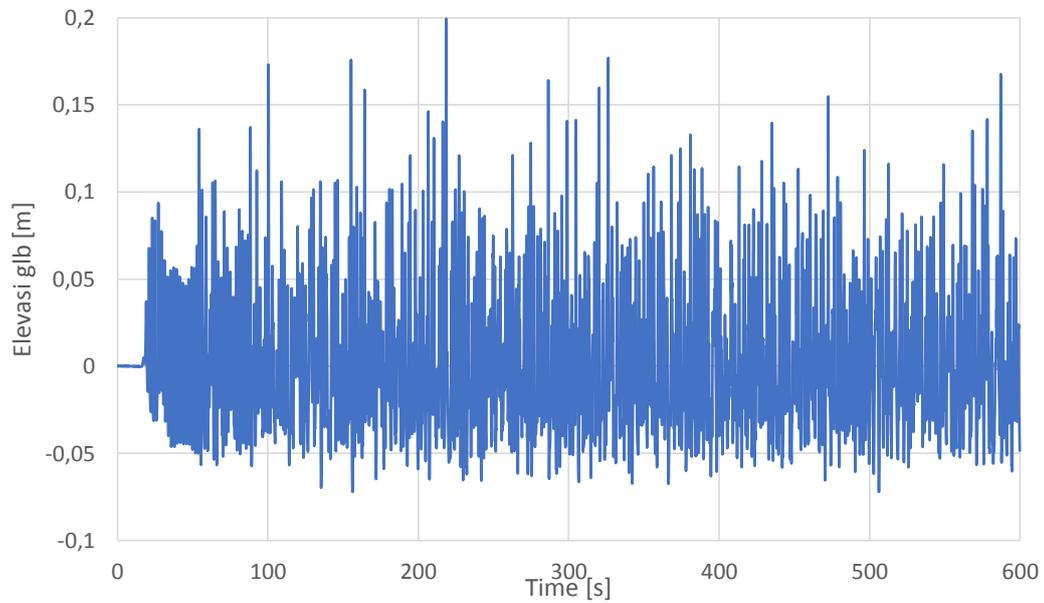
Gambar grafik elevasi gelombang WP2

### WP3



Gambar grafik elevasi gelombang WP3

### WP4



Gambar grafik elevasi gelombang WP4

TABEL OLAH DATA PENGUJIAN FISIK BALAI PANTAI.  
PEREKAMAN *WAVE PROBE*

**Tabel data olah WP1**

WP 1	
Number of Waves	= 285
Average wave period	= 1.754 seconds
Significant wave height	= 0.23 metres
Maximum wave height	= 0.3047 metres
Average wave height	= 0.178 metres
Rms wave height	= 0.1777 metres
Average of highest	= 0.27 metres
Sigmaz	= 0.0577 metres

**Tabel data olah WP2**

WP 2	
Number of Waves	= 291
Average wave period	= 1.721 seconds
Significant wave height	= 0.2267 metres
Maximum wave height	= 0.301 metres
Average wave height	= 0.1471 metres
Rms wave height	= 0.1627 metres
Average of highest	= 0.2713 metres
Sigmaz	= 0.0536 metres

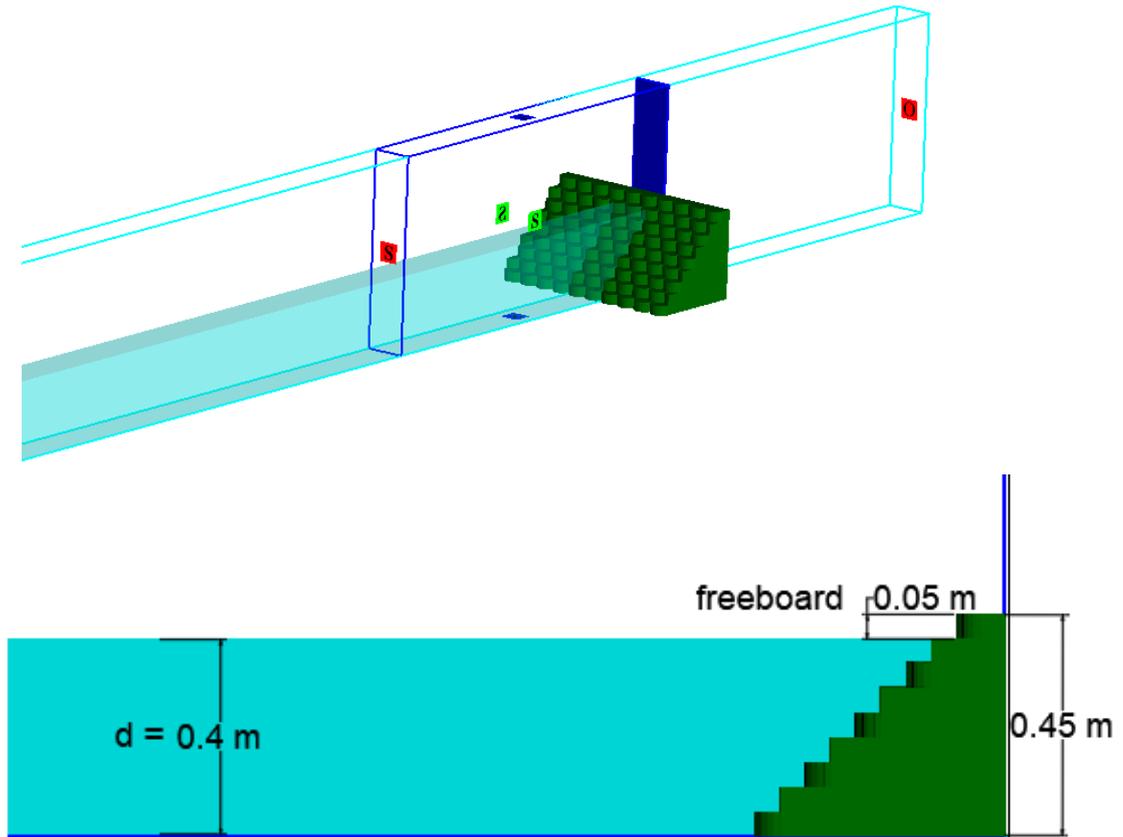
**Tabel data olah WP3**

WP 3	
Number of Waves	= 291
Average wave period	= 1.782 seconds
Significant wave height	= 0.2202 metres
Maximum wave height	= 0.3056 metres
Average wave height	= 0.1464 metres
Rms wave height	= 0.1604 metres
Average of highest	= 0.2619 metres
Sigmaz	= 0.0514 metres

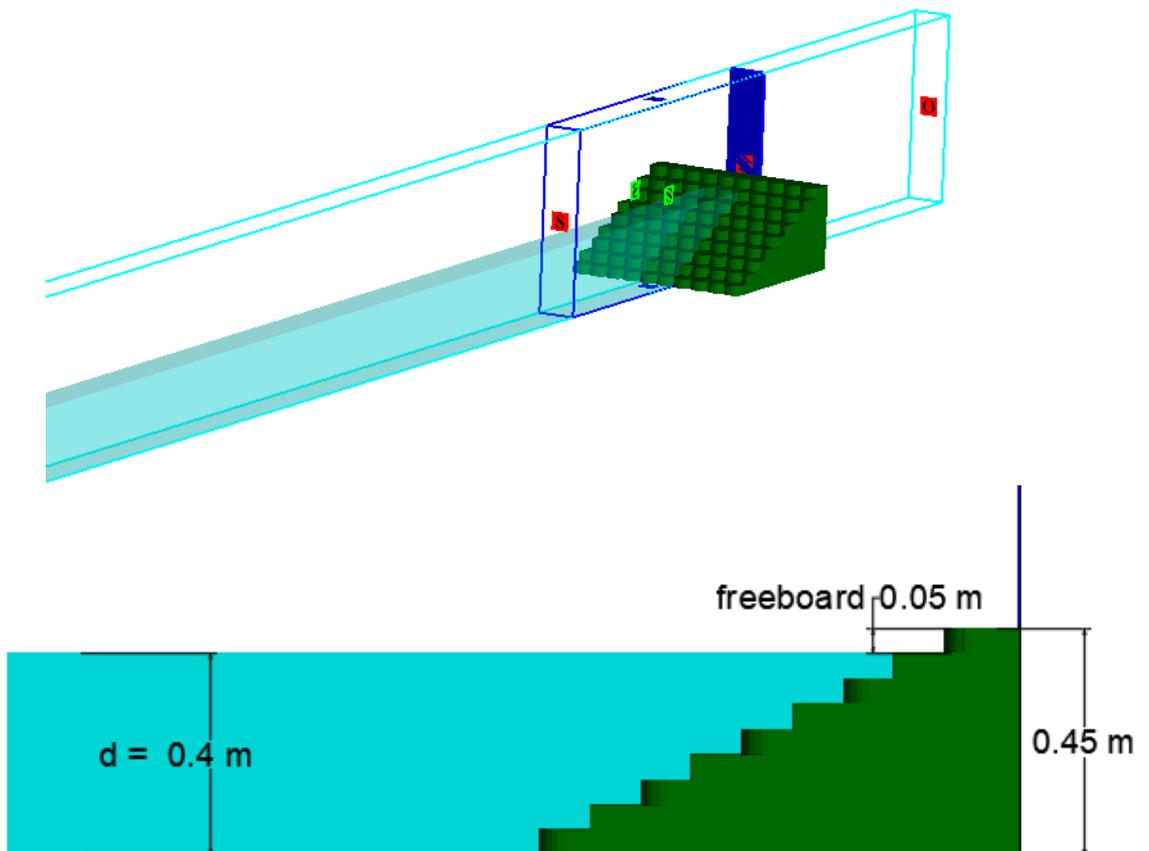
**Tabel data olah WP4**

WP 4	
Number of Waves	= 303
Average wave period	= 1.65 seconds
Significant wave height	= 0.2166 metres
Maximum wave height	= 0.3358 metres
Average wave height	= 0.1409 metres
Rms wave height	= 0.1565 metres
Average of highest	= 0.2674 metres
Sigmaz	= 0.0493 metres

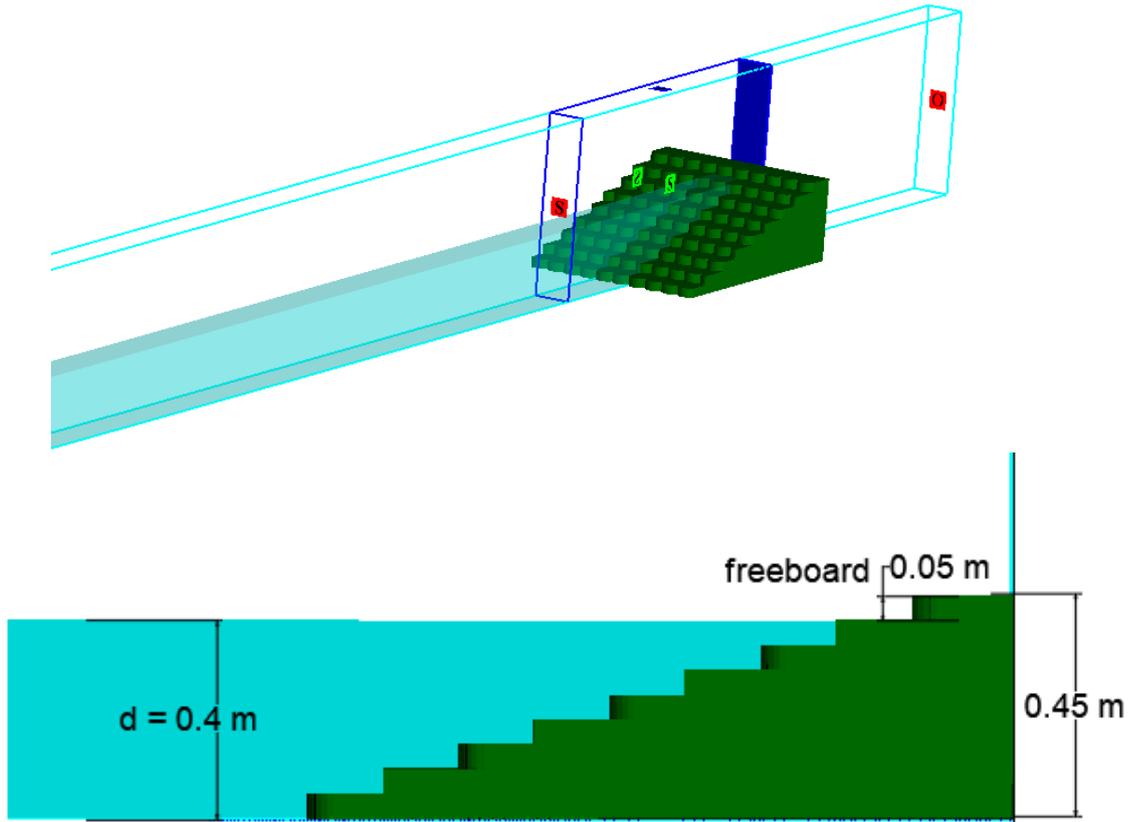
### KONFIGURASI MODEL B1



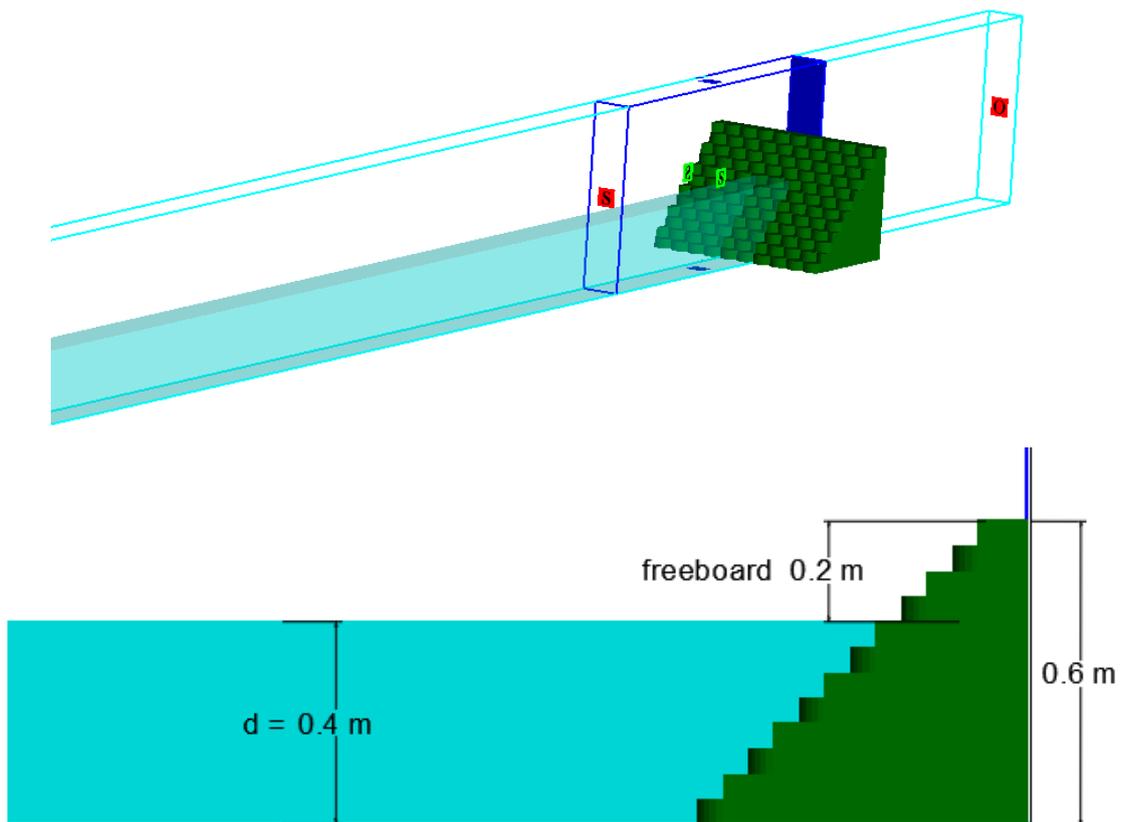
### KONFIGURASI MODEL B2



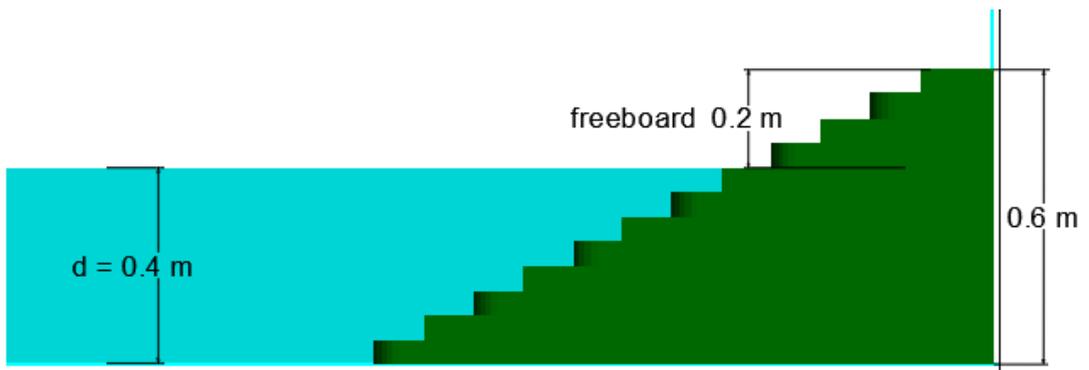
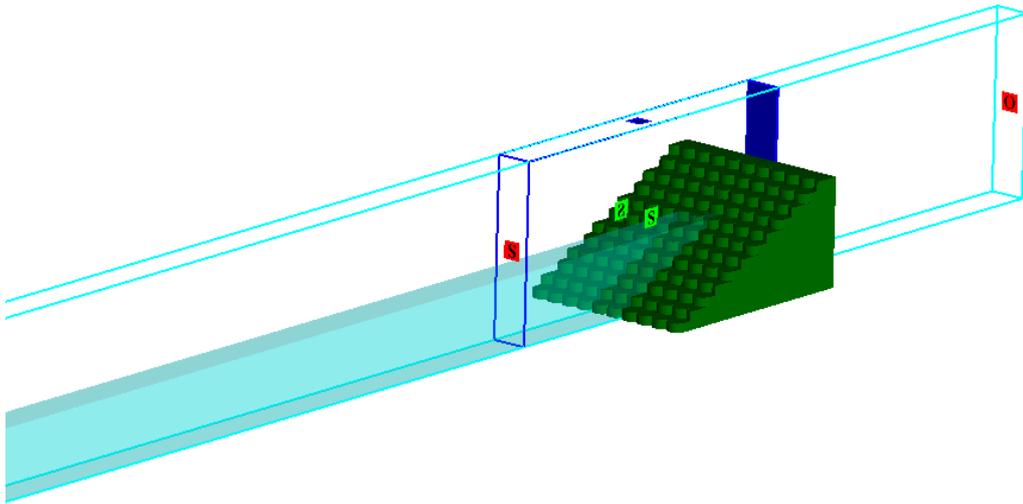
### KONFIGURASI MODEL B3



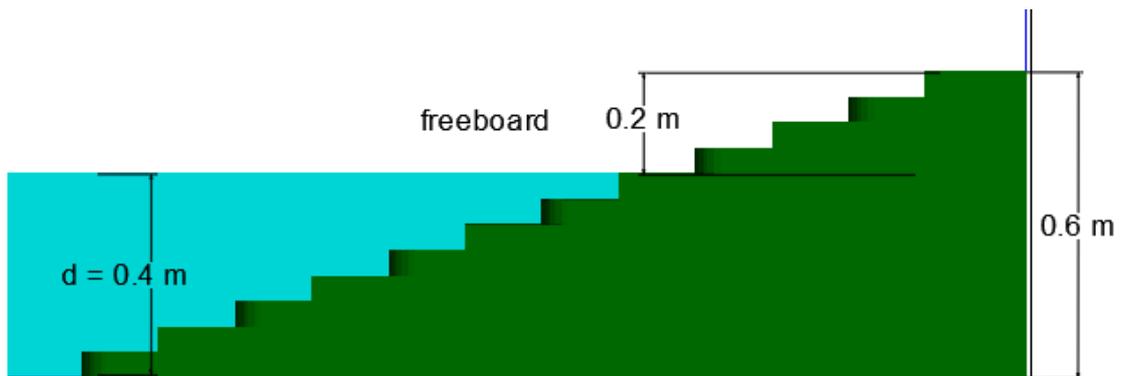
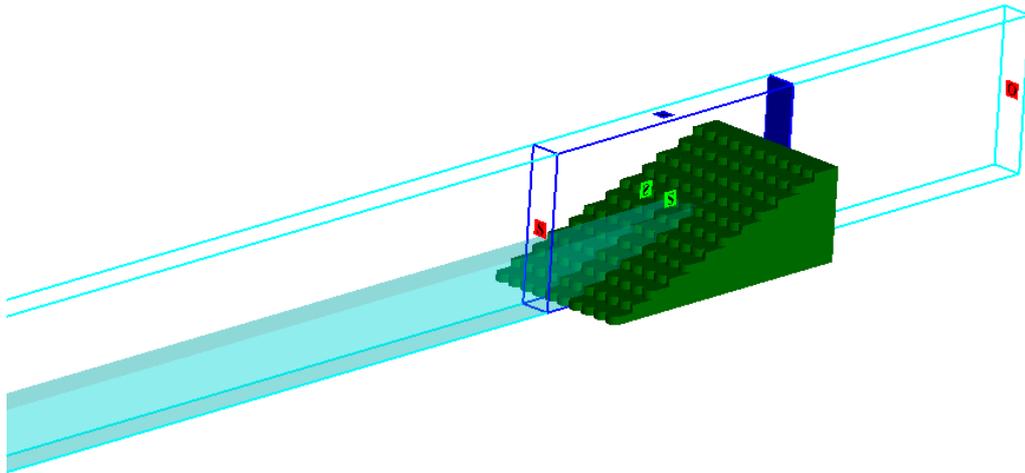
### KONFIGURASI MODEL B1.60



KONFIGURASI MODEL B2.60

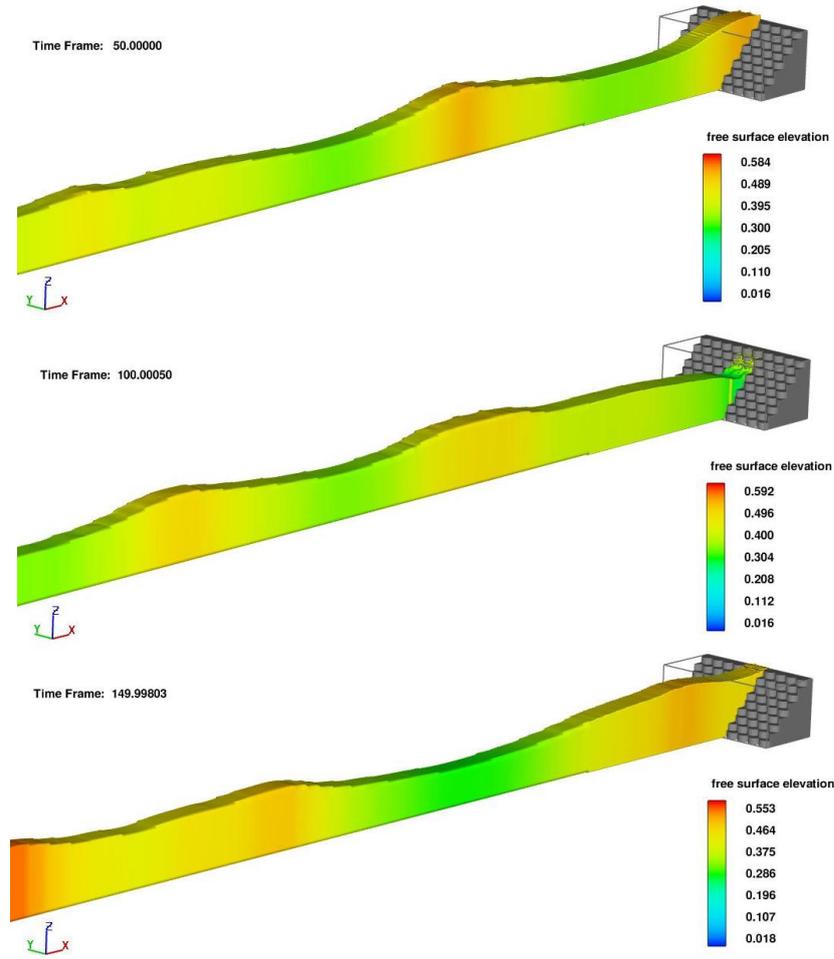


KONFIGURASI MODEL B3.60

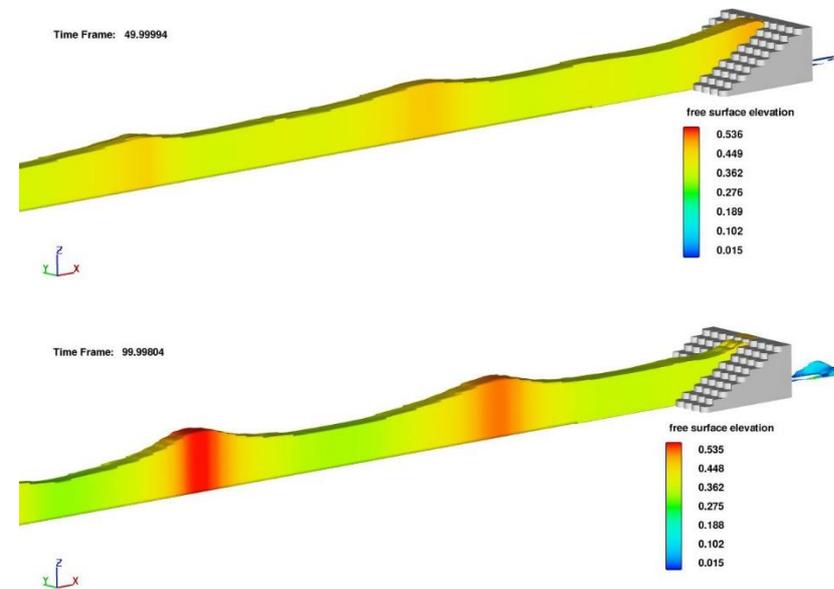


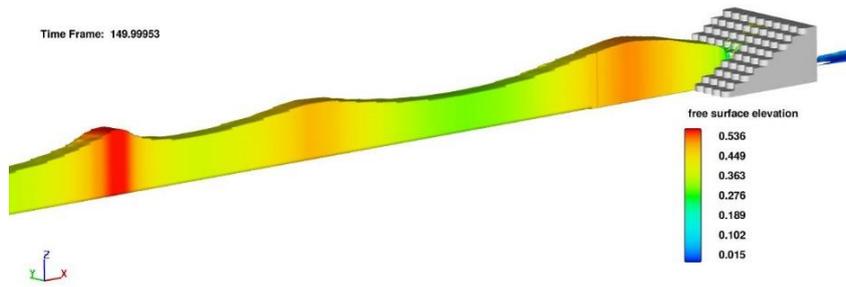
# SAMPEL SIMULASI RUN UP 3D MODEL

## SIMULASI 3D MODEL B1

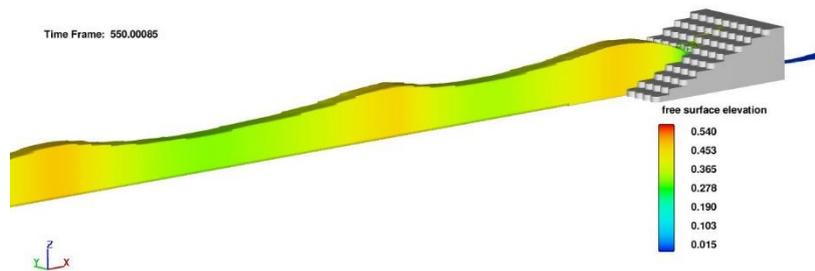
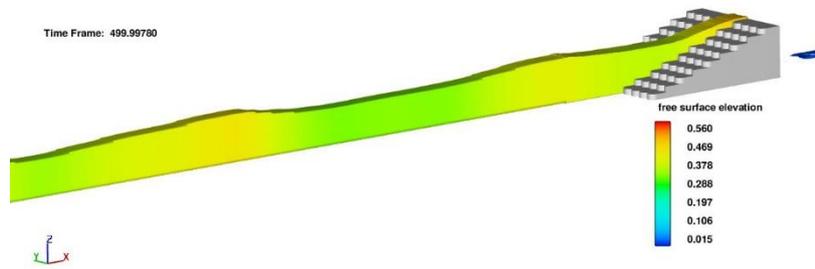
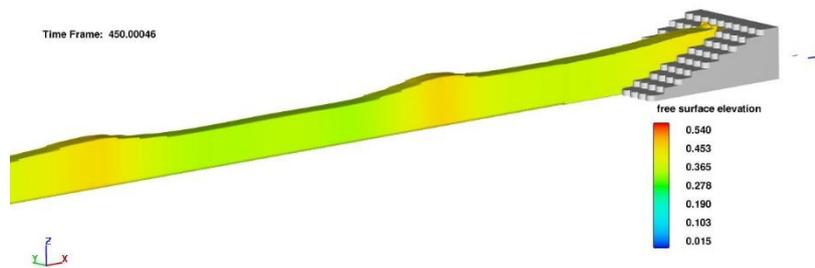


## SIMULASI 3D MODEL B2

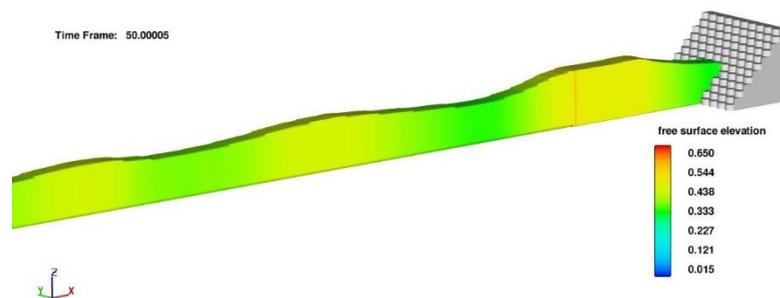


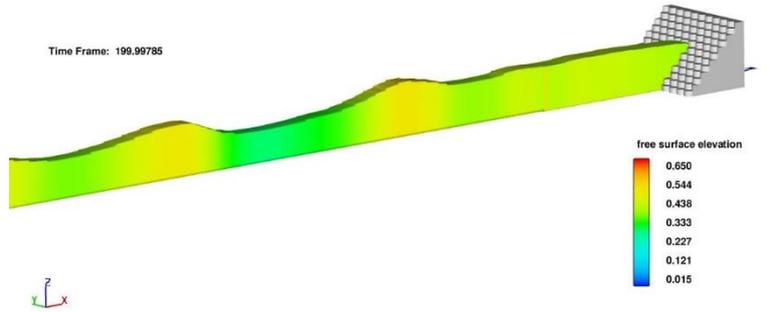
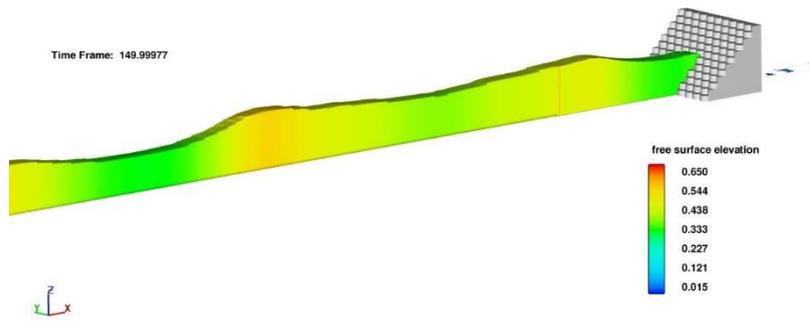


### SIMULASI 3D MODEL B3

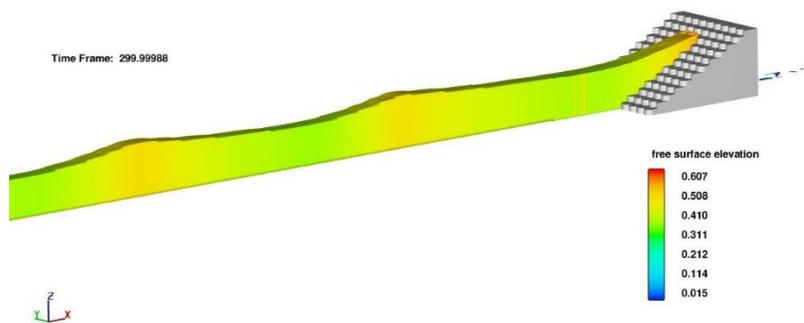
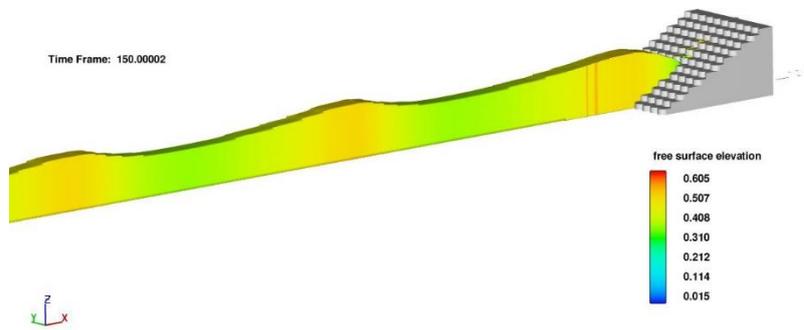
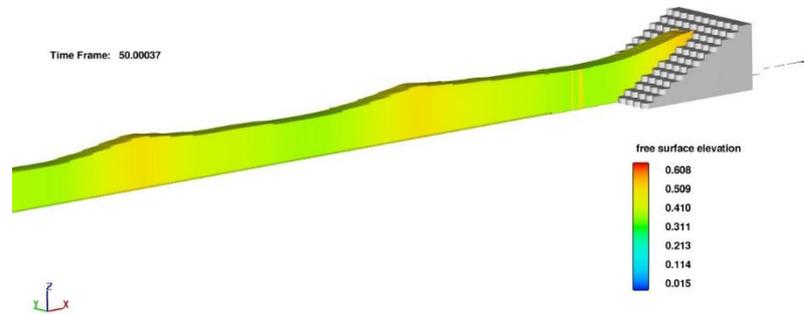


### SIMULASI 3D MODEL B1.60

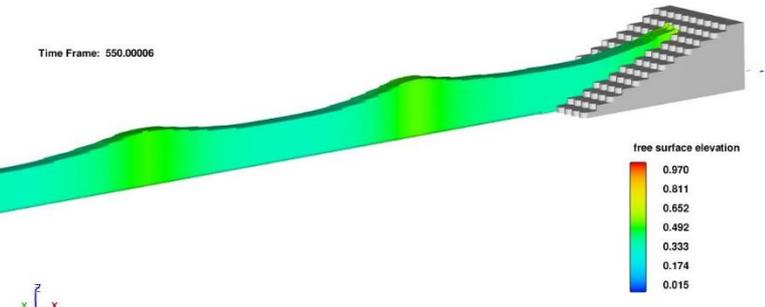
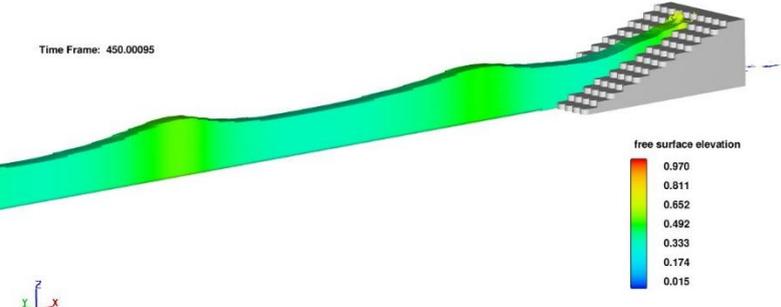
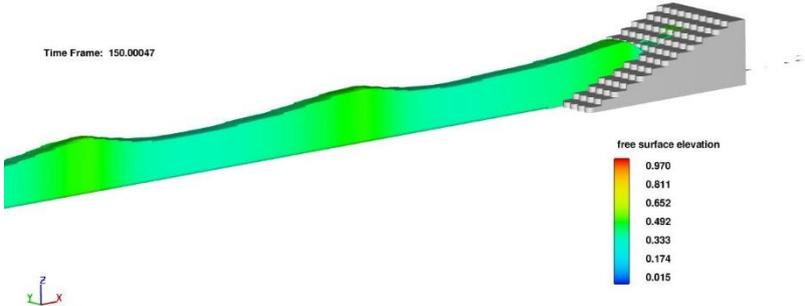




## SIMULASI 3D MODEL B2.60



# SIMULASI 3D MODEL B3.60



## BIODATA PENULIS



Pangestu Ari Wicaksono dilahirkan di Pati pada tanggal 19 Agustus 1997, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan pendidikan sekolah dasar di SDN Ketitang Wetan 02 pada tahun 2003-2009. Kemudian melanjutkan sekolah menengah di SMP Negeri 1 Juwana pada tahun 2009-2012 dan SMA Negeri 1 Pati pada tahun 2012-2015. Lulus dari SMA penulis lolos SNMPTN di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk melanjutkan jenjang Sarjana (S-1). Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan Himpunan Mahasiswa Jurusan dan pernah menjadi kepanitiaan dalam berbagai kegiatan kampus. Penulis juga berkesempatan melakukan kerja praktik di Balitbang Balai Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Buleleng, Bali selama dua bulan.

Kontak penulis:

Email: [pangestuaw@gmail.com](mailto:pangestuaw@gmail.com)