



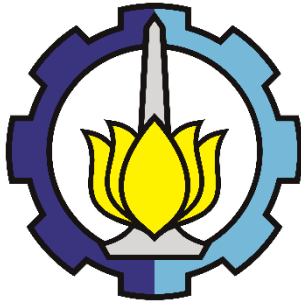
TUGAS AKHIR - ME184834

**ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN BERBAGAI
MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD UNTUK
KEBUTUHAN PENELITIAN TERKAIT GELOMBANG LAUT**

**HABIB MUHAMMAD
NRP. 0421154000005**

**Dosen Pembimbing
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**



TUGAS AKHIR – ME184834

**ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN BERBAGAI
MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD UNTUK
KEBUTUHAN PENELITIAN TERKAIT GELOMBANG LAUT**

**HABIB MUHAMMAD
NRP. 0421154000005**

**Dosen Pembimbing
Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN
BERBAGAI MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN
PENDEKATAN CFD UNTUK KEBUTUHAN PENELITIAN
TERKAIT GELOMBANG LAUT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik
pada :

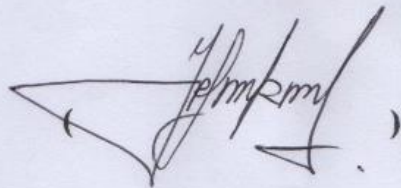
Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

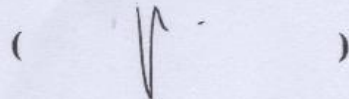
HABIB MUHAMMAD
NRP. 0421 15 40000 005

Disetujui oleh Pembimbing Skripsi:

Irfan Syarif Arief, S.T., M.T.
NIP. 1969 1225 1997 02 1001



Ir. Tony Bambang Musrivadi, PGD., MT.
NIP. 1959 0410 1987 01 1001



SURABAYA
Januari 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN
BERBAGAI MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN
PENDEKATAN CFD UNTUK KEBUTUHAN PENELITIAN
TERKAIT GELOMBANG LAUT**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik
pada :

Bidang studi *Marine Manufacturing and Design* (MMD)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HABIB MUHAMMAD
NRP. 0421 15 40000 005

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.
NIP. 1979 0319 2008 01 1008

SURABAYA

Januari 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN BERBAGAI MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD UNTUK KEBUTUHAN PENELITIAN TERKAIT GELOMBANG LAUT

Nama Mahasiswa : Habib Muhammad
NRP : 0421154000005
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.

ABSTRAK

Gelombang laut merupakan suatu gerakan naik turunnya air laut yang tanpa disertai dengan perpindahan massa airnya yang umum disebabkan karenan adanya tiupan angin. Penelitian untuk mengamati gelombang baik secara eksperimen maupun simulasi telah banyak dilakukan. Kajian dilakukan dengan tujuan untuk menggambarkan kondisi gelombang laut yang mendekati kondisi sebenarnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk gelombang irreguler pada berbagai model turbulensi dengan menggunakan metode pendekatan CFD yang akan dibandingkan dengan data hasil eksperimen. Variasi model turbulensi yang disimulasikan yaitu model Spallart-Allmarast, k-omega Wilcox, model k-omega BSL Menter, model k-omega SST-menterdan modelk-epsilon. Input parameter gelombang meliputi nilai tinggi gelombang 0,2 m , periode gelombang 2,21 s, dan jenis spektrum yang digunakan adalah JONSWAP. Analisa hasil simulasi menunjukkan bahwa tinggi gelombang dengan variasi model turbulensi k-epsilon menunjukkan kesesuaian yang baik terhadap data eksperimen daripada model turbulen yang lain. Tinggi gelombang signifikan (H_s) terbesar ditunjukkan oleh model turbulen k-omega BSL-Menter sebesar 0,467 m

Kata Kunci: Gelombang Irreguler, tinggi gelombang, CFD

Halaman ini sengaja dikosongkan

SIMULATION ANALYSIS OF IRREGULAR WAVES USING VARIOUS TURBULENCE MODELS WITH CFD APPROACHES FOR RESEARCH REQUIREMENTS RELATED TO SEA WAVES

Name : Habib Muhammad
NRP : 0421154000005
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Supervisor : 1. Irfan Syarief Arief, S.T., M.T.
2. Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT.

ABSTRACT

Sea waves are a movement of ups and downs of sea water without being accompanied by a mass transfer of water which is generally caused due to the wind. Research to observe waves both experimentally and simulations has been done. The study was conducted with the aim to describe the condition of ocean waves that are close to the actual conditions. This study was conducted to determine the irregular waveforms in various turbulence models by using the CFD approach method which will be compared with experimental data. The variation of the turbulence models that are simulated are the Spallart-Allmarast model, the Wilcox k-omega, the BSL k-omega model, the SST-ministerial k-omega model and the e-nylon model. Input wave parameters include wave height values of 0.2 m, wave period 2.21 s, and the type of spectrum used is JONSWAP. Analysis of the simulation results shows that the height of the waves with the variation of the k-epsilon turbulence model shows better compatibility with experimental data than other turbulent models. The biggest significant wave height (H_s) is shown by the turbulent model of k-omega BSL-Menter of 0.467 m

Keywords: Irregular waves, wave height, CFD

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Azza wa Jalla yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad ‘Alaihi Shalatu wa Salam, sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir ini yang berjudul **“ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN BERBAGAI MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD UNTUK KEBUTUHAN PENELITIAN TERKAIT GELOMBANG LAUT”**.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua yang telah lelah merawat, membesarkan, dan mendidik penulis, Ibu Nandani Prasetyo Rini dan Bapak Mohammad Sehafudin atas dukungan moril dan materiil yang diberikan.
2. Adik Sapto atas dukungan semangat yang diberikan.
3. Bapak Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.
4. Bapak Irfan Syarif Arief, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan arahan, bimbingan, saran, dan motivasi.
5. Bapak Dr. Eng Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan penulis sejak mahasiswa baru.
6. Mas LJ 2017 atas dukungan fisik dan moral yang sangat membantu dalam penyusunan laporan.
7. Seluruh staff dan member Lab Marine Manufacturing and Design (MMD)
8. Teman-teman UKM TDC ITS angkatan 2014 hingga 2018, khususnya angkatan 2015 yang telah membantu penulis menemukan “hal lain” di kampus ITS.
9. Nur Rohmawati yang selalu memberikan support dan mengingatkan.
10. Teman seperjuangan Ngizuddin yang sangat membantu dalam pengerjaan laporan.
11. Sluruh sahabat kontrakan gebang yang selalu memberikan support dan dukungan yang tak ternilai.
12. Ardi Pangestu yang sangat membantu dengan memberikan pinjaman laptop untuk mengerjakan skripsi.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun, semoga dapat memberikan kontribusi yang berarti dan

menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Sistem Perkapalan khususnya, dan civitas akademis ITS pada umumnya, serta dapat menjadi referensi untuk pengerjaan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 13 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ANALISA SIMULASI GELOMBANG IRREGULER DENGAN BERBAGAI MODEL TURBULENSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN CFD UNTUK KEBUTUHAN PENELITIAN TERKAIT GELOMBANG LAUT.....	i
ABSTRAK.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Skripsi.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Gelombang Laut.....	3
2.2 Jenis Gelombang.....	4
2.3 Turbulensi.....	5
2.4 Persamaan Navier Stokes.....	8
2.5 Model Turbulensi.....	9
2.5.1 Spallart- Allmaras.....	9
2.5.2 K-epsilon (k- ϵ).....	9
2.5.3 Model turbulensi k – omega Wilcox.....	10
2.5.3 Model turbulensi SST (Menter's shear stress transport).....	10
2.6 Tinggi Signifikan Gelombang (Hs).....	11
2.7 Proses Simulasi CFD.....	11
III METODOLOGI.....	13
3.1 Metodologi Penelitian.....	13
3.2 Tahap Pengerjaan.....	14
3.2.1 Studi Literatur.....	14
3.2.2 Pengumpulan data.....	14

3.2.3	Proses Simulasi pada Software.....	15
3.3	Analisis Data dan Pembahasan	16
3.4	Kesimpulan dan Saran	16
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		17
4.1	Pembuatan Model.....	17
4.2	Penentuan Domain dan Meshing.....	17
4.3	Proses Solver	21
4.4	Proses Solver	24
4.5	Analisa Grafik Tinggi Gelombang	25
4.5.1	Variasi Model Turbulen Spallart Almarast.....	26
4.5.2	Variasi Model Turbulen K-Omega Wilcox	27
4.5.3	Variasi Model Turbulen K-Omega BSL-Menter.....	29
4.5.3	Variasi Model Turbulen K-Omega SST-Menter	30
4.5.3	Variasi Model Turbulen K-Epsilon	32
4.6	Perhitungan Tinggi Signifikan Gelombang (Hs)	33
4.7	Plot Data Turbulent Kinetic Energy.....	34
4.8	Kecepatan	37
BAB V KESIMPULAN.....		41
DAFTAR PUSTAKA		43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Formasi gelombang laut.....	3
Gambar 2.2 Pembentukan gelombang acak dari superposisi gelombang gelombang reguler.....	4
Gambar 2.3. Perbandingan spektrum gelombang dari sejumlah formulasi.....	7
Gambar 2.4. Gelombang pecah dalam fluida berlapis.....	8
Gambar 3.1. Wave Generator pada LHI.....	12
Gambar 4.1. Skema model gelombang irreguler.....	15
Gambar 4.2. Pembuatan domain box.....	16
Gambar 4.6. Hasil mesh wizard.....	16
Gambar 4.4. Initial mesh.....	17
Gambar 4.5. Adapt to geometry.....	18
Gambar 4.6. Hasil mesh wizard.....	18
Gambar 4.7. Analisa meshing dengan kriteria ortogonal.....	19
Gambar 4.8. Pemilihan parameter unsteady.....	20
Gambar 4.9. Pemilihan parameter jenis fluida.....	20
Gambar 4.10. Pemilihan parameter jenis aliran.....	21
Gambar 4.11. Input parameter untuk boundary condition pada inlet.....	22
Gambar 4.12. Input parameter untuk timestep.....	22
Gambar 4.13. pengatiran wave probe.....	23
Gambar 4.14. Grafik tinggi gelombang vs time hasil eksperimen.....	23
Gambar 4.15. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model Spallart-Allmarast	24
Gambar 4.16. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model Spallart- Allmarast dengan eksperimen.....	25
Gambar 4.17. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega wilcox.....	26
Gambar 4.18. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega wilcox dengan eksperimen.....	26
Gambar 4.19. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega BSL- Menter.....	27
Gambar 4.20. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega BSL-Menter dengan eksperimen.....	27
Gambar 4.21. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega SST- Menter.....	28
Gambar 4.22. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega SST-Menter dengan eksperimen.....	28
Gambar 4.23. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-epsilon	29
Gambar 4.24. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-epsilon dengan eksperimen	29
Gambar 4.25. Turbulent kinetic Energy model turbulent Spallart-Allmarast....	30

Gambar 4.26. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega Wilcox.....	30
Gambar 4.27. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega Bsl-Menter.	31
Gambar 4.28. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega SST-Menter.....	31
Gambar 4.29. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-epsilon.....	31
Gambar 4.30. Kecepatan model turbulent Spallart-Allmarast.....	32
Gambar 4.31. Kecepatan model turbulent k-omega Wilcox.....	32
Gambar 4.32. Kecepatan model turbulent k-omega Bsl-Menter.....	32
Gambar 4.33. Kecepatan model turbulent k-omega SST-Menter.....	33
Gambar 4.34. Kecepatan model turbulent k-epsilon.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data Hs pada tiap variasi model turbulen.....	30
--	----

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang merupakan fenomena berupa gangguan yang terjadi pada suatu medium. Fenomena ini telah banyak dikaji dengan berbagai pendekatan, baik secara analitik, numerik, dan eksperimen di laboratorium (pemodelan fisik). Dari hasil kajian berdasarkan pendekatan tersebut dihasilkan teori-teori gelombang, diantaranya teori gelombang Airy, teori gelombang Stokes, teori gelombang tunggal dan lain sebagainya. Dalam kenyataan gelombang laut lebih cenderung tergolong ke dalam gelombang irreguler dikarenakan gelombang laut mempunyai perilaku yang tidak konstan yaitu secara acak. Bentuk gerakan gelombang laut yang acak dan berubah menyebabkan partikel-partikel air bergerak secara dengan kecepatan yang berfluktuasi sehingga kemungkinan membentuk suatu aliran yang turbulen.

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Turbulen mentransport partikel-partikel dengan dua cara yaitu dengan penambahan gaya fluida dan penurunan tekanan lokal ketika pusaran turbulen bekerja padanya. Besarnya gerakan turbulen bervariasi dari mikro hingga makro. Aliran turbulen mempunyai bilangan Reynold yang lebih besar dari 4000. Dalam beberapa literasi tentang aliran turbulen dijelaskan bahwa turbulensi dapat dijelaskan dalam beberapa model turbulen. Model turbulen tersebut digunakan untuk memudahkan dalam mengamati turbulensi yang terjadi pada fluida.

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan suatu metode komputasi numerik untuk menyelesaikan persamaan aliran suatu benda dalam aliran fluida dengan berbasis komputer. CFD dapat mensimulasikan aliran udara, aliran air, perpindahan panas, perpindahan massa, benda bergerak, reaksi kimia dengan membuat pemodelan di computer. Dalam beberapa penelitian yang pernah dilakukan mengenai Fenomena aliran fluida yang disimulasikan dengan CFD menunjukkan suatu hasil yang baik dengan hasil eksperimen.

Berdasarkan penjelasan mengenai bentuk dan aliran gelombang laut maka untuk menggambarkan bentuk dan karakteristik gelombang laut dapat dilakukan dengan pendekatan CFD. Penelitian ini akan mencoba mensimulasikan gelombang dengan menggunakan data eksperimen yang pernah dilakukan dengan menggunakan variasi model turbulen untuk menggambarkan aliran turbulensi yang terjadi pada gelombang laut dengan menggunakan pendekatan CFD.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini ada dua, yaitu :

1. Bagaimana prosedur dalam mensimulasikan gelombang dengan berbagai model turbulensi menggunakan CFD ?
2. Bagaimana karakteristik gelombang pada tiap model turbulensi yang disimulasikan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan permasalahan dan mengantisipasi melebarnya topik permasalahan, penulis memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Software yang digunakan adalah NUMECA FINE MARINE.
2. Kolam pengujian pada LHI dijadikan sebagai geometri model dengan spesifikasi :

Kolam dalam	: 60m x 35m, kedalaman 2.5m
Kolam dangkal	: 45m x 35m, kedalaman 1.25m
Periode gelombang	: 0.5-3s
Amplitudo	: 0.3m
3. Parameter kondisi lingkungan:
 - Jenis gelombang : *irreguler*-JONSWAP
 - Kedalaman kolam : 2,5 m
 - Tinggi gelombang : 0.2 m
 - Periode gelombang : 2,21 s
4. Model turbulensi yang dibandingkan yaitu : Spalart-Almaras, k-epsilon (Launder-Sharma), k-omega (Wilcox), k-omega (BSL-Menter), k-omega (SST-Menter).
5. Analisa yang dilakukan dengan membandingkan time domain terhadap tinggi gelombang tiap variasi turbulensi.

1.4 Tujuan Skripsi

Untuk menjawab rumusan masalah di atas, pada penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui prosedur dalam melakukan simulasi gelombang dengan berbagai model turbulensi menggunakan CFD .
2. Mendapatkan karakteristik dari gelombang pada tiap model turbulensi yang disimulasikan.

1.5 Manfaat

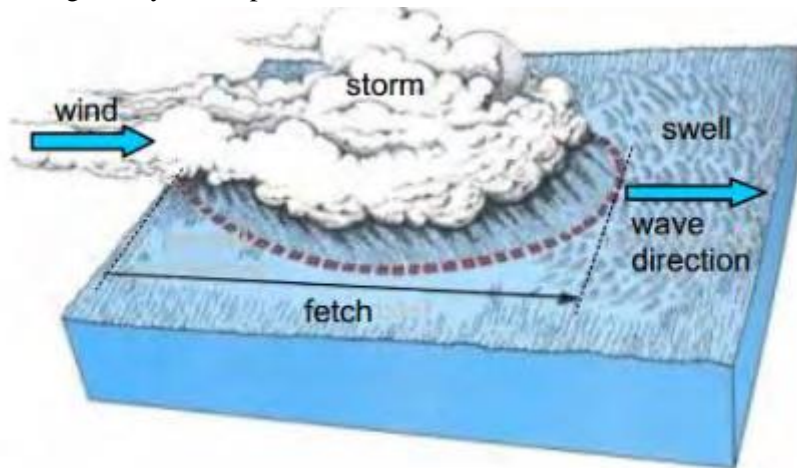
Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Penelitian ini dapat dijadikan bahan pembelajaran dalam melakukan simulasi terkait gelombang laut.
2. Penelitian ini dapat membantu dalam penelitian selanjutnya terkait dengan gelombang laut.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk sinusoidal. Gelombang laut bisa dibangkitkan oleh angin, gaya tarik matahari, dan bulan, letusan gunung berapi, atau gempa di laut, kapal yang bergerak, dan sebagainya. Besarnya gelombang laut tergantung dari intensitas, jangka waktu, dan jarak angin berhembus (fetch length). Gelombang menyerap energi dari angin, dan sebaliknya mengeluarkan energi untuk penyebaran, kondisi keseimbangan ini disebut sebagai fully developed seas.[1]



Gambar 2.1 Formasi gelombang laut
(sumber: Ocean Wave Energy Conversion – A Survey, 2005)

Gelombang akan mereda sampai dengan beberapa hari terutama karena gaya gravitasi (Gravity Wave). Gelombang lancip dan kecil mereda karena mekanisme gelombang pecah disamping itu gelombang juga akan teredam oleh efek kekentalan. Gelombang yang mereda bergerak ke tempat yang sangat jauh sebagai gelombang panjang dan beraturan (Swell).

Terdapat beberapa teori gelombang dengan beberapa derajat kekompleksan dan ketelitian, untuk menggambarkan kondisi 8 gelombang di alam diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal, dan Tunggal. Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang amplitudo kecil sedangkan gelombang yang lain adalah gelombang terbatas (finite amplitude waves). Teori gelombang Airy disebut juga dengan teori gelombang linear.

2.2 Jenis Gelombang

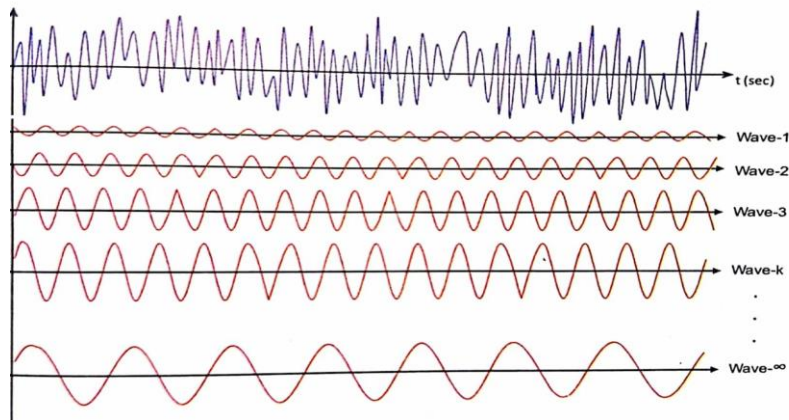
2.2.1 Gelombang Reguler

Gelombang reguler adalah pendekatan dari gelombang pada kenyataannya dengan asumsi-asumsi yang ada padanya. Berikut adalah asumsi yang dimaksud:

- Fluida dianggap homogen
- Tekanan permukaan diabaikan
- Tekanan pada permukaan bebas konstan dan uniform
- Fluida dianggap ideal (*inviscid* dan *incompressible*)
- Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubtukan selama bergerak
- Dasar laut dianggap datar, tetap *impermeable*, sehingga kecepatan vertikal didasar adalah nol.

2.2.2 Gelombang Irreguler

Gelombang irreguler adalah gelombang sesungguhnya yang ada di lautan yang terbentuk dari superposisi gelombang-gelombang reguler dalam jumlah yang besar, yang secara teoretis mencapai jumlah yang tidak berhingga sebagai mana yang ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pembentukan gelombang acak dari superposisi gelombang-gelombang reguler

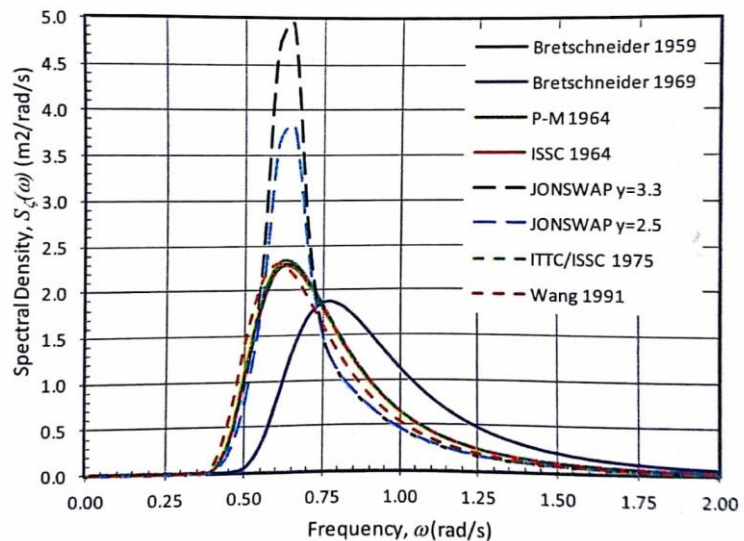
(sumber: *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*)

Penggambaran kerapatan energi yang ada pada gelombang irreguler adalah dengan cara menampilkan spektrum energi gelombangnya. Ada beberapa bentuk formulasi yang digunakan untuk menampilkan spektrum gelombang antara lain yaitu:

- Bretschneider – 1959
- Bretschneider – 1969
- Pierson-Moskowitz – 1964

- d. ISSC – 1964
- e. JONSWAP
- f. ITTC/ISSC – 1975
- g. Wang – 1991

Dari semua formula di atas yang akhir-akhir ini banyak digunakan di perancangan bangunan lepas pantai di Indonesia adalah formula spektra JONSWAP karena dalam peneliatiannya JONSWAP menggunakan data dari perairan tertutup di Laut Utara yang mirip dengan perairan pantai Indonesia. Pada gambar 6 dijelaskan perbandingan nilai kerapatan energi gelombang dalam domain frekuensi dengan harga tinggi signifikan $H_s = 4.0$ m



Gambar 2.3. Perbandingan spektrum gelombang dari sejumlah formulasi (sumber: *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*)

2.3 Turbulensi

Tanpa adanya turbulen atau proses mixing (pencampuran) maka kita tidak akan pernah melihat laut seperti sekarang ini. Laut tetap sama sejak jaman dahulu kala, diakibatkan adanya proses mixing yang selalu terjadi setiap waktu. Turbulen akan membawa nutrisi dari dasar laut ke permukaan sehingga plankton dapat tumbuh subur. Kehidupan laut akan tetap lestari karena adanya proses mixing ini. Disamping itu turbulen dekat permukaan yang biasanya digerakkan oleh angin dan proses pendinginan akan mentransmisikan panas ke dalam dan keluar lautan sehingga laut dapat berperan sebagai reservoir panas dimana reservoir ini sebagai komponen utama penggerak iklim di bumi. Turbulensi yang terjadi di dasar laut akan mempengaruhi deposisi, resuspensi serta pergerakan dari sedimen [2]. Turbulensi menciptakan suatu lingkungan mikro yang merupakan dasar penopang kehidupan di laut. Turbulensi (vertikal) yang merupakan gerakan acak dan tak teratur, dilaut mempunyai orde 0.01

sampai 100 meter. Suatu orde yang sangat kecil sehingga sering disebut struktur mikro dari dinamika laut. Meskipun ordenya kecil tetapi sangat penting untuk mempelajari dinamika arus secara global, perubahan iklim, dispersi polutan, produktivitas plankton dll. Disamping mempengaruhi proses diatas, ternyata turbulensi juga mempengaruhi penjalaran gelombang akustik dan gelombang optik dilaut melalui peristiwa hamburan, refraksi dan difleksi [1]. Karena gerakan yang ada dalam turbulensi sangat acak dan alirannya saling tumpang-tindih sebagai hasil dari transport horisontal dan vertikal, maka sukar bagi kita untuk memecahkan secara analitik serta sukar membuat pengukuran secara kinematik.

Gerakan turbulensi di laut diklasifikasikan menurut sifat alamiahnya, skala spatio-temporal, arah mixing (isopiknal/diapiknal) dan intensitasnya. Berdasarkan hal diatas maka turbulensi dilaut dikategorikan dalam dua katagori:

1. Turbulensi skala meso: Pada skala ini turbulensi diciptakan terutama oleh ketidakstabilan (misalnya: ketidakstabilan baroklinik, barotropik dll) dan biasanya terjadi disepanjang permukaan dengan densitas konstan (isopiknal). Turbulensi skala meso mempunyai skala dari 10-100 km atau sering disebut skala radius Rossby. Para oceanographer sering memandang turbulen dalam skala ini sebagai 2D quasi geostrophic turbulence.
2. Turbulensi skala mikro: Pada skala ini turbulensi terutama diciptakan oleh shear dan pecahnya gelombang internal dan mempunyai orde 1mm – 1m. Umumnya terjadi dalam arah vertikal. Meskipun skala mikro tetapi sifatnya yang vertikal, turbulen ini mengontrol dinamika arus skala global serta pertukaran vertikal dalam sirkulasi di estuari dan pesisir. Disamping hal diatas, turbulensi skala mikro juga berperan sebagai pengontrol interaksi udara-laut.

Biasanya oceanographer hanya tertarik pada hasil akhir dari suatu proses mixing atau turbulensi yaitu the rate of dissipation (ϵ). Ini adalah salah satu kuantitas fundamental dalam pengukuran turbulensi di laut. The rate of dissipation ini menyatakan kuantitas fraksi energi yang dikonversi menjadi panas oleh gesekan internal. Berarti kita berurusan dengan energi kinetik, atau gerakan partikel fluida. Kuantitas ini berperan dalam transfer momentum di laut. Kuantitas lain yang tak kalah penting adalah the rate of destruction of temperature variance (χ) yaitu rata-rata banyaknya gradien temperatur yang disebarkan oleh proses difusi termal. Kuantitas lain adalah N (braunt-vaisalla frequency) atau frekuensi gaya apung. Kuantitas ini adalah manifestasi dari hukum archimides yang dapat digunakan sebagai skala waktu untuk suatu aliran fluida yang berlapis. Fisikawan oseanografi, disamping mengukur kuantitas diatas juga mengukur fluks turbulen diapiknal yang terdiri dari fluks diapiknal momentum, temperatur dan salinitas.

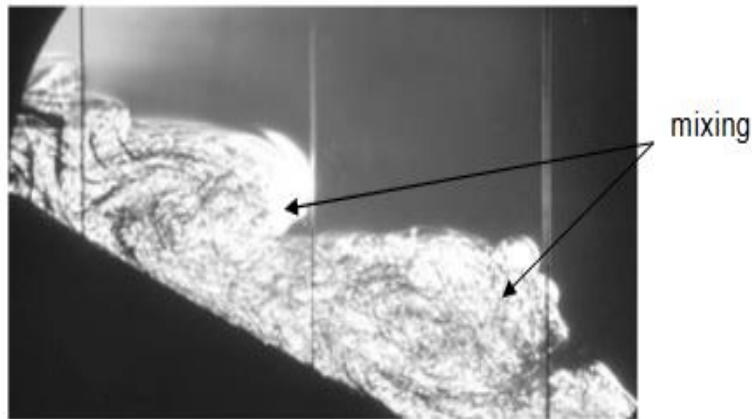
Dalam riset laut, studi turbulensi dapat dilakukan dalam berbagai pendekatan yaitu:

- a) **Persamaan Keseimbangan.** Dengan mengasumsikan bahwa keadaan turbulen dan medan utama (rata-rata) dapat dipisahkan maka persamaan

keseimbangan momentum, massa dan energi harus dipenuhi oleh kedua sistem diatas. Studi dilakukan dengan mencari solusi persamaan yang terkopling tersebut. Salah satu cara yang banyak digunakan adalah momen closure

- b) **Analisis Dimensional & Similaritas.** Dengan mengasumsikan beberapa proses yang dominan dari persamaan keseimbangan dilakukan penskalaan dan akan mereduksi menjadi persamaan yang sederhana sehingga mudah diselesaikan.
- c) **Analisis Spektral.** Analisis ini dilakukan karena transfer energi ke spatial yang kecil dan frekuensi yang besar bersifat inherent.
- d) **Pengukuran Langsung.** Mengukur fluktuasi dengan instrument, yang diukur adalah the rate of dissipation.
- e) **Visualisasi dan Simulasi Numerik.** Mencoba mensimulasi dan menyelesaikan persamaan gerak untuk mendapatkan kelakuan turbulensi dengan teknologi komputer.

Karena temperatur, densitas maupun salinitas merupakan fungsi dari kedalaman maka kita katakan bahwa laut adalah fluida berlapis. Tidak realistis kalau kita menganggap laut hanya terdiri dari satu lapis saja. Pertanyaan menarik adalah bagaimana proses mixing terjadi dilaut?. Turbulensi dalam fluida berlapis tersebut sangat acak dan sedikit sekali dimengerti mekanismenya. Salah satunya adalah adanya pecahnya gelombang internal. Adanya fluida berlapis memungkinkan timbulnya shear yaitu adanya perbedaan sifat dinamik (diwakili oleh kecepatan misalnya) antar lapisan. Adanya shear menyebabkan sistem fluida tersebut menjadi tak stabil. Jika ketakstabilan dibiarkan terus maka akan terjadi turbulensi. Jika variabelnya kecepatan maka ketakstabilan tersebut sering dinamakan ketakstabilan Kelvin-Helmholtz. Suatu gangguan yang menjalar dalam sistem tersebut dinamakan gelombang internal. Semakin besar shear yang terjadi semakin kuat gelombang internal yang ditimbulkannya [3]. Pada suatu saat shear akan mengalami kondisi kritis dan akhirnya setelah melewati kondisi kritis ini yang ditandai dengan pecahnya gelombang internal, terjadilah turbulensi atau proses mixing telah terjadi. Pecahnya gelombang internal dapat diungkapkan dalam gambar 2.4.



Gambar 2.4. Gelombang pecah dalam fluida berlapis
(Sumber : <http://www.cwr.uwa.edu.au/~ivey/indexgeofd.html>)

Dalam kita mempelajari model dinamika laut, kita akan berhadapan dengan apa yang dinamakan koefisien transport. Dalam studi numerik biasanya koefisien ini ditentukan dengan cara trial and error atau kita mengecilkan gridnya tetapi hal ini akan dibayar oleh lamanya proses komputasi. Koefisien transport ini menyatakan kelakuan skala mikro dari suatu perairan dan ini jelas proses turbulensi atau mixing. Pengukuran turbulen yang dilakukan di laut pada dasarnya adalah mencoba untuk menentukan koefisien transport (κ) ini. Koefisien transport ini merupakan karakteristik dinamik dari suatu perairan sehingga ilmuwan mencoba memetakan koefisien ini untuk seluruh laut yang ada di bumi.[3]

2.4 Persamaan Navier Stokes

Persamaan Navier-stokes merupakan sistem persamaan differensial non-linier yang mendeskripsikan bagaimana fluida mengalir. Persamaan ini menjelaskan keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada fluida yaitu gaya-gaya benda dan gaya-gaya permukaan. Dalam menentukan solusi persamaan numerik, model turbulensi adalah prosedur komputasional untuk mendekati sistem persamaan aliran sehingga masalah aliran yang bervariasi dapat dihitung. Secara garis besar, model turbulensi digunakan untuk memodifikasi persamaan Navier Stokes dengan memperkenalkan kuantitas rata-rata dan besar fluktuasi untuk menghasilkan persamaan Reynolds Averaged Navier Stokes. Dalam persamaan CFD persamaan RANS dirumuskan

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i u_j})$$

(1)

2.5 Model Turbulensi

Pemodelan turbulensi adalah konstruksi dan penggunaan model matematika untuk memprediksi efek turbulensi. Aliran turbulen adalah hal biasa dalam sebagian besar skenario kehidupan nyata, termasuk aliran darah melalui sistem kardiovaskular, aliran udara di atas sayap pesawat terbang, masuknya kembali kendaraan luar angkasa, selain yang lain. Terlepas dari penelitian selama beberapa dekade, tidak ada teori analitik untuk memprediksi evolusi dari arus turbulen ini. Persamaan yang mengatur aliran turbulen hanya dapat diselesaikan secara langsung untuk kasus aliran sederhana. Untuk sebagian besar aliran turbulen kehidupan nyata, simulasi CFD menggunakan model turbulen untuk memprediksi evolusi turbulensi. Model turbulensi ini adalah persamaan konstitutif yang disederhanakan yang memprediksi evolusi statistik dari aliran turbulen.[3]

2.5.1 Spalart- Allmaras

Model Spalart-Allmaras adalah model satu-persamaan yang memecahkan persamaan transport yang dimodelkan untuk viskositas turbulen eddy kinematik. Model Spalart-Allmaras dirancang khusus untuk aplikasi ruang angkasa yang melibatkan aliran yang dibatasi dinding dan telah terbukti memberikan hasil yang baik untuk lapisan batas yang mengalami gradien tekanan yang merugikan. Ini juga mendapatkan popularitas dalam aplikasi turbo. Persamaan transport untuk model turbulensi Spalart-Allmaras (SA) dinyatakan sebagai berikut [9]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\tilde{\nu}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\tilde{\nu}u_j) = G_\nu + \frac{1}{\sigma_\nu} \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \rho\tilde{\nu}) \frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \right\} + C_{b2}\rho \left(\frac{\partial \tilde{\nu}}{\partial x_j} \right)^2 \right] - Y_\nu + S_{\tilde{\nu}} \quad (2)$$

dimana G_ν adalah viskositas turbulen produksi, Y_ν adalah viskositas turbulen destruksi pada daerah dekat dinding karena adanya dinding penghalang dan redaman viskos, ν adalah viskositas kinematik molekul fluida, $S_{\tilde{\nu}}$ adalah sumber yang didefinisikan oleh pengguna.

2.5.2 K-epsilon (k-ε)

Model turbulensi K-epsilon (k-ε) adalah model yang paling umum digunakan dalam dinamika fluida komputasi (CFD) untuk mensimulasikan karakteristik aliran rata-rata untuk kondisi aliran turbulen. Ini adalah model dua persamaan yang memberikan gambaran umum turbulensi dengan menggunakan dua persamaan transportasi (PDE). Dorongan asli untuk model K-epsilon adalah untuk meningkatkan model panjang-pencampuran, serta untuk menemukan alternatif untuk menentukan skala panjang turbulen aljabar dalam aliran kompleksitas sedang hingga tinggi. (Hanjalic, K : 2005). Model k-epsilon standar didasarkan pada persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (k) dan tingkat disipasinya (ϵ). Energi kinetik turbulen dan laju disipasinya dapat diperoleh dari dua persamaan transport berikut .[5]

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon\end{aligned}\quad (3)$$

dimana G_k merepresentasikan energi kinetik turbulensi dari gradient kecepatan rata-rata, G_b merepresentasikan energi kinetik turbulensi dari daya apung, Y_M merepresentasikan kontribusi dari fluktuasi dilatasi pada aliran turbulen kompresibel terhadap keseluruhan tingkat disipasi. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ dan $C_{3\varepsilon}$ adalah konstanta. σ_k dan σ_ε adalah *turbulent Prandtl number* untuk masing-masing k dan ε . S_k dan S_ε adalah sumber yang ditentukan oleh pengguna.

2.5.3 Model turbulensi k – omega Wilcox

Model k-omega standar merupakan model turbulensi berdasarkan model Wilcox k-omega yang memasukkan beberapa modifikasi untuk menghitung efek aliran pada bilangan Reynolds rendah, kompresibilitas dan penyebaran aliran geser (shear flow). Model ini dapat diaplikasikan pada aliran dalam saluran maupun aliran bebas geseran (free shear flow). Model k-omega standar didasarkan model empiris berdasarkan model persamaan transport untuk energy kinetik turbulen k dan tingkat disipasi spesifik ω , atau disebut juga rasio antara ε terhadap k . pada model ini, istilah produksi telah ditambahkan dalam persamaan untuk meningkatkan akurasi prediksi penyebaran aliran geser[10]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega \quad (5)$$

dimana G_k merepresentasikan energi kinetik turbulensi dari gradient kecepatan rata-rata, G_ω merepresentasikan tingkat disipasi energi ω , Γ_k dan Γ_ω merepresantasikan difusivitas efektif dari k dan ω , Y_k dan Y_ω merepresentasikan disipasi turbulensi dari k dan ω . S_k dan S_ω adalah sumber yang ditentukan oleh pengguna.

2.5.3 Model turbulensi SST (Menter's shear stress transport)

Model turbulensi SST (Menter's shear stress transport) adalah model turbulensi eddy-viskositas dua persamaan yang digunakan secara luas dan kuat yang digunakan dalam dinamika fluida komputasi. Model ini menggabungkan model turbulensi k-omega dan model turbulensi K-epsilon sedemikian rupa sehingga k-omega digunakan di wilayah bagian dalam lapisan batas dan beralih ke k-epsilon dalam aliran geser bebas. (Menter : 1994). Persamaan transport untuk model turbulensi SST didefinisikan sebagai berikut[11]

$$\frac{\partial(\rho\gamma)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho U_j \gamma)}{\partial x_j} = P_{\gamma 1} - E_{\gamma 1} + P_{\gamma 2} - E_{\gamma 2} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\gamma} \right) \frac{\partial \gamma}{\partial x_j} \right] \quad (6)$$

dimana adalah γ intermitensi, $P_{\gamma 1}$ dan $E_{\gamma 1}$ adalah sumber transisi, $P_{\gamma 2}$ dan $E_{\gamma 2}$ adalah sumber destruksi/relaminasi. [8]

2.6 Tinggi Signifikan Gelombang (Hs)

Tinggi gelombang dipengaruhi oleh komponen-komponen gelombang, yaitu perbedaan frekuensi dan amplitudo. Dalam teori, jika tinggi dan frekuensi gelombang diketahui, adalah sangat memungkinkan untuk memprediksi secara akurat tinggi dan frekuensi gelombang terbesar. Dalam prakteknya hal ini tidak mungkindikaenakan tinggi gelombang yang terjadi dalam waktu yang pendek pada suatu lokasi – tidak ada pola yang jelas untuk variasi tinggi gelombang. Untuk aplikasi penelitian gelombang, diharuskan memilih sebuah tinggi gelombang yang merupakan karakteristik dari kondisi laut. Yang digunakan oleh para ahli oseanografi adalah tinggi gelombang signifikan atau $H_{1/3}$, yaitu tinggi gelombang rata-rata dari 1/3 tinggi gelombang yang tertinggi dari semua gelombang yang terjadi dalam periode waktu tertentu [8]

2.7 Proses Simulasi CFD

CFD (Computational Fluid Dynamics) adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis masalah yang terjadi pada aliran fluida. Tujuan dari CFD adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang melibatkan satu atau semua fenomena di atas Computational Fluid Dynamics terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

- Preprocessor
- Preprocessor merupakan tahapan awal dalam Computational Fluid Dynamic (CFD) yang merupakan tahapan input data yang meliputi penentuan domain dan boundary condition. Pada tahapan ini juga dilakukan meshing, dimana benda yang dianalisis dibagi dalam jumlah grid tertentu
- Processor
- Tahap selanjutnya adalah tahap processor, di mana pada tahap ini dilakukan proses perhitungan data yang telah dimasukkan menggunakan persamaan terkait secara iteratif hingga hasil yang didapatkan bisa mencapai nilai error terkecil.
- Post processor
- Tahap terakhir adalah tahap post processor, hasil dari perhitungan pada tahap processor akan ditampilkan dalam gambar, grafik maupun animasi.

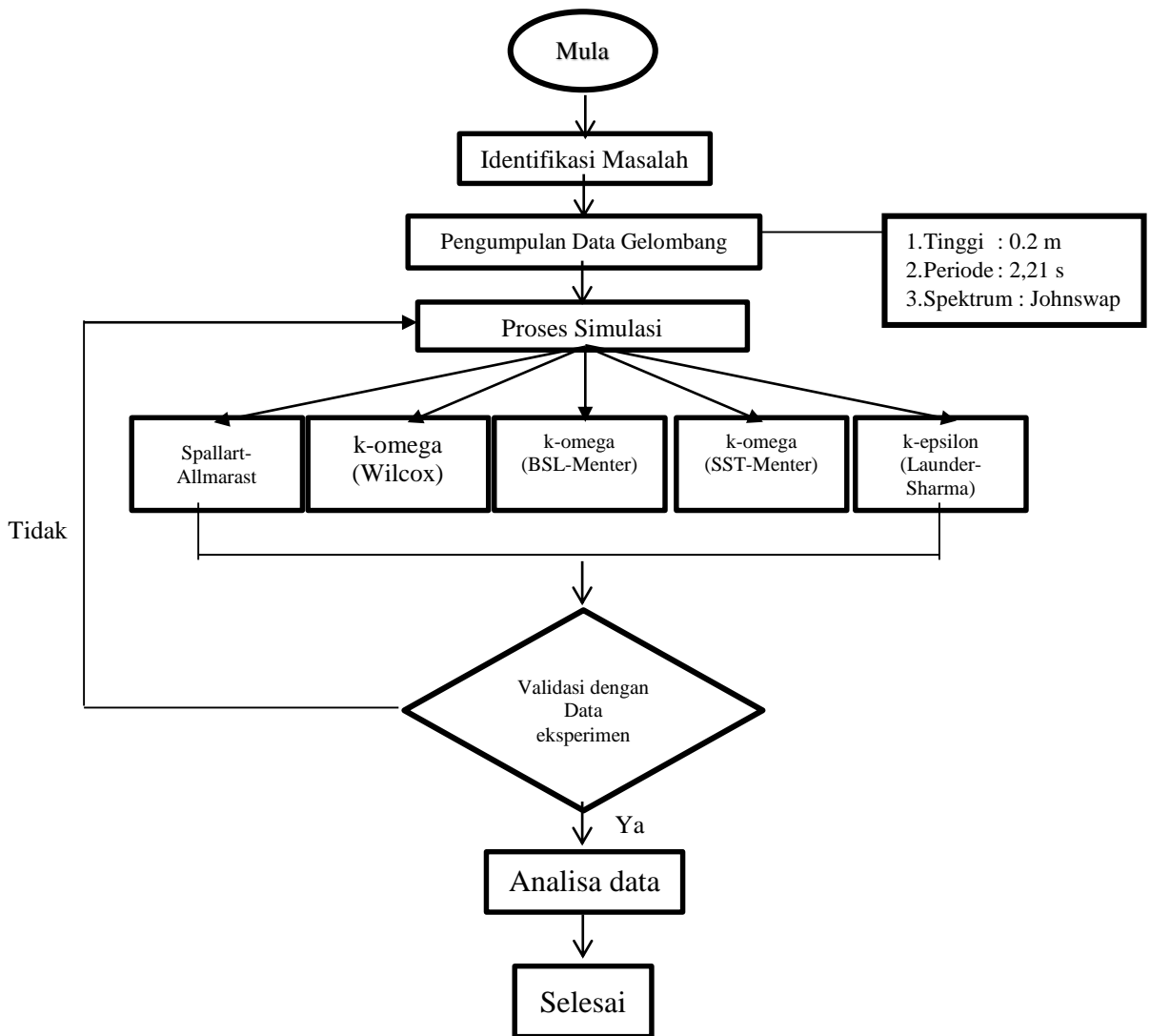
NUMECA merupakan merek dagang dari perusahaan internasional penyedia perangkat lunak pengolah CFD, NUMECA International. NUMECA mempunyai produk untuk pengolah desain dan meshing serta solver untuk perangkat lunak pengolah CFD. Beberapa perangkat lunak tersebut akan digunakan pada skripsi ini.

Peneliti menggunakan NUMECA Versi 7.1 dengan lisensi student. Lisensi ini Khusus untuk para peneliti dan civitas akademis. Data yang dihasilkan dari NUMECA student version tidak dapat digunakan untuk tujuan komersial namun hanya untuk tujuan penelitian dan pengembangan. NUMECA yang berlisensi ini akan ada tanda khusus dalam GUI begitu pula pada hasil simulasi akan ada tanda yang menampilkan bahwa hasil tersebut menggunakan NUMECA.[7]

III METODOLOGI

3.1 Metodologi Penelitian

Tahapan penelitian dalam Tugas Akhir ini ditunjukkan dengan langkah-langkah penelitian pada gambar berikut



Gambar 5. Diagram Alir Pengerjaan

3.2 Tahap Pengerjaan

3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur adalah proses pengumpulan informasi berupa teori penunjang yang berfungsi membantu proses pengerjaan tugas akhir. Informasi tersebut berasal dari buku, jurnal, e-book, paper, tugas akhir sebelumnya yang masih berkaitan, dan berbagai sumber dari internet. Studi literatur bertujuan untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi dan juga menjadi dasar dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dengan melakukan studi literatur ini diharapkan solusi dari permasalahan yang diambil dapat terpecahkan dengan baik.

3.2.2 Pengumpulan data

Sebelum dilakukan Analisa terhadap gerak gelombang hasil simulasi dengan variasi berbagai model perlu dilakukan pengumpulan data sebagai dasar penelitian ini. Data yang dimaksud adalah data data karakteristik gelombang hasil eksperimen serta dimensi kolam pengujian yang terdapat pada Lab Hidrodinamika Indonesia, sebagai berikut :

Data spesifikasi kolam:

Kolam dalam	: 60m x 35m, kedalaman 2.5m
Kolam dangkal	: 45m x 35m, kedalaman 1.25m
Periode gelombang	: 0.5-3s
Amplitudo	: 0.3m

Parameter gelombang:

Jenis Spektrum	: Johnswap
Periode gelombang	: 2.21 s
Amplitudo gelombang	: 0.2 m



Gambar 3.1. Wave Generator pada LHI

3.2.3 Proses Simulasi pada Software

Simulasi dilakukan dengan *software* Numece Fine Marine. Simulasi dilakukan dengan memvariasikan parameter pada tiap model turbulen yang terdapat pada software. Proses simulasi dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

1. NUMECA HEXPRESS MARINE

1. Penentuan batasan atau domain

Pada tahap ini dilakukan pembuatan model geometri kolam uji dengan menggunakan tools yang terdapat pada NUMECA HEXPRESS MARINE sesuai dengan data yang telah ditentukan .

- Ukuran dimensi : 16 m x 7 m, kedalaman 2.5m

Setelah model dari kolam uji terbentuk selanjutnya mengatur domain serta boundary condition dari model.

2. Tahap meshing

Pada tahap ini akan dilakukan pemberian note-note dari model yang telah dibuat atau disebut dengan meshing. Note-note ini berfungsi sebagai sensor yang menangkap energi hasil simulasi pada tahap selanjutnya. Proses meshing dibagi menjadi lima sub proses, yaitu : initial mesh, adapt to geometry, optimize, dan viscous layer. Setelah melalui sub proses diatas maka note-note tersebut akan menjadi cell, dimana makin banyak cell yang terbentuk maka akan mengurangi kemampuan komputer pada saat solver. Pada program ini juga terdapat beberapa parameter yang dapat digunakan untuk melihat kualitas dari meshing yang terbentuk karena Kualitas meshing tersebut dapat mempengaruhi proses solver (running).

2. NUMECA FINE MARINE

Setelah proses meshing dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses running model tersebut dengan solver FINE MARINE. Pada program ini dibagi menjadi beberapa sub proses yang berfungsi sebagai parameter input data. Adapun sub proses tersebut adalah sebagai berikut :

1. General Parameter

Digunakan untuk menentukan waktu konfigurasi dan persamaan yang akan digunakan untuk Solver.

2. Flow Model

Digunakan untuk menentukan beberapa jenis aliran. pada penelitian ini akan dilakukan pengamatan dengan memvariasikan tiap flow model yang terdapat pada program.

3. Fluid Model

Digunakan untuk menentukan beberapa macam fluida yang akan digunakan. Pada penelitian menggunakan 2 macam fluida yang digunakan yaitu air dan udara.

4. Boundary Condition

Digunakan untuk mendeskripsikan kondisi dari boundary yang akan dilakukan pada simulasi gelombangnya.

5. Body Definition
6. Motion Parameter
Bagian ini digunakan untuk mendeskripsikan hukum gerakan dan derajat kebebasan. Untuk pergerakan benda dapat diatur dengan menyeting imposed, solved, dan fixed.
7. Ininitial Solution.

3.3 Analisis Data dan Pembahasan

Tahap ini akan membahas hasil dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan *software* Numeca Fine Marine. Data yang didapatkan dari hasil simulasi akan dilakukan pengolahan baik secara langsung maupun diolah kembali menggunakan analisis dengan membandingkannya dengan data hasil eksperimen yang diperoleh dari Lab Hidrodinamika Indonesia. Analisa data dilakukan guna untuk mengetahui dan mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini.

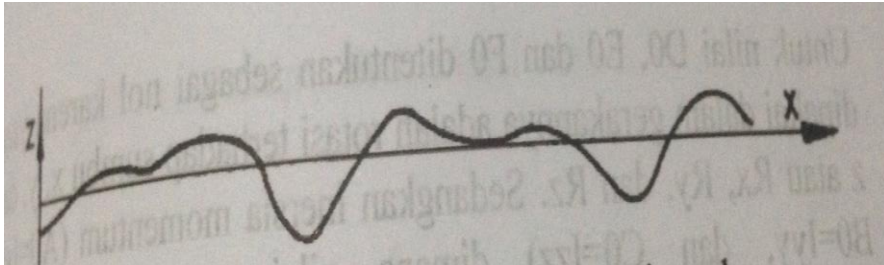
3.4 Kesimpulan dan Saran

Dengan memperhatikan beberapa pertimbangan dari analisis data penelitian yang telah dilakukan, maka selanjutnya yaitu menarik kesimpulan. Kesimpulan yang didapat merupakan jawaban atas permasalahan dalam penelitian. Selain itu, pada tahapan ini juga dirumuskan usulan atau saran yang dapat dijadikan referensi bagi pembaca dan calon peneliti selanjutnya.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Model

Pada bab ini akan diuraikan langkah-langkah pengerjaan dan dilanjutkan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak CFD numeca fine marine. Skema perencanaan gelombang irreguler yang akan disimulasikan didasarkan pada apa yang dijelaskan pada bab dasar teori. Bentuk skema gelombang irreguler yang disimulasikan dapat dilihat pada gambar 7.



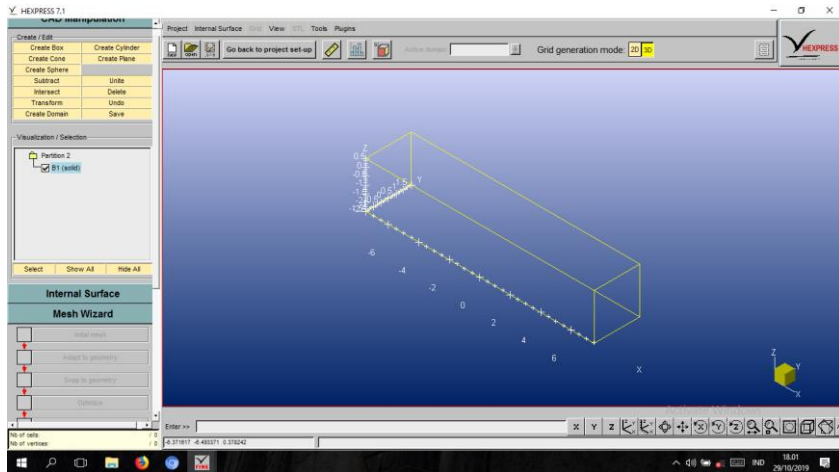
Gambar 4.1. Skema model gelombang irreguler.

4.2 Penentuan Domain dan Meshing

Penentuan domain dilakukan dengan membuat dimensi dari kolam uji serta parameter dari gelombang yang akan dibuat pada tahap simulasi yang telah diperoleh sebelumnya, yaitu :

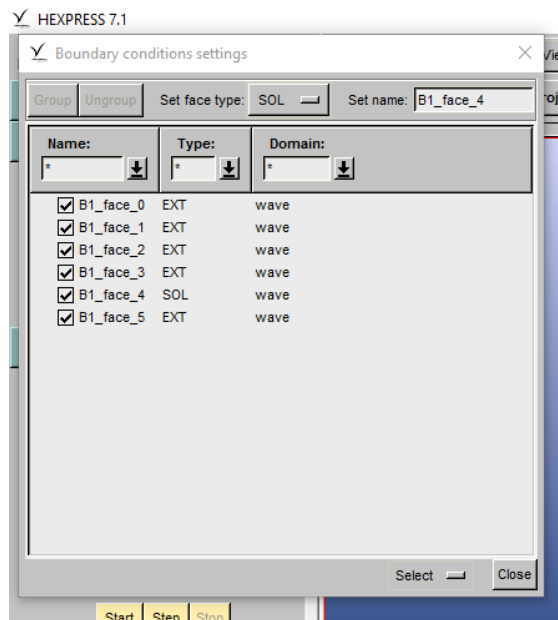
- Ukuran : 15 m x 3 m x 2.5 m
- Parameter gelombang : Spektrum Jonswap, periode 2.21 s, tinggi gelombang 0.2 m

Dengan menggunakan data ukuran yang telah diketahui kemudian dilakukan pembuatan box dengan menggunakan program NUMECA HEXPRESS.



Gambar 4.2. Pembuatan domain box

Setelah box telah terbentuk selanjutnya dilakukan pembuatan domain yang dibutuhkan untuk proses berikutnya untuk dapat membentuk internal surface (batas air). Langkah selanjutnya yaitu penentuan boundary condition dari box yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 9.

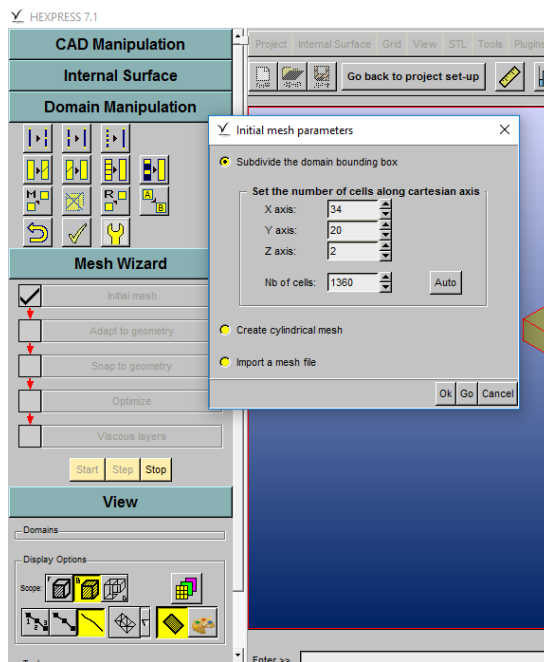


Gambar 4.3. Boundary Layer

Setelah boundary layer ditentukan langkah selanjutnya yaitu menentukan internal surface. Internal surface dapat dibentuk dengan membentuk point dengan

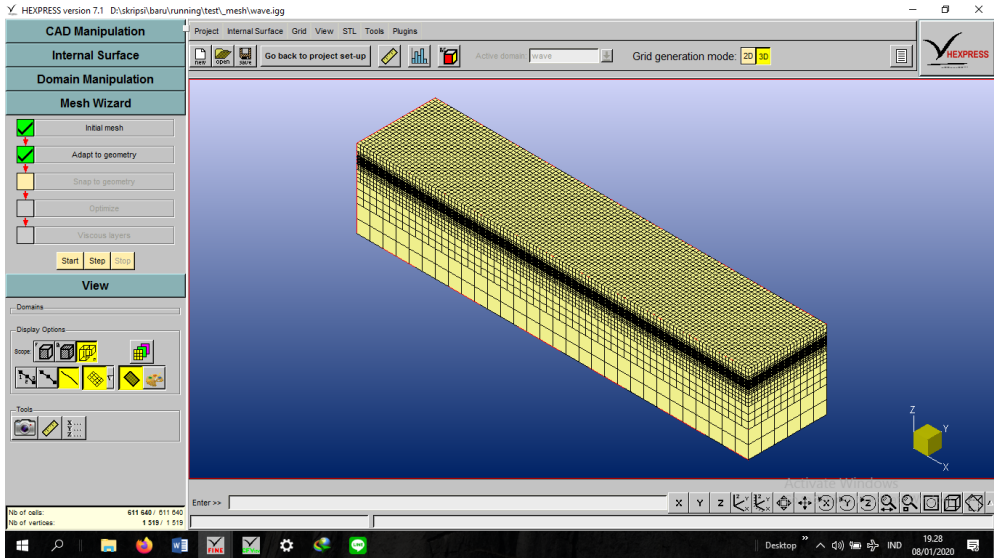
memasukkan koordinat yang sejajar dengan garis air 2.5 m. Dalam membentuk internal surface tidak boleh berlawanan, karena dapat berpengaruh pada pementukan surface.

Setelah doamin telah terbentuk langkah selanjutnya adalah proses meshing. Dalam proses meshing ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilalui dan harus benar. Hasil yang benar ditunjukkan dengan tanda centang hijau sedangkan jika salah berupa tanda centang merah. Langkah meshing diawali dengan initial mesh untuk membagi luasan dalam boundary layer menjadi persegi berukuran kecil dengan rata sesuai dumbu x, y, z. Dapat dilihat pada gambar 10.



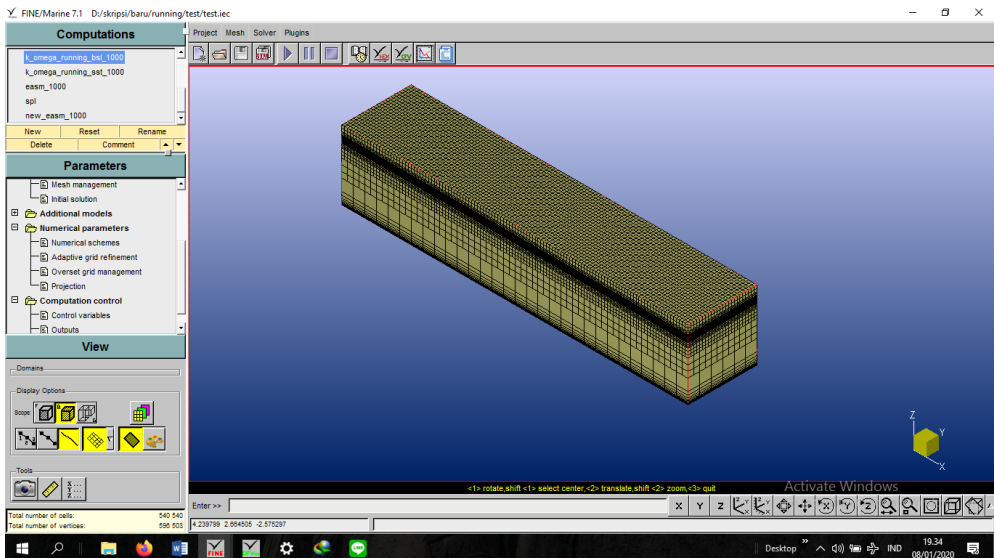
Gambar 4.4. Initial mesh

Langkah selanjutnya adalah proses mesh adaption dimana pada software ini kita dapat memperhalus meshing pada bagian tertentu Penghalusan dilakukan untuk mendapat hasil meshing yang lebih baik daerah tertentu untuk mendapatkan hasil running yang lebih baik. Pengaturan mesh adaption geometry dapat dilihat pada gambar 11.



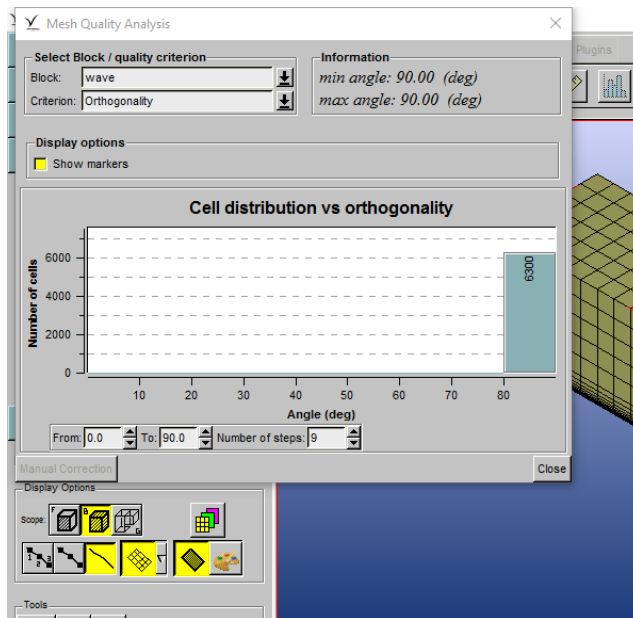
Gambar 4.5. Adapt to geometry

Tahap meshing selanjutnya adalah Snap to geometry dan optimize. Kelebihan dari software ini kita dapat melakukan pengecekan terhadap kualitas meshing yang telah kita buat dengan mencentang optimize. Langkah terakhir dari proses meshing adalah viscous layer yang berfungsi untuk menambah layer dari model yang dibuat sehingga menambah jumlah cell pada meshing. Program akan secara otomatis memberikan saran layer yang dapat diberikan.



Gambar 4.6. Hasil mesh wizard

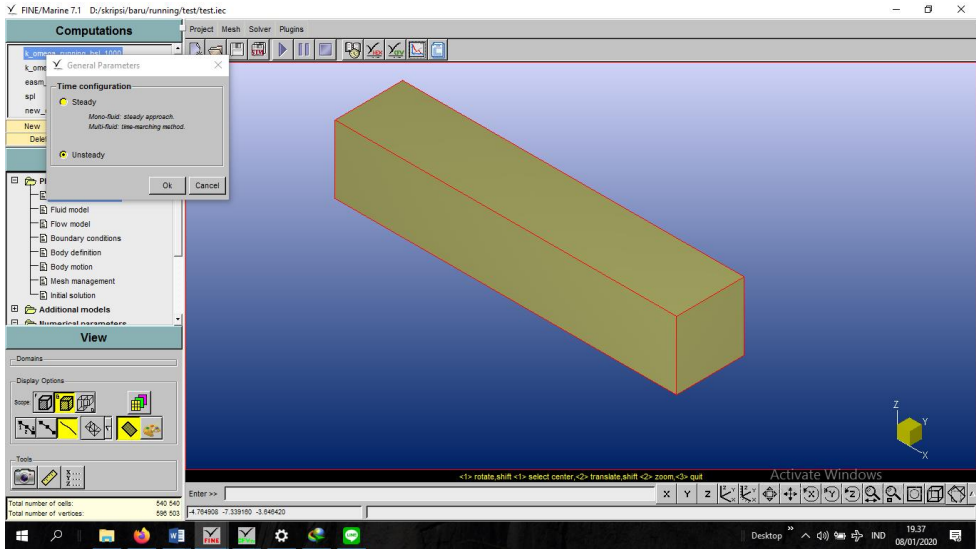
Setelah meshing terbentuk selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap meshing agar tidak mengganggu proses solver. Hal ini dilakukan karena jika proses meshing tidak mendapat grid yang sempurna maka dapat menyebabkan pemberhentian iterasi pada proses running. Untuk mengecek hasil meshing baik atau tidak digunakan 2 parameter yaitu distribusi cell vs orogonal dan distribusi cell vs volume dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 4.7. Analisa meshing dengan kriteria ortogonal

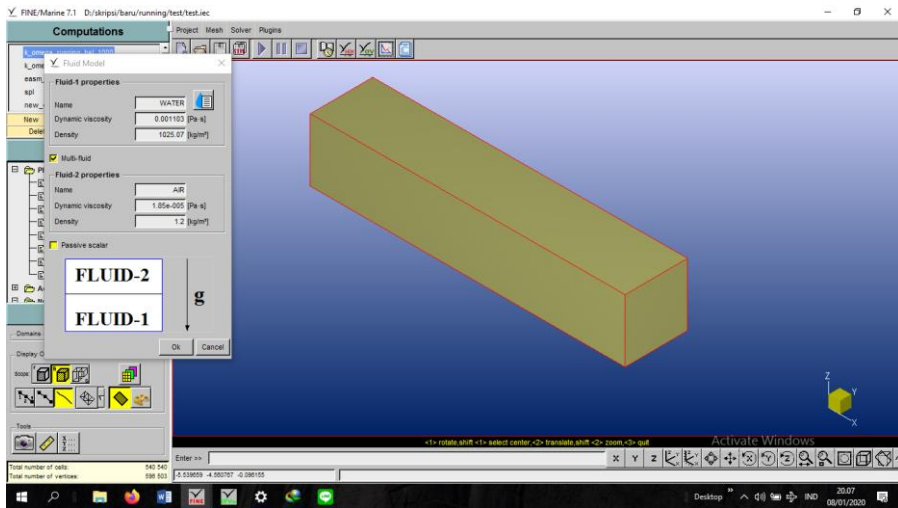
4.3 Proses Solver

Pada proses ini akan diberikan beberapa input parameter data yang menggambarkan kondisi boundary serta pendefinisian model. Yang pertama adalah bentuk simulasi yang akan dilaksanakan steady atau unsteady. Pada penelitian ini akan menggunakan parameter unsteady karena dalam perencanaan gelombang laut bersifat dinamis. Pemilihan ini akan menentukan persamaan apa yang akan digunakan pada proses solver.



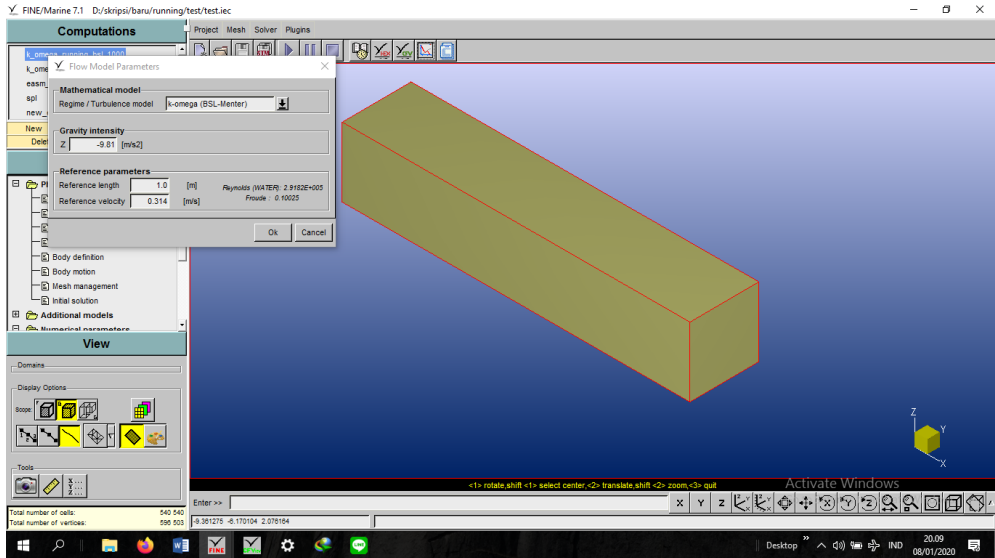
Gambar 4.8. Pemilihan parameter unsteady

Yang kedua adalah pemilihan berapa jenis fluida yang akan digunakan. Oleh karena dalam perencanaan gelombang laut maka fluida yang dipilih adalah 2 jenis yaitu air dan udara.



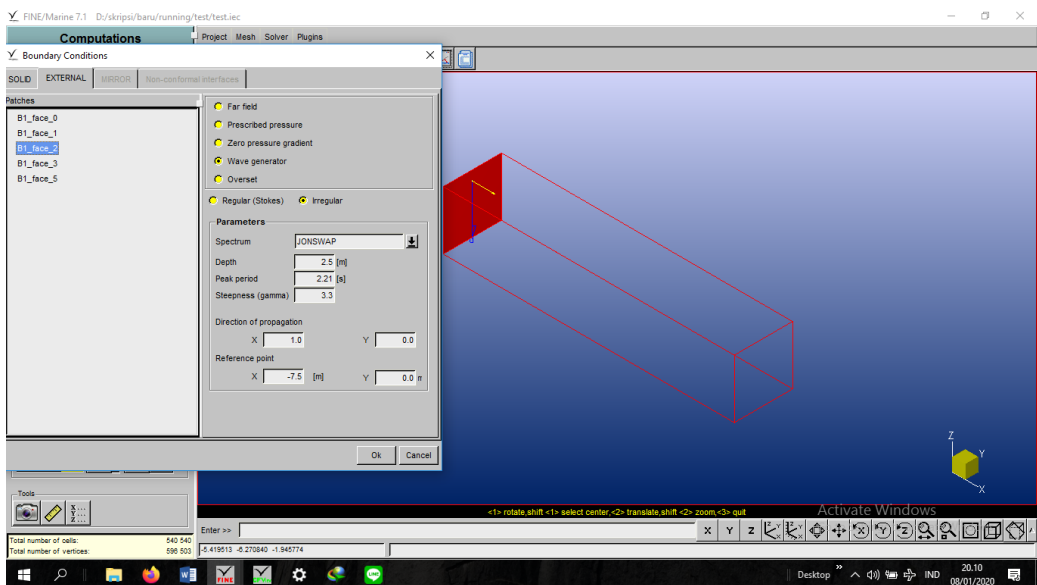
Gambar 4.9. Pemilihan parameter jenis fluida yang digunakan

Yang ketiga adalah penentuan jenis aliran yang mengalir. Ada 2 jenis aliran fluida yaitu turbulen dan laminar. Oleh karena dalam perencanaannya akan memvariasikan berbagai model turbulen maka jenis aliran yang dipilih adalah turbulen.



Gambar 4.10. Pemilihan jenis aliran

Yang keempat adalah mendefinisikan kondisi boundary sesuai dengan kondisi lingkungan yang akan disimulasikan dimana input data yang digunakan adalah karakteristik gelombang dari data eksperimen yang telah dilakukan yaitu periode 2,21 s, tinggi gelombang 0,2 m, dan spektrum JONSWAP.

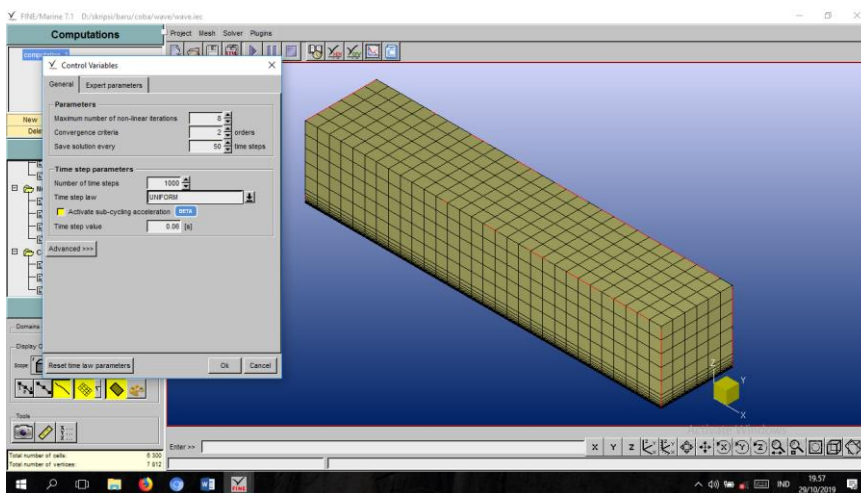


Gambar 4.11. Input parameter untuk boundary condition pada inlet

Yang kelima adalah pembentukan group untuk yang mempunyai fungsi solid. Selanjutnya yang keenam adalah parameter untuk gerakan motion. Ada tiga macam pilihan yang diberikan untuk menggambarkan gerakan-gerakan tersebut yaitu imposed, fixed, dan Solved. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengaturan untuk langkah kelima dan keenam dikarenakan tidak terdapat model proses simulasi yang akan dilakukan. Untuk bagian bawah dari domain dibuat solid untuk menggambarkan keadaan kolam pengujian.

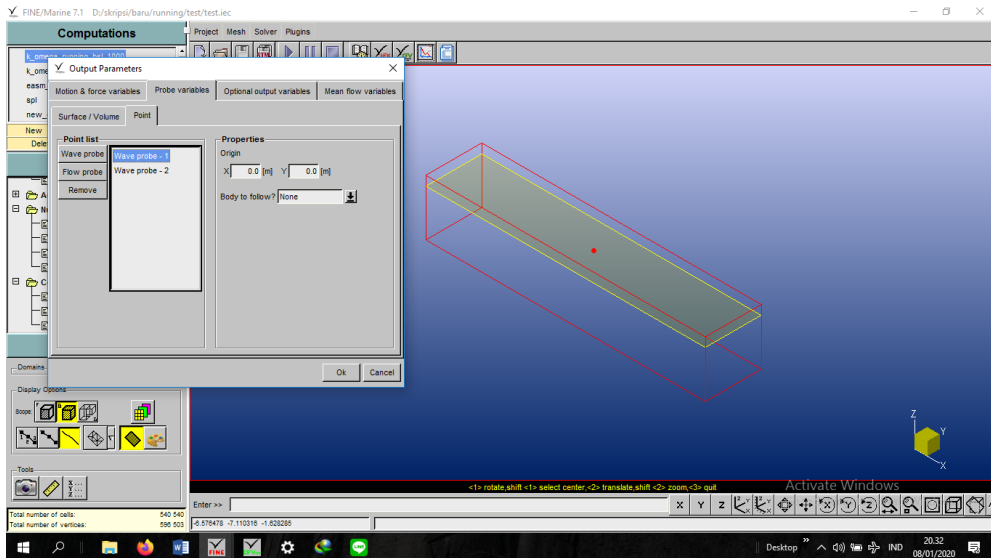
4.4 Proses Solver

Waktu yang digunakan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang maksimal, jadi semakin besar timestepnya maka akan semakin bagus pula hasilnya selama residualnya tidak mengalami divergensi atau putus putus. Pada penelitian ini timestepnya diatur sebanyak 1000 untuk semua model gelombang pada tiap variasi model turbulen sehingga menghasilkan 5 hasil running. Timestep waktu yang dibutuhkan untuk iterasi 1 model grafik kurang lebih 48 jam. Sehingga jika input paramater nya sebanyak 5 maka waktu yang dibutuhkan untuk proses iterasi sebesar $(48 \text{ jam} \times 5) = 240 \text{ jam}$.



Gambar 4.12. Input parameter untuk timestep

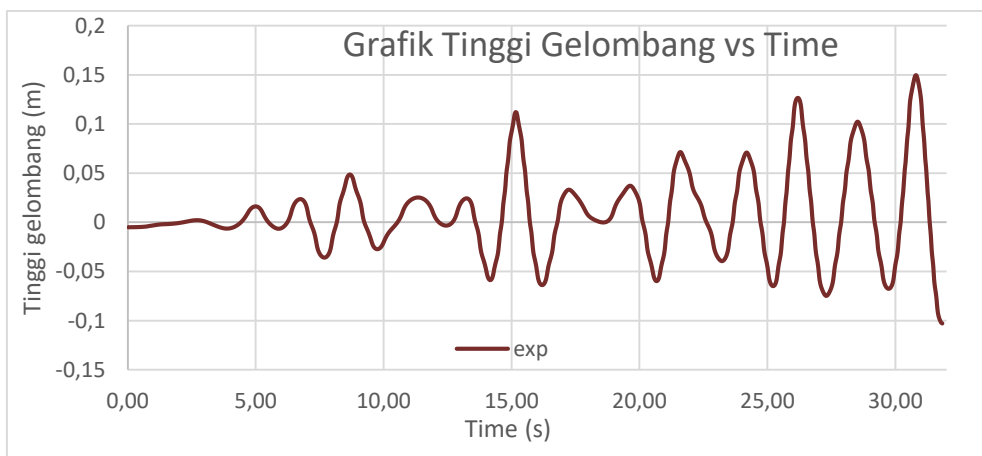
Pengertian untuk 1 model grafik yang dihasilkan pada proses iterasi adalah meliputi wave elevation, turbulen kinetic energy, serta kecepatan. Disamping itu memudahkan dalam pengambilan gambar dan mendokumentasikan gerakan gelombang bisa menggunakan probe variabel yang perlu diaktifkan dan diberi waktu dalam pengambilan gambar dalam second sesuai dengan yang diinginkan



Gambar 4.13. Wave probe variabel

4.5 Analisa Grafik Tinggi Gelombang

Simulasi dan pemodelan gelombang yang dilakukan menggunakan pendekatan CFD dengan menggunakan metode free surface antara domain air laut dan udara. Bentuk karakteristik tinggi gelombang yang terbentuk pada tiap variasi turbulen dapat dilihat dalam bentuk grafik yang diambil oleh wave probe yang telah dipasang pada area surface dari gelombang yang disimulasikan dengan mengatur pengambilan gambar tiap 1 time step. Plot grafik tinggi gelombang hasil simulasi dengan memvariasikan beberapa model turbulen akan dibandingkan dengan grafik tinggi gelombang hasil eksperimen yang diperoleh dari LHI pada tiap model turbulen. Grafik tinggi gelombang hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.14.

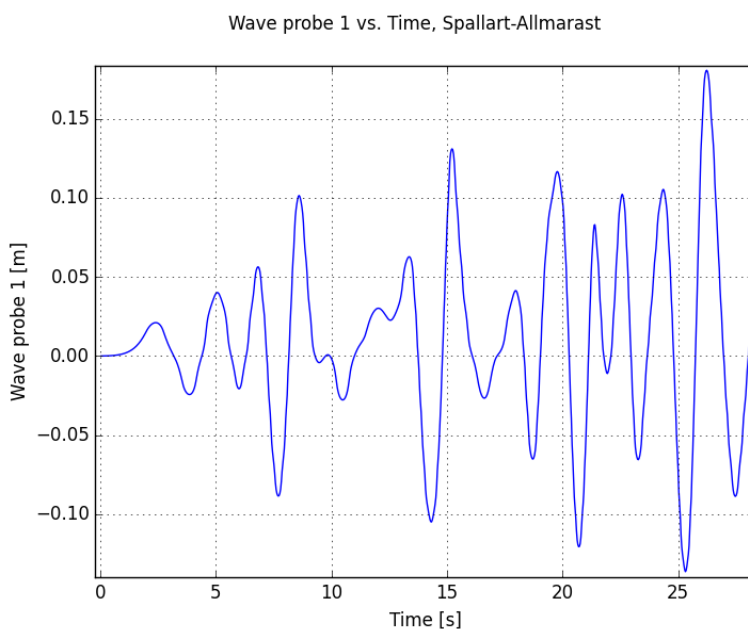


Gambar 4.14. Grafik tinggi gelombang vs time hasil eksperimen

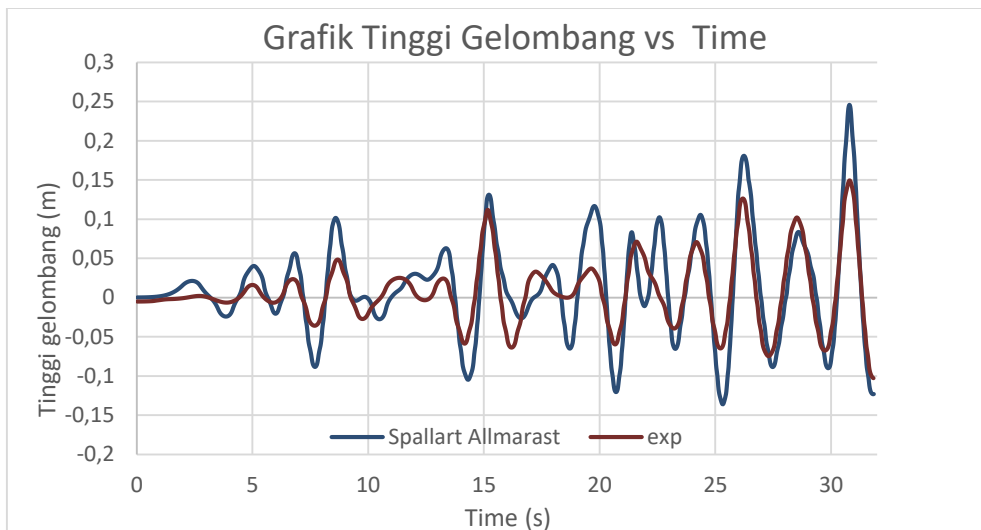
Gambar 4.14 menunjukkan grafik tinggi gelombang eksperimen dengan timestep sebanyak 1000 kali. Grafik tersebut diperoleh dengan mempresentasikan data time step gelombang dengan parameter tinggi gelombang 0,2 m dan periode 2,21 s dari LHI yang berupa file data dengan format .txt. File data tersebut kemudian di copy ke dalam ms. Excel agar dapat diubah ke dalam bentuk grafik.

4.5.1 Variasi Model Turbulen Spallart Almarast

Dari proses simulasi gelombang irreguler dengan variasi model turbulensi Spallart-Allmarast menggunakan pendekatan CFD, diperoleh grafik gerakan gelombang yang menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang terhadap waktu. Grafik tersebut diperoleh dengan mempresentasikan data rekaman pada wave probe yang telah dipasang pada proses simulasi dengan timestep 1000. Bentuk grafik tinggi gelombang terhadap waktu dengan variasi model turbulen Spallart-Allmarast yang dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.15. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model Spallart-Allmarast

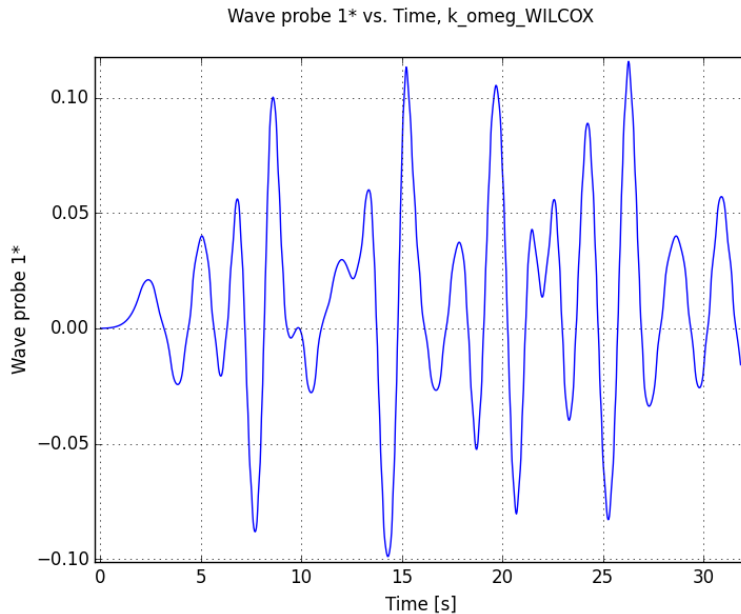


Gambar 4.16. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model Spallart-Allmarast dengan eksperimen.

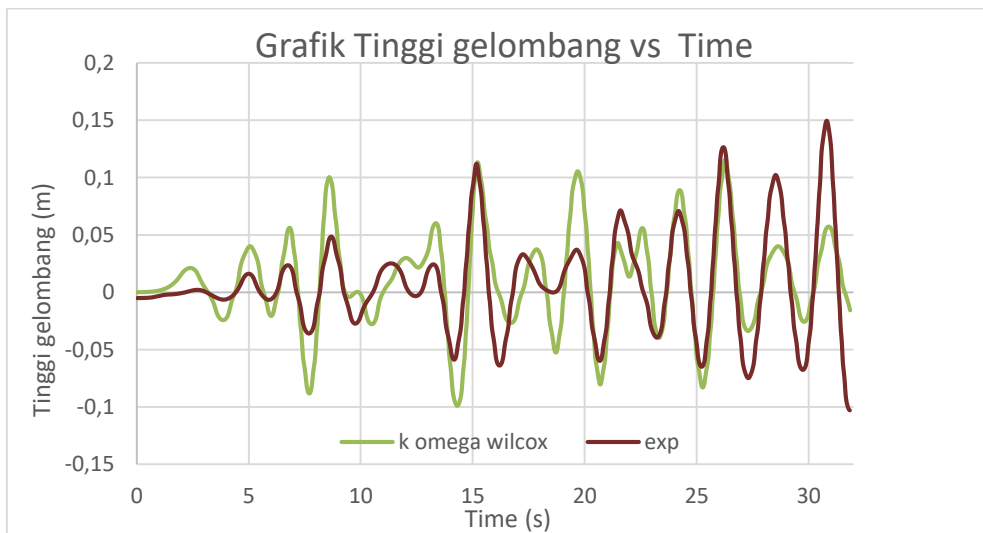
Pada gambar 4.16, dapat dilihat perbandingan antara tinggi gelombang simulasi menggunakan model turbulen Spallart-Almarast dengan tinggi gelombang hasil eksperimen. Berdasarkan gambar 4.16 terlihat bahwa grafik gelombang simulasi dengan model turbulen Spallart Allmarast menunjukkan hasil yang kurang sesuai dengan hasil eksperimen. Tinggi gelombang dengan variasi model Spallart-Allmarast terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan hasil eksperimen, dimana puncak gelombang tertinggi pada model Spallart-Almarast sebesar 0,24 m pada akhir akselerasi. Kurang akuratnya hasil yang ditunjukkan terhadap hasil eksperimen bisa disebabkan karena model Spallart-Almarast dirancang khusus untuk aplikasi ruang angkasa yang melibatkan aliran yang dibatasi dinding dan telah terbukti memberikan hasil yang baik untuk lapisan batas yang mengalami gradien tekanan yang merugikan (Spallart P : 1992), sementara pada simulasi ini yang bertindak sebagai dinding hanyalah pada dasar kolam. Kesalahan saat menginput parameter pada proses simulasi juga dapat menyebabkan kurang akurat nya hasil yang ditunjukkan.

4.5.2 Variasi Model Turbulen K-Omega Wilcox

Dari proses simulasi gelombang irreguler dengan variasi model turbulensi k-omega Wilcox menggunakan pendekatan CFD, diperoleh grafik gerakan gelombang yang menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang terhadap waktu. Grafik tersebut diperoleh dengan mempresentasikan data rekaman pada wave probe yang telah dipasang pada proses simulasi dengan timestep 1000. Bentuk grafik tinggi gelombang terhadap waktu dengan variasi model turbulen k-omega Wilcox yang dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.18.



Gambar 4.17. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega Wilcox



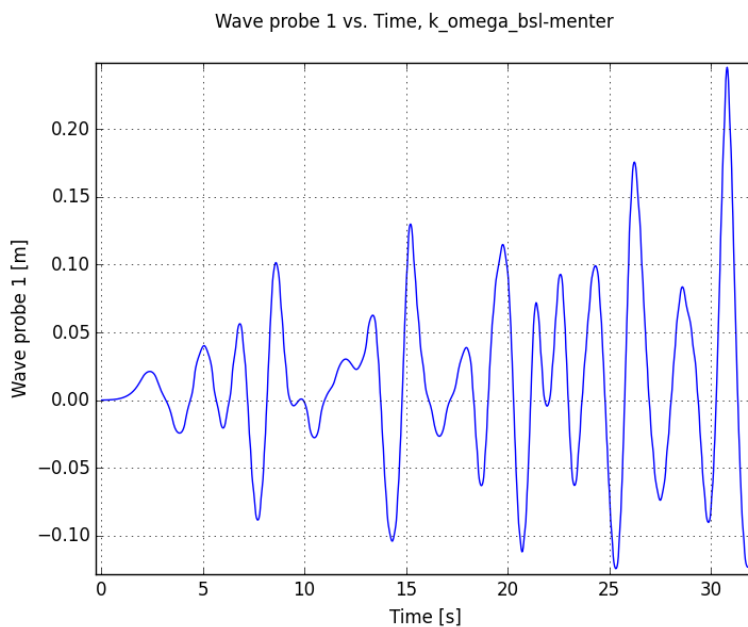
Gambar 4.18. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega Wilcox dengan eksperimen.

Pada gambar 4.18, dapat dilihat perbandingan antara tinggi gelombang simulasi menggunakan model turbulen model k-omega Wilcox dengan tinggi gelombang hasil eksperimen. Berdasarkan gambar 4.18 terlihat bahwa grafik gelombang simulasi dengan model turbulen model k-omega Wilcox menunjukkan hasil yang sedikit berbeda dengan hasil eksperimen. Tinggi gelombang dengan

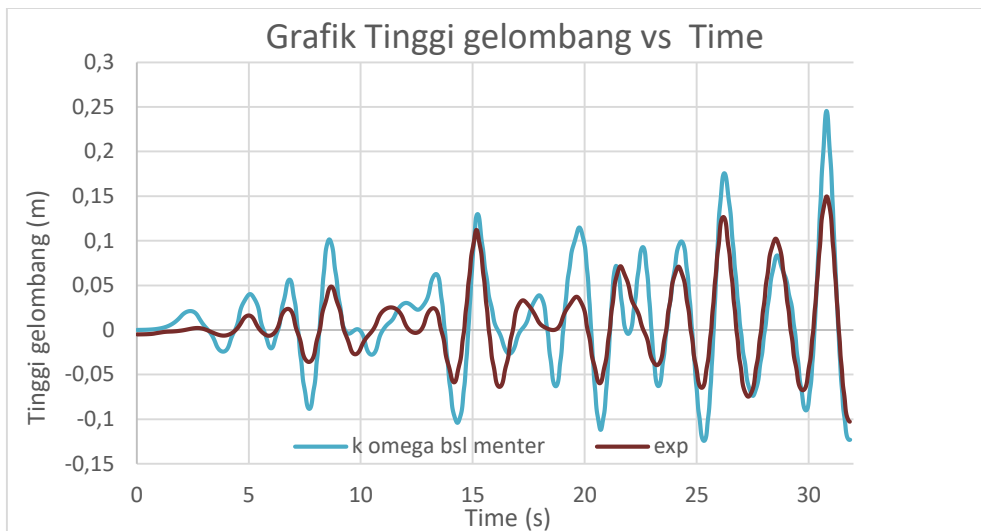
variasi model model k-omega Wilcox terlihat lebih tinggi pada awal gerak gelombang. Kemudian tinggi gelombang sama dengan eksperimen sebesar 0.1 m pada time 15 s setelah gelombang bergerak. Pada akhir gerak gelombang terlihat bahwa gelombang dengan model k-omega Wilcox menunjukkan penurunan tinggi gelombang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil eksperimen dimana puncak gelombang tertinggi pada model model k-omega Wilcox sebesar 0,1 m pada time 15 s setelah gelombang bergerak. Perbedaan hasil yang ditunjukkan terhadap hasil eksperimen bisa disebabkan karena kurangnya input parameter yang dimasukkan untuk model turbulensi k-omega Wilcox dimana pada proses simulasi hanya memasukkan input parameter tinggi dan periode gelombang

4.5.3 Variasi Model Turbulen K-Omega BSL-Menter

Dari proses simulasi gelombang irreguler dengan variasi model turbulensi k-omega Bsl-Menter menggunakan pendekatan CFD, diperoleh grafik gerakan gelombang yang menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang terhadap waktu. Grafik tersebut diperoleh dengan mempresentasikan data rekaman pada wave probe yang telah dipasang pada proses simulasi dengan timestep 1000. Bentuk grafik tinggi gelombang terhadap waktu dengan variasi model turbulen k-omega BSL-menter yang dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.19. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega Bsl-Menter

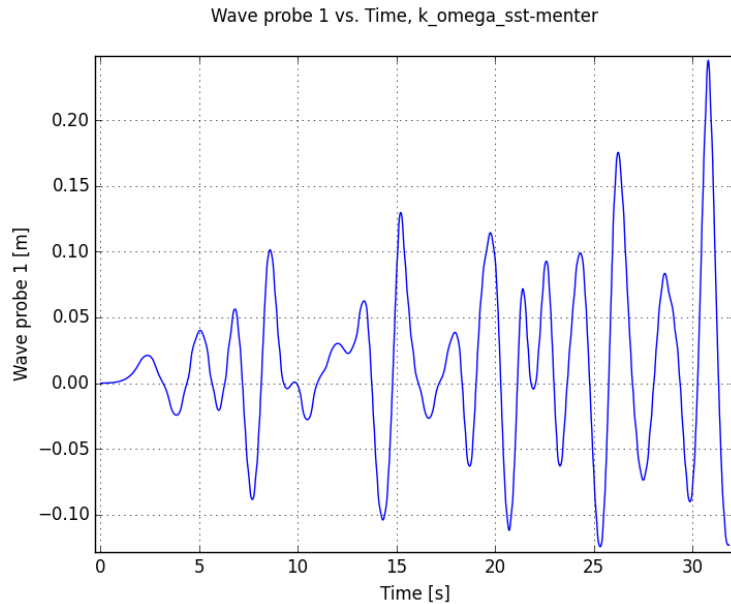


Gambar 4.20. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega Bsl-Menter dengan eksperimen.

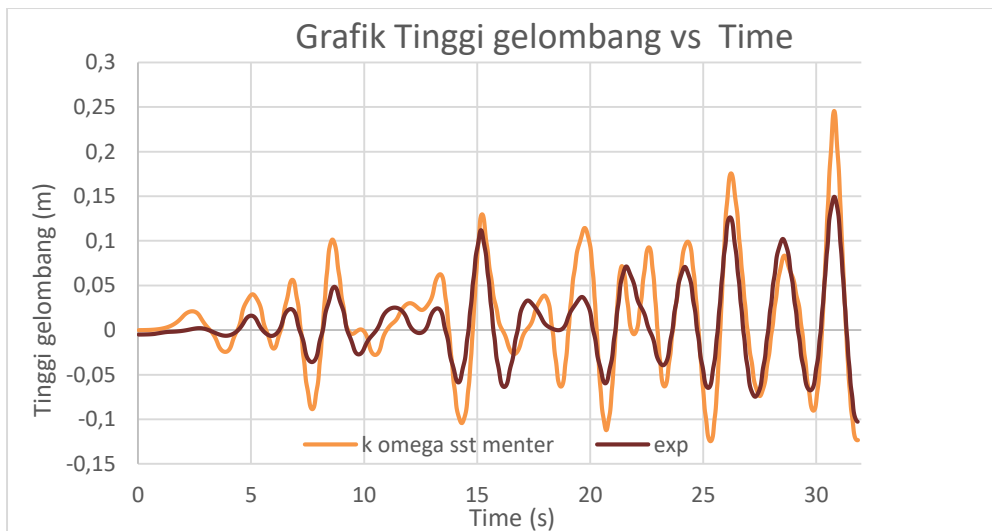
Pada gambar 4.20, dapat dilihat perbandingan antara tinggi gelombang simulasi menggunakan model turbulen model k-omega Bsl-Menter dengan tinggi gelombang hasil eksperimen. Berdasarkan gambar 4.20 terlihat bahwa grafik gelombang simulasi dengan model turbulen model k-omega Bsl-Menter menunjukkan hasil yang sedikit berbeda dengan hasil eksperimen. Tinggi gelombang dengan variasi model k-omega Bsl-Menter terlihat lebih tinggi pada selama gerak gelombang. Tinggi gelombang mendekati sama dengan eksperimen sebesar 0,1 m pada time 15,24 s setelah gelombang bergerak. Pada akhir gerak gelombang terlihat bahwa gelombang dengan model k-omega Bsl-Menter menunjukkan kenaikan tinggi gelombang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil eksperimen dimana puncak gelombang tertinggi pada model model k-omega Bsl-Menter sebesar 0,24 m pada time 30,8 s setelah gelombang bergerak. Perbedaan hasil yang ditunjukkan terhadap hasil eksperimen bisa disebabkan karena kurangnya input parameter yang dimasukkan untuk model turbulensi k-omega Bsl-Menter dimana pada proses simulasi hanya memasukkan input parameter tinggi dan periode gelombang.

4.5.3 Variasi Model Turbulen K-Omega SST-Menter

Dari proses simulasi gelombang irreguler dengan variasi model turbulensi k-omega SST-Menter menggunakan pendekatan CFD, diperoleh grafik gerakan gelombang yang menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang terhadap waktu. Grafik tersebut diperoleh dengan mempresentasikan data rekaman pada wave probe yang telah dipasang pada proses simulasi dengan timestep 1000. Bentuk grafik tinggi gelombang terhadap waktu dengan variasi model turbulen k-omega SST-menter yang dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.22.



Gambar 4.22. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega SST-Menter



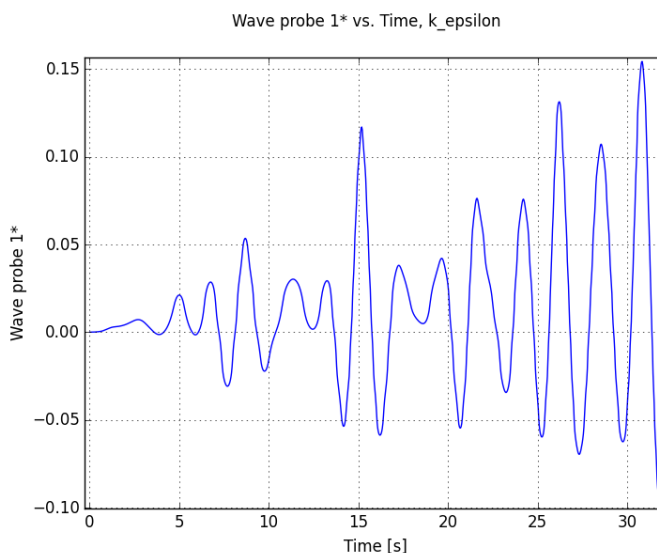
Gambar 4.22. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega SST-Menter dengan eksperimen.

Pada gambar 4.22, dapat dilihat perbandingan antara tinggi gelombang simulasi menggunakan model turbulen model k-omega SST-Menter dengan tinggi gelombang hasil eksperimen. Berdasarkan gambar 4.22 terlihat bahwa grafik

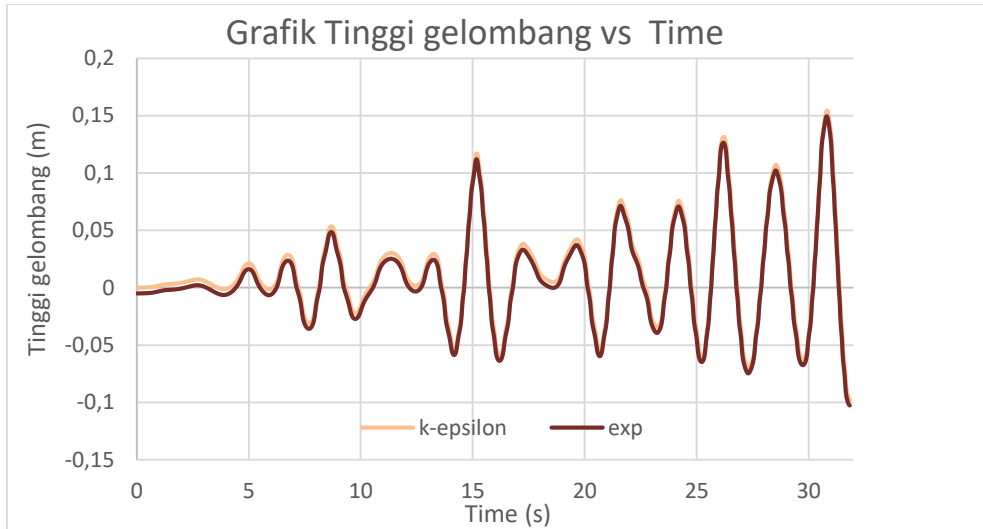
gelombang simulasi dengan model turbulen model k-omega SST-Menter menunjukkan hasil yang sedikit berbeda dengan hasil eksperimen. Tinggi gelombang dengan variasi model k-omega SST-Menter terlihat lebih tinggi pada selama gerak gelombang. Tinggi gelombang mendekati sama dengan eksperimen sebesar 0.1 m pada time 15,24 s setelah gelombang bergerak. Pada akhir gerak gelombang terlihat bahwa gelombang dengan model k-omega SST-Menter menunjukkan kenaikan tinggi gelombang yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil eksperimen dimana puncak gelombang tertinggi pada model model k-omega SST-Menter sebesar 0,24 m pada time 30,8 s setelah gelombang bergerak. Dari grafik terlihat grafik k-omega SST-Menter menunjukkan grafik yang sama seperti yang ditunjukkan oleh Grafik dengan model k-omega BSL-Menter terhadap hasil eksperimen. Perbedaan hasil yang ditunjukkan terhadap hasil eksperimen bisa disebabkan karena kurangnya input parameter yang dimasukkan untuk model turbulensi k-omega SST-Menter dimana pada proses simulasi hanya memasukkan input parameter tinggi dan periode gelombang.

4.5.3 Variasi Model Turbulen K-Epsilon

Dari proses simulasi gelombang irreguler dengan variasi model turbulensi k-epsilon menggunakan pendekatan CFD, diperoleh grafik gerakan gelombang yang menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang terhadap waktu. Grafik tersebut diperoleh dengan mempresentasikan data rekaman pada wave probe yang telah dipasang pada proses simulasi dengan timestep 1000. Bentuk grafik tinggi gelombang terhadap waktu dengan variasi model turbulen k-epsilon yang dibandingkan dengan grafik hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar 4.24.



Gambar 4.23. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-epsilon



Gambar 4.24. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-epsilon dengan eksperimen.

Pada gambar 4.24, dapat dilihat perbandingan antara tinggi gelombang simulasi menggunakan model turbulen model k-epsilon dengan tinggi gelombang hasil eksperimen. Berdasarkan gambar 4.24 terlihat bahwa grafik gelombang simulasi dengan model turbulen model k-epsilon menunjukkan hasil yang baik dengan hasil eksperimen pada semua gerakan yang terjadi tiap timestep. Tinggi gelombang dengan variasi model k-epsilon terlihat lebih tinggi sekitar 0,001 m terhadap hasil eksperimen. Puncak gelombang tertinggi pada model model k-epsilon sebesar 0,15 m pada time 30,9 s setelah gelombang bergerak. Grafik yang ditunjukkan oleh model turbulen k-epsilon terhadap hasil eksperimen terlihat paling baik dibandingkan dengan model turbulen yang lain

4.6 Perhitungan Tinggi Signifikan Gelombang (H_s)

Gelombang signifikan (H_s) adalah tinggi gelombang rata-rata dari 33% gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang yang ada. Tinggi signifikan dari gelombang hasil simulasi dengan berbagai model turbulen dicari dengan dengan mendata tinggi gelombang tiap periode menggunakan metode gelombang representatif, yaitu metode yang dapat mewakili karakteristik keseluruhan data gelombang. Metode tersebut meliputi:

1. Data tinggi gelombang dan periode gelombang diurutkan dari data yang tertinggi sampai data yang terendah.
2. Kemudian mencari nilai tinggi gelombang signifikan (H_s)

$n = 33,3\% \times \text{jumlah data}$

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \dots\dots\dots (7)$$

dimana:

H_s : tinggi gelombang signifikan (m)

H_1, H_n : tinggi gelombang ke 1, 2, ..., n (m)

Dengan menggunakan metode representatif gelombang, didapatkan tinggi gelombang signifikan (H_s) yang dapat dilihat pada tabel 1.

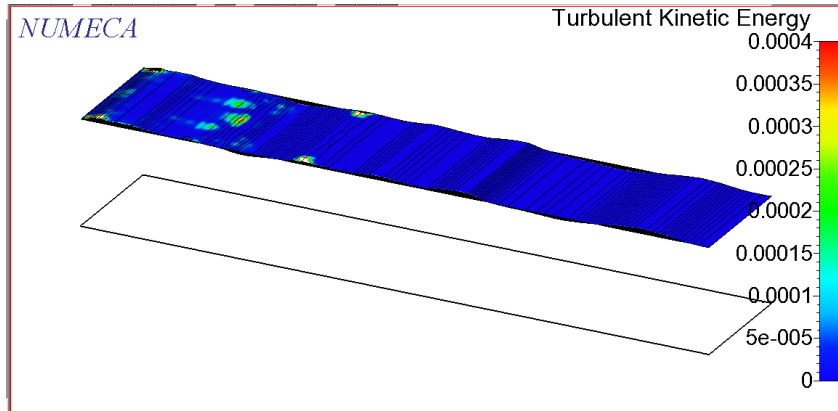
Tabel 4.1. Data H_s pada tiap variasi model turbulen.

Data	Variasi	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	N	HS (m)
Eksperimen		0.260	0.200	0.170	0.130	0.125	0.120	0.100	0.075	0.075	0.060	0.030	0.020	0.020	0.010			4.662	0.299
	k-epsilon Launder Sharma	0.265	0.200	0.175	0.130	0.120	0.125	0.100	0.080	0.080	0.065	0.035	0.025	0.025	0.010			4.662	0.304
Simulasi	k-omega Wilcox	0.200	0.190	0.180	0.160	0.150	0.140	0.110	0.090	0.090	0.090	0.070	0.060	0.050	0.050	0.030	0.030	5.328	0.317
	k-omega BSL Menter	0.350	0.260	0.230	0.225	0.220	0.165	0.160	0.160	0.150	0.140	0.110	0.110	0.075	0.063	0.050	0.020	5.328	0.467
	k-omega SST Menter	0.350	0.260	0.230	0.225	0.220	0.165	0.160	0.160	0.150	0.140	0.110	0.110	0.075	0.063	0.050	0.020	5.328	0.467
	Spallart- Allmarast	0.260	0.240	0.225	0.170	0.170	0.160	0.150	0.110	0.100	0.090	0.063	0.060	0.050	0.050	0.020	0.010	5.328	0.362

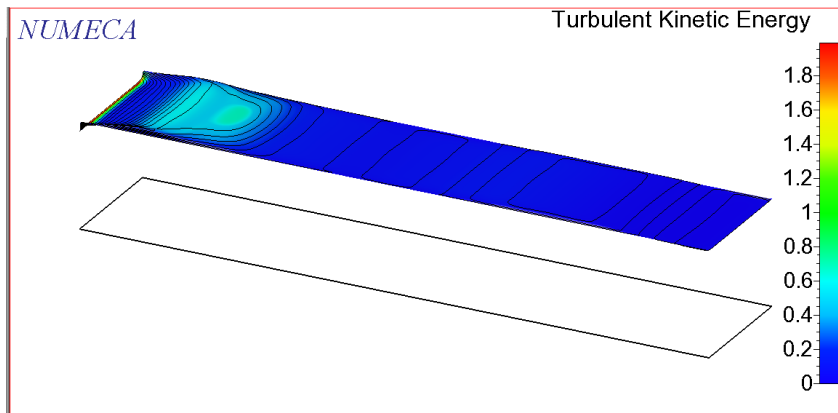
Berdasarkan tabel 4.1, tinggi gelombang signifikan (H_s) tertinggi ditunjukkan oleh model turbulen k-omega BSL-Menter dan k-omega SST-Menter sebesar 0,467 m. Model turbulen k-epsilon dan k-omega wilcox menunjukkan data tinggi signifikan yang hampir mendekati data eksperimen yaitu sebesar 0,304 m dan 0,295 m. Untuk model Spallart Allmarast menunjukkan tinggi signifikan sebesar 0.362 m. Dengan mengetahui parameter tinggi gelombang signifikan (H_s) dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam hal engineering seperti menggambarkan potensi energi gelombang laut pada suatu wilayah, desain dari anjungan lepas pantai, instalasi pipa bawah laut untuk keamanan operasi, dan masih banyak dalam bidang rekayasa.

4.7 Plot Data Turbulent Kinetic Energy

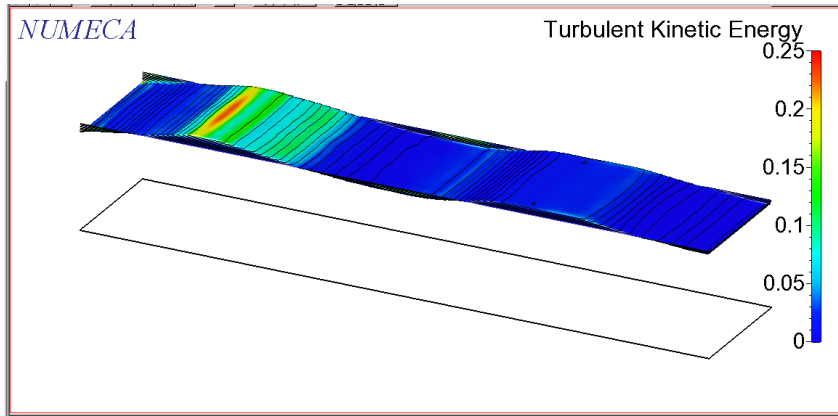
Plot data untuk turbulent kinetic energy hasil simulasi dengan menggunakan software NUMECA disajikan dalam bentuk plot kontur warna pada setiap variasi model turbulen yang diamati. Plot turbulent kinetic Energy dapat dilihat pada gambar 4.25 -4.29.



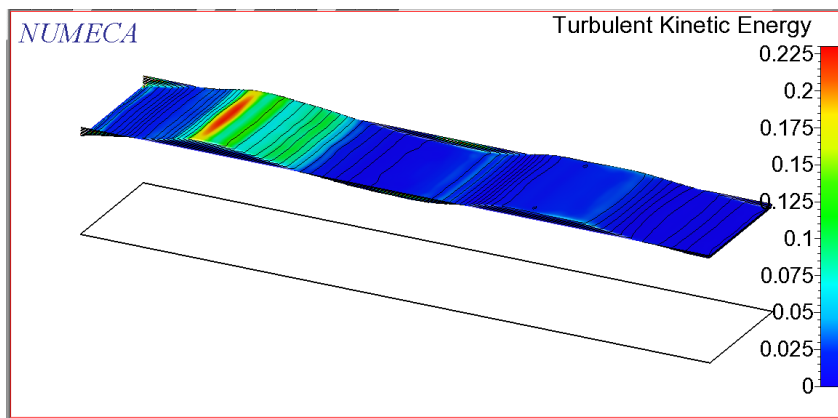
Gambar 4.25. Turbulent kinetic Energy model turbulent Spallart-Allmarast



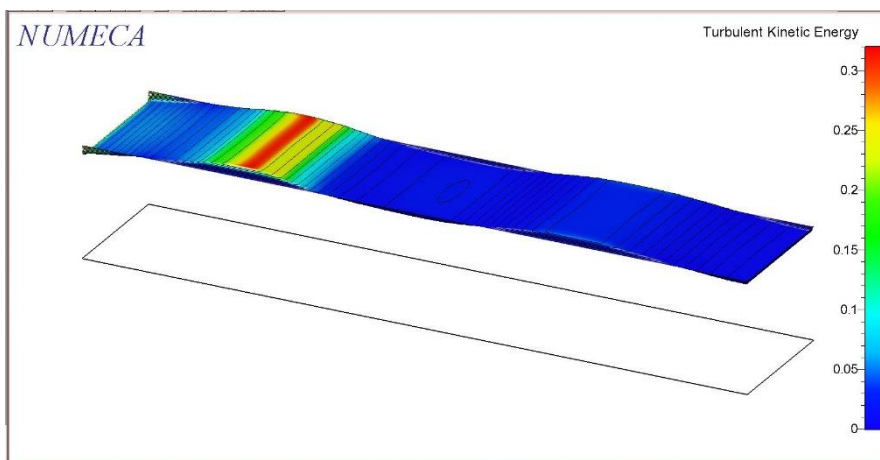
Gambar 4.26. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega Wilcox



Gambar 4.27. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega BSL Menter



Gambar 4.28. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega SST Menter

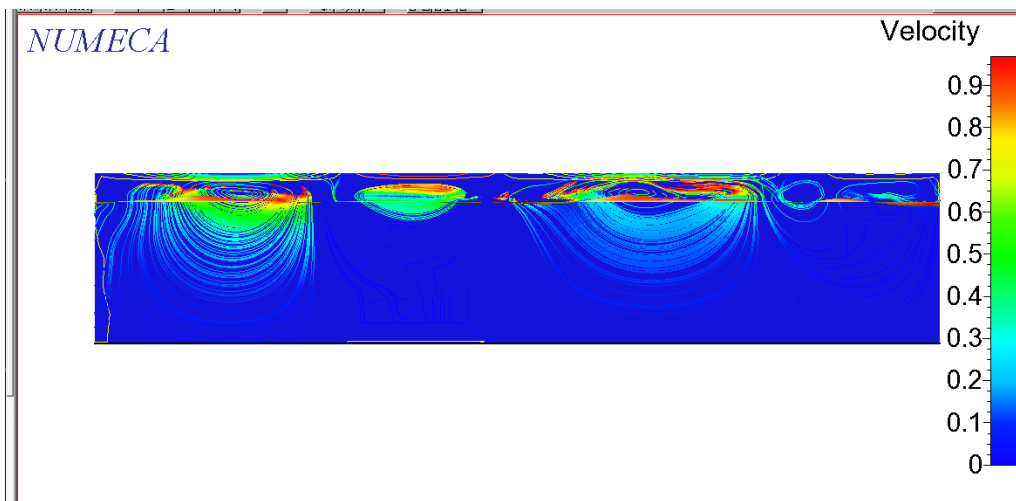


Gambar 4.29. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-epsilon

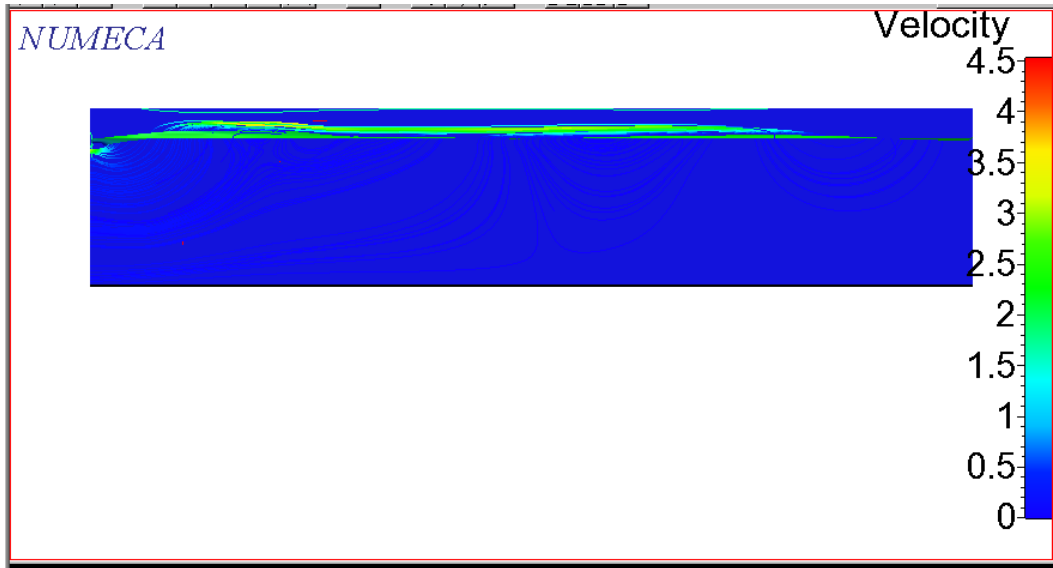
Gambar 4.25 -4.29 menunjukkan plot kontur warna turbulent kinetic energy pada tiap model turbulent hasil simulasi yang ditampilkan oleh CF fiew. Berdasarkan kontur warna menunjukkan bahwa terdapat perbedaan turbulent kinetic energy pada tiap variasi model turbulent yang disimulasikan. Model turbulent k-omega wilcox menunjukkan turbulen kinetic energy terbesar dibandingkan dengan variasi model turbulent yang lain dengan range antara 0-1,8. Untuk model turbulent k-omega BSL-Mener , K-omega SST Menter, dan k-epsilon untuk plot kontur turbulent kinetic energy beraada pada range antara 0-0,3. Pada Model turbulent Spallart-Allmarast untuk plot kontur turbulent kinetic energy menunjukkan range paling kecil dibandingkan dengan variasi model turbulen yang lain yaitu pada range 0-0,0004.

4.8 Kecepatan

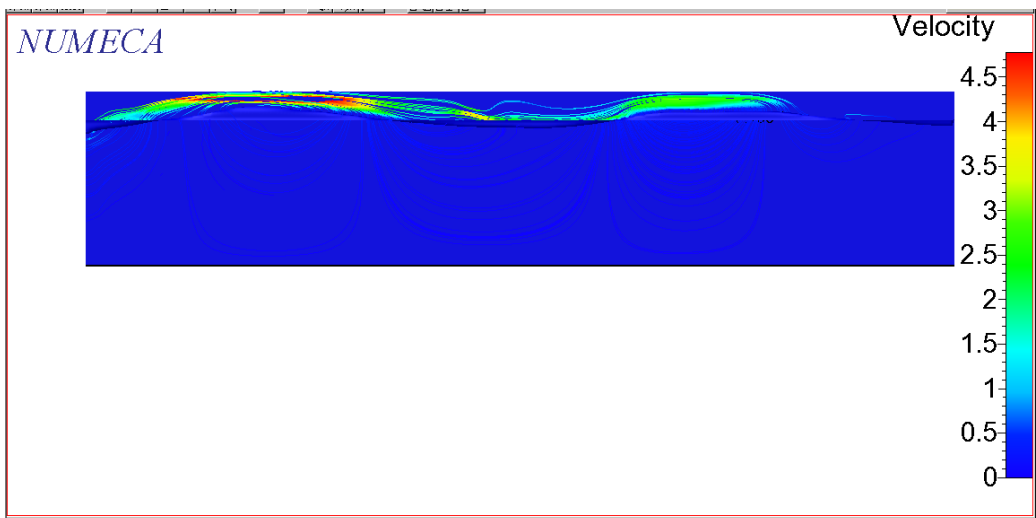
Plot data kecepatan aliran untuk hasil simulasi dengan menggunakan software NUMECA disajikan dalam bentuk plot kontur warna pada setiap variasi model turbulent yang diamati. Plot data kecepatan aliran dapat dilihat pada gambar 4.30-4.34.



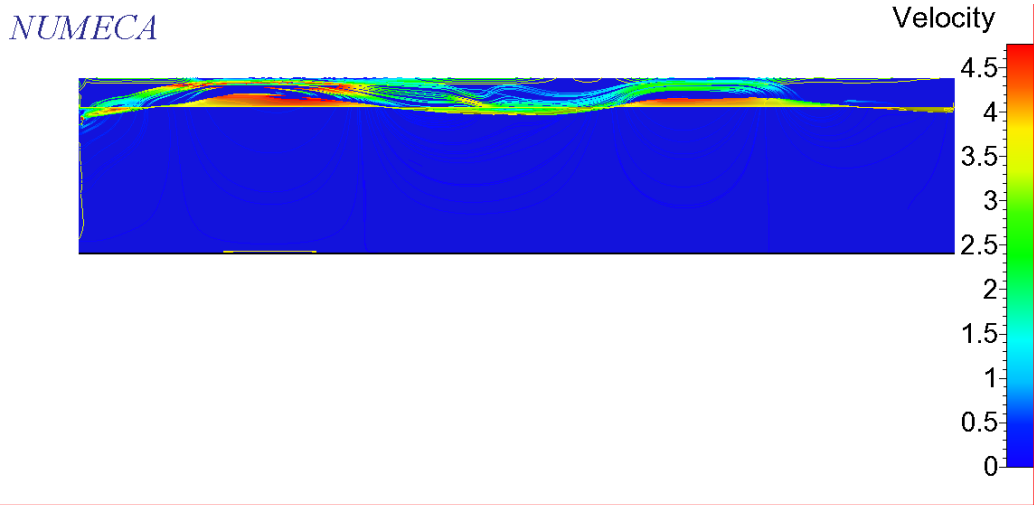
Gambar 4.30. kecepatan dengan variasi model Spallart-Almarast



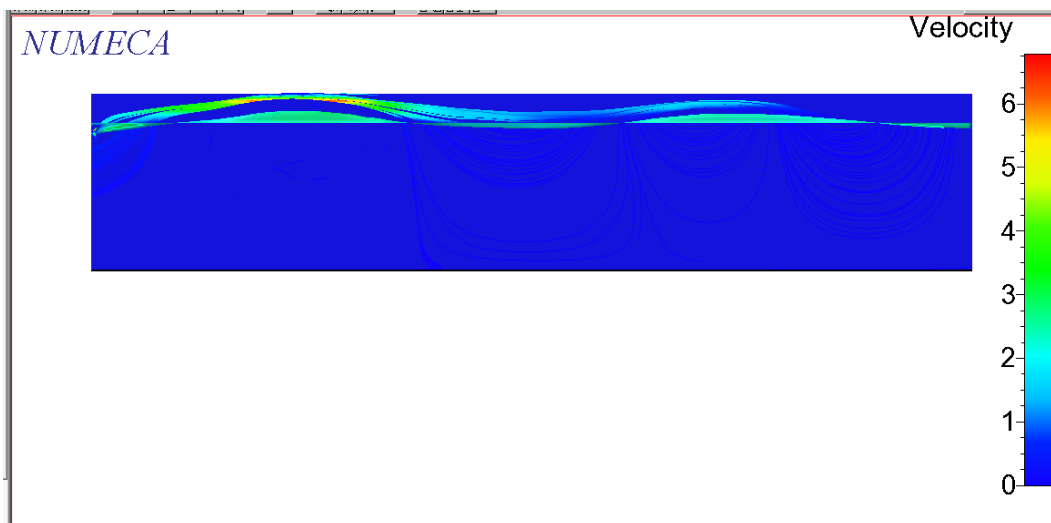
Gambar 4.31. kecepatan dengan variasi model k-omega wilcox



Gambar 4.32. kecepatan dengan variasi model k-omega-BSL-Menter



Gambar 4.33. kecepatan dengan variasi model k-omega-SST-Menter



Gambar 4.34. kecepatan dengan variasi model k-epsilon

Gambar. 4.30-4.34 menunjukkan plot kontur warna kecepatan aliran fluida pada tiap model turbulente hasil simulasi yang ditampilkan oleh CF FLOW. Berdasarkan kontur warna menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kecepatan aliran fluida pada tiap variasi model turbulente yang disimulasikan. Model turbulente k-epsilon menunjukkan plot kecepatan terbesar dibandingkan dengan variasi model turbulente sebesar 3.4 m/s pada puncak gelombang. Untuk model turbulente k-omega BSL-

Menter , K-omega SST Menter, dan k-omega wilcox untuk plot kontur kecepatan beraada pada range antara 0-4.5 m/s. Pada Model turbulent Spallart-Allmarast untuk plot kontur kecepatan menunjukkan range paling kecil dibandingkan dengan variasi model turbulen yang lain yaitu pada range 0-0,9 m/s dengan kecepatan tertinggi pada pada puncak gelombang sebesar 0.9 m/s.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan untuk tugas akhir ini.

1. Berdasarkan grafik tinggi gelombang hasil simulasi dengan variasi model turbulen, variasi model turbulent k-epsilon menunjukkan hasil grafik tinggi gelombang yang baik terhadap grafik hasil eksperimen dengan parameter gelombang periode 2,21 s dan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP. Tinggi puncak gelombang yang ditunjukkan oleh variasi model k-epsilon yaitu 0,15 m pada time 30,9 setelah gelombang bergerak.
2. Tinggi signifikan (H_s) terbesar ditunjukkan oleh model turbulent k-omega BSL menter dengan nilai $H_s = 0,467$ m. Untuk nilai H_s yang paling mendekati dengan data eksperimen ditunjukkan oleh model turbulent k-epsilon dengan nilai H_s masing-masing 0,304 m.

5.2 Saran

Dari tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

1. Perlu dilakukan penambahan meshing serta pengetahuan yang lebih banyak mengenai input parameter pada tiap model turbulen agar menghasilkan data yang lebih baik.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan memvariasikan data tinggi gelombang yang dimasukkan pada proses simulasi.

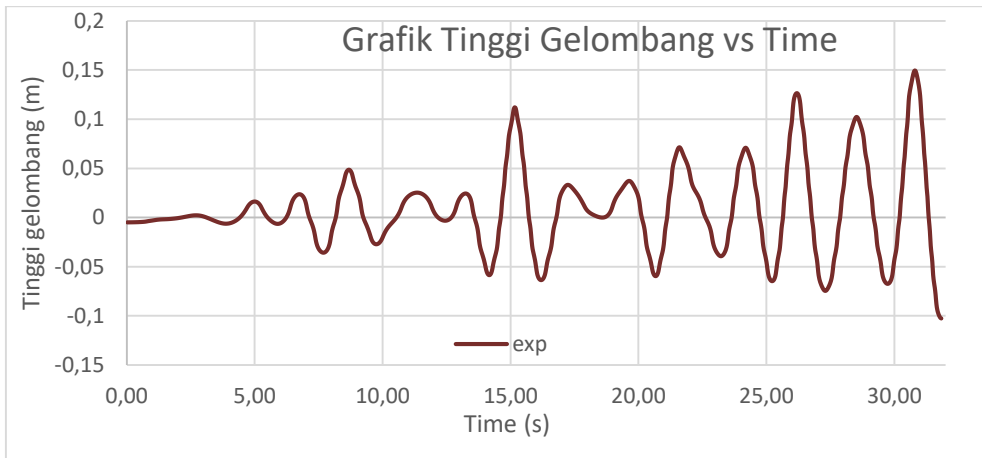
Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

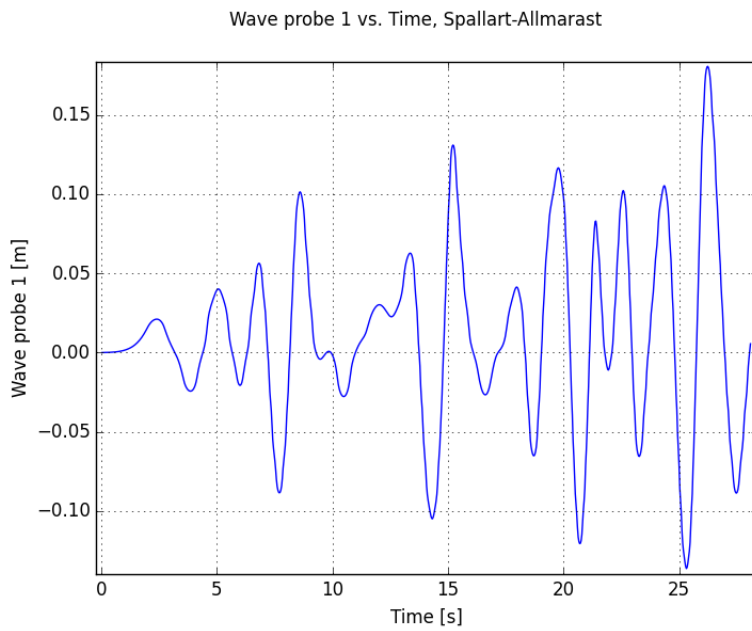
- [1] Rodrigues, L. (2010). Wave power conversion systems for electrical energy production., 3-7.
- [2] JN Moum, JM Klymak, JD Nash, A Perlin, WD Smyth *Journal of Physical Oceanography* 37 (7), 1968-1988
- [3] A. Sulaiman (2000), " Turbulensi Laut Banda".
- [4] Fatnanta, F. (2009), " Kajian Perilaku Transmisi dan Stabilitas Pemecah Gelombang Kantong Pasir tipe Tenggelam ". Disertasi., ITS Surabaya
- [5] N. Caroko, Suyitno "Semesta Teknik Vol. 11 No. 2", 2008:199-206 Fluent, Inc.(2005). *Fluent User Guide*. Lebanon: Fluent, Inc.
- [6] Hanjalic, K. (2005). *Turbulence and Transport Phenomena. Modelling and Simulation*. TU Darmstadt, German.
- [7] Rodi, W.(1980). *Turbulence Models and Their Application in Hydraulics - a State of the Art Review*, German, Institut für Hydromechanik and Sonderforschungsbereich 80, University of Karlsruhe.
- [8] Tuakia, Firman. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika.
- [9] Spalart, P .; Allmaras, S. (1992). "Model turbulensi satu persamaan untuk aliran aerodinamik". Pertemuan dan pameran ilmu dirgantara ke-30, AIAA .
- [10] Wilcox, DC (2008). "Perumusan Model Turbulensi k-omega ditinjau kembali". *Jurnal AIAA* .
- [11] Menter, FR (1994). "Model Turbulensi Viskositas Dua-Persamaan untuk Aplikasi Teknik" (PDF) . *Jurnal AIAA* .

Halaman ini sengaja dikosongkan

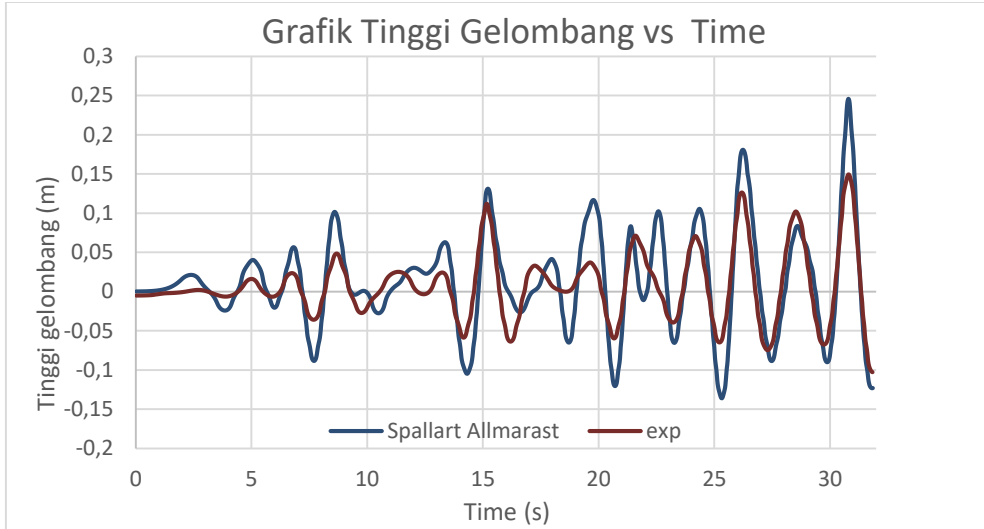
LAMPIRAN



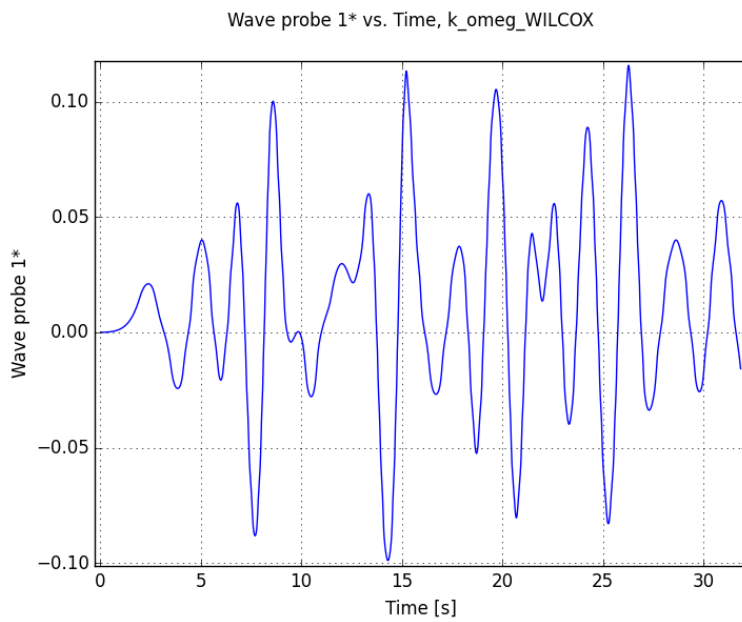
Gambar 4.14. Grafik tinggi gelombang vs time hasil eksperimen



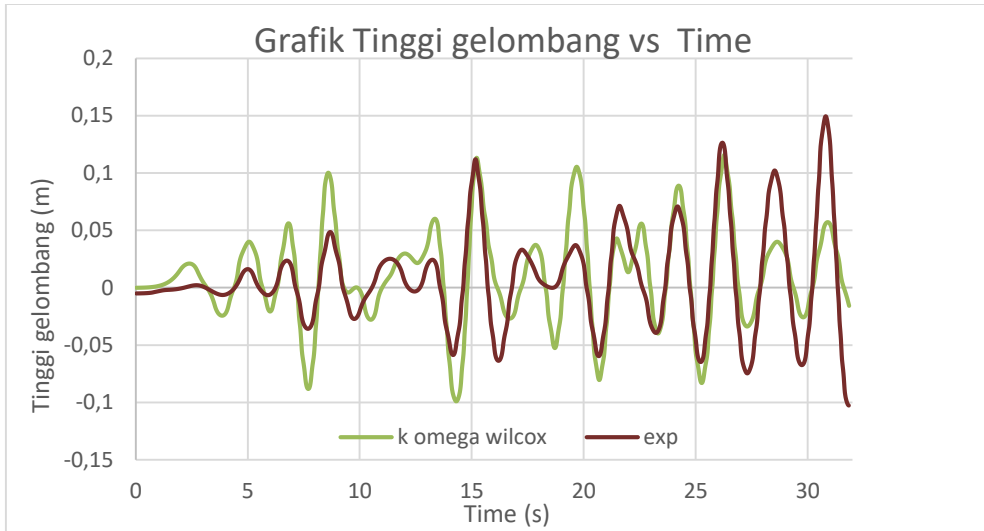
Gambar 4.15. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model Spallart-Allmarast



Gambar 4.16. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model Spallart-Allmarast dengan eksperimen.

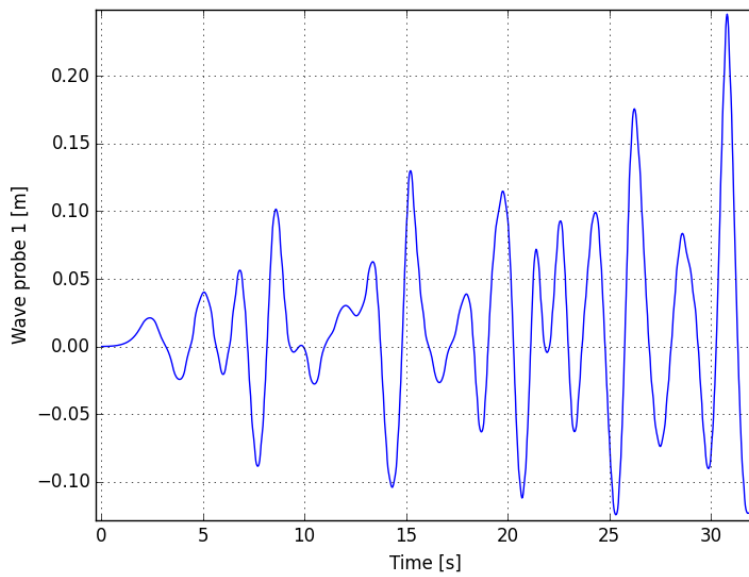


Gambar 4.17. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega Wilcox

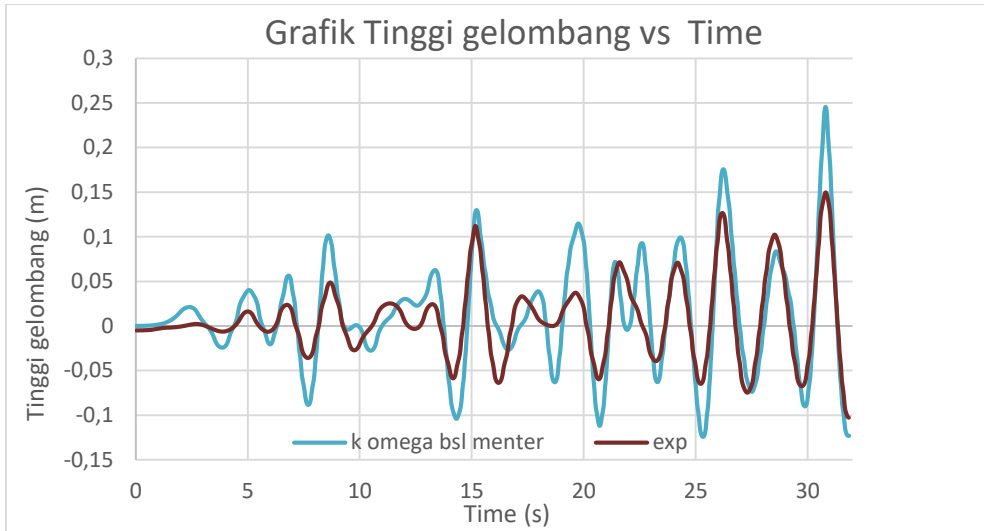


Gambar 4.18. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega Wilcox dengan eksperimen.

Wave probe 1 vs. Time, k_omega_bsl-menter

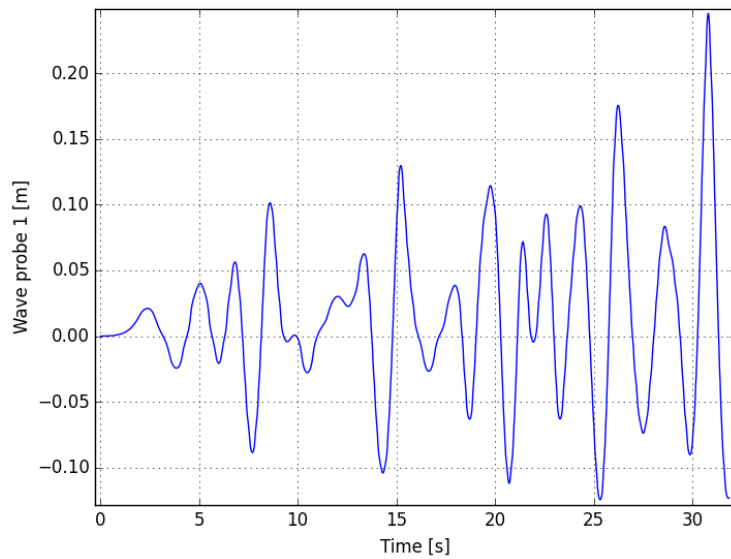


Gambar 4.19. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega Bsl-Menter

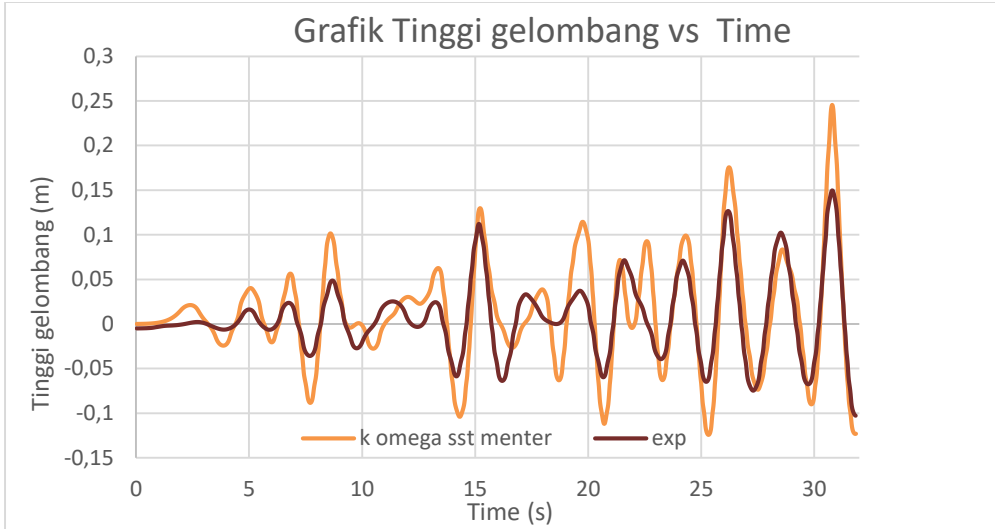


Gambar 4.20. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega Bsl-Menter dengan eksperimen.

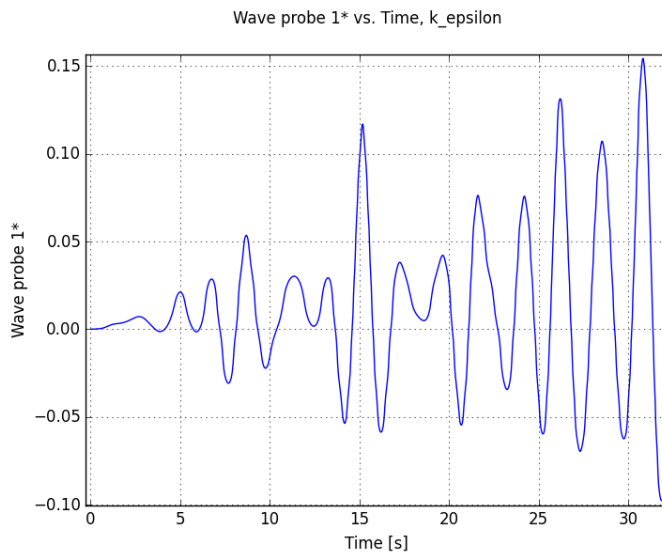
Wave probe 1 vs. Time, k_omega_sst-menter



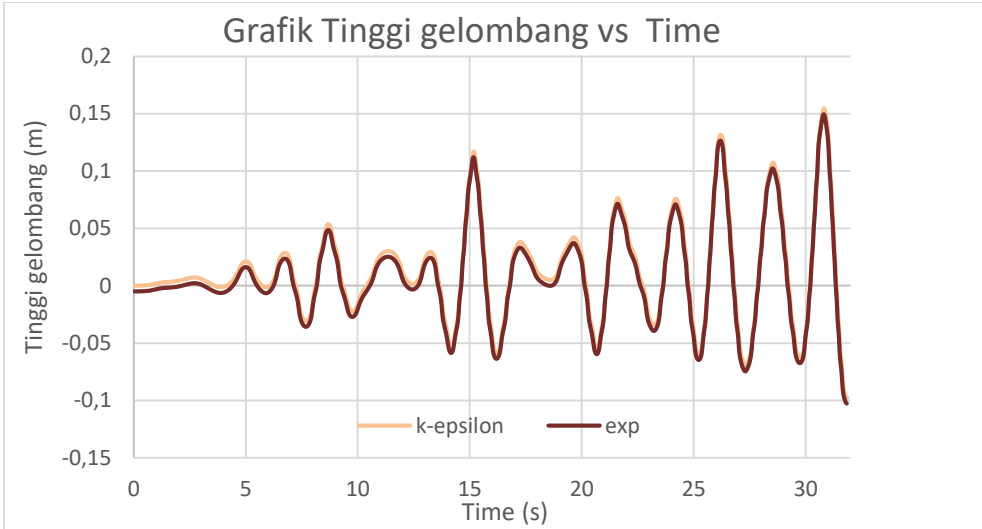
Gambar 4.22. Grafik tinggi gelombang simulasi variasi model k-omega SST-Menter



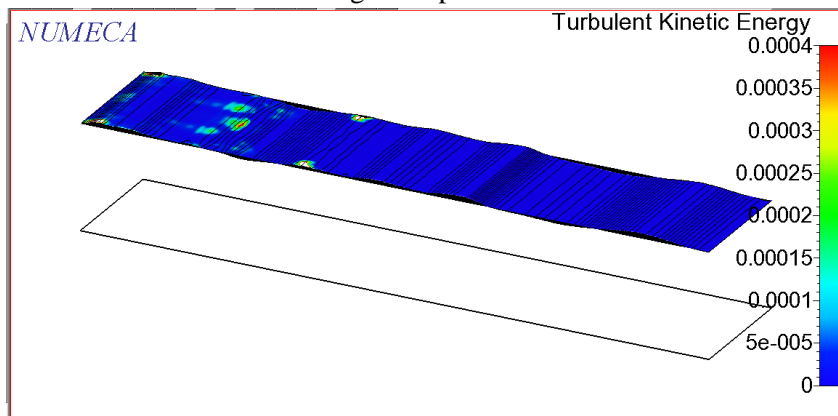
Gambar 4.22. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-omega SST-Menter dengan eksperimen.



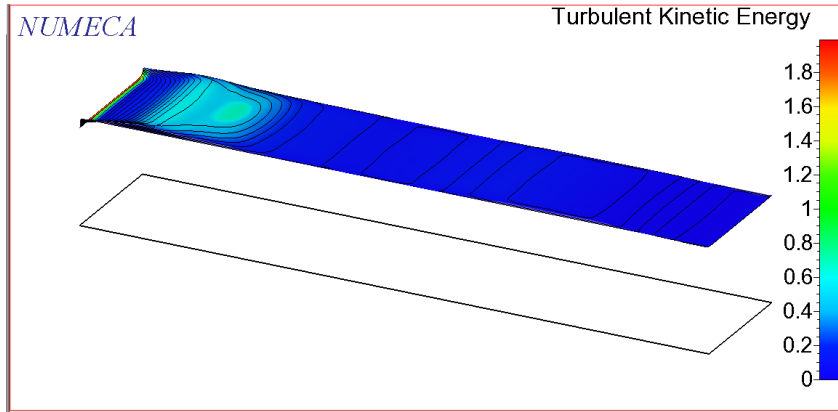
Gambar 4.23. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-epsilon



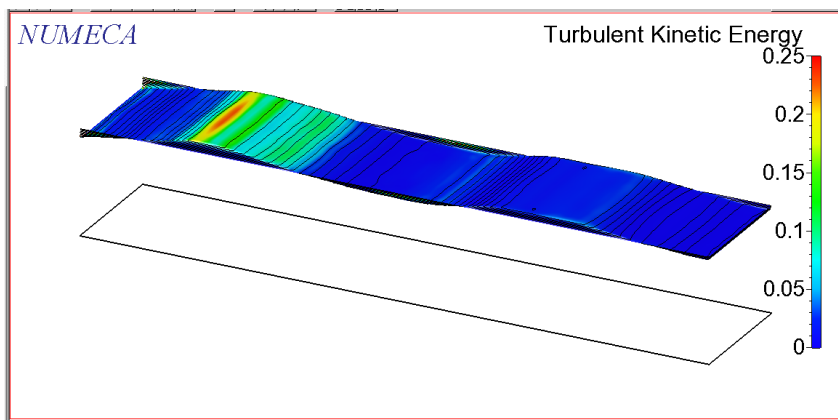
Gambar 4.24. Grafik perbandingan tinggi gelombang variasi model k-epsilon dengan eksperimen.



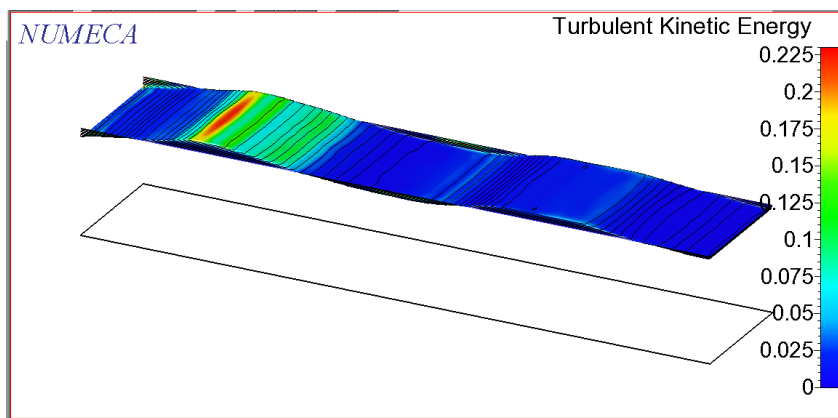
Gambar 4.25. Turbulent kinetic Energy model turbulent Spallart-Allmarast



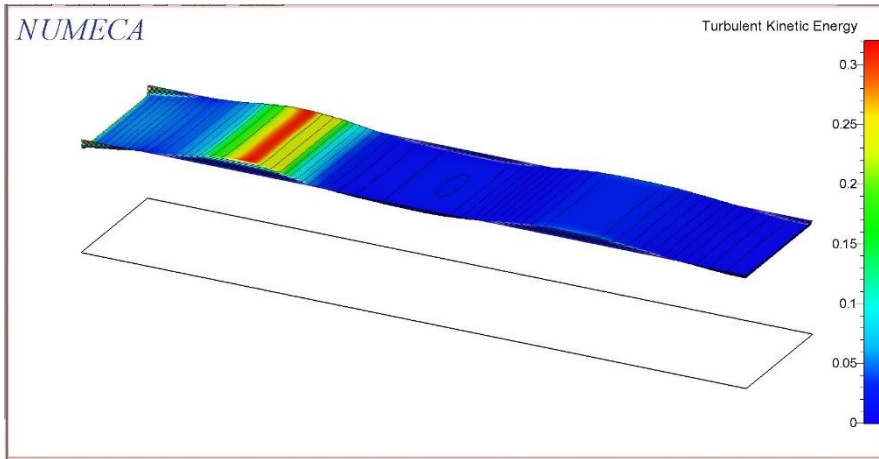
Gambar 4.26. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega Wilcox



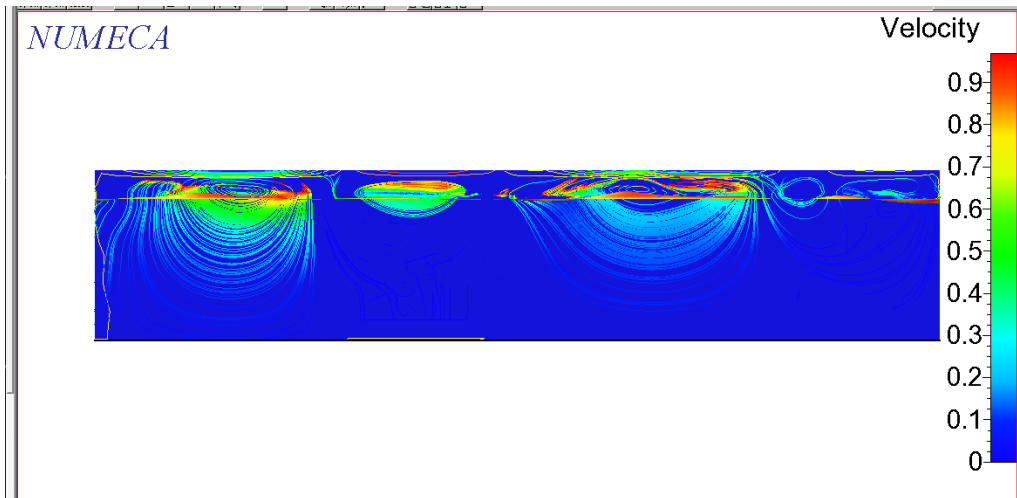
Gambar 4.27. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega BSL Menter



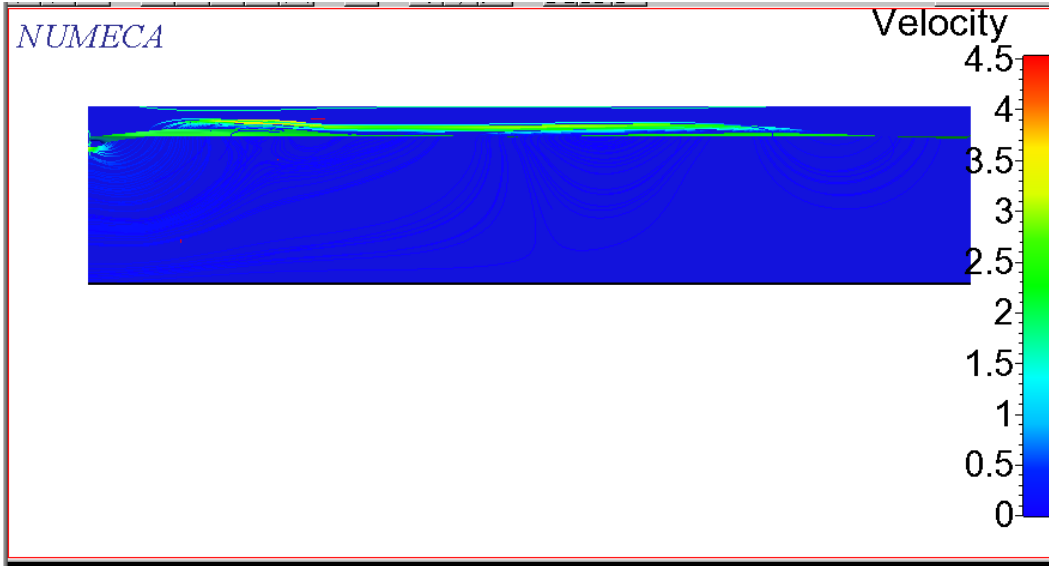
Gambar 4.28. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-omega SST Menter



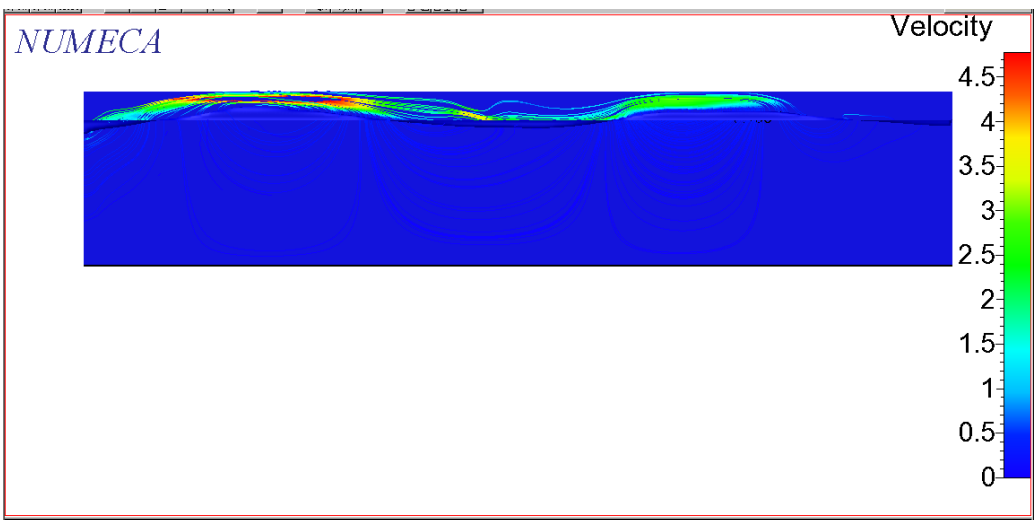
Gambar 4.29. Turbulent kinetic Energy model turbulent k-epsilon



Gambar 4.30. kecepatan dengan variasi model Spallart-Almarast

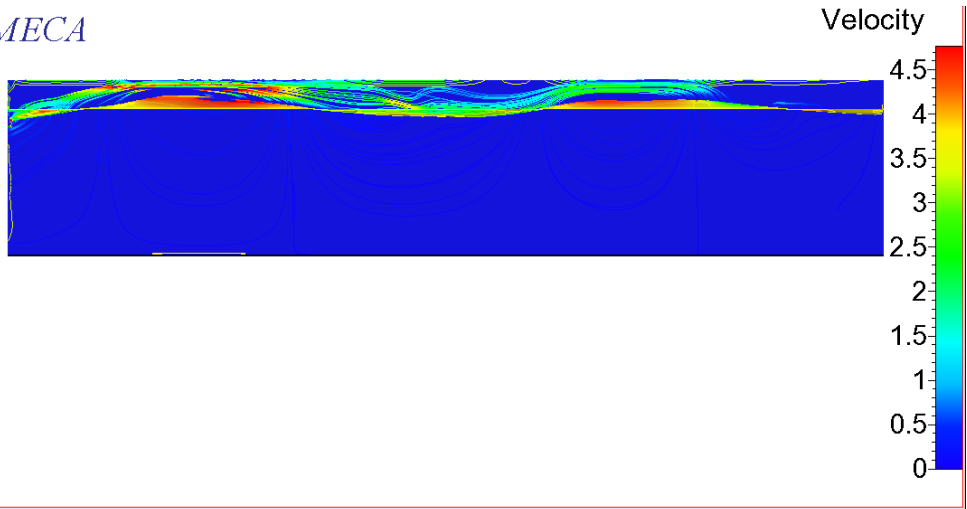


Gambar 4.31. kecepatan dengan variasi model k-omega wilcox



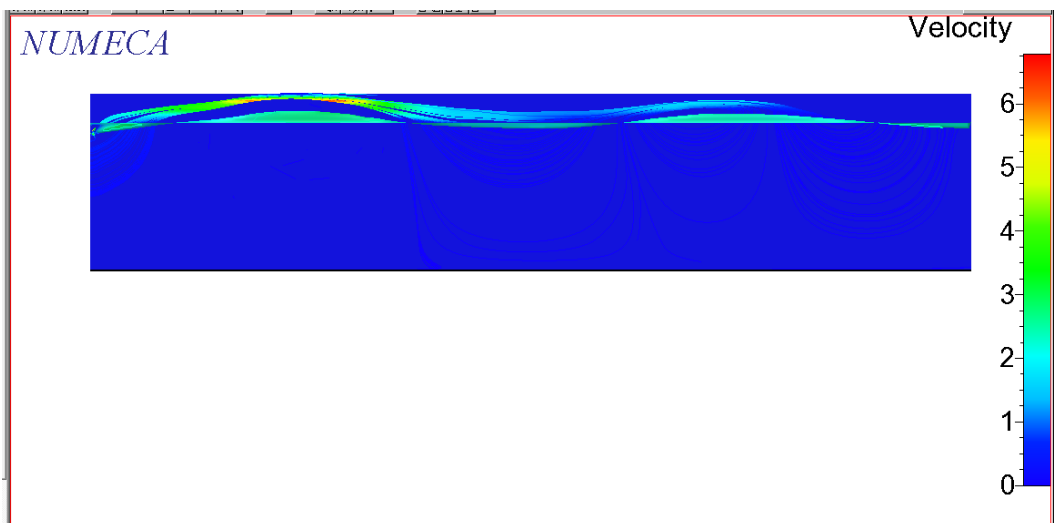
Gambar 4.32. kecepatan dengan variasi model k-omega-BSL-Menter

NUMECA



Gambar 4.33. kecepatan dengan variasi model k-omega-SST-Menter

NUMECA



Gambar 4.34. kecepatan dengan variasi model k-epsilon

Tabel 4.1. Data Hs pada tiap variasi model turbulen.

Data	Variasi	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	N	Hs (m)
Eksperimen		0.260	0.200	0.170	0.130	0.125	0.120	0.100	0.075	0.075	0.060	0.030	0.020	0.020	0.010			4.662	0.299
	k-epsilon Launder Sharma	0.265	0.200	0.175	0.130	0.120	0.125	0.100	0.080	0.080	0.065	0.035	0.025	0.025	0.010			4.662	0.304
Simulasi	k-omega Wilcox	0.200	0.190	0.180	0.160	0.150	0.140	0.110	0.090	0.090	0.090	0.070	0.060	0.050	0.050	0.030	0.030	5.328	0.317
	k-omega BSL Menter	0.350	0.260	0.230	0.225	0.220	0.165	0.160	0.160	0.150	0.140	0.110	0.110	0.075	0.063	0.050	0.020	5.328	0.467
	k-omega SST Menter	0.350	0.260	0.230	0.225	0.220	0.165	0.160	0.160	0.150	0.140	0.110	0.110	0.075	0.063	0.050	0.020	5.328	0.467
	Spallart-Allmaras	0.260	0.240	0.225	0.170	0.170	0.160	0.150	0.110	0.100	0.090	0.063	0.060	0.050	0.050	0.020	0.010	5.328	0.362

BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada tanggal 31 Desember 1996. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD Negeri 1 Kedungsari Mojokerto, SMP Negeri 1 Gedeg Mojokerto, dan SMA Negeri 1 Sooko Mojokerto. Penulis melanjutkan Pendidikannya ke jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada 2015, dan mengambil Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Sepuluh Nopember, dan terdaftar dengan NRP 04211540000005. Selama masa studi penulis aktif dalam keorganisasian mahasiswa di tingkat himpunan, pelatihan-pelatihan penunjang seperti autocad dan lain-lain. Penulis mengambil tugas akhir di bidang Marine Manufacturing Design (MMD).