

**Simulasi Gelombang Laut pada Desain Tanggul Laut
menggunakan Model Numerik SWAN di Teluk Jakarta**

**Tugas Akhir
diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar sarjana
dari Program Studi Ilmu Komputasi
Fakultas Informatika
Universitas Telkom**

**Riyan Nursyalim Latief
1302140142**



**Program Studi Sarjana Ilmu Komputasi
Fakultas Informatika
Universitas Telkom
Bandung
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**Simulasi Gelombang Laut pada Desain Tanggul Laut
menggunakan Model Numerik SWAN di Teluk Jakarta**

*Sea Wave Simulation of Giant Sea Wall Design
using SWAN Numerical Model in Jakarta Bay*

NIM : 1302140142

Riyan Nursyalim Latief

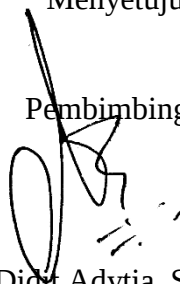
Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan untuk memenuhi sebagian syarat memperoleh gelar pada Program Studi Sarjana Ilmu Komputasi

Fakultas Informatika
Universitas Telkom

Bandung, 18/02/2019

Menyetujui

Pembimbing I,



Dr. Didit Adytia, S.Si., M.Si.
NIP: 16830005

Ketua Program Studi
Sarjana Ilmu Komputasi,



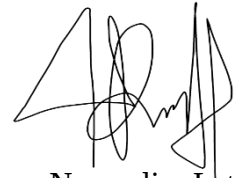
Dr. Deni Saepudin, S.Si., M.Si.
NIP: 99750013-1

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya, Riyan Nursyalim Latief, menyatakan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya dengan judul Simulasi Gelombang Laut pada Desain Tanggul Laut menggunakan Model Numerik SWAN di Teluk Jakarta beserta dengan seluruh isinya adalah merupakan hasil karya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Saya siap menanggung resiko/sanksi yang diberikan jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam buku TA atau jika ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya,

Bandung, 18/02/2019

Yang Menyatakan



Riyan Nursyalim Latief

Simulasi Gelombang Laut pada Desian Tanggul Laut Menggunakan Model Numerik SWAN di Teluk Jakarta

Riyan Nursyalim Latief¹, Didit Adytia²

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹riyannursyalim@students.telkomuniversity.ac.id, ²adytia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Informasi karakteristik gelombang laut sangat diperlukan untuk transportasi laut dan perekonomian di sekitar perairan teluk Jakarta. Selain itu permasalahan banjir rob dan penurunan muka tanah akibat gelombang pasang yang melanda ibukota Jakarta harus di waspadai karena bisa mengakibatkan kota Jakarta tenggelam dalam beberapa tahun kedepan. Pemprov DKI bekerja sama dengan *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD) membuat master plan tanggul lepas pantai. Adanya tanggul lepas pantai diharapkan mengatasi permasalahan yang ada di ibukota Jakarta. Namun perlu dilakukan investigasi untuk mengetahui efektivitas dibangunnya tanggul laut tersebut terhadap karakteristik gelombang di perairan teluk Jakarta. Pada penelitian ini digunakan model numerik *Simulating Waves Nearshore* (SWAN) untuk didapatkan simulasi gelombang laut yang dipengaruhi kondisi angin muson di wilayah perairan teluk Jakarta. Skenario yang dilakukan yaitu disimulasikan rata-rata fase-spektrum (*Phase Average*) gelombang dengan model numerik SWAN dibagi menjadi 3 domain yaitu domain 1 global, domain 2 laut Indonesia dan domain 3 teluk Jakarta. Domain terbesar digunakan sebagai kondisi awal dan kondisi batas untuk persamaan pada domain selanjutnya. Hasil simulasi pada teluk Jakarta di sekitar pelabuhan Tanjung Priok menunjukkan signifikan tinggi gelombang (H_s) tanpa adanya desian tanggul laut sebesar 1,5 m sedangkan dengan adanya desain tanggul laut sebesar 0,5 m. Periode gelombang (T_p) tanpa adanya tanggul laut sebesar 6 s sedangkan dengan adanya tanggul laut sebesar 3 s. Data yang digunakan pada simulasi ini berasal dari *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO).

Kata kunci : Karakteristik Gelombang, Simulasi Gelombang, Teluk Jakarta, Tanggul Laut, Phase Average, SWAN.

Abstract

Information on the characteristics of ocean waves is very necessary for sea transportation and the economy around the waters of the Jakarta bay. In addition, the problem of regular flooding and land subsidence that hit the capital city of Jakarta must be beware because it can cause the city of Jakarta to sink in the next few years. The DKI Provincial Government cooperates with the National Capital Integrated Coastal Development (NCICD) to create an offshore embankment master plan in the form of an eagle as an iconic country of Indonesia. The existence of offshore dikes is expected to overcome the problems that exist in the capital city of Jakarta. But it needs to be simulated to find out the impact of the sea dikes being built in the waters of the bay of Jakarta. In this study a numerical *Simulating Waves Nearshore* (SWAN) model was used to obtain ocean wave simulations that were influenced by monsoon conditions in the waters of the Jakarta bay. The scenario that is done is simulated the average wave phase with the numerical SWAN model divided into 3 domains namely first domain is global, second domain is Indonesian sea and third domain is Jakarta bay. The largest domain is used as the initial condition and boundary conditions for equations in the next domain. The simulation results at the Jakarta bay around Tanjung Priok harbor without the presence of giant sea wall showed a significant wave height (H_s) of 1.5 m while the design of giant sea wall was 0.5 m. Wave period (T_p) without the presence of giant sea wall of 6 s while with the presence of giant sea wall of 3 s. The data used in this simulation comes from *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO).

Keywords: Wave Characteristics, Wave Simulation, Jakarta Bay, Offshore Sea Wall, Phase Average, SWAN.

1. Pendahuluan

Pesisir teluk Jakarta merupakan kawasan perairan dan daratan yang terletak di sebelah utara pulau Jawa provinsi DKI Jakarta. Teluk Jakarta sebagai pusat pertumbuhan perekonomian dan perdagangan impor ekspor karena terdapat pelabuhan Tanjung Priok. Ekonomi negara kepulauan seperti Indonesia sangat tergantung pada transportasi laut[1]. Selain itu teluk Jakarta juga sebagai wisata di ibukota dimana terdapat kawasan wisata pantai Ancol dan Hutan Mangrove. Oleh karena itu, informasi tentang cuaca dan kondisi gelombang air laut sangat dibutuhkan untuk aktivitas dan mobilitas yang sangat tinggi di pesisir teluk Jakarta.

Siklus musiman angin muson mempengaruhi adanya musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau dipengaruhi oleh angin muson timur sedangkan musim hujan dipengaruhi angin muson barat. Pada saat terjadinya angin muson barat gelombang laut pasang dan curah hujan meningkat menyebabkan Jakarta

mengalami banjir. Sedangkan pada saat angin muson timur menyebabkan Jakarta mengalami kesulitan air bersih dan gelombang air laut surut. Selain itu adanya gelombang ekstrem yang melanda wilayah perairan Indonesia menambah kondisi buruk di pesisir hingga kota Jakarta. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (SDA) Kementerian PUPR, kawasan pesisir Jakarta terus mengalami penurunan permukaan tanah hingga 11-12 cm per tahun, sehingga banjir rob kerap terjadi di Utara Jakarta[11].

Dengan adanya permasalahan tersebut pemerintah provinsi DKI Jakarta sudah menyiapkan berbagai konsep untuk menanggulangi permasalahan. Konsep yang saat ini paling mengemuka adalah konsep dam lepas pantai dan tanggul tengah laut raksasa sepanjang garis pantai serta dibangun pulau reklamasi diatas tanggul laut raksasa. Konsep ini yang diusulkan oleh *National Capital Integrated Coastal Development* (NCICD).

Informasi cuaca dan kondisi gelombang laut sangat diperlukan untuk upaya penanggulangan dari permasalahan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Pada penulisan tugas akhir ini dibuat simulasi angin muson barat di teluk Jakarta yang diimplementasikan menggunakan model numerik Swan. Tujuannya untuk mendapatkan informasi karakteristik gelombang laut dan investigasi efektifitas dari dibuatnya tanggul laut di sekitar perairan teluk Jakarta.

Skenario uji coba yang dilakukan dibagi menjadi 3 domain. Domain 1 wilayah perairan Global (Dunia), domain 2 wilayah perairan laut Indonesia, dan domain 3 wilayah perairan teluk Jakarta. Pada setiap domain dilakukan simulasi rata-rata fase spectral model swan sehingga didapatkan hasil simulasi di setiap domain. Kemudian hasil simulasi di setiap domain dianalisis karakteristik gelombang yaitu signifikan tinggi gelombang (H_s) dan periode gelombang (T_p).

2. Studi Terkait

Literatur mengenai simulasi gelombang sangat luas, jadi pada bagian ini penulis hanya memberikan garis besar terkait literatur yang keterkaitannya paling dekat dengan penelitian tugas akhir ini.

2.1 Pemodelan & Simulasi

Definisi Pemodelan & Simulasi adalah representasi miniatur suatu objek dari bentuk real kemudian di deskripsikan atau di analogikan sebagai bantuan memvisualkan objek yang tidak dapat diobservasi secara langsung. Tujuan dari pemodelan untuk memprediksi kinerja suatu sistem/objek kejadian pada kondisi tertentu dan memberikan analisis desain.

2.2 Phase Average

Phase average adalah perhitungan rata - rata spektrum gelombang laut pada titik-titik grid domain aksi atau energi spektra. Phase average model berdasarkan persamaan kesetimbangan energi permukaan laut. Tujuan dari penggunaan phase average adalah untuk mendapatkan kondisi batas (***boundary condition***) untuk domain selanjutnya berdasarkan dari domain sebelumnya.

Fase ini dihitung dari turunan amplitudo gelombang. Cara paling sederhana untuk melakukan pendekatan yaitu menggunakan amplitudo berdasarkan energi total spektrum. Pendekatan yang lain dilakukan menggunakan amplitudo gelombang yang berbeda untuk setiap fase spektral, yaitu berdasarkan integral densitas energi.

Gelombang yang ditimbulkan angin mempunyai spektrum energi. Energi Spektrum Gelombang pada setiap domain dengan skala yang lebih besar digunakan sebagai inputan selanjutnya untuk membuat fase rata-rata pada skala domain yang lebih kecil (***nested area***). Prosedur ini diulangi sampai mendapatkan hasil spektrum dari fase rata-rata domain terkecil.

2.3 SWAN (*Simulating Wave Nearshore*)

SWAN adalah model gelombang generasi ketiga yang dikembangkan oleh Delft University of technology, untuk menghitung gelombang yang dihasilkan angin di daerah pesisir pantai atau di perairan pedalaman[12]. SWAN adalah alat numerik yang bertujuan untuk menghitung perkiraan parameter gelombang, Perambatan gelombang dalam ruang dan waktu, shoaling, pembiasan karena arus dan kedalaman, pergeseran frekuensi karena arus dan kedalaman non-stasioner, Pergerakan gelombang air akibat kedalaman, Pembangkitan gelombang oleh angin dan Difraksi gelombang.

Setelah mendapat hasil perhitungan SWAN dapat disimulasikan untuk mempelajari *surf zone* dan dinamika *swash zone*, propagasi gelombang, agitasi dipelabuhan, arus cepat air dangkal yang bervariasi yang biasanya ditemukan dibanjir pesisir atau *coastal flooding* yang diakibatkan oleh misalnya patahan tanggul atau *dike breaks*, tsunami, dan kepadatan yang didorong oleh arus di pesisir berdasarkan data angin, kondisi dasar (batimetri), dan arus serta menggunakan persamaan dasar kesetimbangan aksi (action balance).

SWAN dapat menggambarkan karakteristik gelombang di daerah pantai dengan input data angin dan data batimetri. Data tersebut diolah menjadi dissipasi energi, interaksi antar gelombang dan perubahan parameter gelombang (H , T , α) karena variasi kedalaman air dan pengaruh arus. Perubahan spektrum kerapatan aksi gelombang ini dinyatakan dalam persamaan ketimbangan aksi gelombang dalam koordinat kartesian dapat ditulis sebagai persamaan 2.1 dan persamaan 2.2 berikut :

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S_{total}}{\sigma} \quad \dots(2.1)$$

$$S_{total} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,wcap} + S_{ds,bot} + S_{ds,br} \quad \dots(2.2)$$

Keterangan :	$\frac{\partial}{\partial t} N$	= perubahan densitas aksi terhadap waktu,
	$\frac{\partial}{\partial x} C_x$ dan $\frac{\partial}{\partial y} C_y$	= penjalaran energi gelombang ke arah x dan y,
	$\frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N$	= pergeseran frekuensi karena variasi kedalaman,
	$\frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N$	= Refraksi akibat variasi kedalaman,
	S_{in}	= nilai inputan angin,
	S_{nl3} dan S_{nl4}	= suku non-linier,
	$S_{ds,wcap}$	= densitas dispasi whitecapping,
	$S_{ds,bot}$	= dispasi pemecahan gelombang karena kedalaman,
	$S_{ds,br}$	= dispasi gesekan dasar,

Konfigurasi model SWAN yaitu berdasarkan domain kondisi geografis ruang x dan y dan skema numerik **implicit upwind**. Spektrum gelombang merupakan distribusi energi terhadap periode atau frekuensi amplitudo. Bentuk spektrum dipengaruhi oleh durasi angin bertiup, kecepatan angin, arah angin, tinggi gelombang dan fetch sesuai dengan energi dan periode dari masing-masing gelombang pada suatu kondisi perairan. Spektrum yang digunakan saat ini yaitu spektrum JONSWAP.

Konsep dari perhitungan model SWAN adalah mengintegrasikan persamaan kesetimbangan aksi gelombang dengan menggunakan metode selisih hingga (**finite difference method**) terhadap variabel yang terkait. Variabel waktu didiskritisasi dengan simple time step Δt sesuai kebutuhan. Pada domain variabel ruang horizontal dan vertikal didiskritisasi dengan grid rectangular Δx dan Δy , sedangkan variabel spektrum dalam model didiskritisasi dengan constant directional resolution $\Delta \theta$ dan dengan constant relative frequency resolution $\Delta \sigma/\sigma$. SWAN memiliki kemampuan menghitung secara komputasi paralel yaitu satu program SWAN dapat berjalan dengan lebih dari satu processor menggunakan distribusi memory MPI dan shared memory openMP dengan begitu proses perhitungan menjadi lebih cepat.

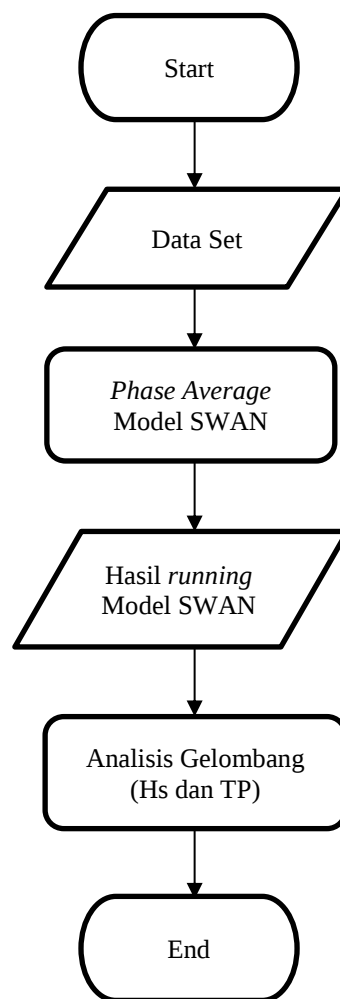
Hasil dari perhitungan model SWAN dapat berupa satu atau dua spektrum dimensi, signifikan tinggi gelombang, periode gelombang, arah rata-rata penyebaran gelombang, parameter difraksi, parameter refraksi dan lain-lain. Tingkat akurasi model SWAN untuk mendakati kondisi aslinya bergantung pada kualitas model dan data inputan yang digunakan (angin dan batimetri).

3. Sistem yang Dibangun

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini serta gambaran sistem yang akan dibangun.

3.1 Alur Perancangan Sistem

Pada tugas akhir ini, rancangan sistem yang dibangun bertujuan untuk menganalisis gelombang pada desain tanggul laut di Teluk Jakarta dengan model *Simulating Waves Nearshore* (SWAN), maka alur pemodelan seperti pada gambar dibawah ini :



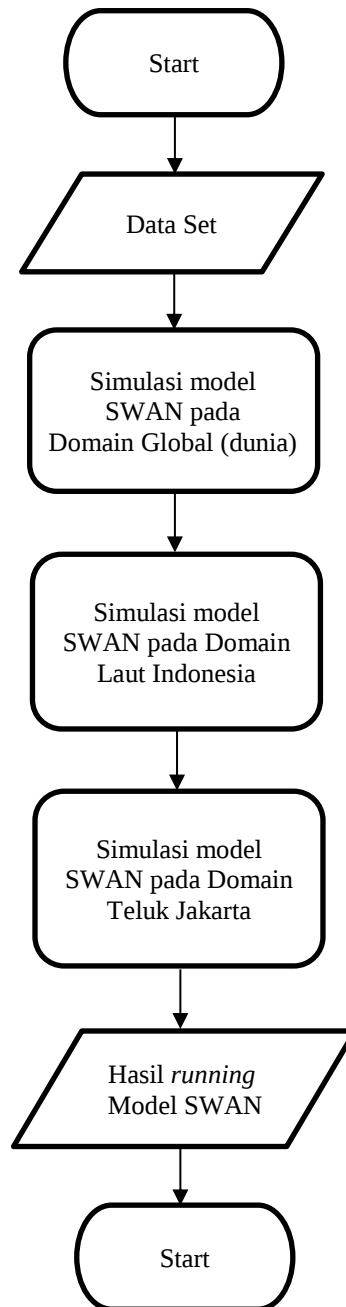
Gambar 3.1. Rancangan Sistem

3.2. Data Set

Data set batimetri yang digunakan pada tugas akhir ini bersumber dari General Bathimetric Chart of The Ocean, Data angin pada siklus angin muson barat diambil dari bulan Januari – Februari sedangkan pada siklus angin muson timur diambil dari bulan Juni - Agustus.

3.3. Phase Average Model SWAN

Tujuan dari penggunaan phase average pada model SWAN untuk mendapatkan simulasi model detail dari simulasi model global. Dengan mengimplikasikan metode nested area membuat simulasi gelombang ekstrem di wilayah perairan domain sebelumnya untuk digunakan kondisi batas pada domain selanjutnya.



Gambar 3.2. Alur Phase Average Model Swan

3.4. Skenario Pengujian

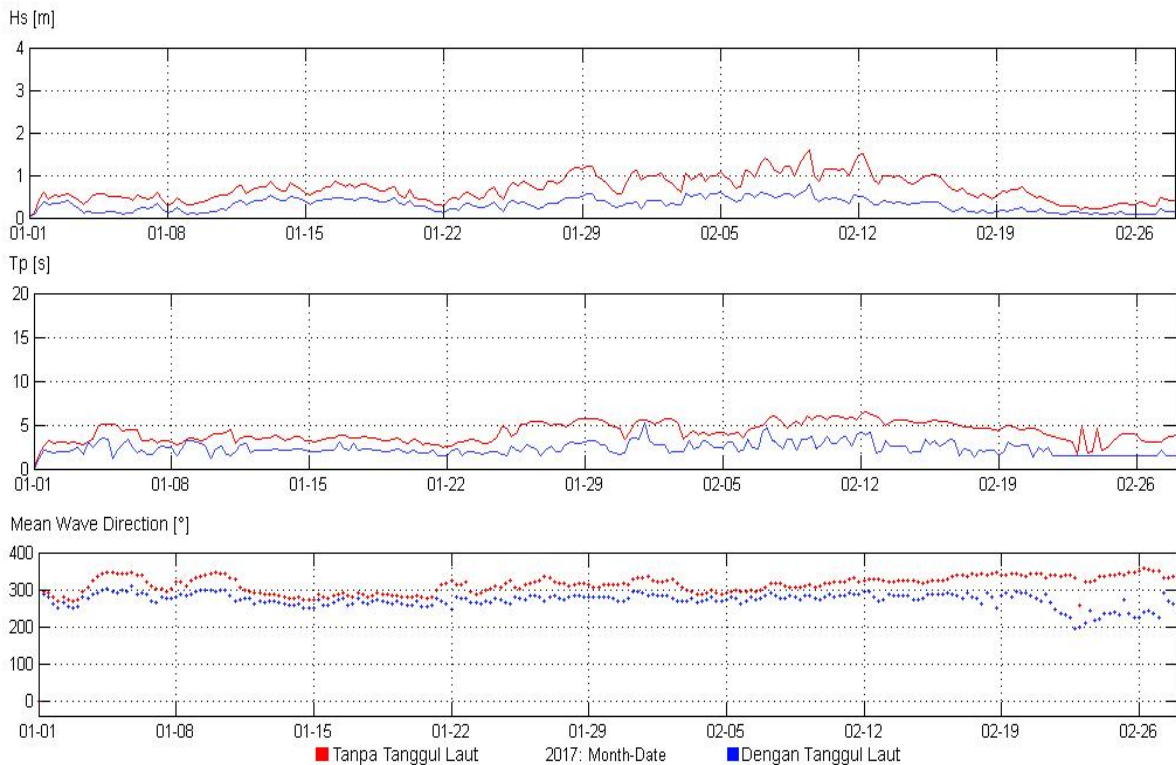
Pada penelitian ini, digunakan skenario pengujian phase average pada model swan dengan merata-ratakan fase gelombang dari domain sebelumnya ke domain selanjutnya. Model Swan mengitung domain global (dunia) untuk digunakan kondisi batasnya pada perhitunagn model SWAN di domain laut indonesia. Hasil perhitungan pada domain laut indonesia digunakan kembali kondisi batasnya untuk perhitungan pada doamin Teluk Jakarta. Hasil perhitungan model SWAN pada domain Teluk Jakarta kemudian disimulasikan dengan tanpa adanya desain tanggul laut dan adanya tanggul laut. Hasil simulasi untuk mendapatkan karakteristik gelombang di perairan teluk jakarta dan menginvestigasi dibangunnya tanggul laut.

4. Evaluasi

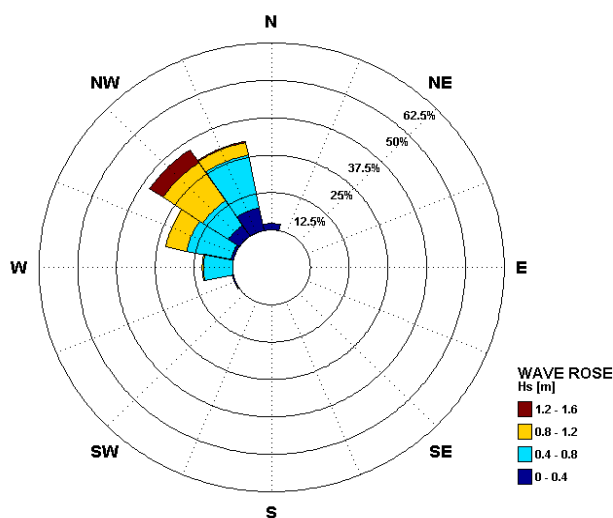
Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dari sistem yang dibangun sesuai dengan skenario yang telah dipaparkan, serta analisis dari hasil pengujian tersebut.

4.1 Hasil Simulasi

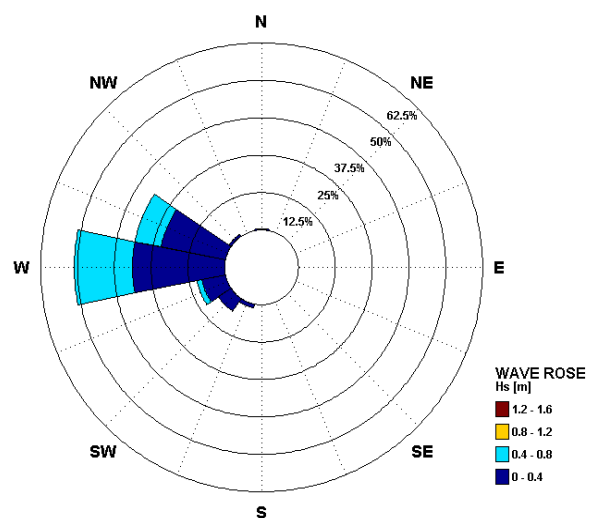
Berikut adalah hasil simulasi dengan mengekstrak sinyal gelombang tertinggi dan periode gelombang pada siklus angin muson barat yaitu bulan januari - februari dan siklus angin muson timur yaitu bulan juni – agustus di domain teluk jakarta tanpa adanya desain tanggul laut dan dengan adanya desain tanggul laut. Titik *Buoy* yang digunakan untuk ekstrak sinyal sebagai perbandingan yaitu di terminal 1 pelabuhan Tanjung Priuk. Gambar hasil plot domain global dan laut indonesia terdapat pada halaman lampiran daftar gambar. Sedangkan gambar hasil plot di teluk jakarta akan dijelaskan pada bagian analisis hasil simulasi.



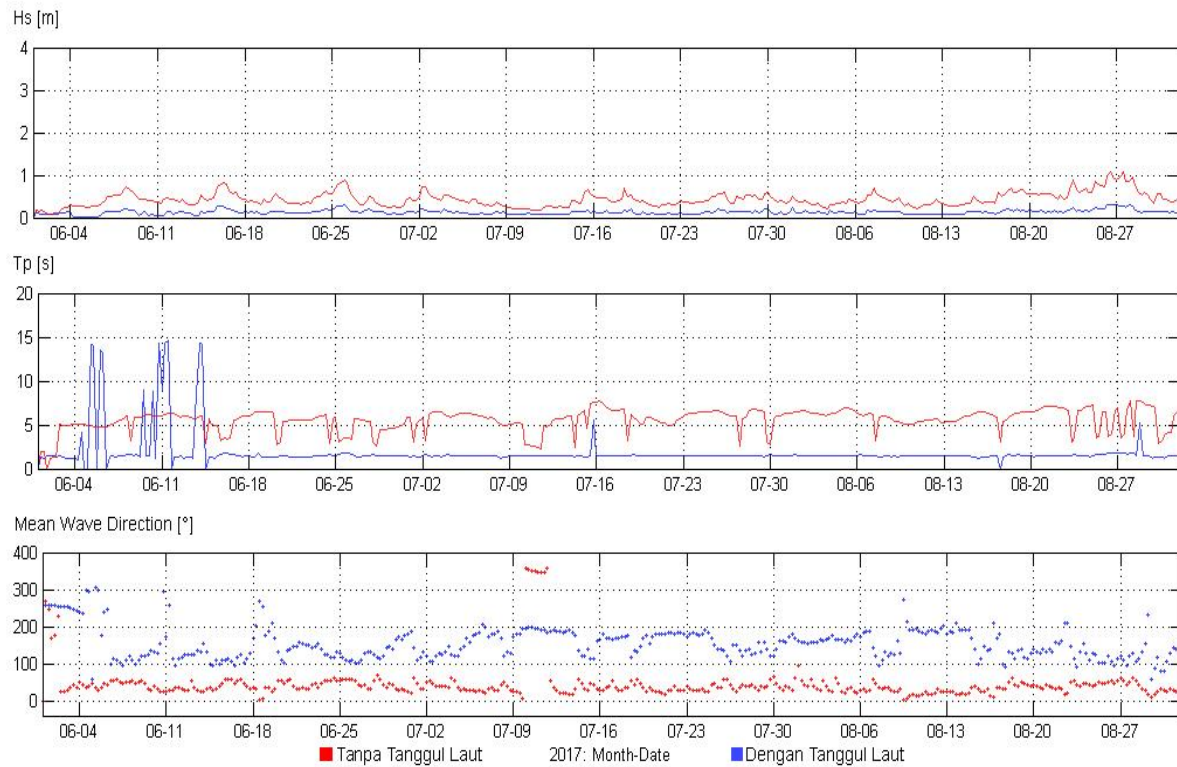
Gambar 4.1 Simulasi Ekstrak sinyal gelombang diakibatkan siklus angin muson barat.



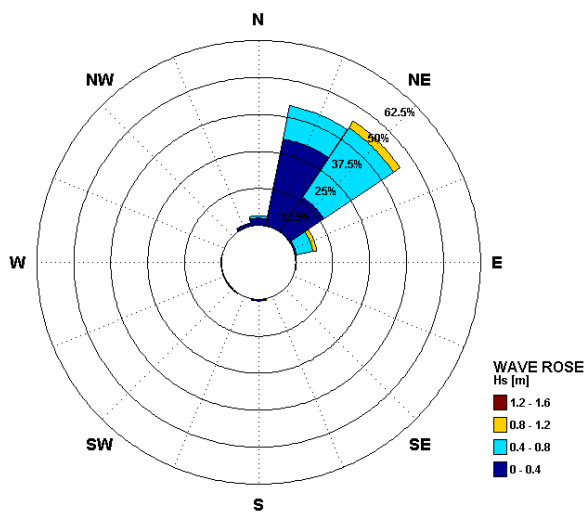
Gambar 4.2 Ekstrak wave rose angin muson barat tanpa menggunakan tanggul laut.



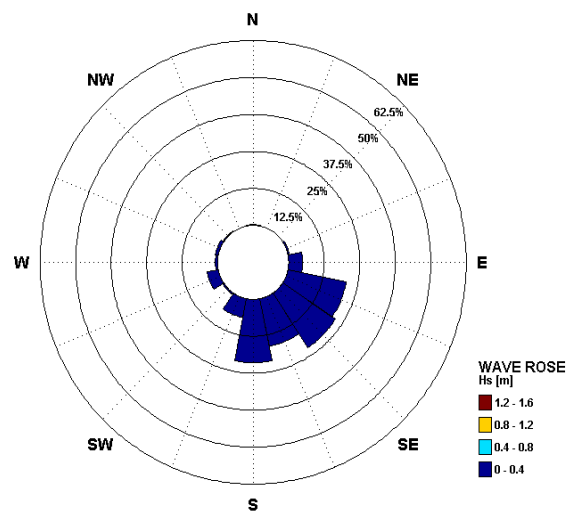
Gambar 4.3 Ekstrak wave rose angin muson barat menggunakan tanggul laut.



Gambar 4.4 Simulasi Ekstrak sinyal gelombang diakibatkan siklus angin muson timur



Gambar 4.5 Ekstrak wave rose angin muson timur tanpa menggunakan tanggul laut.



Gambar 4.6 Ekstrak wave rose angin muson timur menggunakan tanggul laut.

Tabel 1. Hasil simulasi gelombang tinggi pada siklus angin muson diTeluk Jakarta

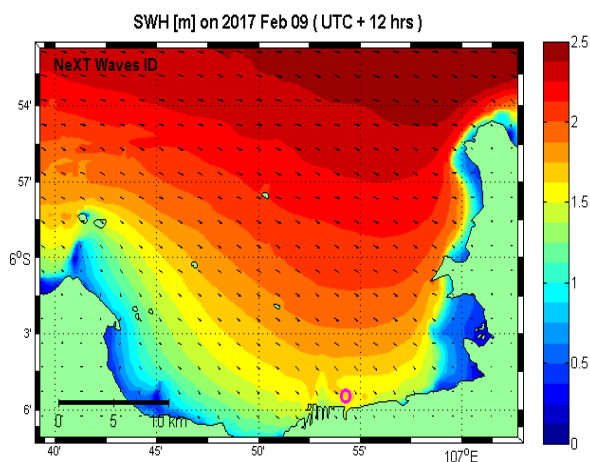
No	Skenario	Angin Muson Barat		Angin Muson Timur		Titik Buoy
		Hs	Tp	Hs	Tp	
1	Domain Teluk Jakarta Tanpa Tanggul Laut	1,5 m	6 s	1 m	5 s	Terminal 1 Pelabuhan Tj. priok
2	Domain Teluk Jakarta Dengan Tanggul Laut	0,5 m	3 s	0,2 m	2 s	Terminal 1 Pelabuhan Tj. priok

4.2 Analisis Hasil Simulasi

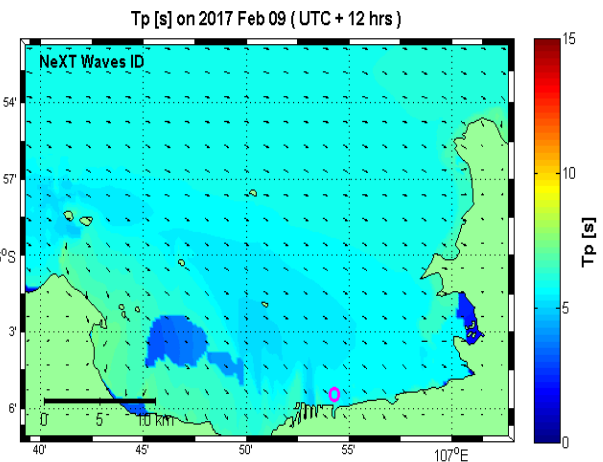
Berdasarkan hasil *running* model swan kemudian di plot untuk mendapatkan ekstrak sinyal gelombang diakibatkan siklus angin muson barat seperti pada **gambar 4.1**, didapatkan analisis relasi angin muson barat terhadap gelombang. Ketika siklus angin muson barat bertiup dari belahan bumi utara melewati benua asia menuju belahan bumi selatan (lihat pada gambar lampiran 1) ini bertiup sangat cepat sehingga menyebabkan gelombang ketika angin muson barat ini sangat tinggi di perairan sekitar teluk jakarta (lihat wave rose pada **gambar 4.2**). Sedangkan ketika siklus angin muson barat di perairan teluk jakarta menggunakan tanggul laut walaupun angin bertiup cepat tetapi gelombang di dalam tanggul laut sangat rendah karena telah direduksi oleh tanggul laut (lihat wave rose pada **gambar 4.3**).

Hasil plot pada ekstrak sinyal gelombang yang diakibatkan siklus angin muson timur seperti pada **gambar 4.4**, didapatkan analisis relasi angin muson timur terhadap gelombang. Ketika siklus angin muson timur bertiup dari belahan bumi selatan melewati benua asia menuju belahan utara (lihat pada gambar lampiran 2) ini bertiup tidak terlalu cepat sehingga menyebabkan gelombang ketika angin muson barat ini tidak terlalu tinggi di perairan sekitar teluk jakarta (lihat wave rose pada **gambar 4.5**). Sedangkan ketika siklus angin muson timur di perairan teluk jakarta menggunakan tanggul laut angin bertiup tidak terlalu cepat sehingga gelombang di dalam tanggul laut sangat rendah atau hampir tidak ada gelombang karena gelombang telah direduksi oleh tanggul laut (lihat wave rose pada **gambar 4.6**).

Hasil simulasi ekstrak sinyal siklus angin muson barat yang dilakukan pada domain teluk jakarta tanpa adanya desain tanggul laut pada tanggal 9 februari 2017 pukul 12.00 (lihat pada **gambar 4.1**) mendapatkan tinggi gelombang mencapai 1,5 m dengan periode gelombang 6 s (lihat pada **gambar 4.7 dan gambar 4.8**). Berdasarkan wind rose dan vektor arus hasil simulasi pada siklus angin muson barat gelombang ini terbawa dari perairan Laut Cina Selatan yang bergerak ke perairan laut indonesia. Gelombang yang tinggi nya hampir mencapai 2 m ini artinya gelombang tersebut memiliki energi yang berpotensi merusak kapal yang sedang berlabuh di terminal 1 pelabuhan tanjung priok.

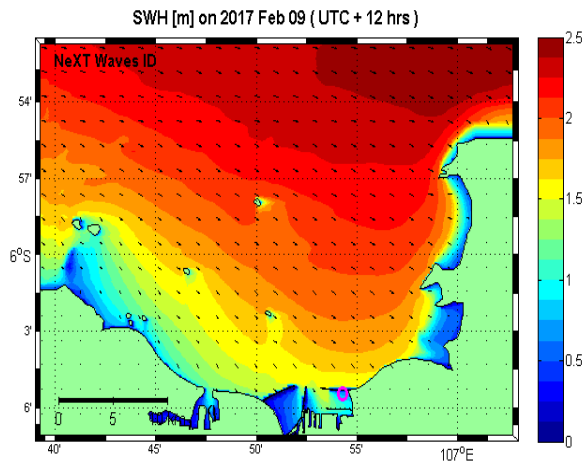


Gambar 4.7 Hasil plot signifikan tinggi gelombang pada siklus angin muson barat di Teluk Jakarta tanpa tanggul.

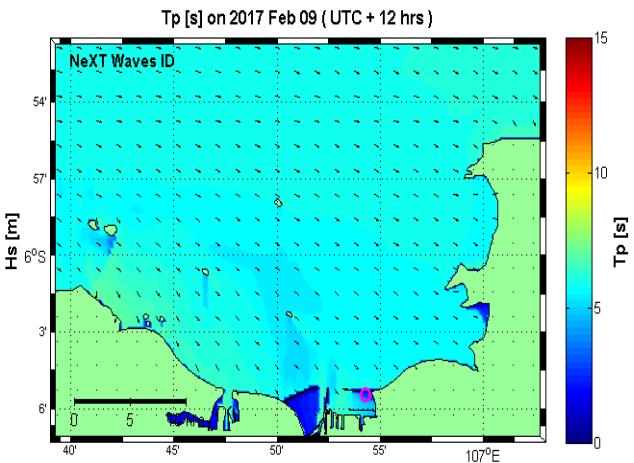


Gambar 4.8 Hasil plot periode gelombang pada siklus angin muson barat di Teluk Jakarta tanpa tanggul.

Pada kondisi siklus angin muson barat yang dilakukan pada domain teluk jakarta dengan adanya desain tanggul laut pada 9 februari 2017 pukul 12.00. Hasilnya mendapatkan tinggi gelombang hanya mencapai 0,5 m dengan periode gelombang 3 s (lihat pada **gambar 4.9 dan gambar 4.10**) di titik *Buoy* yaitu di terminal 1 pelabuhan teluk jakarta yang ditandai dengan lingkaran kecil pada plot gambar. Gelombang yang tinggi nya hanya 0,5 m ini menandakan desain tanggul laut mampu mereduksi gelombang dari 1,5m menjadi 0,5m di terminal 1 pelabuhan tanjung priok.

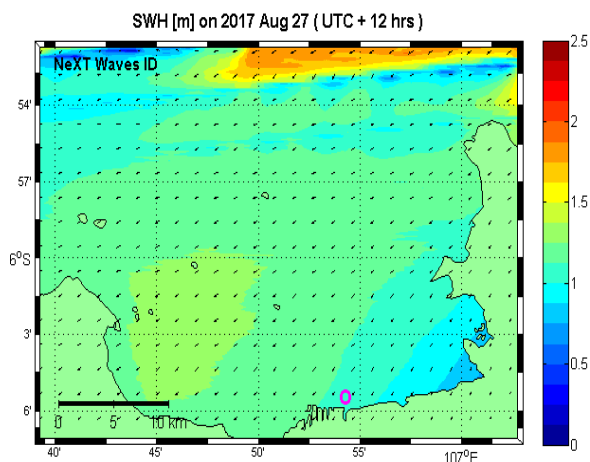


Gambar 4.9 Hasil plot signifikan tinggi gelombang pada siklus angin muson barat di Teluk Jakarta dengan tanggul.

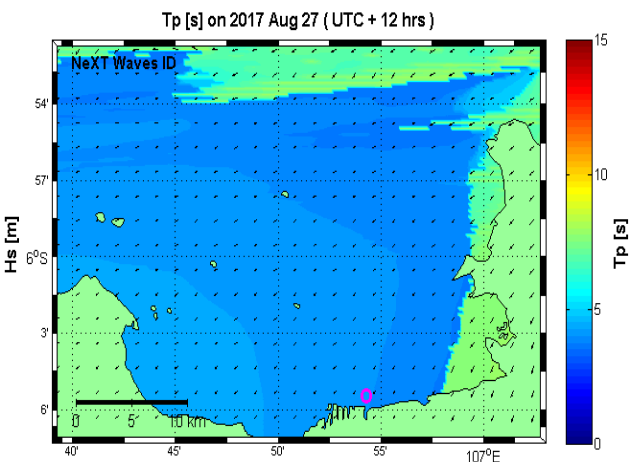


Gambar 4.10 Hasil plot periode gelombang pada siklus angin muson barat di Teluk Jakarta dengan tanggul.

Dibandingkan dengan hasil simulasi ekstrak sinyal siklus angin muson timur yang dilakukan pada domain teluk jakarta tanpa adanya desain tanggul laut pada tanggal 27 agustus 2017 pukul 12.00 mendapatkan tinggi gelombang mencapai 1 m dengan periode gelombang 5 s (lihat pada **gambar 4.11** dan **gambar 4.12**). Berdasarkan wind rose dan vektor arus hasil simulasi pada siklus angin muson barat gelombang ini terbawa dari perairan samudera hindia yang bergerak ke benua australia kemudian bergerak ke perairan laut indonesia. Gelombang yang tinggi nya hanya mencapai 1 m ini artinya gelombang tersebut memiliki energi yang tidak berpotensi merusak kapal yang sedang berlabuh di terminal 1 pelabuhan tanjung priok.

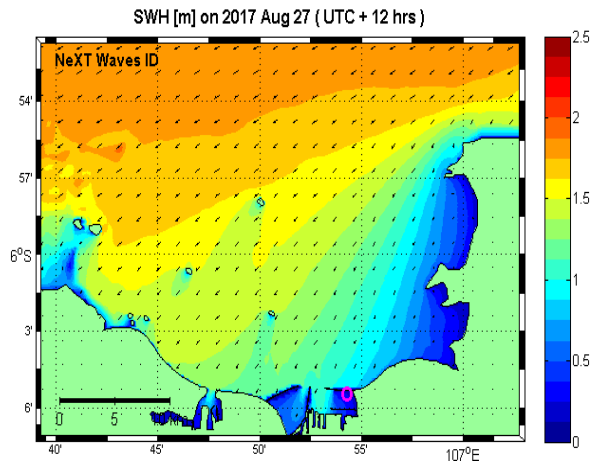


Gambar 4.11 Hasil plot signifikan tinggi gelombang pada siklus angin muson timur di Teluk Jakarta tanpa tanggul.

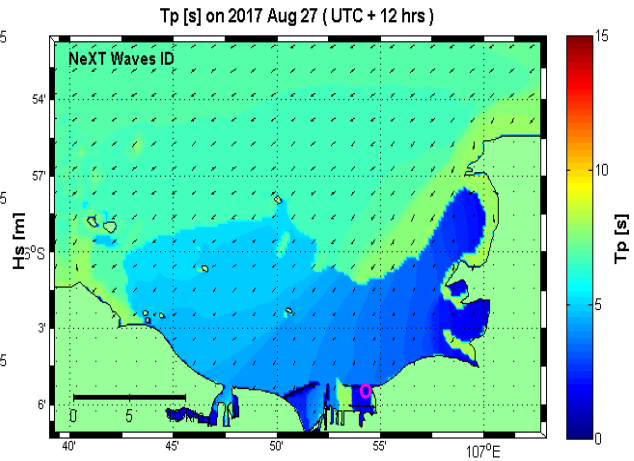


Gambar 4.12 Hasil plot periode gelombang pada siklus angin muson timur di Teluk Jakarta tanpa tanggul.

Sementara itu hasil simulasi ekstrak sinyal siklus angin muson timur yang dilakukan pada domain teluk jakarta dengan adanya desain tanggul laut pada 9 februari 2017 pukul 12.00 mendapatkan tinggi gelombang hanya mencapai 0,2 m dengan periode gelombang 2 s (lihat pada **gambar 4.13** dan **gambar 4.14**). Gelombang yang tinggi nya hanya 0,2 m ini menandakan desain tanggul laut mampu mereduksi gelombang dari 1 m menjadi 0,2 m di terminal 1 pelabuhan tanjung priok.



Gambar 4.13 Hasil plot signifikan tinggi gelombang pada siklus angin muson timur di Teluk Jakarta tanpa tanggul.



Gambar 4.14 Hasil plot periode gelombang pada siklus angin muson timur di Teluk Jakarta tanpa tanggul.

Setelah mengetahui karakteristik gelombang di perairan teluk jakarta dilakukan investigasi untuk melihat persentase hasil reduksi dari tanggul laut terhadap gelombang pada siklus angin muson barat dan angin muson timur. Berikut tabel persentase reduksi gelombang oleh tanggul laut pada siklus angin muson :

Tabel 2. Investigasi tanggul akibat angin muson barat

Tgl	Tanpa Tanggul (m)	Dengan Tanggul (m)	Hasil Reduksi (%)
01-01	0,50	0,30	40
02-01	0,50	0,35	30
03-01	0,30	0,15	50
04-01	0,55	0,10	81,82
05-01	0,45	0,10	77,78
...	...	...	...
24-02	0,25	0,1	60
25-02	0,30	0,1	66,67
26-02	0,30	0,1	66,67
27-02	0,20	0,1	50
28-02	0,40	0,15	62,50

Tabel 3. Investigasi tanggul akibat angin muson timur

Tgl	Tanpa Tanggul (m)	Dengan Tanggul (m)	Hasil Reduksi (%)
01-06	0,2	0,1	50
02-06	0,1	0,1	0
03-06	0,2	0,1	50
04-06	0,3	0,2	30,33
05-06	0,3	0,1	66,67
...	...	...	...
27-08	1	0,2	80
28-08	0,9	0,3	66,67
29-08	0,9	0,3	66,67
30-08	0,5	0,2	60
31-08	0,4	0,2	50

Investigasi desain tanggul laut berdasarkan tabel 2 dan tabel 3 ini menunjukkan simulasi desain tanggul laut di perairan teluk jakarta mampu mereduksi gelombang tinggi di sekitar pelabuhan tanjung priok akibat siklus angin muson barat sebesar 55,59 % dan akibat siklus angin muson timur sebesar 58,06 %. Dengan begitu permasalahan yang ada di sekitar pesisir pantai teluk jakarta mampu diselesaikan dengan dibangunnya tanggul laut.

5. Kesimpulan

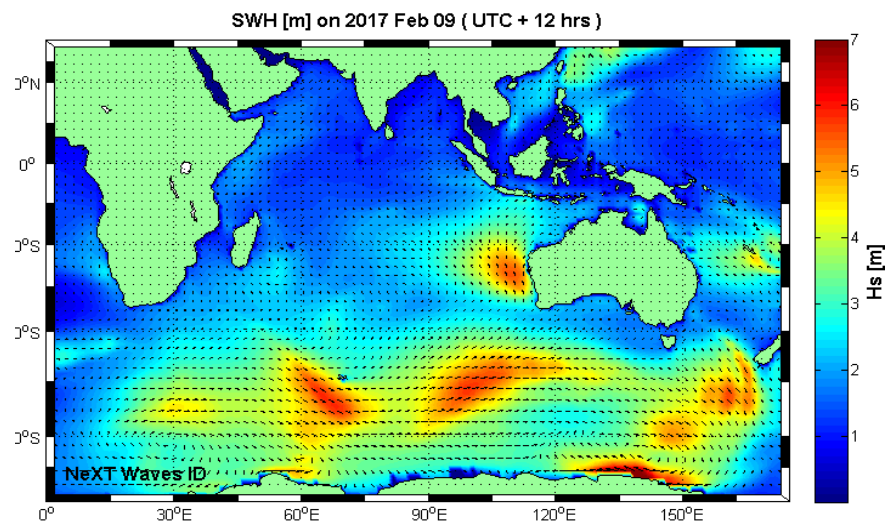
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dengan model SWAN untuk memodelkan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh siklus angin muson yang terjadi di perairan teluk jakarta dengan adanya desain tanggul dan tanpa adanya desain tanggul laut maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Relasi antara gelombang dengan angin menunjukkan siklus angin muson barat menciptakan gelombang lebih tinggi dibandingkan dengan angin muson timur karena siklus angin muson barat membawa partikel air sedangkan angin muson timur membawa partikel debu.
2. Siklus angin muson barat perairan teluk jakarta pada titik *buoy* terminal 1 pelabuhan teluk jakarta tanpa adanya desain tanggul laut mendapatkan signifikan tinggi gelombang mencapai 1,5 m dengan periode gelombang 6 s dan dengan adanya desain tanggul laut mendapatkan signifikan tinggi gelombang mencapai 0,5 m dengan periode gelombang 3 s.
3. Siklus angin muson timur perairan teluk jakarta pada titik *buoy* terminal 1 pelabuhan teluk jakarta tanpa adanya desain tanggul laut mendapatkan signifikan tinggi gelombang mencapai 1 m dengan periode gelombang 5 s dan dengan adanya desain tanggul laut mendapatkan signifikan tinggi gelombang mencapai 0,2 m dengan periode gelombang 2 s.
4. Investigasi efektifitas reduksi gelombang akibat siklus angin muson membuktikan bahawa tanggul laut mampu mereduksi 55,59 % tinggi gelombang pada siklus angin muson barat sedangkan pada siklus angin muson timur mampu mereduksi 58,06 % tinggi gelombang.

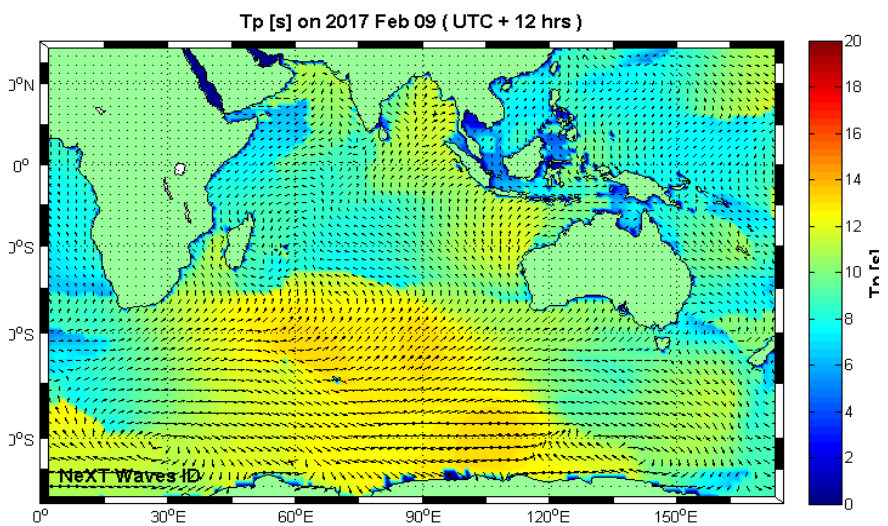
Daftar Pustaka

- [1] Adytia, D., R. Meirita, Grossen E.V. (September 2012). Phase resolved and averaged Wave Simulations in Jakarta Harbour. *The 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics* (APHydro2012).
- [2] Bachtiar, H., Badriana, R., Sembiring, L., Adytia, D., Samskerta, I. P., Andonowati, A., & van Groesen, E. (2017). Optimized Jakarta outer sea dike plan of NCICD program to wave run-up of a possible Anak-Krakatau tsunami. *Jurnal Sumber Daya Air*, 13(1), 1-10.
- [3] B. Al Hakima, M. Wibowo, W. Kongko, M. Irfani, W. Hendriyono, G. Gumbira. (2015). Hydrodynamics Modeling of Giant Seawall in Semarang Bay. *2nd International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environment and Natural Disaster* (pp. 200 - 207).
- [4] Mulianti, Y., Tawekal, R. L., Wurjanto, A., Kelvin, J., & Pranowo, W. S. (2018). Application of SWAN Model for Hindcasting Wave Height In Jepara Coastal Water, North Java, Indonesia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATE*, 15 (48), 114-120.
- [5] Nurfitri, S., Ningsih, N. S., Sentanu, A. N., & Rachmayani, R. (2018, June). Numerical modeling of wave-current interaction in Merak Port, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 162, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- [6] Mandang, I., & Nur, A. A. (2017, January). A numerical simulation of wave and sediment transport in the Balikpapan Bay, East Kalimantan, Indonesia. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1801, No. 1, p070002). AIP Publishing.
- [7] Rachmayani, R., Ningsih, N. S., Ramadhan, H., & Nurfitri, S. (2018). Analysis of ocean wave characteristic in Western Indonesian Seas using wave spectrum model. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 147, p. 05001). EDP Sciences.
- [8] Sujantoko, S. (2009). The Analysis of Wave Refraction using SWAN Model. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, 20(2).
- [9] Jim D. Hansom, A. D. Switzer, Pile J. (2015). Extreme Waves: Causes, Characteristics, and Impact on Coastal Environment and Society. In J. T. Sherman, Coastal and Marine Hazard, Risks And Disaster. Elsevier.
- [10] Rijnsdorp, D. P., Hansen, J., & Lowe, R. (2017). A phase-resolving wave model to simulate the interactions between waves and wave energy converters. *Australasian Coasts & Ports 2017: Working with Nature*, 933.
- [11] Ventroni, M., Balzano, A., & Zijlema, M. (2016, December). Online coupling of SWAN and SWASH for nearshore applications. In *Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change: Proceedings of the 4th IAHR Europe Congress* (Liege, Belgium, 27-29 July 2016) (p. 323). CRC Press.
- [12] KemenPUPR. (2018, 15 04). KemenPUPR :Kementrian PUPR Targetkan Tanggul Pengamanan Pantai Jakarta 4,5 KM Rampung Pertengahan Tahun 2018. Retrieved from <https://www.pu.go.id:https://www.pu.go.id/berita/view/15578/kementrian-pupr-targetkan-tanggul-pengamanan-pantai-45-km-rampung-pertengahan-tahun-2018> (Diakses tanggal 27-09-2018, pukul 08.00 WIB).
- [13] SWAN. (1993-2019). SWAN User Manual. Netherlands: Delft University of Technology. Retrieved from: http://swanmodel.sourceforge.net/online_doc/swanuse/swanuse.html (Diakses tanggal 27-09-2018, pukul 15.00 WIB).

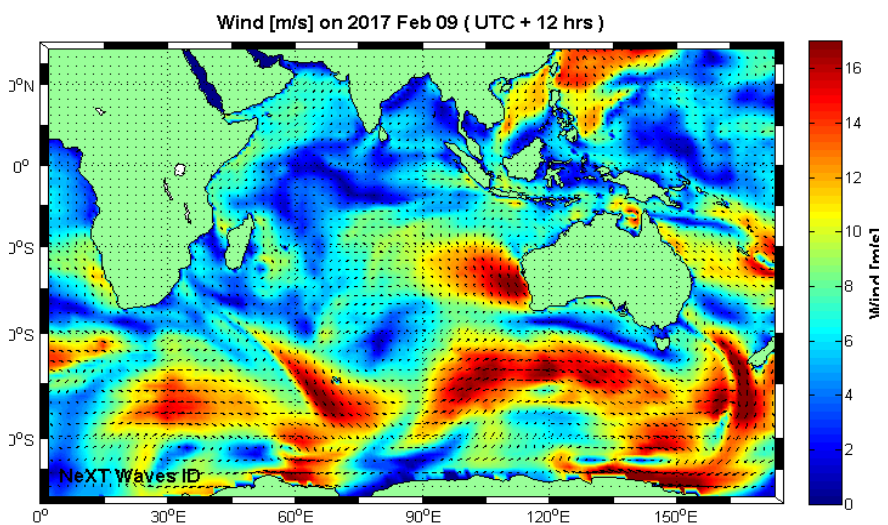
LAMPIRAN 1
DAFTAR GAMBAR SIMULASI ANGIN MUSON BARAT DOMAIN GLOBAL



Gambar 1. Signifikan tinggi gelombang pada domain global

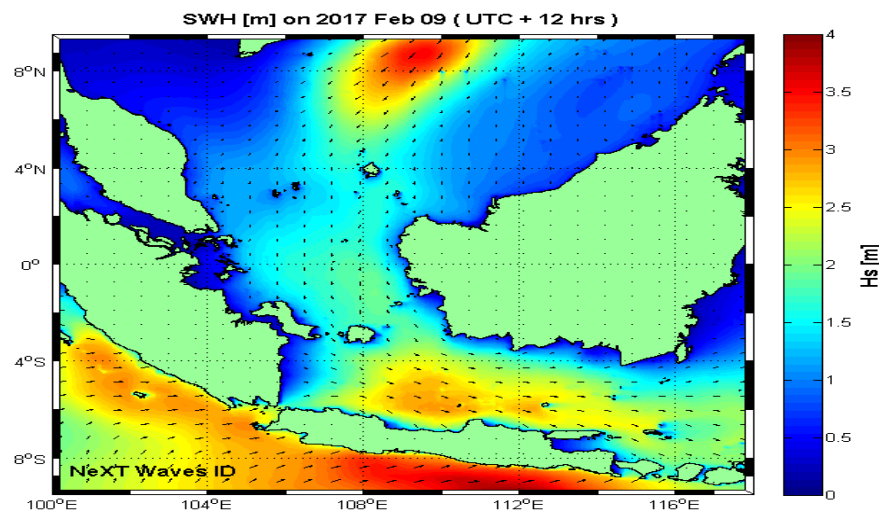


Gambar 2. Periode gelombang pada domain global

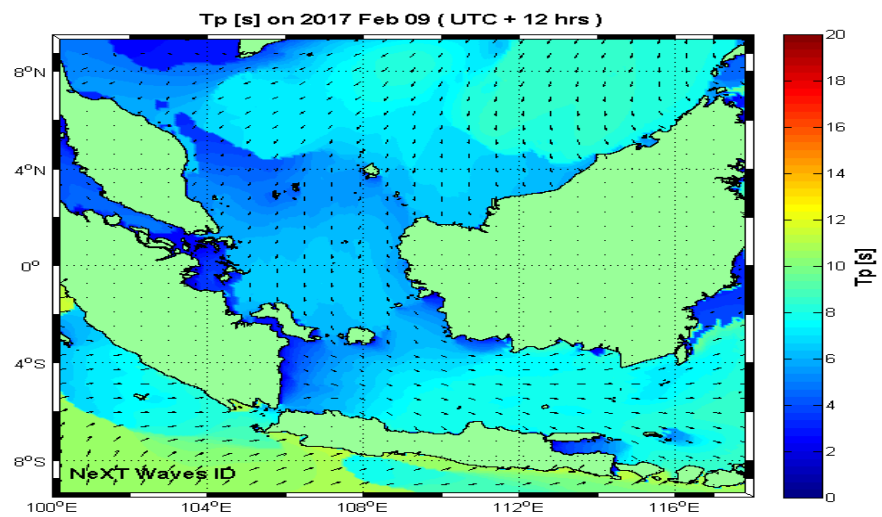


Gambar 3. Kecepatan angin pada domain global

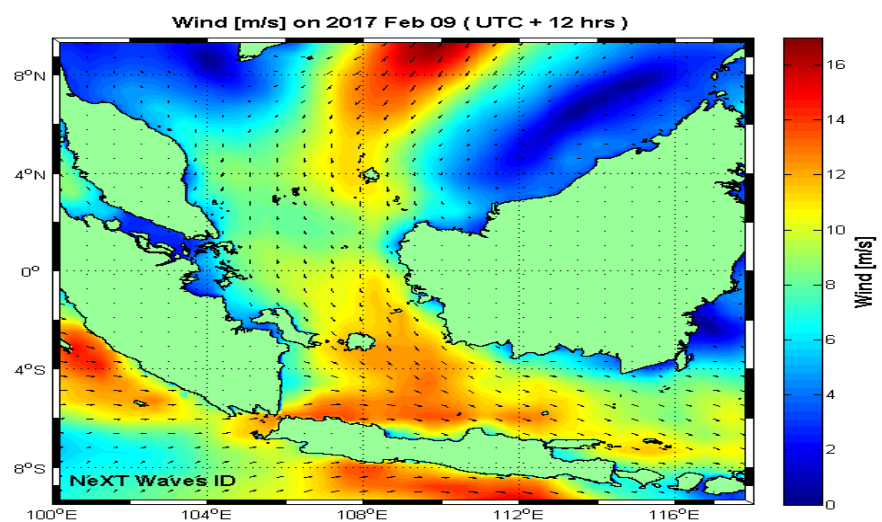
LAMPIRAN 2
DAFTAR GAMBAR SIMULASI ANGIN MUSON BARAT DOMAIN LAUT INDONESIA



Gambar 4. Signifikan tinggi gelombang pada domain laut indonesia

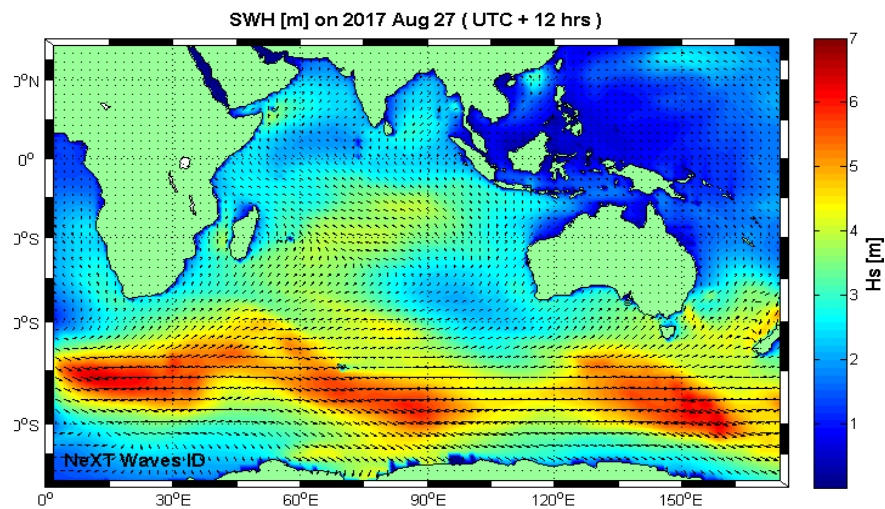


Gambar 5. Periode gelombang pada domain laut indonesia

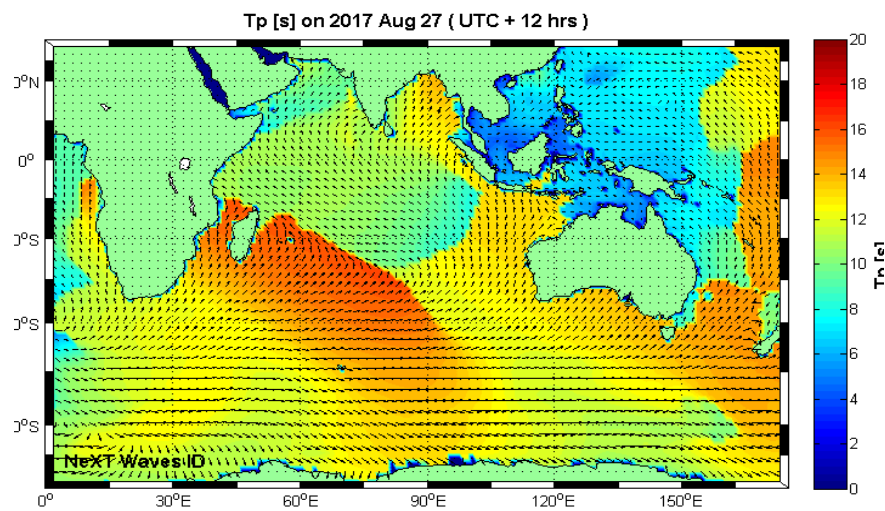


Gambar 6. Kecepatan angin pada domain laut indonesia

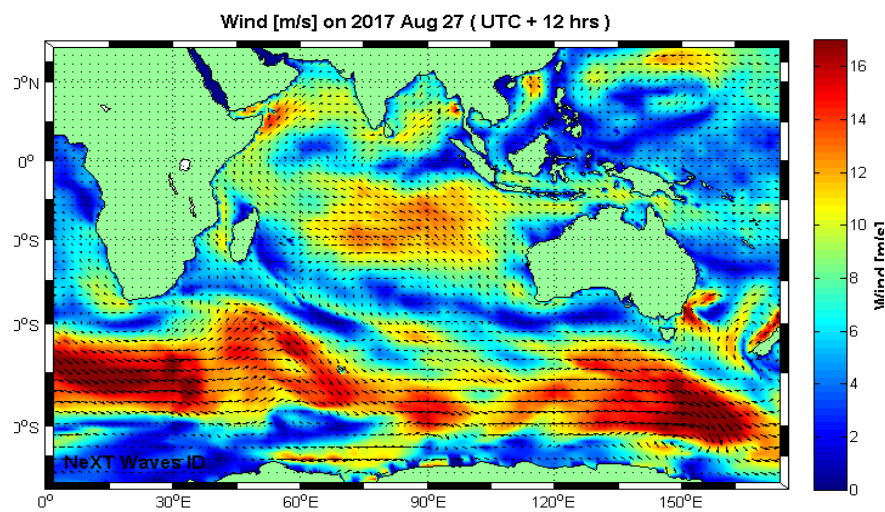
LAMPIRAN 3
DAFTAR GAMBAR SIMULASI ANGIN MUSON TIMUR DOMAIN GLOBAL



Gambar 7. Signifikan tinggi gelombang pada domain global

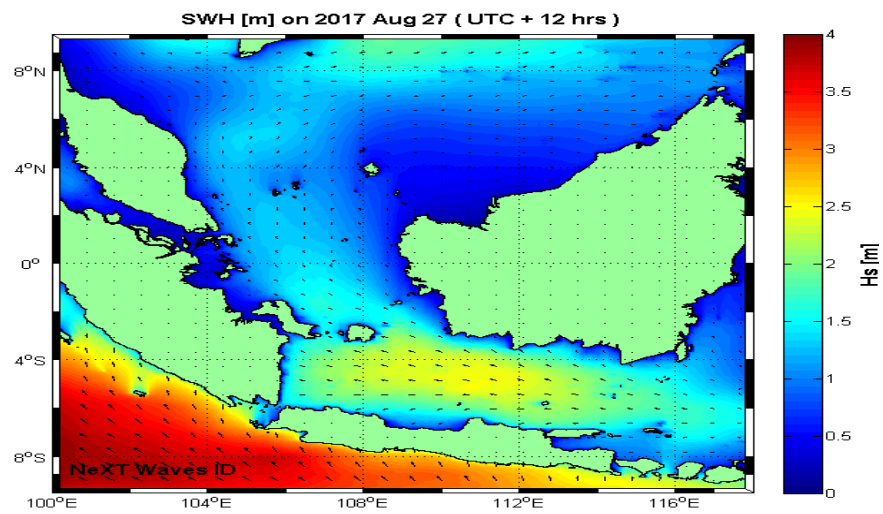


Gambar 8. Periode gelombang pada domain global

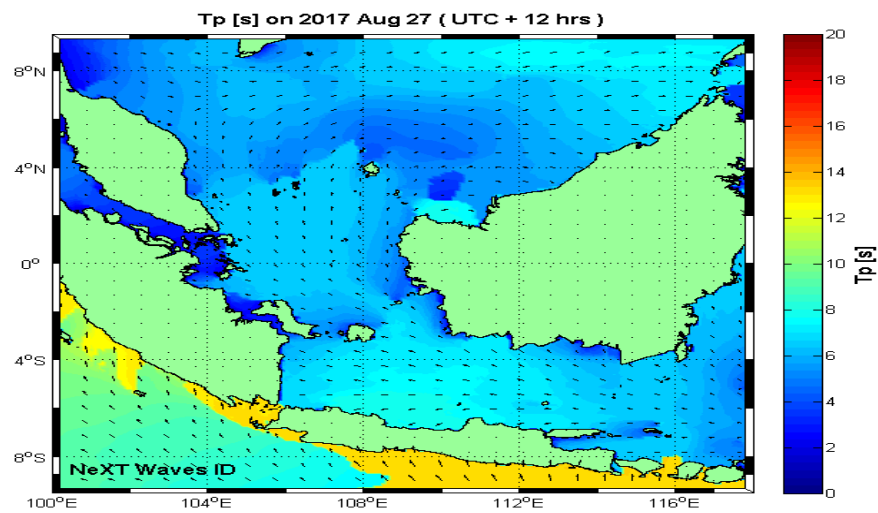


Gambar 9. Kecepatan angin pada domain global

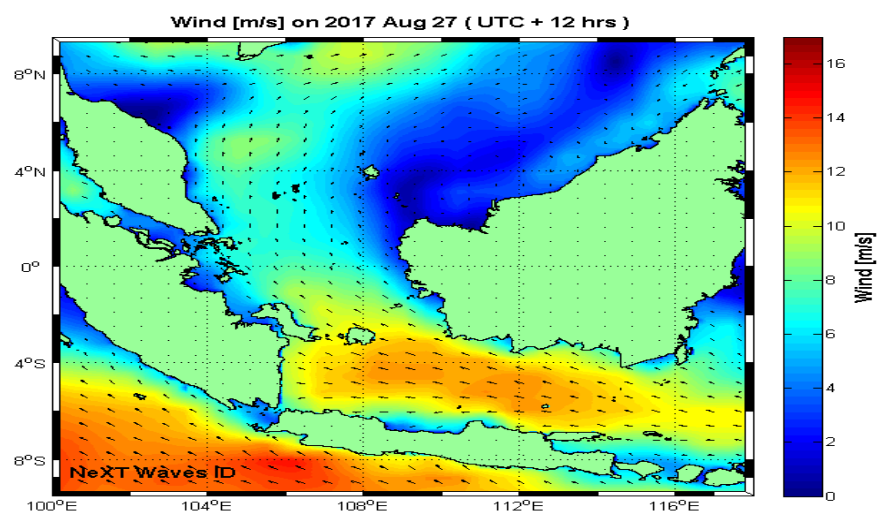
LAMPIRAN 4
DAFTAR GAMBAR SIMULASI ANGIN MUSON TIMUR DOMAIN LAUT INDONESIA



Gambar 10. Signifikan tinggi gelombang pada domain laut indonesia



Gambar 11. Periode gelombang pada domain laut indonesia



Gambar 12. Kecepatan angin pada domain laut indonesia