

| 2025



LAPORAN PEMODELAN NUMERIKAL

PERAIRAN PELABUHAN KEMAMAN



Disediakan untuk:
**INSTITUT PENYELIDIKAN AIR
KEBANGSAAN MALAYSIA**



PROJEK PEMODELAN HIDRAULIK: PERAIRAN PELABUHAN KEMAMAN

Laporan Kajian Hidraulik

Disediakan untuk:



Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia
Lot 5377, Jalan Putra Permai, Rizab Melayu Sungai Kuyoh,
43300 Seri Kembangan, Selangor
Tel: 03-89476400
www.nahrim.gov.my

Disediakan oleh:



Institut Oseanografi dan Sekitaran
Universiti Malaysia Terengganu
21030 Kuala Nerus, Terengganu, Malaysia
Tel: 09-66831114
<https://inos.umt.edu.my>

Isi Kandungan

1.0 PENGENALAN.....	5
1.1 POTENSI IMPAK	5
1.2 SKOP KERJA	6
1.3 OBJEKTIF KAJIAN	8
2.0 KAWASAN KAJIAN.....	9
2.1 GAMBARAN KESELURUHAN TAPAK PROJEK.....	9
2.2 LATAR BELAKANG PROJEK.....	10
3.0 PENDEKATAN KAJIAN	12
3.3 KAEDAH PEMODELAN.....	12
3.4 SENARIO PEMODELAN	12
3.5 SEMPADAN PEMODELAN	13
3.6 PERSEDIAAN PEMODELAN	15
4.0 PEMODELAN NUMERIKAL.....	17
4.1 PEMODELAN HIDRODINAMIK (<i>HYDRODYNAMIC</i> -HD).....	17
4.1.1 PERSEDIAAN DAN SIMULASI PEMODELAN HD	17
4.1.2 KALIBRASI DAN PENGESAHAN PEMODELAN HD	17
4.1.3 HASIL KEPUTUSAN PEMODELAN HD.....	22
4.2 PEMODELAN GELOMBANG SPEKTRAL OMBAK (<i>SPECTRAL WAVE</i> -SW).....	28
4.2.1 KEADAAN SUMBER PEMODELAN SW	28

4.1.2 KALIBRASI DAN PENGESAHAN PEMODELAN SW	30
4.2.2 HASIL KEPUTUSAN PEMODELAN SW	32
4.3 PEMODELAN PENGANGKUTAN LUMPUR (<i>MUD TRANSPORT-MT</i>).....	37
4.3.1 PERSEDIAAN DAN SIMULASI PEMODELAN MT	38
4.3.2 HASIL KEPUTUSAN PEMODELAN MT	39
4.4 PERSEDIAAN PEMODELAN PENGANGKUTAN LITORAL DAN GARISAN PANTAI KINETIK (<i>LITTORAL TRANSPORT AND COASTLINE KINETICS-LITPACK</i>)	42
4.4.1 KALIBRASI DAN PENGESAHAN MODEL LITPACK	42
4.4.2 HASIL KEPUTUSAN MODEL LITPACK	44
5.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN	54
5.1 HASIL RINGKASAN DAPATAN KAJIAN	54
5.1.1 KESTABILAN HIDRODINAMIK	54
5.1.2 PENGANGKUTAN DAN PENYEBARAN SEDIMEN	54
5.1.3 IMPAK GELOMBANG	55
5.1.4 PERUBAHAN MORFOLOGI DARI PENGAKUTAN LITORAL	55
5.2 CADANGAN.....	55
6.0 RUJUKAN	57

1.0 PENGENALAN

Kajian hidraulik semasa telah diwujudkan untuk menilai kesan hakisan/pemendapan ke atas pegerakan arus, ketinggian gelombang dan corak pengangkutan sedimen. Keputusan pemodelan digunakan untuk meramalkan kesan projek terhadap arus dan ombak di kawasan tersebut. Tambahan pula, untuk memberi panduan tentang langkah meminimumkan kesan sampingan yang dikenal pasti. Kajian ini diperlukan untuk menilai kesan kerja-kerja yang dicadangkan terhadap arus, corak gelombang pantai, dan taburan pergerakan sedimen.

Dalam bab ini, impak hidraulik pantai yang berpotensi bagi projek yang dicadangkan dibincangkan dahulu, diikuti dengan pendekatan kajian dan penerangan tentang metodologi yang digunakan. Kerja pemodelan telah dijalankan mengikut garis panduan Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) untuk pemodelan hidraulik.

Kerja-kerja pemodelan dalam kajian ini akan dilaksanakan berdasarkan garis panduan yang ditetapkan oleh pihak berkuasa yang berkaitan, khususnya: ***“Guidelines for the Preparation of Coastal Engineering Hydraulic Study and Impact Evaluation”*** Edisi ke-5, Disember 2001 yang diterbitkan oleh JPS. Ini digunakan sebagai panduan utama dalam kajian hidraulik kejuruteraan pantai dan penilaian impak menggunakan model berangka.

Panduan **Keperluan Tambahan Pemodelan Hidrodinamik untuk Permohonan Pembangunan di Hadapan Garis Pantai** bertarikh 11 Jun 2011 yang dikeluarkan oleh JPS juga mengandungi keperluan tambahan bagi pemodelan hidrodinamik yang perlu dipatuhi dalam sebarang permohonan pembangunan berhampiran garis pantai. Pemodelan hidraulik ini akan mengikuti spesifikasi yang dinyatakan dalam garis panduan tersebut bagi memastikan ketepatan analisis dan kepatuhan kepada peraturan yang telah ditetapkan oleh pihak berkuasa.

1.1 POTENSI IMPAK

Kesan hakisan/pemendapan yang berpotensi memberikan kesan kepada persekitaran marin, terutamanya dalam aspek hidrodinamik, morfologi pantai, dan ekosistem marin. Antara impak utama yang dijangka berlaku termasuk:

- i) **Kehilangan habitat marin** – Kawasan hakisan/pemendapan akan mengalami kehilangan habitat semula jadi bagi organisma marin yang mendiami dasar laut.
- ii) **Peningkatan kekeruhan air (*sediment dispersion*)** – Proses hakisan/pemendapan akan menyebabkan pelepasan partikel halus ke dalam air, yang boleh tersebar ke kawasan sekitarnya jika pihak autoriti pelabuhan ingin mengadakan penyelenggaraan pelabuhan dari aktiviti mempedalamkan laluan kapal. Ini secara tidak langsung boleh memberi kesan kepada kualiti air, mengurangkan kecekapan fotosintesis bagi tumbuhan marin, serta menjejaskan ekosistem terumbu karang dan habitat akuatik yang bergantung kepada kejernihan air.
- iii) **Perubahan corak arus dan gelombang ombak** – Kesan hakisan/pemendapan juga boleh menyebabkan perubahan pergerakan arus dan gelombang yang seterusnya berpotensi menjejaskan kestabilan kawasan pantai berdekatan serta mengubah proses hakisan dan pemendapan semula jadi.
- iv) **Perubahan morfologi pantai** – Gangguan terhadap sistem hidrodinamik boleh mengakibatkan perubahan dalam kadar pemendapan dan hakisan pantai, terutamanya jika kawasan sekitar mempunyai tahap kestabilan yang rendah atau berada dalam zon yang sensitif terhadap perubahan arus.

Bagi memahami dengan lebih lanjut kesan aktiviti pengorekan ini, kajian ini akan menggunakan pemodelan berangka untuk menilai perubahan dalam pola arus, gelombang ombak, dan penyebaran sedimen. Pemodelan ini akan membolehkan penilaian terhadap sejauh mana aktiviti pengorekan mempengaruhi persekitaran pesisir pantai dan kawasan sekitar, serta membantu dalam perancangan langkah mitigasi yang bersesuaian.

1.2 SKOP KERJA

Kajian ini menggunakan pemodelan berangka dengan perisian MIKE 21, yang dibangunkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI), bagi menilai impak kerja-kerja yang dicadangkan terhadap pola gelombang, arus, pengangkutan (penyebaran) sedimen dan pengangkutan litoral. Pemodelan berangka dalam kajian ini akan

dijalankan dalam empat peringkat utama iaitu Pemodelan Hidrodinamik (Hydrodynamic-HD), Pemodelan Gelombang Spektrum (*Spectral Wave*-SW), Pemodelan Pengangkutan Lumpur (Mud Transport-MT) dan Pemodelan pengangkutan litoral dan garisan pantai kinetik (Littoral Transport and Coastline Kinetics-LITPACK) yang akan diperincikan dalam bab seterusnya. Skop kajian hidraulik ini merangkumi perkara berikut:

- i) **Pengumpulan Data:** Mengumpulkan semua data yang berkaitan seperti kelajuan angin, kedalaman air, ketinggian dasar laut, halaju aliran air, keadaan gelombang dan arus dan data perihal lautan lain yang berkaitan.
- ii) **Penilaian Keadaan Sedia Ada:** Menilai keadaan hidraulik semasa di sekitar kawasan cadangan projek sebelum sebarang intervensi dilakukan.
- iii) **Kajian Hidraulik Pantai:**
 - a. Penyediaan model (*setup*)
 - b. Kalibrasi dan pengesahan model
 - c. Simulasi hidrodinamik untuk menilai aras air dan corak aliran arus
- iv) **Penilaian Impak Projek:** Menganalisis kesan projek yang dicadangkan terhadap:
 - a. Corak arus hidrodinamik
 - b. Keadaan gelombang
 - c. Serakan sedimen terampai (*dispersion*)
 - d. Pengangkutan litoral

1.3 OBJEKTIF KAJIAN

Kajian ini bertujuan untuk menilai keadaan persekitaran di kawasan kajian bagi menyediakan maklumat asas serta menilai potensi impak terhadap:

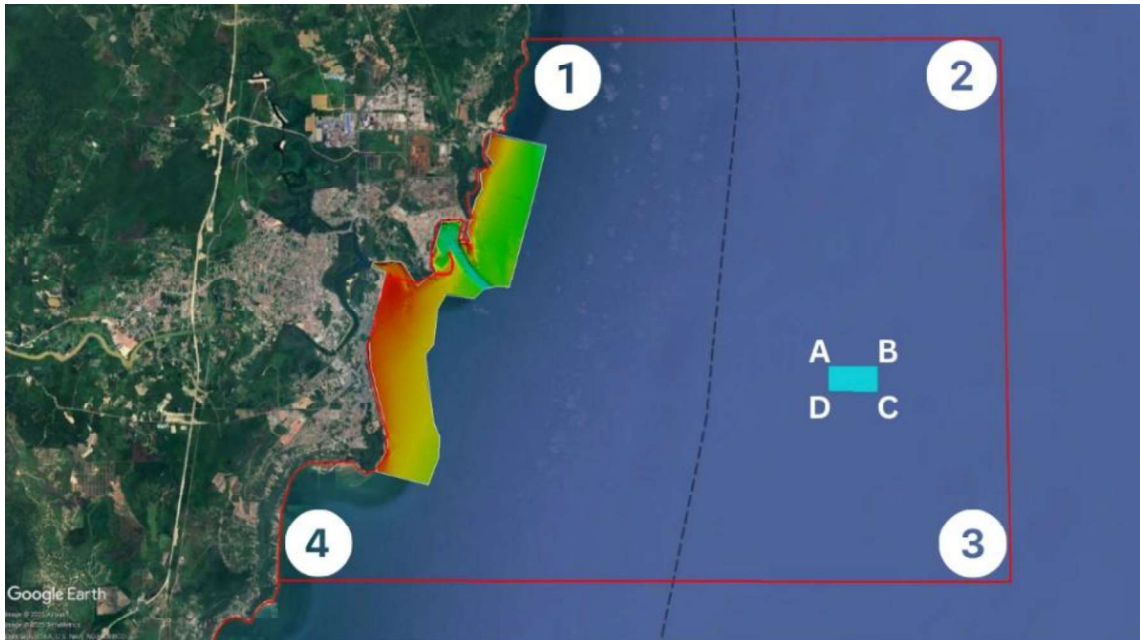
- i) **Arus hidrodinamik** – Mengenal pasti pola aliran arus sebelum dan selepas pelaksanaan projek.
- ii) **Gelombang ombak** – Menganalisis perubahan dalam ketinggian dan arah gelombang akibat projek.
- iii) **Serakan sedimen terampai (*dispersion*)** – Menilai kesan projek terhadap pemendapan dan pergerakan sedimen dalam kawasan kajian.
- iv) **Pengangkutan litoral** – Menilai kesan projek terhadap perubahan morfologi pantai di dalam kawasan kajian

Maklumat yang diperolehi daripada kajian ini akan digunakan sebagai asas bagi cadangan mitigasi dan pengurusan pantai untuk memastikan kesan terhadap persekitaran marin dapat diminimumkan.

2.0 KAWASAN KAJIAN

2.1 GAMBARAN KESELURUHAN TAPAK PROJEK

Projek ini melibatkan aktiviti pemantauan hakisan/pemendapan di dalam kawasan perairan dan sekitar Pelabuhan Kemaman, berdekatan dengan Sungai Kemaman dan Sungai Chukai, Terengganu. Koordinat tapak projek telah disenaraikan dalam Jadual 2.1, sementara peta lokasi projek ditunjukkan dalam Rajah 2.1.



Rajah 2.1: Lokasi cadangan projek dan kawasan pembuangan sedimen daripada Pelabuhan Kemaman

Jadual 2.1 : Koordinat persempadanan cadangan projek dan kawasan pembuangan sedimen daripada Pelabuhan Kemaman

Kawasan	Titik	Latitud (U)	Longitud (T)
Kawasan Iambakan sedimen daripada Pelabuhan Kemaman	A	4°12'30.00"U	103°35'30.00"T
	B	4°12'30.00"U	103°36'30.00"T
	C	4°12'0.00"U	103°36'30.00"T
	D	4°12'0.00"U	103°35'30.00"T
Sempadan Kawasan Kajian	1	4°19'0.33"U	103°29'30.88"T
	2	4°19'1.29"U	103°38'55.68"T
	3	4° 8'12.52"U	103°39'08.33"T
	4	4° 8'14.06"U	103°24'34.05"T

2.2 LATAR BELAKANG PROJEK

Aktiviti pengorekan dan pendalaman kawasan dalam perairan pelabuhan merupakan satu keperluan penting bagi memastikan pelabuhan kekal berfungsi dengan efisien dan selamat untuk operasi kapal-kapal dagang serta aktiviti perkapalan. Namun, kerja-kerja pengorekan ini boleh memberi kesan terhadap persekitaran marin, khususnya terhadap pola arus, gelombang ombak, dan pemendapan sedimen di kawasan sekitar.

Institut Penyelidikan Air Kebangsaan Malaysia (NAHRIM) telah menjalankan kajian ini bagi menilai kesan aktiviti pendalaman dan pengorekan di bahagian dalam kawasan pelabuhan terhadap persekitaran marin terutama isu hakisan dan pemendapan di kawasan sekitar. Kajian ini menumpukan kepada impak yang mungkin berlaku terhadap corak arus pasang surut, keadaan ombak, serta pengangkutan sedimen, termasuk kemungkinan penyebaran sedimen terampai ke kawasan sekitarnya.

Dengan menggunakan kaedah pemodelan hidraulik yang sistematik, kajian ini akan membantu dalam:

- i) Menentukan perubahan corak arus dan gelombang ombak akibat kerja-kerja pengorekan.
- ii) Menganalisis sejauh mana sedimen yang terampai boleh tersebar ke kawasan sekeliling pelabuhan.
- iii) Memberikan cadangan langkah-langkah mitigasi bagi mengurangkan impak terhadap persekitaran pesisir pantai.

Maklumat yang diperoleh daripada kajian ini akan menjadi rujukan utama dalam perancangan dan pengurusan kerja-kerja mendalamkan dan pengorekan pelabuhan pada masa hadapan, bagi memastikan pembangunan yang mampan serta meminimumkan impak terhadap alam sekitar. Selain itu juga boleh dibangunkan sebagai penunjuk garis panduan bagi pengurusan risiko bencana dan mitigasi di kawasan pelabuhan.

3.0 PENDEKATAN KAJIAN

3.3 KAEDAH PEMODELAN

Kajian ini menggunakan kaedah pemodelan berangka dengan sistem pemodelan dua dimensi (2D) MIKE 21, yang dibangunkan oleh Danish Hydraulic Institute (DHI) untuk menganalisis kesan aktiviti yang dicadangkan.

Dalam kajian ini, mesh fleksibel (*flexible mesh*) digunakan bagi menjalankan analisis yang merangkumi konsep pemodelan secara umum iaitu pemodelan hidrodinamik (*Hydrodynamic*-HD), pemodelan gelombang spektrum (*Spectral Wave*-SW), dan pemodelan pengangkutan lumpur (*Mud Transport*-MT). Selain itu, proses kalibrasi dan pengesahan model HD dan SW memainkan peranan penting dalam memastikan ketepatan simulasi serta analisis keputusan pemodelan. Sebagai tambahan bagi menunjukkan perubahan pada pergerakan sediment di dasar pantai, pemodelan pengangkutan litoral dan garisan pantai kinetik (*Littoral Transport and Coastline Kinetics*-LITPACK) digunakan di dalam kajian ini.

Pemodelan ini telah dijalankan mengikut garis panduan yang ditetapkan oleh Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) untuk kajian hidraulik. Secara keseluruhannya, dua senario pemodelan telah ditetapkan bagi menilai impak aktiviti yang dicadangkan. Senario ini mengambil kira keadaan persekitaran, termasuk keadaan pasang surut dan corak cuaca di kawasan kajian, khususnya variasi bermusim dalam keadaan meteorologi yang melibatkan kombinasi kesan pasang surut dan angin.

3.4 SENARIO PEMODELAN

Berdasarkan data angin yang telah diekstrak di kawasan kajian, terdapat dua senario monsun telah terlibat di dalam projek ini adalah seperti berikut:

- i) Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon*-NEM) yang mewakili tempoh monsun timur laut, apabila angin dan arus pasang surut berinteraksi. Keadaan ini mewakili oleh angin tempatan yang bertiup dari arah timur laut.
- ii) Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon*-SWM) yang mewakili tempoh monsun barat daya apabila angin dan arus pasang surut berinteraksi.

Keadaan ini diwakili oleh angin tempatan yang bertiup dari arah selatan hingga barat daya.

Tempoh simulasi modul hidrodinamik (HD) merangkumi satu kitaran pasang surut iaitu aras pasang surut perbani (*spring tide*) dan aras perbani rendah (*neap tide*) selama 14 hari tidak termasuk tempoh awalan tiga (3) hari bagi mengelakkan sebarang ketidakstabilan atau ketidaktepatan yang mungkin berlaku pada peringkat awal simulasi. Semua senario pemodelan (HD, SW & MT) pada asasnya telah disimulasikan berdasarkan analisis data angin yang tersedia dengan sepadan mengikut setiap monsun.

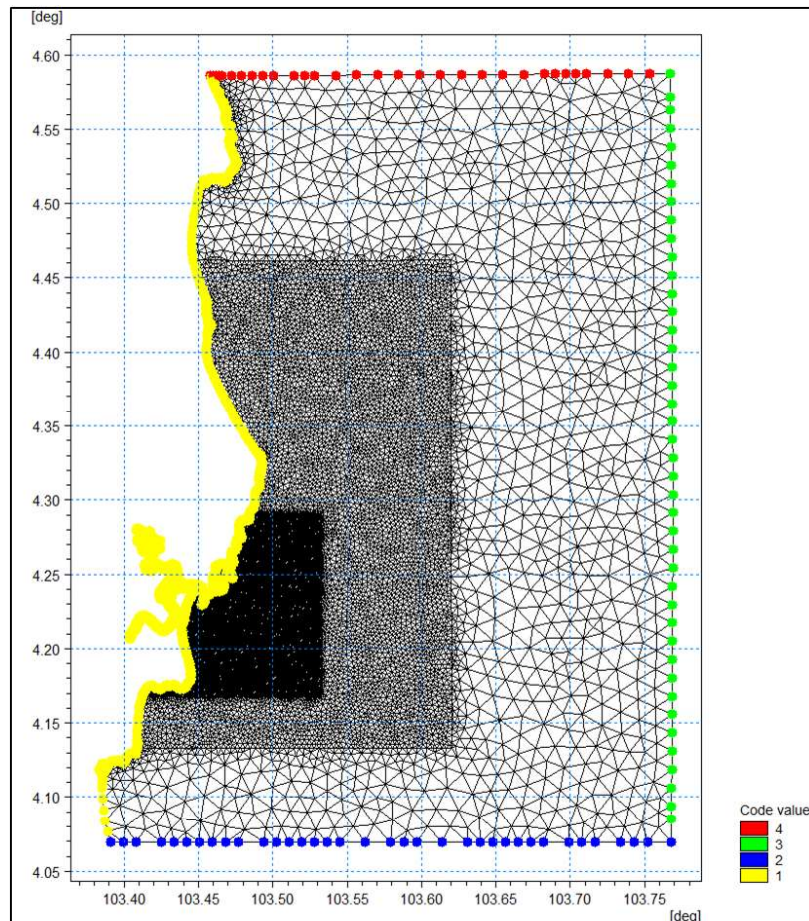
3.5 SEMPADAN PEMODELAN

Pemodel yang digunakan mempunyai jaringan bersifat fleksibel yang terperinci, seakan sama dengan kawasan tapak kajian dan resolusi lebih rendah di kawasan wilayah (*regional*) bagi membolehkan pemodel ini melakukan simulasi secara terperinci setiap butiran aliran arus. Batimetri yang digunakan telah digabungkan (*interpolate*) melalui gabungan data yang diekstrak daripada C-Map dan hasil pemetaan batimetri yang dilakukan di kawasan kajian.

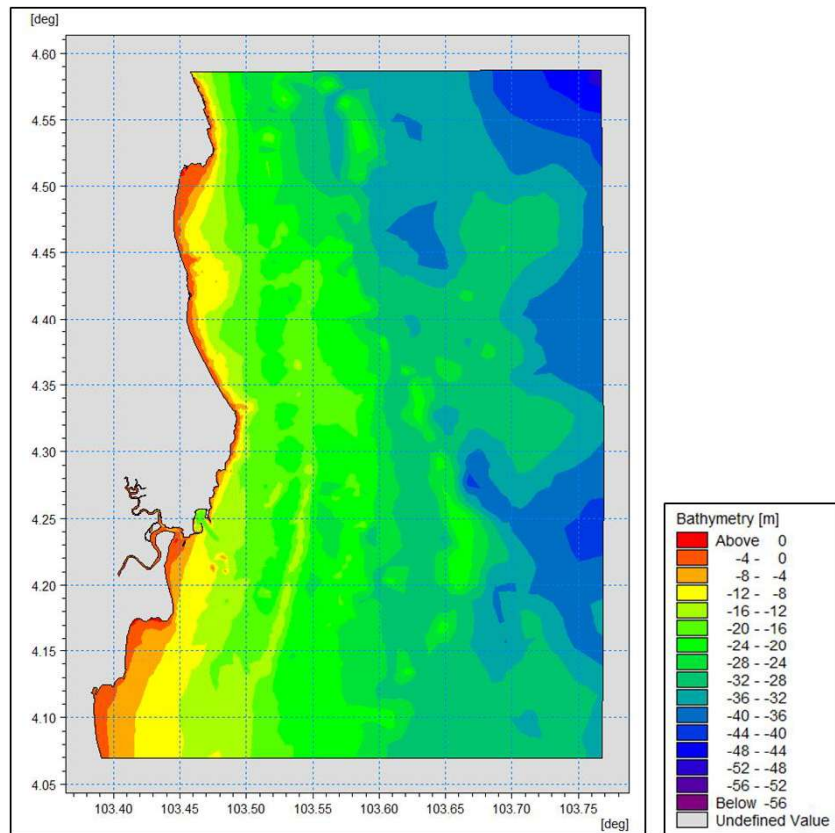
Semua data batimetri adalah berdasarkan nilai datum carta (*Chart Datum*) sebagai datum menegak. Rajah 3.1 dan 3.2 menunjukkan domain pemodel bagi Modul Hidrodinamik (*Hydrodynamic*-HD), Modul Gelombang Spektrum (*Spectral Wave*-SW) dan Modul Pengangkutan Lumpur (*Mud Transport*-MT) dengan resolusi jaringan antara 100 m hingga 1,600 m serta tiga sempadan terbuka (sempadan laut).

Perincian ringkasan model hidrodinamik yang telah ditetapkan di dalam kajian ini adalah seperti berikut:

Saiz jaringan	: 100 sehingga 1,600 m
Masa	: 10-min (600 s)
Angin	: Dimasukkan dalam model
Kedudukan sempadan	: Ramalan pasang surut berdasarkan pasang surut global
Pengesahan	: Paras air (<i>water level</i>), kelajuan arus (<i>current speed</i>), arah arus (<i>current direction</i>) dan ketinggian gelombang (<i>wave height</i>)



Rajah 3.1: Jaringan pengiraan serantau (regional) dan tempatan (local) dengan resolusi 100 m, 400 m dan 1,600 m.



Rajah 3.2: Batimetri serantau (regional) dan tempatan (local) dihasilkan melalui gabungan data C-Map dan data batimetri setempat di kawasan kajian

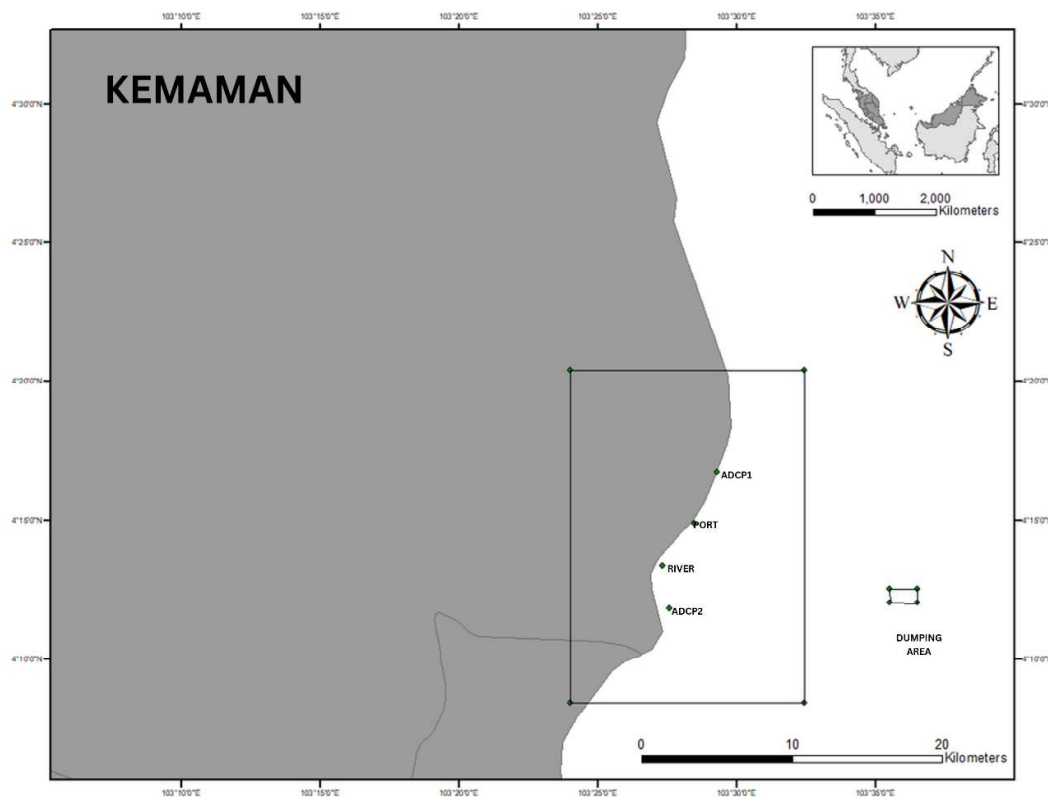
3.6 PERSEDIAAN PEMODELAN

Skop pengumpulan data utama meliputi aspek berikut:

- i) Data batimetri bagi dasar laut di sekitar kawasan tapak projek telah digunakan untuk menetapkan model bagi keadaan sedia ada seperti di kawasan tapak projek yang sebenar.
- ii) Pengukuran paras air, arus (kelajuan dan arah arus) dan ketinggian gelombang dilakukan untuk tujuan validasi dan hasil dapatan di dua lokasi, menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) yang dikenali sebagai ADCP1 dan ADCP2. Dua lokasi tambahan untuk tujuan hasil dapatan adalah di lokasi *Port* (berdekatan di Pelabuhan) dan *River* (berdekatan di Sungai) seperti dalam Rajah 3.3.
- iii) Pengumpulan data sekunder merangkumi data jangka masa panjang iaitu data angin luar pesisir pantai dan gelombang. Kedua-dua data ini diperolehi

daripada *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Maklumat yang dikumpulkan ini menyediakan data asas untuk pelbagai penilaian terutamanya sebagai rujukan serta input bagi pembangunan model numerikal.

- iv) Setelah pemodelan dikalibrasi dan divalidasi sepenuhnya dengan data yang diperolehi, pemodelan kompleks ini akan digunakan untuk menilai prestasi serta potensi kesan projek yang dicadangkan terhadap persekitaran kawasan berhampiran.



Rajah 3.3: Lokasi ADCP dan kawasan lambakan sedimen dari Pelabuhan Kemaman.

4.0 PEMODELAN NUMERIKAL

4.1 PEMODELAN HIDRODINAMIK (*HYDRODYNAMIC*-HD)

Modul HD menyediakan asas hidrodinamik bagi pengiraan yang dilakukan dalam kebanyakan modul lain. Pemodelan ini mensimulasikan perubahan aras air dan aliran sebagai tindak balas terhadap pelbagai faktor yang menunjukkan di sungai, muara, teluk, dan kawasan pesisir pantai. Model HD mensimulasikan aliran pasang surut dan keadaan arus di sekitar tapak projek yang berfungsi secara berasingan dengan output daripada Modul SW.

Tempoh penghasilan model HD adalah selama setahun dari bulan October 2023 sehingga September 2024, meliputi satu kitaran pasang surut penuh (*spring-neap tidal cycle*), dalam kedua-dua musim NEM dan SWM.

4.1.1 PERSEDIAAN DAN SIMULASI PEMODELAN HD

Pemodelan HD mensimulasikan aliran pasang surut dan keadaan arus di sekitar kawasan kajian. Sempadan pasang surut bagi domain pemodelan telah digunakan berdasarkan keadaan aras air di sempadan utara, timur, dan selatan kawasan Laut China Selatan yang diperoleh daripada model ramalan pasang surut global (sebahagian daripada Toolbox MIKE 21). Nilai kekasaran dasar yang paling sesuai (nilai M yang merupakan songsangan kepada nilai *Manning's* dalam persamaan *Manning*) telah ditentukan dengan nilai $32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

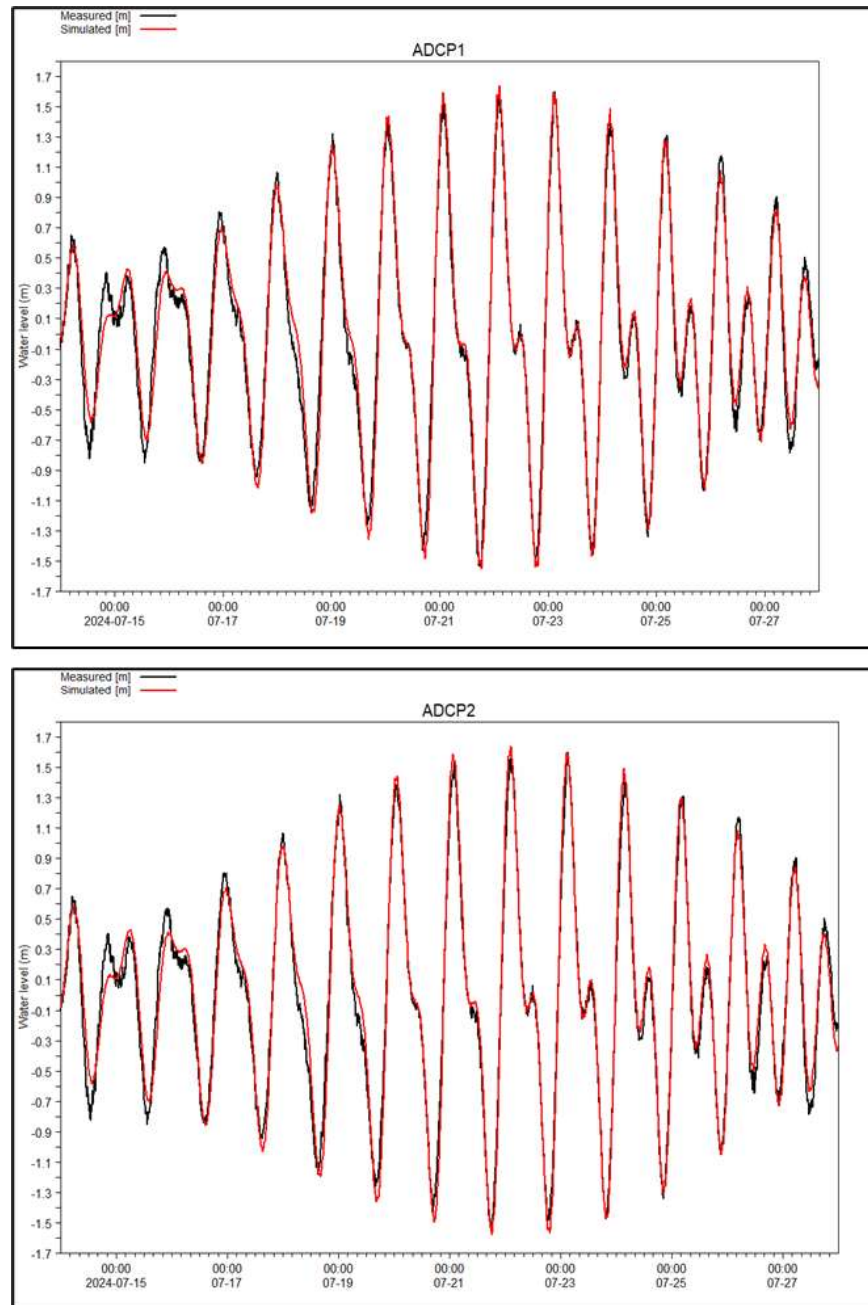
4.1.2 KALIBRASI DAN PENGESAHAN PEMODELAN HD

Kalibrasi pemodelan telah dijalankan berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh JPS. Pemodelan ini telah disahkan dengan membandingkan aras air dan arus air yang dikumpulkan daripada tinjauan lapangan menggunakan alat ADCP1 dan ADCP2. Bagi memastikan kalibrasi aras air boleh diterima, perbezaan mutlak purata antara julat pasang surut yang dikira oleh model dan pemerhatian sebenar mestilah kurang daripada 10% daripada julat pasang surut yang diperhatikan atau 0.1 m, mengikut mana yang lebih besar. Kriteria penerimaan untuk kelajuan dan arah arus masing-masing adalah 20% dan 20 darjah.

Keputusan aras air dan arus yang telah dikalibrasi diringkaskan dalam Jadual 4.1 dan juga graf validasi seperti di dalam Rajah 4.1. Ukuran pemerhatian menunjukkan kesesuaian yang baik dengan hasil simulasi dan berada dalam had yang boleh diterima ($<10\%$). Perbezaan purata antara aras air yang diukur dan yang disimulasikan menunjukkan nilai yang berada di bawah had maksimum kriteria penerimaan.

Jadual 4.1: Penilaian statistik antara *measured* dan *simulated* paras air.

Stesen	Min (m)	RMSE (%)	<i>Index of Agreement</i>
ADCP1	-0.01300	6	0.994
	0.00088		
ADCP2	-0.01300	6	0.994
	0.00210		



Rajah 4.1: Perbandingan antara *measured* dan *simulated* paras air daripada ADCP1 dan ADCP2.

Perbandingan antara kelajuan dan arah arus bagi data simulasi dan ukuran sebenar menunjukkan bahawa nilai perbezaan berada di bawah had penerimaan ($<20\%$ dan 20° masing-masing), dengan indeks kesepakatan (*index of agreement*) sebanyak 0.786 dan 0.672 masing-masing bagi kedua-dua ADCP1 dan ADCP2 seperti yang dinyatakan dalam Jadual 4.2 dan Jadual 4.3. Rajah 4.2 dan Rajah 4.3

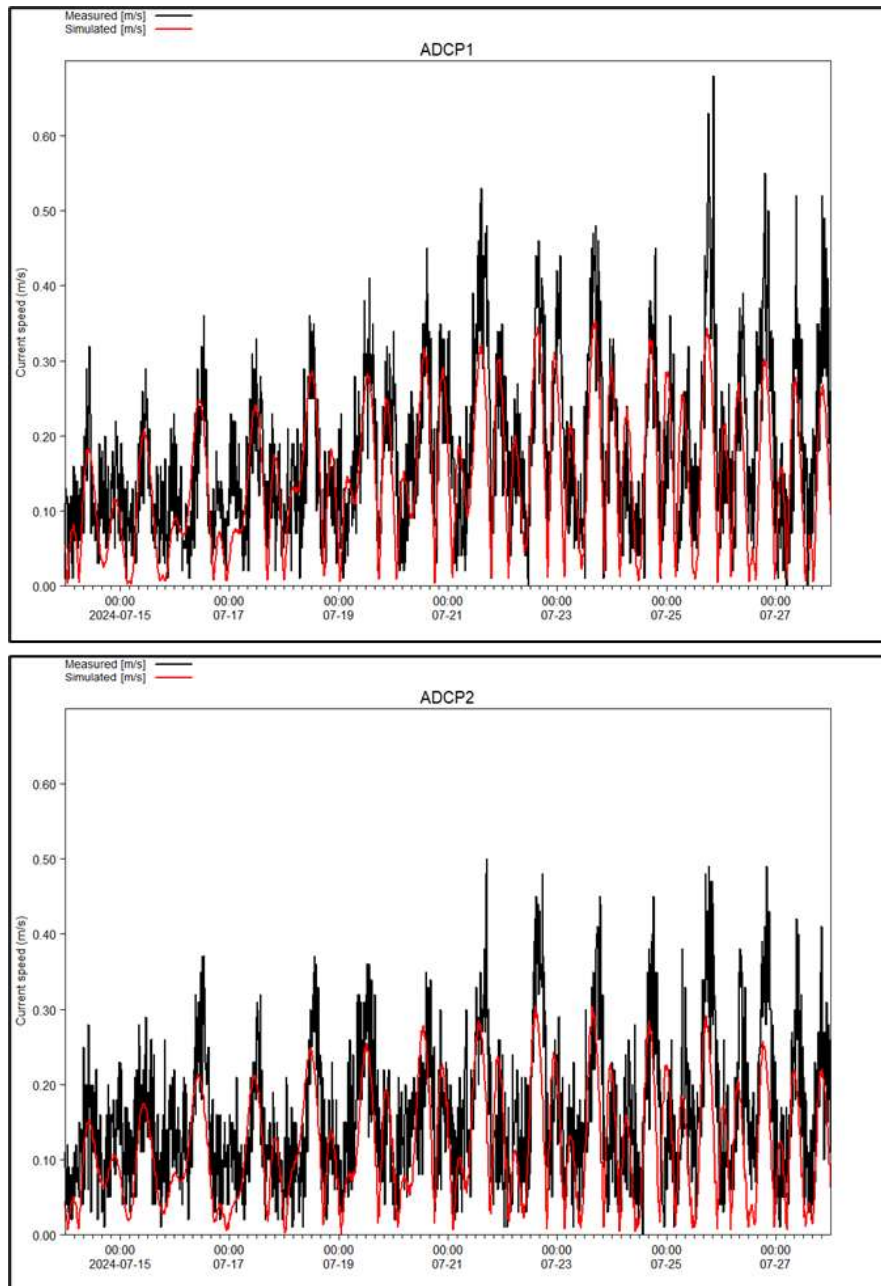
menunjukkan graf perbandingan antara kelajuan arus dan arah arus yang diukur serta disimulasikan di lokasi ADCP1 dan ADCP2.

Jadual 4.2: Penilaian statistik antara *measured* dan *simulated* kelajuan arus.

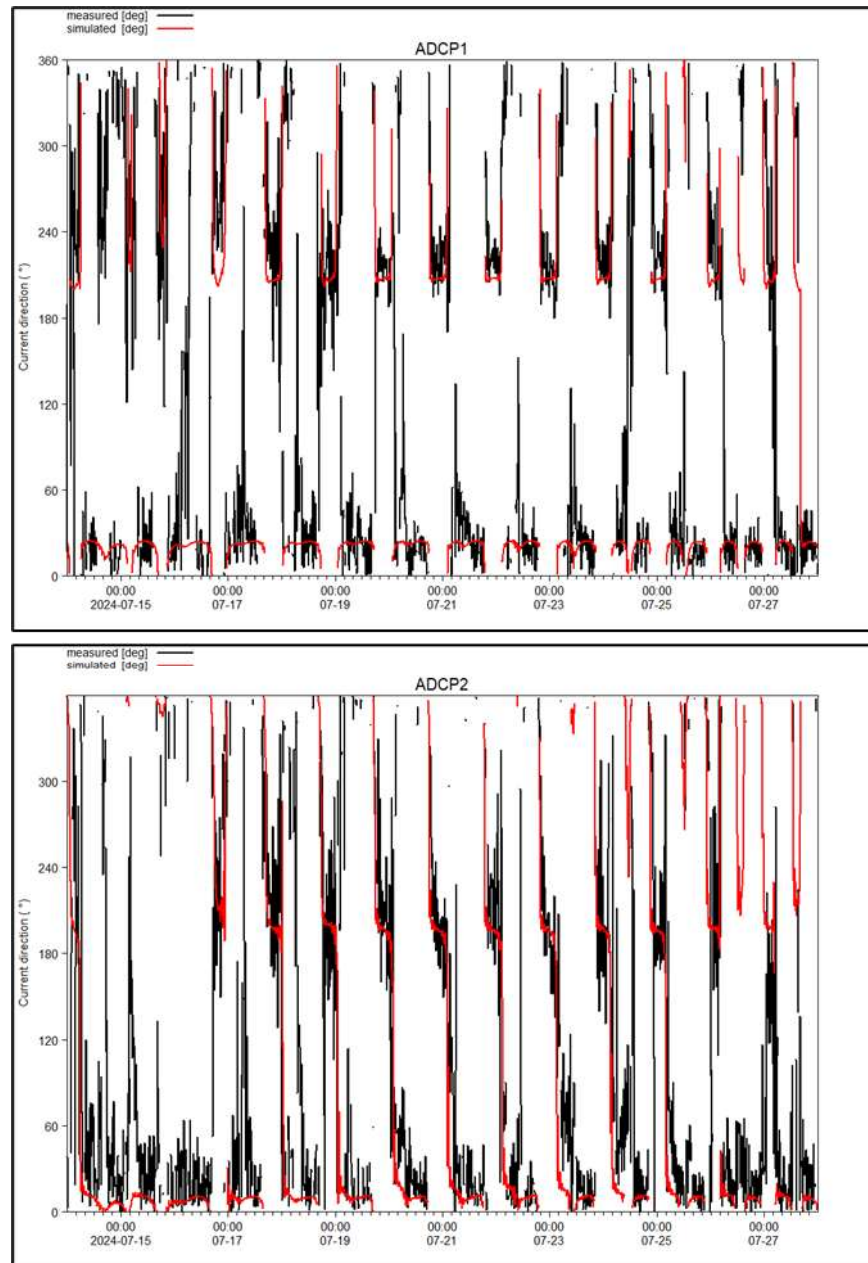
Stesen	Min (m/s)	RMSE (%)	<i>Index of agreement</i>
ADCP1	0.18	12	0.786
	0.15		
ADCP2	0.16	17	0.672
	0.12		

Jadual 4.3: Penilaian statistik antara *measured* dan *simulated* arah arus.

Stesen	Min (°)	RMSE (%)	<i>Index of agreement</i>
ADCP1	143.20	15	0.457
	79.56		
ADCP2	122.95	15	0.443
	90.85		



Rajah 4.2: Perbandingan antara *measured* and *simulated* kelajuan arus daripada ADCP1 and ADCP2.



Rajah 4.3: Perbandingan antara *measured* dan *simulated* arah arus daripada ADCP1 dan ADCP2.

4.1.3 HASIL KEPUTUSAN PEMODELAN HD

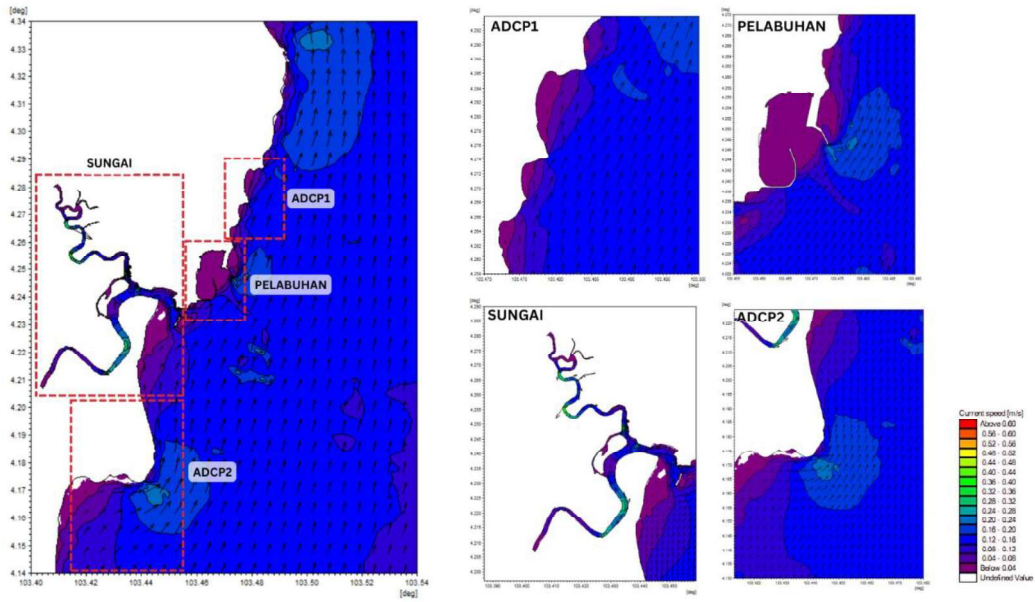
Simulasi pemodelan HD telah dijalankan untuk batimetri sedia ada dan kesan hakisan/pemendapan bagi setiap musim monsun. Keputusan yang diperoleh telah dihuraikan berdasarkan monsun. Analisis impak telah dilakukan bagi menilai perubahan dalam aliran arus dan aras air di sekitar kawasan projek yang dicadangkan.

Maklumat yang dikumpulkan dalam kajian ini menyediakan data asas bagi penilaian impak, termasuk data input untuk pembangunan, kalibrasi, dan pengesahan pemodelan berangka. Setelah pemodelan dibangunkan dan dikalibrasi serta disahkan sepenuhnya menggunakan data lapangan, pemodelan kompleks ini digunakan untuk menilai keadaan dan mengenal pasti punca masalah di kawasan kajian. Langkah mitigasi yang sesuai akan dicadangkan berdasarkan pilihan terbaik untuk mengurangkan kesan yang mungkin timbul.

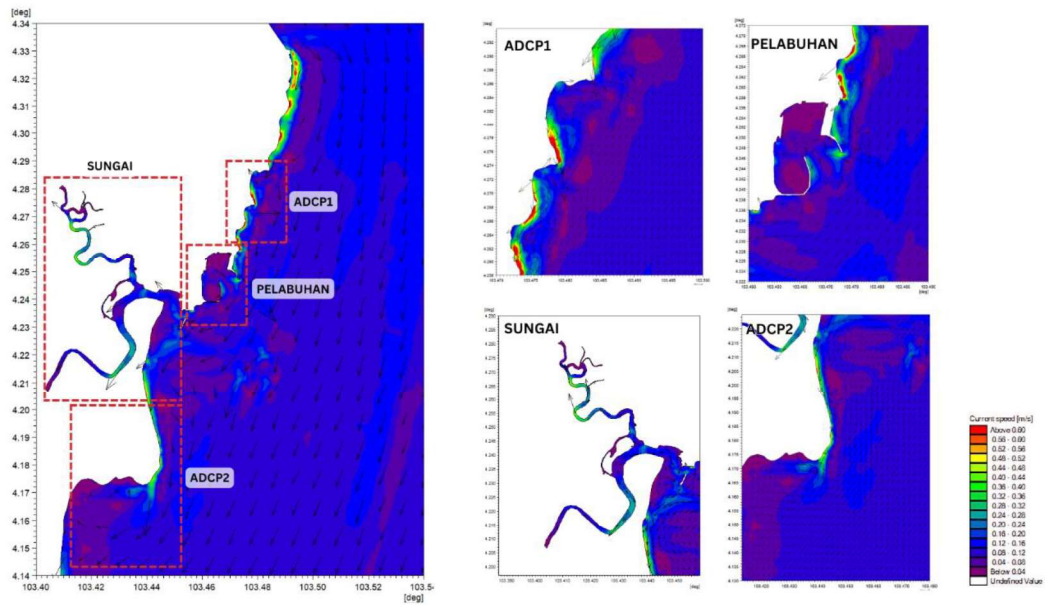
Rajah 4.4 hingga Rajah 4.11 menunjukkan corak aliran arus untuk keadaan sedia ada dan peringkat pengorekan yang diplotkan semasa air pasang bagi setiap senario monsun. Tempoh simulasi bagi pemodelan HD adalah selama satu tahun, bermula dari 01 Oktober 2023 hingga 31 September 2024. Bagi menunjukkan hasil dapatan ketika Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*) pemodelan adalah dari November 2023 – Mac 2024 dan bagi musim Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*) iaitu pada Mei 2024-September 2024.

Hasil pemodelan HD menunjukkan kadar kelajuan arus di kawasan pesisir pantai bagi kedua-dua musim NEM dan SWM dan adalah tiada yang perubahan drastik dalam julat nilai 0.04-0.06 m/s. Hal ini juga menunjukkan kadar kelajuan arus di sekitar Pelabuhan Kemaman adalah sangat minimal dalam julat nilai 0.04-0.20 m/s bagi kedua-dua monsun.

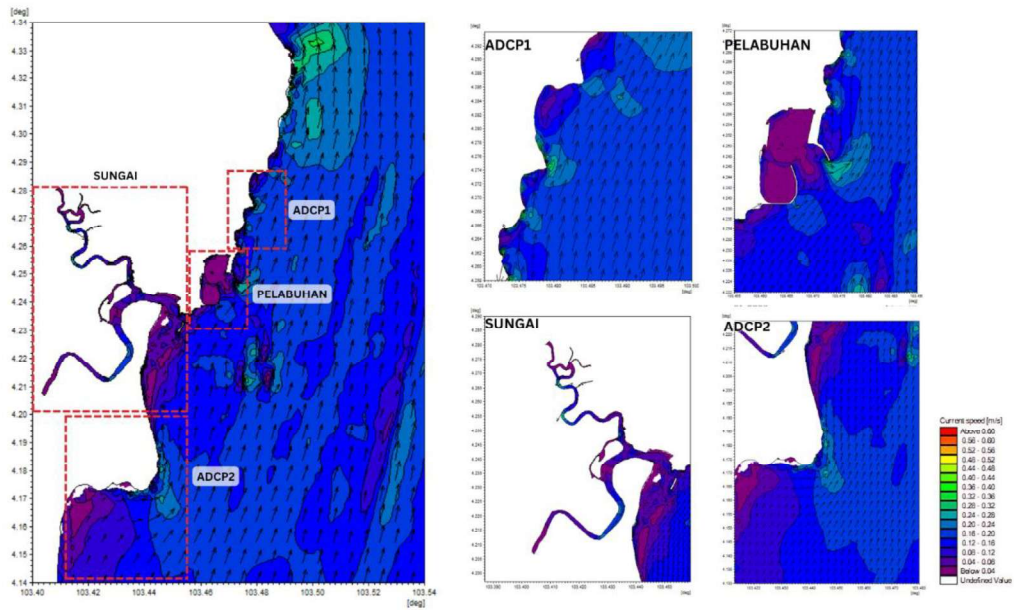
Walubagimanapun, boleh dilihat corak arus ketika surut perbani tinggi bagi NEM agak tinggi arusnya (Rajah 4.5) di susul ketika aras air limpah perbani rendah bagi NEM (Rajah 4.6) berdekatan pantai di kawasan ADCP 1 dan Pelabuhan. Bagi arah arus pula boleh didapati coraknya adalah ke arah utara ketika limpah perbani dan ke arah selatan ketika surut perbani bagi kedua-dua monsun. Di dalam Pelabuhan di dapati arus sangat perlahan kerana kawasan ini terlindung dari dinamik Pantai dan boleh memberi impak kepada pemendapan pasir di dalam kawasan Pelabuhan.



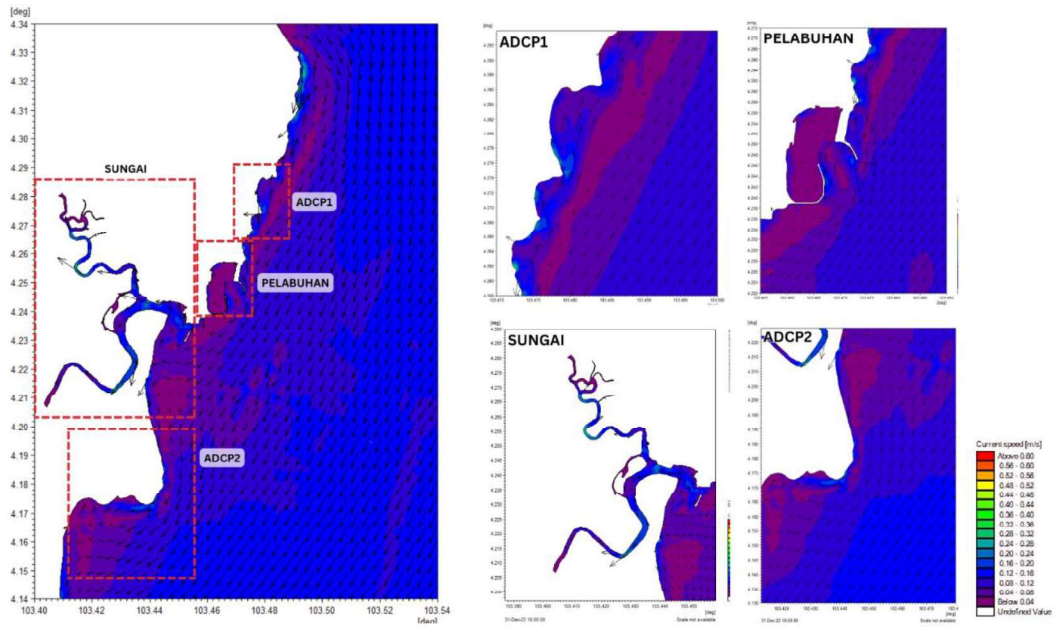
Rajah 4.4: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Limpah Perbani Tinggi bagi Monsun Timur Laut (Northeast Monsoon-NEM).



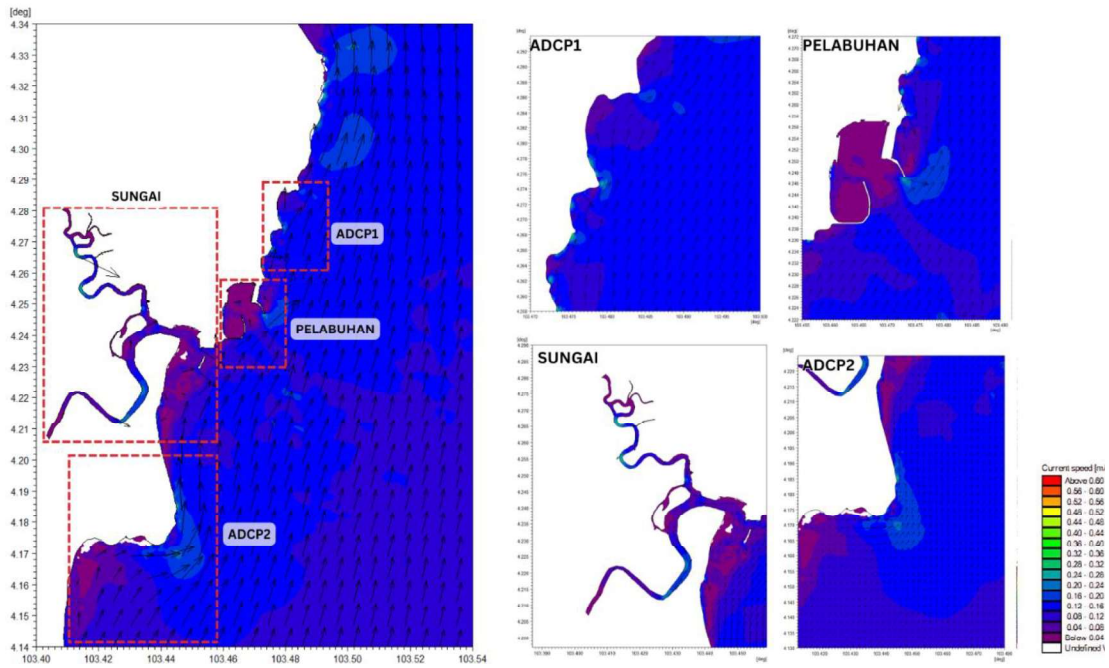
Rajah 4.5: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Surut Perbani Tinggi bagi Monsun Timur Laut (Northeast Monsoon-NEM).



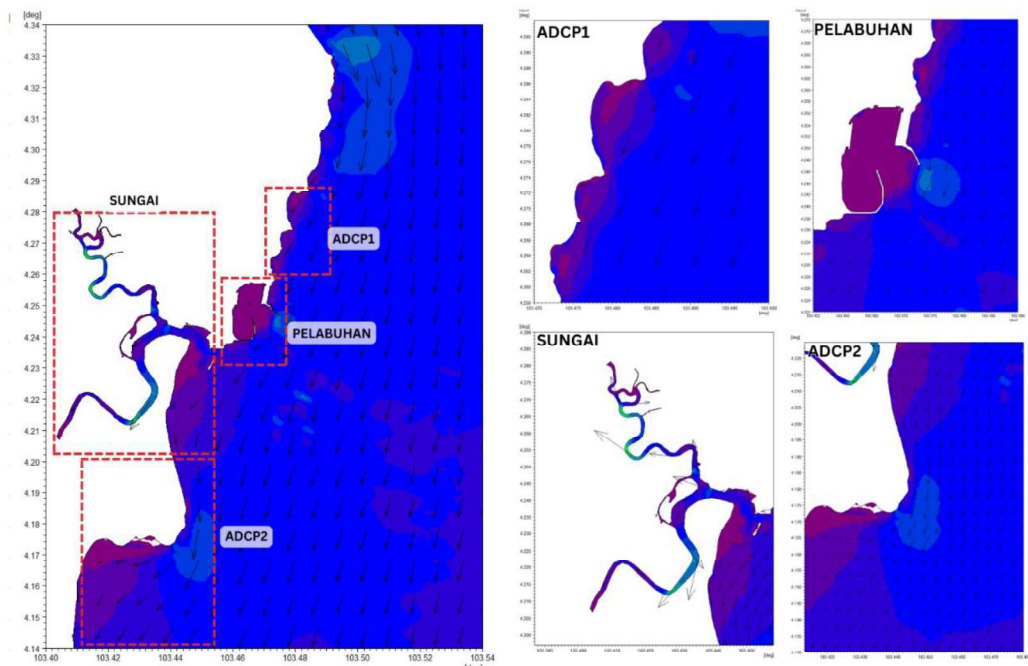
Rajah 4.6: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Limpah Perbani Rendah bagi Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



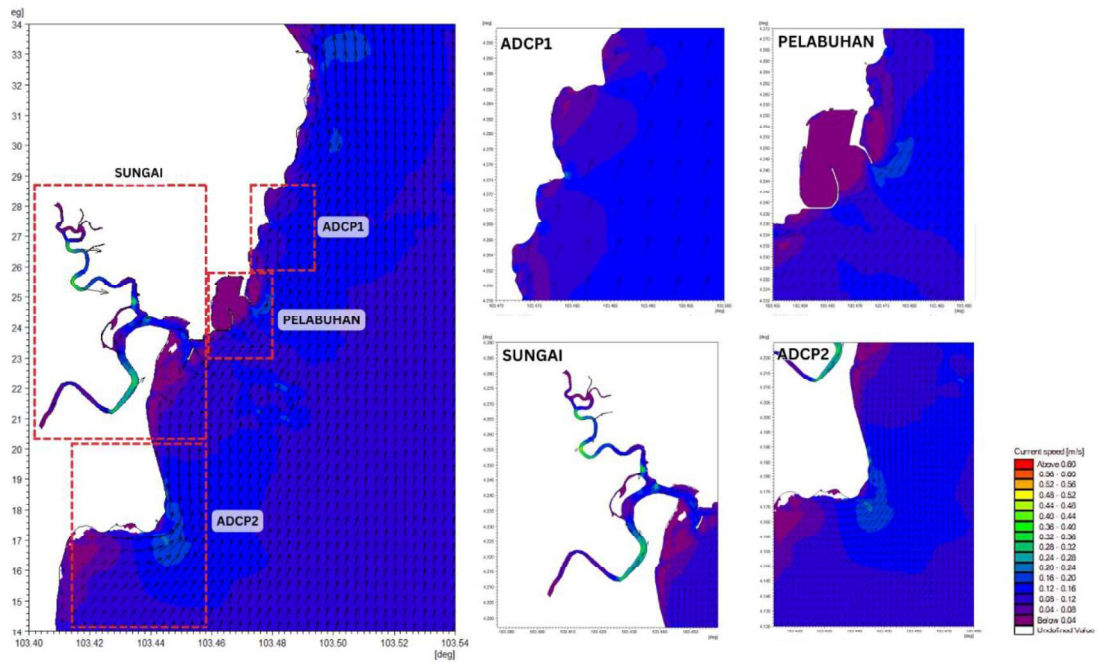
Rajah 4.7: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Surut Perbani Rendah bagi Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



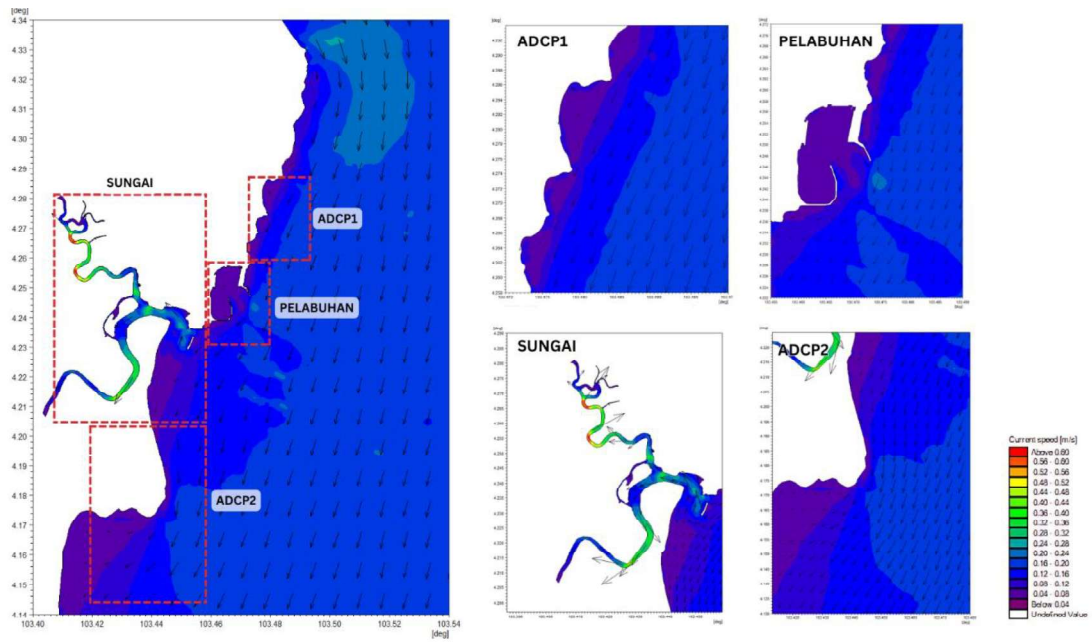
Rajah 4.8: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Limpah Perbani Tinggi bagi Monsun Barat Daya (Southwest Monsoon-SWM).



Rajah 4.9: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Surut Perbani Tinggi bagi Monsun Barat Daya (Southwest Monsoon-SWM).



Rajah 4.10: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Limpah Perbani Rendah bagi Monsun Barat Daya (Southwest Monsoon-SWM).



Rajah 4.11: Plot Medan Arus Semasa Aras Air Surut Perbani Rendah bagi Monsun Barat Daya (Southwest Monsoon-SWM).

4.2 PEMODELAN GELOMBANG SPEKTRAL OMBAK (*SPECTRAL WAVE-SW*)

Pemodelan SW digunakan untuk menukarkan gelombang ombak luar pesisir pantai kepada persekitaran pesisir pantai. Pemodelan ini mengambil kira kesan pembiasan (*refraction*) dan pemampatan (*shoaling*) akibat perubahan kedalaman, pembentukan gelombang akibat angin sekitaran, pengaruh penyebaran arah (*directional spreading*), serta kehilangan tenaga akibat pemecahan ombak dan geseran dasar laut. Input utama untuk model ini termasuk batimetri tapak projek, keadaan sempadan gelombang ombak dan data angin.

Pemodelan ini menghasilkan output parameter gelombang ombak secara *integral* dan digunakan untuk menilai keadaan gelombang di kawasan kajian serta kesan daripada kerja-kerja pembangunan yang dicadangkan terhadap keadaan gelombang di kawasan perairan Pelabuhan Kemaman. Selain itu, output pemodelan ini juga akan mempengaruhi arus yang didorong oleh gelombang yang seterusnya memberi kesan terhadap pengangkutan sedimen di kawasan sekitar. Pemodelan ini disimulasikan berdasarkan ketinggian dan arah gelombang ombak yang berkaitan supaya dapat merangkumi keseluruhan tapak projek.

Tempoh simulasi bagi pemodelan SW adalah selama satu tahun, bermula dari 01 Oktober 2023 hingga 31 September 2024, bermula Monsun Timur Laut (November 2023 – Mac 2024) sehingga musim Monsun Barat Daya (Mei 2024-September 2024).

4.2.1 KEADAAN SUMBER PEMODELAN SW

Keadaan sumber gelombang telah dipilih berdasarkan analisis siri masa gelombang luar pesisir selama 10 tahun yang diperoleh daripada data ECMWF. Dari analisis ini, beberapa keadaan gelombang telah dipilih untuk mewakili gelombang bagi musim Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*) dan Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*).

Secara umum, pemodelan gelombang dijalankan seperti berikut, program ramalan (*hindcasting*) gelombang digunakan untuk mensimulasikan pembentukan gelombang luar pesisir berdasarkan keadaan angin. Melalui analisis iklim gelombang luar pesisir,

statistik tahunan gelombang diperoleh, dan analisis nilai ekstrem dilakukan untuk menentukan gelombang yang sepadan dengan tempoh ulang kajian tertentu.

Perubahan gelombang luar pesisir semasa menghampiri kawasan pesisir, iaitu akibat fenomena pembiasan (*refraction*) dan pemampatan (*shoaling*), dimodelkan menggunakan MIKE 21 SW. Pemodelan ini mengambil kira kesan pembiasan dan pemampatan akibat perubahan kedalaman, pembentukan gelombang tempatan akibat angin, serta kehilangan tenaga akibat geseran dasar laut dan pemecahan ombak. Menggunakan keadaan gelombang luar pesisir yang dipilih, MIKE 21 SW digunakan untuk menentukan keadaan gelombang pesisir yang direka bentuk bagi struktur yang dicadangkan.

Pemodelan bagi simulasi SW telah disediakan berdasarkan tiga sempadan, menggunakan ketinggian gelombang yang diperoleh daripada analisis gelombang. Siri masa yang berubah mengikut masa dan domain bagi data angin digunakan untuk setiap senario sebagai parameter input bagi simulasi pemodelan gelombang.

Syarat sempadan dalam pemodelan ini diwakili oleh:

- i) Ketinggian gelombang signifikan (H_{mo})
- ii) Arah gelombang purata (MWD)
- iii) Tempoh gelombang purata (T_p)
- iv) Indeks penyebaran arah (n)

Parameter pemodelan bagi simulasi gelombang spektral termasuk:

- i) Geseran dasar (parameter kekasaran *Nikuradse*, kn) = 4 mm
- ii) Parameter pemecahan gelombang, $\gamma = 0.8$, $\alpha = 1.0$

Nilai kekasaran dasar dan parameter pemecahan gelombang memainkan peranan penting di zon ombak pecah (*surf zone*). Parameter berkaitan dengan perubahan gelombang spektral dalam kawasan pemodelan dikekalkan pada nilai lalai (*default*) yang telah terbukti berkesan dalam kajian sebelumnya.

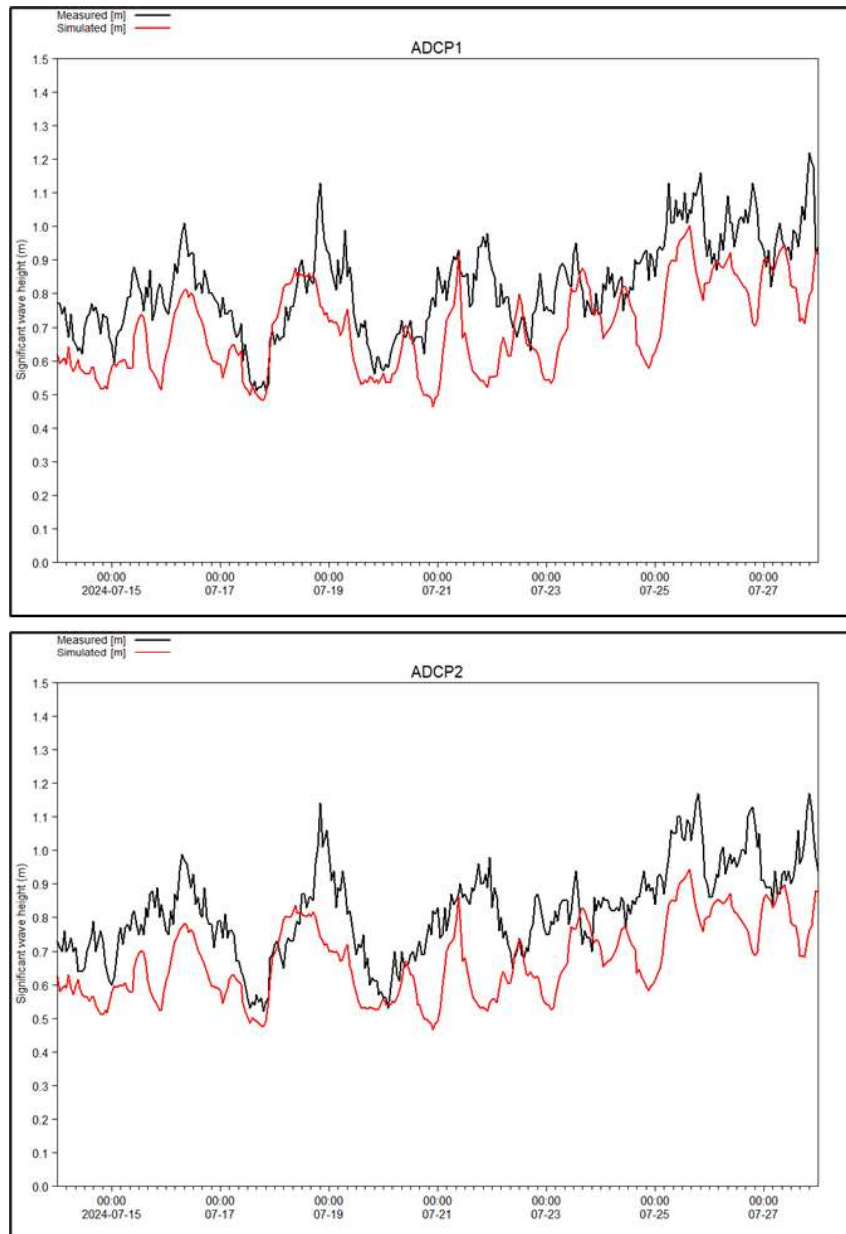
4.1.2 KALIBRASI DAN PENGESAHAN PEMODELAN SW

Kalibrasi pemodelan telah dijalankan berdasarkan kriteria yang ditetapkan oleh pelbagai kajian sebelum ini. Menurut kajian Mirzaei et al. (2013) pemodelan gelombang perlulah mengikut corak ketinggian ombak seperti di lapangan. Walaubagaimanapun, bagi pemodelan SW tidak ditetapkan di dalam garis panduan JPS. Oleh itu, laporan ini memberi hasil dapatan gelombang ombak yang dikumpulkan daripada tinjauan lapangan menggunakan alat ADCP1 dan ADCP2.

Keputusan ketinggian gelombang signifikan yang telah dikalibrasi diringkaskan dalam Jadual 4.4 dan disimulasi di lokasi ADCP1 dan ADCP2. Perbandingan antara ketinggian gelombang signifikan bagi data simulasi dan ukuran sebenar menunjukkan indeks kesepakatan (index of agreement) sebanyak 0.457 dan 0.443 masing-masing bagi kedua-dua ADCP1 dan ADCP2. Rajah 4.12 menunjukkan graf perbandingan yang memberi kesamaan corak antara ketinggian gelombang signifikan yang diukur serta disimulasikan di lokasi ADCP1 dan ADCP2

Jadual 4.4: Penilaian statistik antara *measured* dan *simulated* gelombang.

Stesen	Min (°)	RMSE (%)	Index of agreement
ADCP1	143.20	15	0.457
	79.56		
ADCP2	122.95	15	0.443



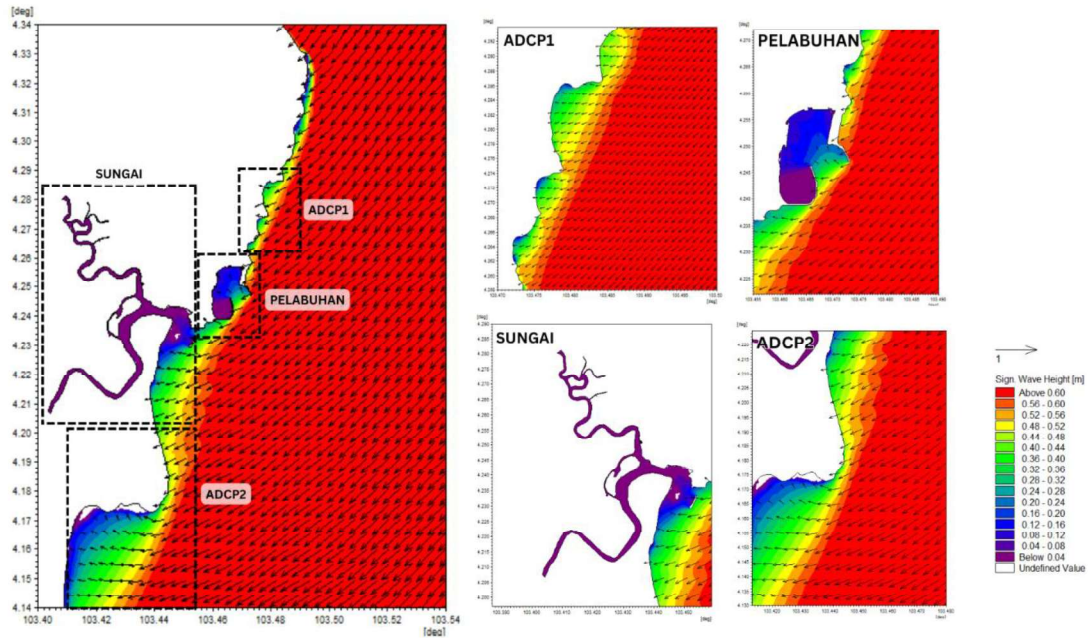
Rajah 4.12: Perbandingan antara measured dan simulated ketinggian gelombang signifikan daripada ADCP1 dan ADCP2.

4.2.2 HASIL KEPUTUSAN PEMODELAN SW

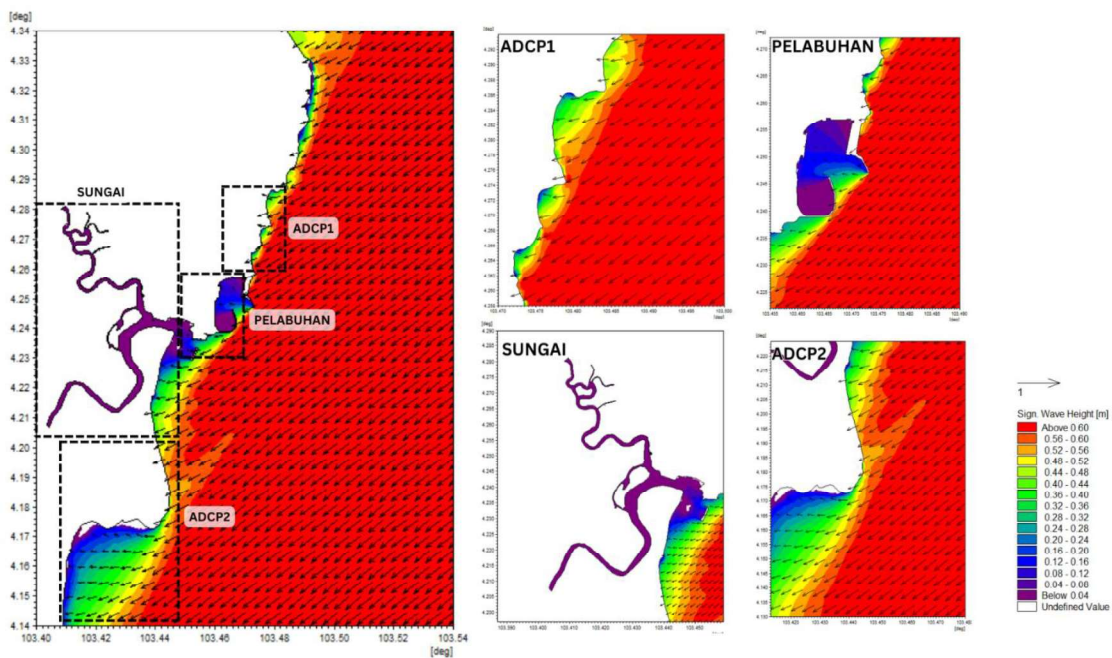
Simulasi model telah mengambil kira arah gelombang luar pesisir yang menghampiri kawasan kajian dari 0°, 90°, dan 270°, dengan keadaan gelombang reka bentuk yang sepadan dan diselarikan ke atas batimetri pesisir pantai. Arah gelombang ombak yang dipilih secara umum mewakili gelombang dominan bagi setiap musim monsun. Kedua-dua senario simulasi pemodelan SW bagi NEM dan SWM telah berjaya dijalankan menggunakan pemodelan MIKE 21 SW. Analisis hasil model SW dibentangkan dalam Rajah 4.13 – Rajah 4.20.

Hasil dapatan menunjukkan arah gelombang lebih dominan ke Selatan dan ketinggian gelombang yang kuat pada musim NEM dan ke arah utara pada musim SWM. Walaubagaimanapun, tiada banyak corak perbezaan kekuatan gelombang pada air limpah perbani tinggi dan air surut perbani tinggi yang menunjukkan hampir sama kecuali di dalam kawasan Pelabuhan dan Sungai. Ini kerana, kawasan ini dilindungi oleh struktur pemecah ombak. Walaubagaimana pun ia menunjukkan perlahan ketika air limpah perbani rendah dan air surut perbani rendah.

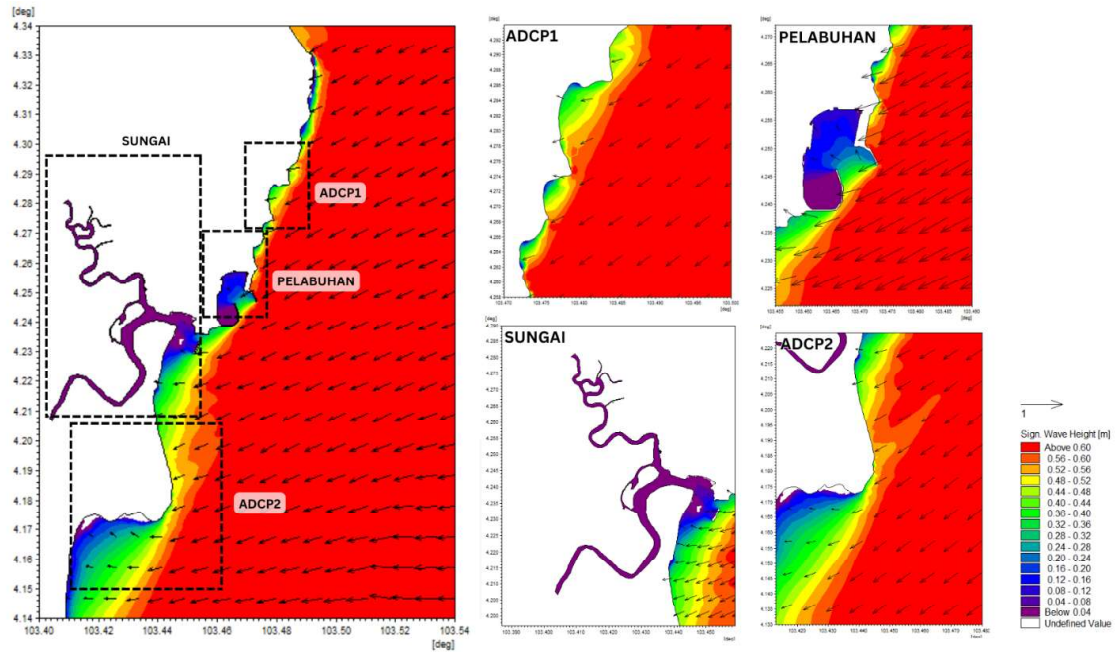
Dari kesan ketinggian gelombang boleh memberi kesan hakisan di kawasan ADCP 1 (Pantai Utara) yang mana lebih menerima impak dan dinamik semasa musim NEM berbanding dengan kawasan ADCP 2 (Pantai Selatan) yang mana lebih terlindung terutama berdekatan dengan muara Sungai. Tetapi di penghujung Pantai Selatan iaitu di kawasan rekreasi Pantai Teluk Mak Nik menunjukkan dinamik gelombang dapat dilihat sedikit peningkatan.



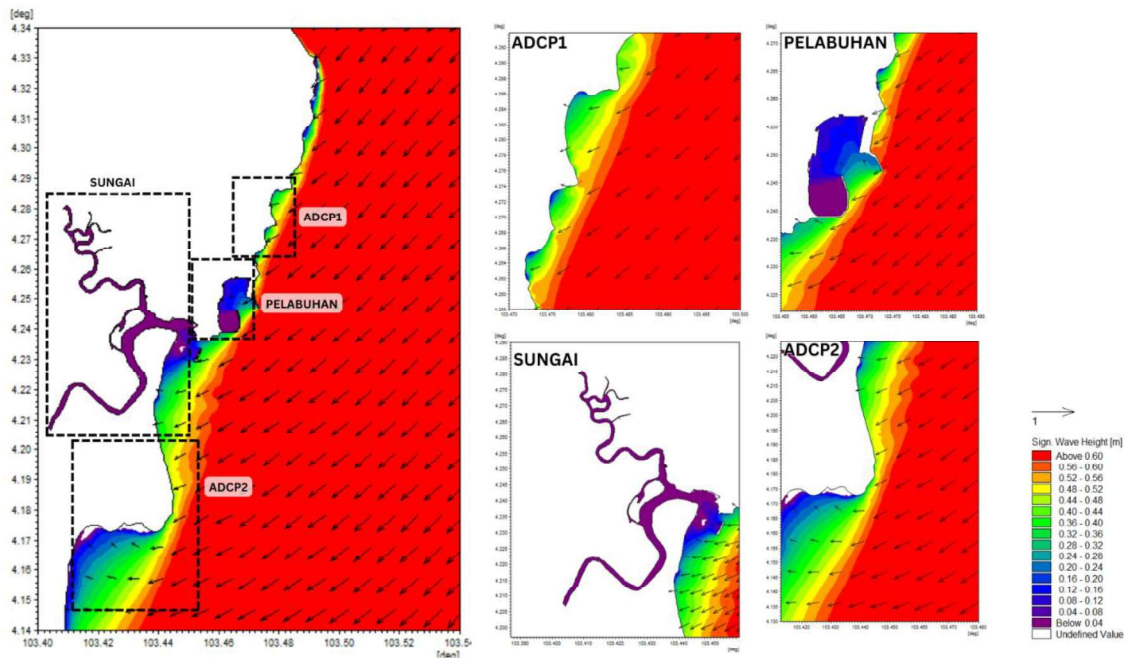
Rajah 4.13: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Limpah Perbani tinggi bagi Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



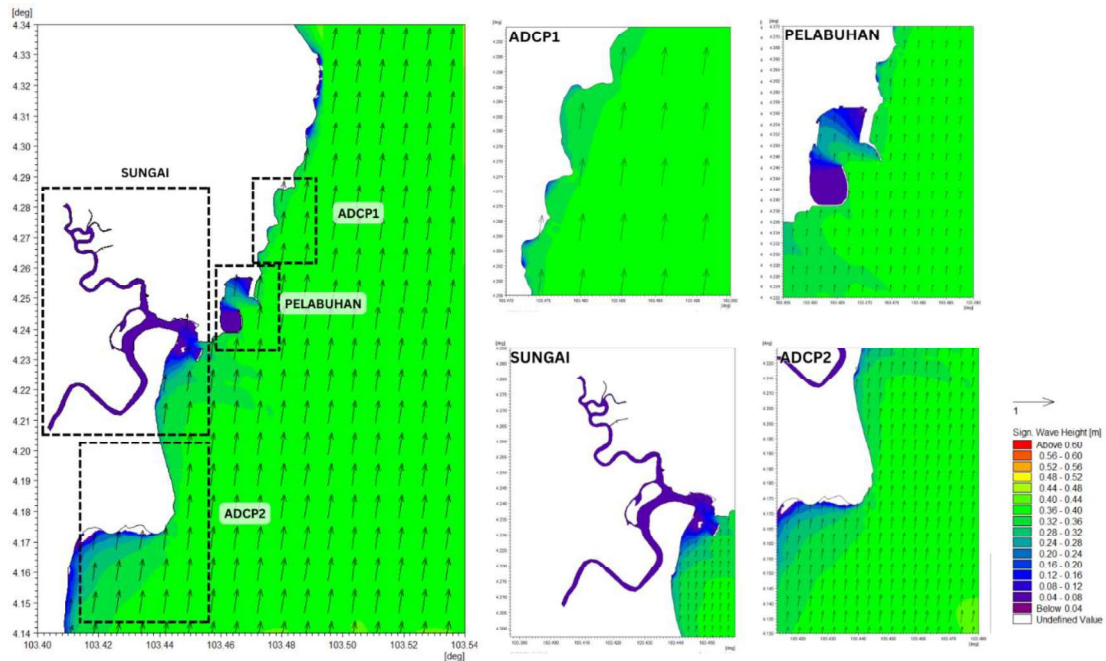
Rajah 4.14: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Surut Perbani Tinggi bagi Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



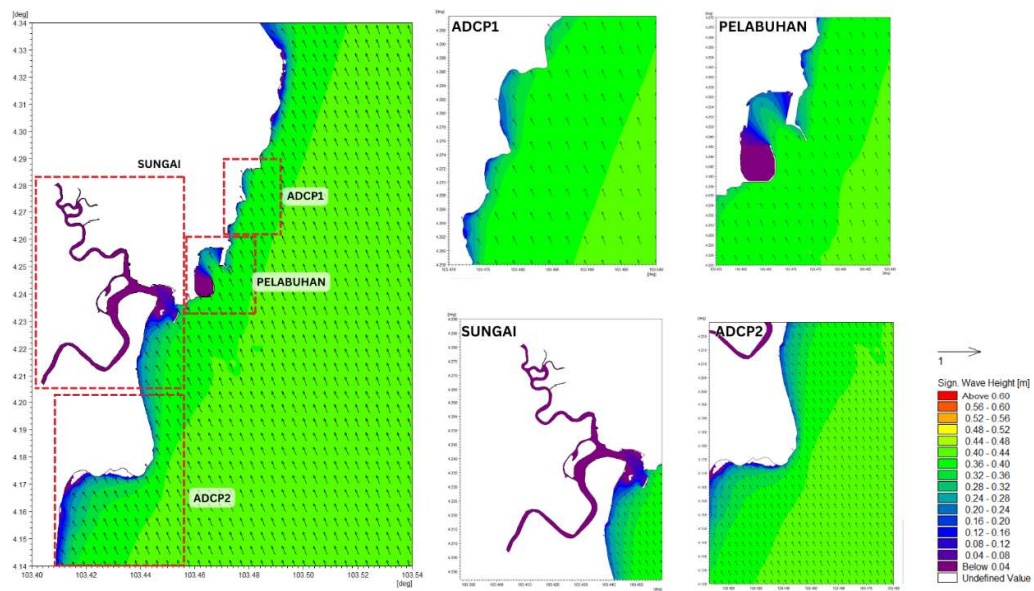
Rajah 4.15: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Limpah Perbani Rendah bagi Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



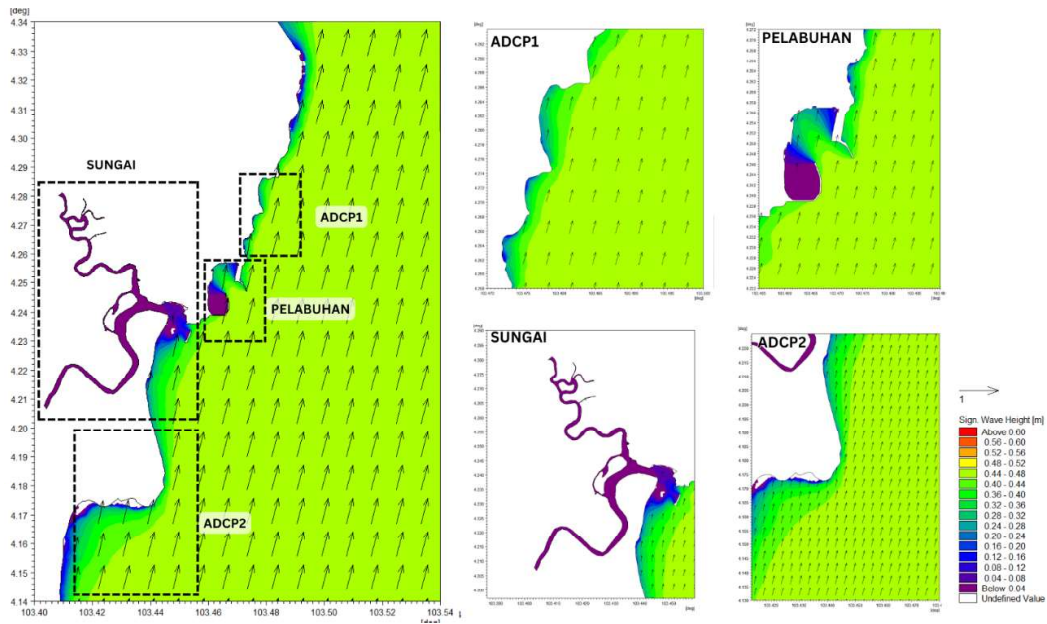
Rajah 4.16: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Surut Perbani Rendah bagi Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



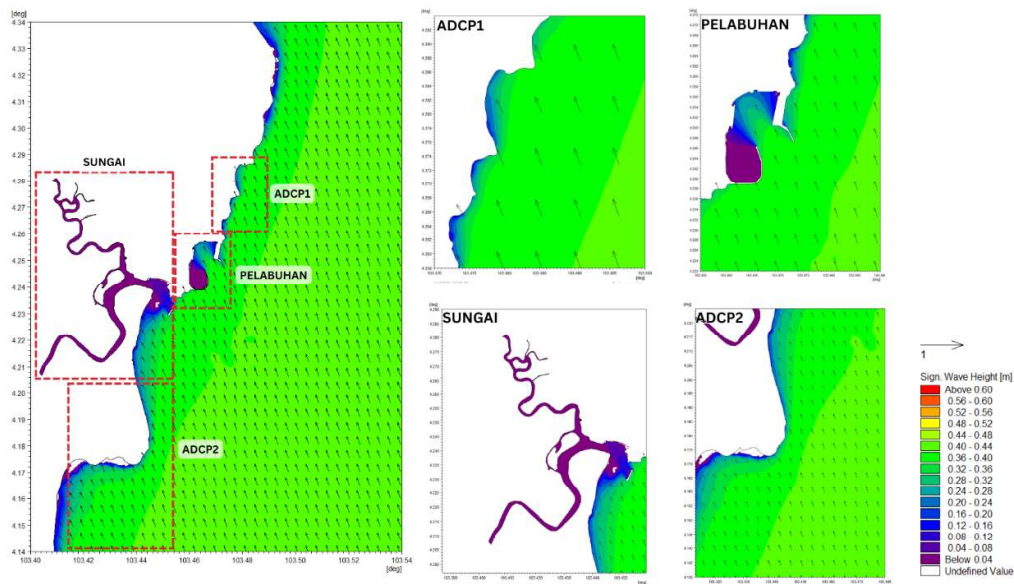
Rajah 4.17: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Limpah Perbani tinggi bagi Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*).



Rajah 4.18: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Surut Perbani Tinggi bagi Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*).



Rajah 4.19: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Limpah Perbani Rendah bagi Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*).



Rajah 4.20: Plot Ketinggian Gelombang Signifikan Semasa Air Surut Perbani Rendah bagi Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*).

4.3 PEMODELAN PENGANGKUTAN LUMPUR (*MUD TRANSPORT-MT*)

Partikel halus (*finer particle*) secara amnya akan tersebar ke dalam bahagian air semasa aktiviti pengorekan, sama ada melalui proses pengambilan pasir itu sendiri atau akibat tindakan arus dan gelombang. Partikel halus ini boleh diangkut jauh dari kawasan projek oleh arus dan tersebar akibat pergerakan gelombang ombak serta pergolakan air. Salah satu objektif utama kajian ini adalah untuk menentukan sejauh mana penyebaran sedimen halus di kawasan projek menggunakan model matematik. Oleh itu, kajian ini dijalankan dengan menggunakan MIKE 21 MT.

MIKE 21 MT ialah pemodelan pengangkutan lumpur dua dimensi yang digunakan untuk mengkaji pergerakan, pemendapan, hakisan, dan pemadatan sedimen halus (lumpur). Persediaan pemodelan ini berdasarkan maklumat yang diperoleh daripada kajian terdahulu, laporan sebelumnya, tinjauan lapangan, serta rujukan saintifik yang berkaitan.

Bahagian ini akan mendokumentasikan keputusan pemodelan yang berkaitan dengan pergerakan sedimen terampai, yang secara amnya digunakan untuk menilai potensi impak terhadap keadaan persekitaran. Proses pemendapan dan hakisan dalam kawasan projek boleh diterangkan seperti berikut:

- i) Pengangkutan dan resuspensi oleh arus pasang surut di mana bahan yang telah mendap di dasar laut boleh diangkut semula dan akan mendap di kawasan yang mempunyai arus lemah.
- ii) Pembentukan lumpur bendalir (*fluid mud*) yang berlaku apabila pemendapan sedimen terampai berlaku dengan cepat semasa keadaan air tenang (*slack water*), di mana lumpur bendalir ini kemudiannya boleh mengalir ke kawasan yang lebih dalam.
- iii) Pemendapan lumpur dan pemadatan kelodak yang lemah pada cerun sisi cetek yang kemudiannya boleh mengalir ke dasar terusan atau kawasan lebih dalam.
- iv) Pemadatan sedimen yang terkumpul di dasar laut, membentuk lapisan sedimen yang lebih stabil dari semasa ke semasa

4.3.1 PERSEDIAAN DAN SIMULASI PEMODELAN MT

Pemodelan MIKE 21 MT telah digunakan untuk mensimulasikan penyebaran sedimen halus yang dihasilkan daripada aktiviti pengorekan. Model ini beroperasi secara interaktif dengan Model HD yang telah dibincangkan dalam bahagian sebelumnya. Pengiraan pengangkutan lumpur, pemendapan, serta hakisan pada dasar laut berlapis memerlukan beberapa parameter input yang perlu ditentukan dalam modul MIKE 21 MT, termasuk:

- i) Kepekatan awal dan sempadan sedimen terampai
- ii) Pekali penyebaran
- iii) Kelajuan pemendapan sedimen serta tegasan ricih kritikal untuk pemendapan
- iv) Tegasan daya ricih kritikal untuk hakisan, ketumpatan kering, serta formulasi kadar hakisan bagi setiap lapisan dasar laut yang bersifat jelekit.

Penyebaran sedimen halus daripada aktiviti yang dicadangkan telah dinilai menggunakan pemodelan MT secara terperinci untuk tempoh Senario NEM dan SWM. Pemodelan ini telah disediakan bagi mensimulasikan kelebihan kepekatan sedimen (kepekatan tambahan berbanding kepekatan semula jadi) yang berpunca daripada aktiviti pengorekan, bagi memudahkan pengenalpastian impak yang berpotensi terhadap persekitaran. Dalam kajian ini, potensi tumpahan daripada penggantungan sedimen semasa proses pengorekan telah dianggarkan. Berdasarkan parameter, simulasi MT telah ditetapkan seperti yang diringkaskan dalam Jadual 4.5.

Pemodelan telah disimulasikan untuk setiap musim monsun bagi mendapatkan gambaran menyeluruh terhadap variasi impak dalam tempoh berlainan. Jadual 4.6 menunjukkan parameter utama yang digunakan dalam penyediaan MIKE 21 MT, di mana nilai yang dipilih berdasarkan tetapan simulasi dan purata dari data lapangan yang menunjukkan persetujuan yang boleh diterima daripada hasil kalibrasi dengan data pemerhatian sebenar.

Jadual 4.5: Parameter Utama dalam Persediaan Pemodelan MT

Parameter	Nilai
Halaju Pemendapan (<i>Settling Velocity</i>)	Fraction 1: 0.0374
Kekasaran Dasar (<i>Bed Roughness</i>)	0.0007525 m
Kepekatan Keadaan Awal (<i>Initial condition concentration default</i>)	0.004 kg/m ³

Jadual 4.6: Tetapan Spesifikasi bagi Pemodelan MT

Parameter	Keterangan
Diameter Purata Median Partikel (<i>Average median particle diameter</i>)	0.3000 mm
Jumlah Pepejal Terampai Purata (<i>Average TSS</i>)	1.00 mg/L
Halaju Pemendapan (<i>Settling velocity</i>)	0.0374 m/s

4.3.2 HASIL KEPUTUSAN PEMODELAN MT

Bahagian ini membentangkan hasil yang diperoleh daripada pemodelan *sediment dispersion* yang dijalankan secara terperinci berdasarkan andaian yang telah ditetapkan bagi aktiviti pengorekan pasir yang dicadangkan. Keputusan yang diperoleh menunjukkan sejauh mana penyebaran sedimen terampai (*sediment disperse*) berlaku semasa operasi pengorekan bagi setiap musim monsun. Total SSC merangkumi semua pecahan sedimen terampai (termasuk lumpur halus dan kasar) yang menggambarkan kepekatan sedimen yang dibawa oleh arus.

Hasil pemodelan MT pada NEM menunjukkan penyebaran sedimen lebih meluas ke arah laut terbuka. Selain itu menunjukkan arus yang lebih kuat membawa sedimen ke kawasan perairan litoral sehingga kepekatan sedimen yang tinggi iaitu $>0.040 \text{ kg/m}^3$ (Rajah 4.21). Kepekatan sedimen yang tinggi ini tertumpu di kawasan muara sungai yang mana menunjukkan pengaruh aliran keluar dari Sungai juga memainkan peranan terhadap penyebaran sedimen. Di dalam Pelabuhan Kemaman juga menunjukkan hasil dapatan sebanyak $>0.040 \text{ kg/m}^3$ di mana ia menunjukkan pemendapan berlaku sehingga menunjukkan kepekatan sedimen yang tinggi di kawasan tersebut.

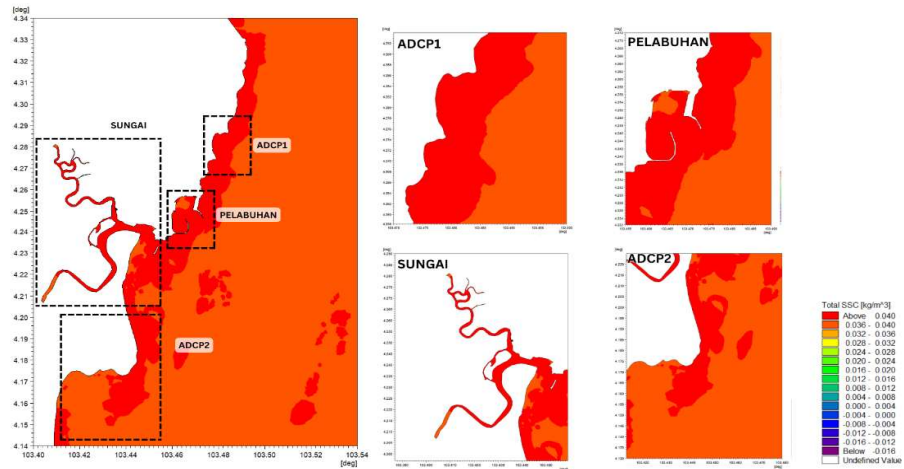
Kawasan ADCP1 dan ADCP2 menunjukkan kepekatan sederhana ($0.032 - 0.036 \text{ kg/m}^3$), di mana ia mudah tersebar dari pengangkutan sediment kerana tiada pemecah ombak di kawasan tersebut untuk menghalang segala pergerakan. NEM terkenal dengan arus yang lebih kuat dan dominan ke arah barat daya. Ini menyebabkan penyebaran sedimen lebih jauh dari kawasan pesisir ke laut terbuka, mengurangkan potensi pemendapan di sekitar pantai tetapi meningkatkan penyebaran ke kawasan perairan dalam. Selain itu, semasa NEM, penyebaran sedimen yang luas ke laut terbuka mungkin kurang memberi kesan kepada operasi pelabuhan, tetapi boleh mempengaruhi ekosistem marin di perairan dalam.

Pada SWM Model MT, Rajah 4.22 menunjukkan sedimen lebih tertumpu berhampiran kawasan pesisir iaitu di kawasan Sungai dan ADCP 2 (Selatan) serta melangkaui kawasan litoral sehingga menunjukkan kepekatan tinggi ($>0.040 \text{ kg/m}^3$). Hal ini boleh membawa kesan jangka panjang seperti keadaan cetek di muara sungai dan perubahan morfologi pantai akibat pemendapan sedimen yang lebih tinggi di kawasan pesisir.

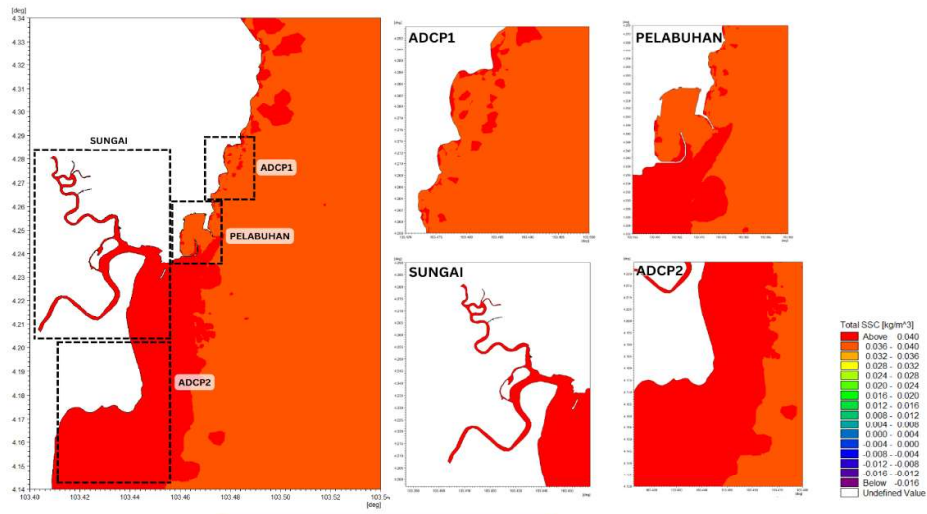
Manakala di dalam kawasan Pelabuhan dan ADCP 1 (Utara) tidak menunjukkan penyebaran kepekatan yang tinggi semasa SWM. Walaubagaimanapun, arus lebih perlahan dengan dominasi arah dari barat daya ke timur laut di kawasan ini. Oleh itu, sedimen lebih terkumpul di luar kawasan Pelabuhan di mana berkemungkinan meningkatkan pemendapan di kawasan tersebut. Hal ini boleh membawa kesan jangka panjang seperti keadaan cetek akibat pemendapan sedimen di laluan masuk ke Pelabuhan (Rujuk Rajah 4.2-Sungai/Pelabuhan).

Tambahan, langkah mitigasi seperti pemantauan berkala dan aktiviti pengorekan tambahan bagi memastikan laluan navigasi kekal selamat. Kesannya, terhadap hakisan juga mungkin lebih ketara semasa SWM di kawasan ADCP 2 akibat pengorekan tambahan dan kurang sumber pasir di kawasan ini.

Secara keseluruhannya, NEM menghasilkan penyebaran sedimen yang lebih jauh ke laut terbuka, manakala SWM menyebabkan sedimen lebih tertumpu di kawasan Selatan pesisir Pantai, di hadapan Pelabuhan Kemaman dan muara sungai. Perbezaan ini perlu diambil kira dalam perancangan pengorekan serta strategi mitigasi untuk mengurangkan impak kepada operasi pelabuhan dan ekosistem pesisir pantai.



Rajah 4.21: Jumlah Kepekatan Sedimen Terapai (SSC Maksimum) Semasa Monsun Timur Laut (*Northeast Monsoon-NEM*).



Rajah 4.22: Jumlah Kepekatan Sedimen Terapai (SSC Maksimum) Semasa Monsun Barat Daya (*Southwest Monsoon-SWM*).

4.4 PERSEDIAAN PEMODELAN PENGANGKUTAN LITORAL DAN GARISAN PANTAI KINETIK (*LITTORAL TRANSPORT AND COASTLINE KINETICS-LITPACK*)

Pemodelan LITPACK telah digunakan untuk menilai impak aktiviti pengorekan terhadap kestabilan pantai serta pergerakan sedimen di sepanjang kawasan pesisir Pelabuhan Kemaman. Input utama yang digunakan dalam model ini termasuk:

- i) Data Batimetri – Profil dasar laut dan pantai di kawasan projek.
- ii) Data Pasang Surut dan Arus – Data hidrodinamik daripada pemodelan HD.
- iii) Data Gelombang Ombak – Data gelombang ombak dari pemodelan SW bagi memahami interaksi gelombang dengan garis pantai.
- iv) Data Sedimen – Saiz butiran dan komposisi sedimen di kawasan pesisir pantai.

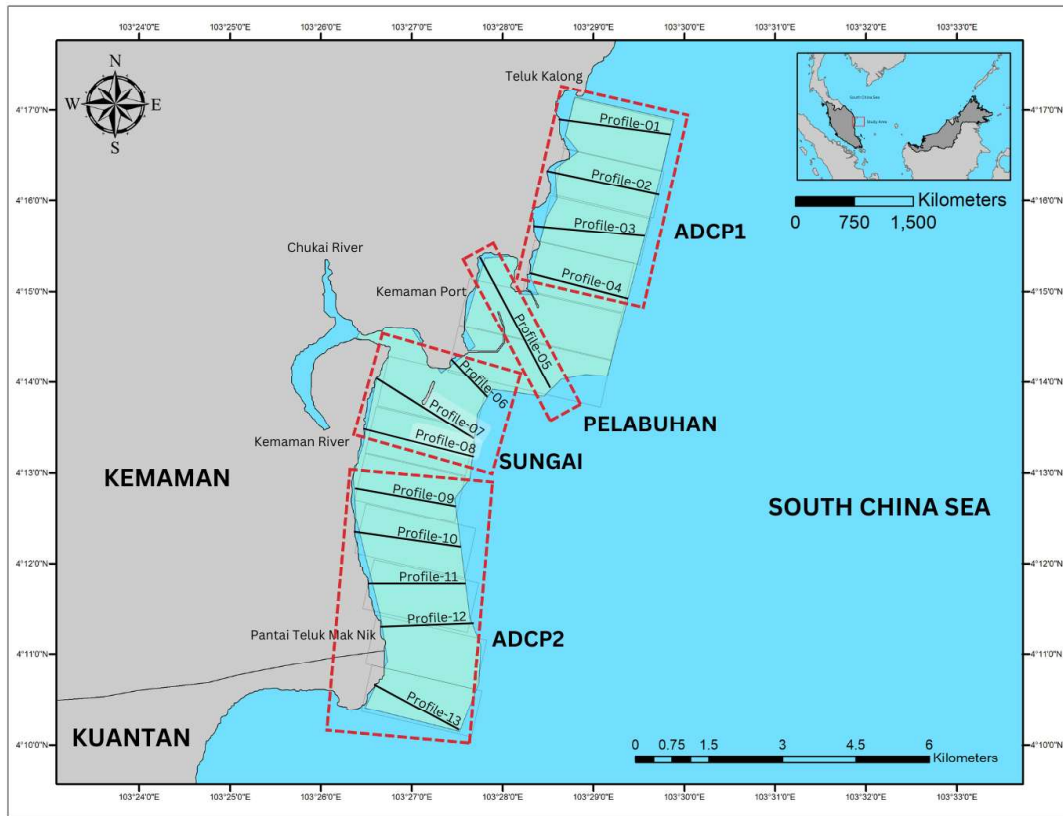
Pemodelan ini dikonfigurasi untuk mensimulasikan pengangkutan sedimen jangka panjang serta menganggarkan kadar hakisan dan pemendapan di sekitar kawasan kajian sebelum dan selepas aktiviti pengorekan pasir.

4.4.1 KALIBRASI DAN PENGESAHAN MODEL LITPACK

Pemodelan LITPACK telah dikalibrasi dan disahkan menggunakan 13 profil pantai yang telah dipilih di sepanjang kawasan kajian di Kemaman. Profil-profil ini mewakili pelbagai keadaan geomorfologi pantai, termasuk zon berhampiran pelabuhan, muara sungai, dan pantai terbuka. Secara terperinci pembahagian 13 profil pantai ini di bahagikan kepada 4 zon dengan jarak 1 kilometer di antara profil di mana ia mudah untuk dikaitkan seperti hasil dapatan pemodelan lain (Jadual 4.7 dan Rajah 4.23).

Jadual 4.7: Pembahagian profil pantai mengikut zon dalam pemodelan LITPACK.

Zone	Profil
ADCP 1	1 sehingga 4
Pelabuhan	5
Sungai	6 sehingga 8
ACDP 2	9 sehingga 13



Rajah 4.23 menunjukkan profil transect 1 hingga 13 pantai yang digunakan untuk kalibrasi model serta kawasan simulasi LITPACK yang merangkumi empat zon kajian.

Jadual 4.8 menunjukkan parameter utama yang digunakan dalam persediaan pemodelan Litpack. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan data medan yang diperoleh daripada:

- i) Profil batimetri kawasan perairan Kemaman dan garis pantai yang diinterpolasi menggunakan ketinggian Google Earth bagi kawasan pesisir pantai
- ii) Data pengangkutan sedimen dari pemodelan hidrodinamik dan gelombang (MIKE 21 HD & SW).
- iii) Profil Transect Litpack adalah dibuat dengan jarak 1km bagi setiap segmen

Jadual 4.8: Parameter Utama dalam pemodelan LITPACK.

Parameter	Nilai
Batimetri (<i>Bathymetry</i>)	Mengikut kawasan kajian
Kekasaran (<i>Roughness</i>)	0.004
Diameter Purata Butiran Sedimen (<i>Mean Grain Diameter</i>)	0.2 mm
Halaju Pemendapan (<i>Fall Velocity</i>)	0.0250 m/s
Penyebaran Geometri (<i>Geometrical Spreading, SQRT(D84/D16)</i>)	1.5

4.4.2 HASIL KEPUTUSAN MODEL LITPACK

Hasil pemodelan LITPACK menunjukkan bahawa aktiviti hakisan/pemendapan boleh memberi kesan kepada pengangkutan sedimen dan kestabilan pantai di kawasan kajian. Oleh itu, perubahan dalam kadar pengangkutan sedimen sepanjang pantai (*longshore sediment transport*) menunjukkan kadar pengangkutan yang lebih tinggi di kawasan dengan arus pesisir yang kuat dan gelombang dominan dari arah Timur Laut.

Berdasarkan 13 profil yang dianalisis, terdapat variasi dalam corak perubahan pantai yang dipengaruhi oleh arus pesisir, gelombang ombak, dan aktiviti pengorekan. Empat zon utama bagi 13 profil ini adalah pada Zon ADCP 1 (pantai utara), Zon Pelabuhan, Zon Sungai dan Zon ADCP 2 (pantai selatan). Jadual 4.9 menunjukkan hasil keputusan netdrift dan arah pergerakan sedimen bagi kesemua 13 profil pantai.

Zon ADCP 1 (pantai utara) menunjukkan Profil 01 – 03 (rajah 4.25) menunjukkan cerun pantai yang lebih curam, dengan pemendapan sedimen yang lebih rendah di kawasan pesisir tetapi terdapat perubahan batimetri yang ketara di kawasan litoral. Walaubagaimanapun, Profil 04 (berdekatan dengan pelabuhan) mempunyai kawasan yang lebih landai, dengan kedalaman batimetri meningkat secara beransur-ansur dari pantai ke arah laut dan tidak menunjukkan perubahan ketara (kurang dinamik) di kawasan litoral. Analisis perubahan sedimen menunjukkan Net drift negatif di Profil 01 - 03 (-65,520 hingga -16,960 m³/tahun) menunjukkan kehilangan sedimen ke arah selatan, yang boleh meningkatkan kadar hakisan di kawasan ini. Walaubagaimanapun Profile 04 menunjukkan kawasan ini muali stabil dan equilibrium yang mana nilai positif iaitu 10 m³/tahun. Selain itu, pergerakan arah

pengangkutan sedimen ke arah utara boleh menstabilkan kawasan Pantai utara lebih stabil dari sumber pasir ke zon ini.

Kesimpulannya, di **Zon ADCP 1 (pantai utara)**, mengalami hakisan yang tinggi di bahagian atas tetapi pemendapan tinggi berdekatan dengan pelabuhan. Zon ini memerlukan pemantauan tambahan untuk melihat kesan jangka panjang terhadap garis pantai terutama untuk membuat mitigasi hakisan kerana akan membimbangkan memberi kesan pemendapan yang tinggi ke kawasan pelabuhan. Mitigasi beach nourishment sangat tidak sesuai kerana akan memberi impak lebih tinggi ke kawasan pelabuhan. Cadangan membina groin adalah langkah sesuai untuk memerangkap pasir di zon ini (rujuk rajah 4.29).

Zon Pelabuhan menunjukkan Profil 05 (rajah 4.26) dengan kadar pemendapan tertinggi iaitu sebanyak +138,220 m³/tahun. Ini bermakna sedimen dari utara tertumpu di kawasan ini, yang boleh membawa kepada pertumbuhan pantai atau perubahan morfologi pesisir dalam jangka panjang yang mana menunjukkan kawasan terperangkapnya sedimen. Walaubagaimanapun, kawasan ini agak dalam dan terbentuk kawasan yang tidak sekata dari kesan pengorekan pasir dengan dinamik kawasan litoral sangat aktif dengan penambahan pasir.

Kesimpulannya, di **Zon Pelabuhan**, menunjukkan pemendapan sentiasa berlaku. Langkah mitigasi tidak perlu kerana pemecah ombak dari utara dan selatan sudah mengurangkan kesan pengangkutan sedimen masuk ke dalam kawasan pelabuhan. Tetapi hasil pengorekan pasir tersebut perlu dioptimumkan kesan kepada kawasan sekitar. Pemindahan pasir dari dalam ke kawasan yang dipraktis sebelum ini (di tengah laut-rujuk rajah 2.1) boleh mengelakkan pasir tersebut dari masuk semula ke kawasan pelabuhan melalui pengangkutan sedimen di kawasan litoral tetapi ia akan memberi kesan kepada kos yang tinggi (pengangkutan) dan juga mengubah biodiversiti di kawasan tersebut. Oleh itu, sebagai cadangan pemindahan pasir boleh dipindahkan ke kawasan zon pantai selatan bermula di kawasan profil 9 dan ke bawah (rujuk rajah 4.29). Di mana lambakan pasir akan perlahan-lahan akan berpindah sehingga profil 12 yang mana kawasan ini memerlukan pasir tambahan untuk meneutralkan sumber pasir di kawasan ini bagi mengelakkan kawasan seperti Pantai Teluk Mak Nik akan terhakis.

Zon Sungai menunjukkan Profil 06 - 08 (rajah 4.27) mempunyai cerun batimetri yang lebih landai dengan pengurangan ketara dalam kedalaman dari pantai ke arah laut. Analisis perubahan sedimen menunjukkan Profil 06 (+60,160 m³/tahun) dan Profil 07 (+8,790 m³/tahun) menunjukkan pengangkutan sedimen ke arah utara, yang menunjukkan kawasan ini menerima sedimen dari sumber sungai. Kawasan ini boleh mengalami hakisan pesisir yang lebih ketara, terutamanya di sekitar muara Sungai Kemaman yang mungkin mengalami perubahan dalam pola pengangkutan sedimen akibat arus muara dan juga kesan dinamik dari pemecah ombak di hadapan muara. Ini terbukti dinamik pemendapan pasir bukan di kawasan litoral tetapi di tengah laut iaitu berdekatan dengan pemecah ombak. Oleh itu kawasan ini boleh menghalang laluan bot/kapal untuk memasuki kawasan sungai. Sebaliknya, Profil 08 menunjukkan indikator hakisan iaitu nilai negatif kepada jumlah 38,610 m³/tahun yang mana menunjukkan kehilangan sedimen ke arah selatan tetapi dinamik di kawasan litoral tidak menunjukkan kekuatan yang tinggi di kawasan tersebut.

Kesimpulannya, di **Zon Sungai**, menunjukkan kawasan pemendapan kerana kawasan ini dilindungi oleh pemecah ombak di hadapan muara. Oleh itu daya kekuatan arus dari sungai dan laut membuatkan pelahan kerana dilindungi oleh pemecah ombak dan ia menjadik cetek dan boleh memberi kesan kepada laluan bot/kapal untuk memasuki ke kawasan sungai bagi kerja-kerja penyelenggaraan atau pendaratan ikan. Tiada langkah mitigasi perlu diambil di kawasan ini selain pengorekan pasir berkala dan perlu dipindahkan ke kawasan Profil 09 seperti cadangan mitagasi di Zon Pelabuhan.

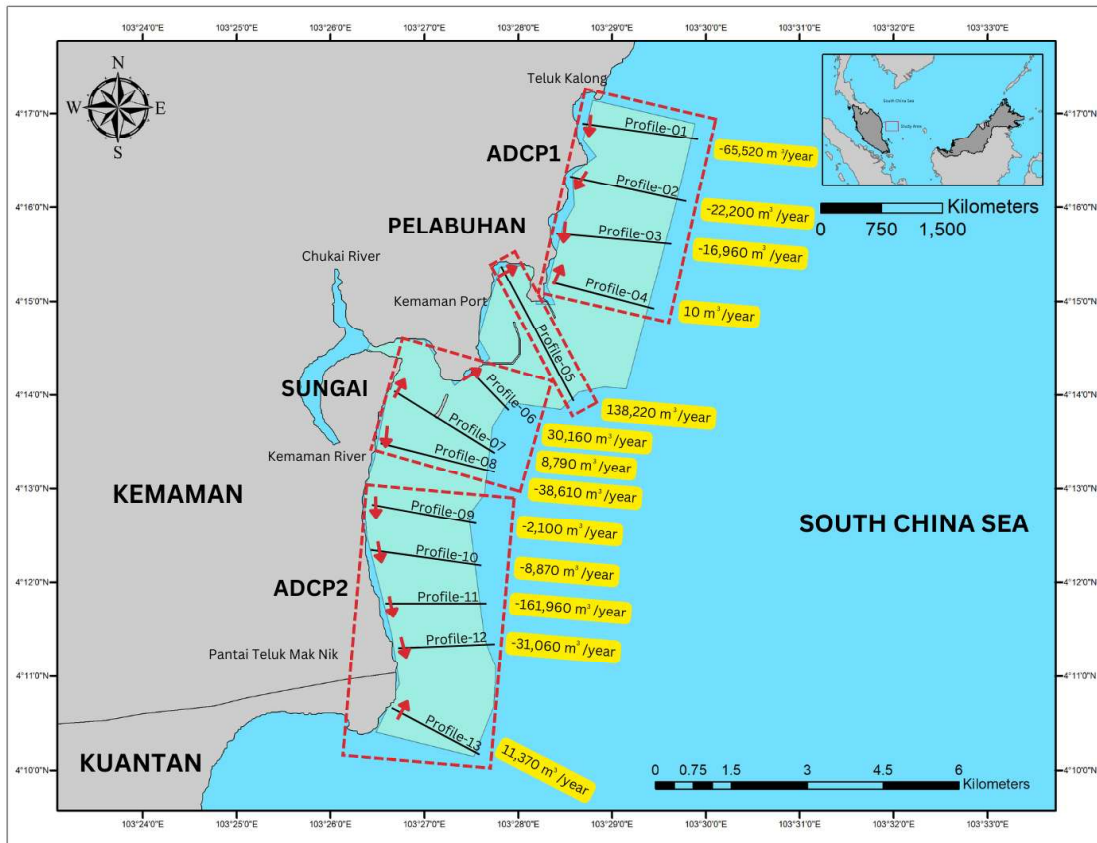
Zon ADCP 2 (pantai selatan) menunjukkan kehilangan sedimen ke arah selatan (rajah 4.28) iaitu di Profile 09 sebanyak -2,100 m³/tahun. Disambung ke Profil 10 dan 11 (-8,870 m³/tahun dan -161,960 m³/tahun) menunjukkan kehilangan sedimen yang sangat tinggi ke arah selatan yang menjadikan kawasan ini lebih berisiko terhadap hakisan dan mula menurun di Profil 12 sebanyak -31,060 m³/tahun sebagai tanda zon pengangkutan litoral berakhir di sini. Sebaliknya, Profil 13 (+11,370 m³/tahun) menunjukkan pemendapan sedimen bertukar ke arah utara, menandakan kawasan ini menjadi zon perangkap sedimen.

Kesimpulannya, di **Zon ADCP 2 (pantai selatan)**, menunjukkan kawasan hakisan yang lebih tinggi berbanding kawasan pantai utara. Lebih perlu dititik beratkan, kawasan ini lebih dekat dengan Pantai Teluk Mak Nik, yang merupakan kawasan tumpuan rekreasi dan ekosistem marin sensitif. Oleh itu, langkah mitigasi yang diperlukan adalah sumber pasir dari dalam Pelabuhan dan Muara sungai perlu dipindahkan di kawasan ini iaitu di bermula di kawasan Profil 09 supaya dapat mengimbangkan pengangkutan litoral dan sediment di zon ini.

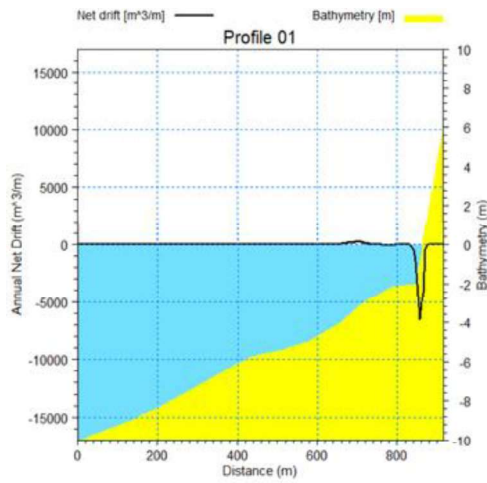
Secara keseluruhan, analisis ini menunjukkan bahawa aktiviti pengorekan dan perubahan pengangkutan sedimen akibat monsun tidak memberi perubahan drastik. Langkah mitigasi seperti pemasangan struktur kawalan hakisan atau program pemantauan (pengorekan pasir) berterusan boleh dilaksanakan bagi memastikan tiada perubahan terhadap kawasan pesisir pantai. Untuk mengoptimumkan kos pemindahan pasir, kawasan baru telah dicadangkan (rajah 4.29) di kawasan zon Pantai Selatan bagi mengambil kira pelbagai aspek termasuk pengawalan hakisan di kawasan tersebut. Bagi Zon Pantai Utara tiada keperluan yang perlu disegerakan tetapi jika ingin melihat kawasan tersebut menjadi stabil struktur groin boleh di bina di tanjung antara kawasan Profil 03 dan 04.

Jadual 4.9: Nilai net drift dan arah pengangkutan sedimen untuk 13 profil

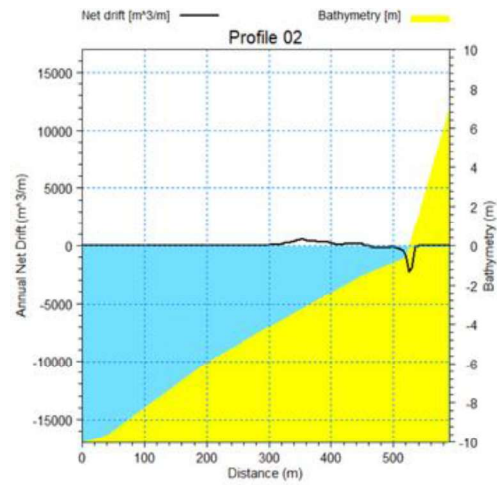
Zon	Profil	Nilai Net Drift (m³/tahun)	Arah Pengangkutan Sedimen
ADCP 1	Profile 01	-65,520 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 02	-22,200 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 03	-16,960 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 04	10 m ³ /tahun	<i>Neutral / Minimal</i>
Pelabuhan	Profile 05	138,220 m ³ /tahun	<i>Northward</i>
Sungai	Profile 06	60,160 m ³ /tahun	<i>Northward</i>
	Profile 07	8,790 m ³ /tahun	<i>Northward</i>
	Profile 08	-38,610 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
ACDP 2	Profile 09	-2,100 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 10	-8,870 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 11	-161,960 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 12	-31,060 m ³ /tahun	<i>Southward</i>
	Profile 13	11,370 m ³ /tahun	<i>Northward</i>



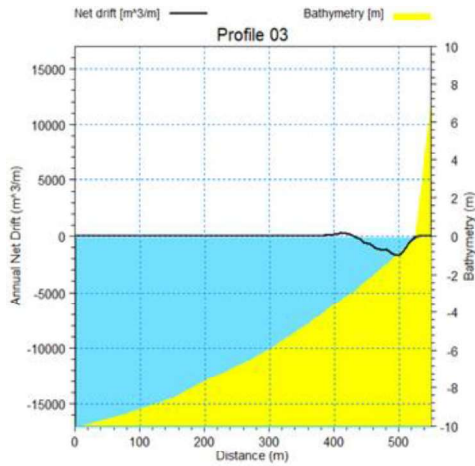
Rajah 4.24 menunjukkan hasil keputusan arah pergerakan sedimen bagi profil 1-13 dan nilai kadar netdrift melalui pemodelan LITPACK.



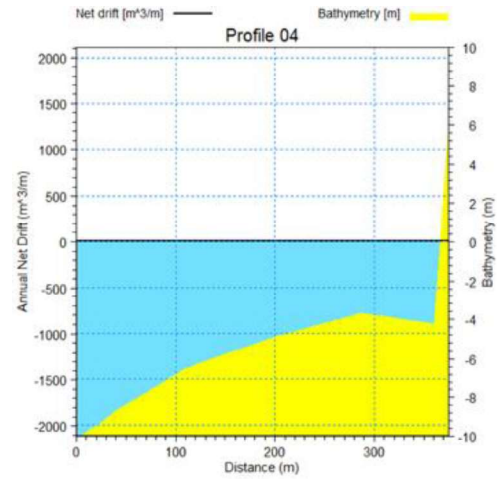
Profile 01



Profile 02

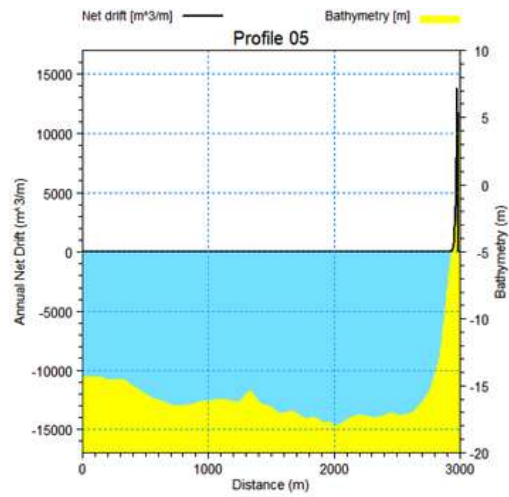


Profile 03



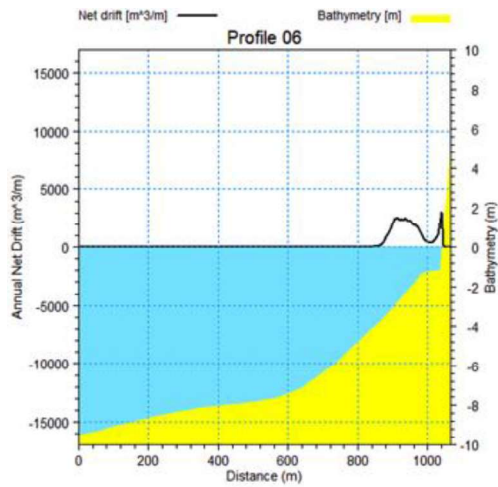
Profile 04

Rajah 4.25 menunjukkan hasil keputusan annual drift bagi profil 1-4 di zon ADCP 1.

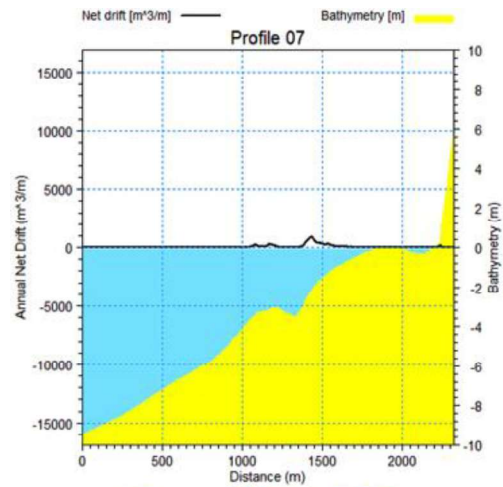


Profile 05

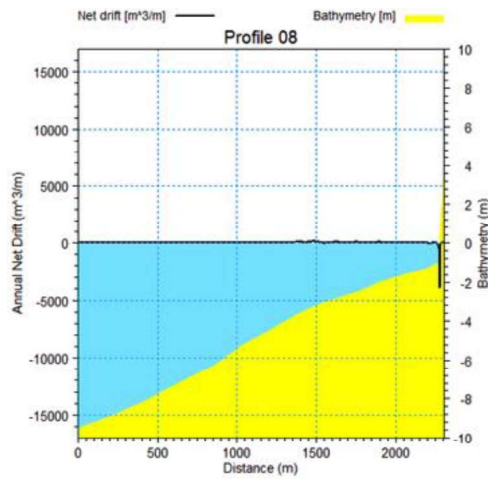
Rajah 4.26 menunjukkan hasil keputusan annual drift bagi profil 5 di zon Pelabuhan.



Profile 06

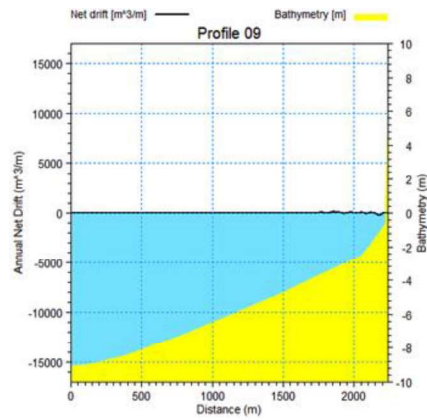


Profile 07

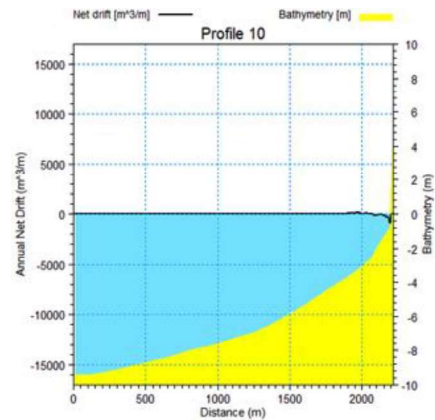


Profile 08

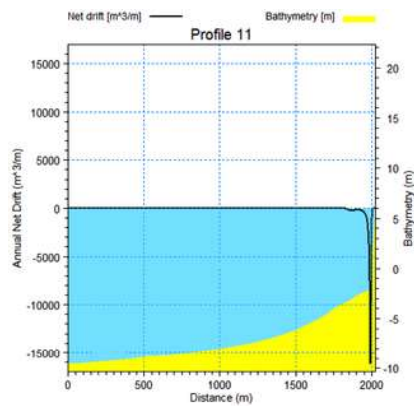
Rajah 4.27 menunjukkan hasil keputusan annual drift bagi profil 6-8 di zon Sungai.



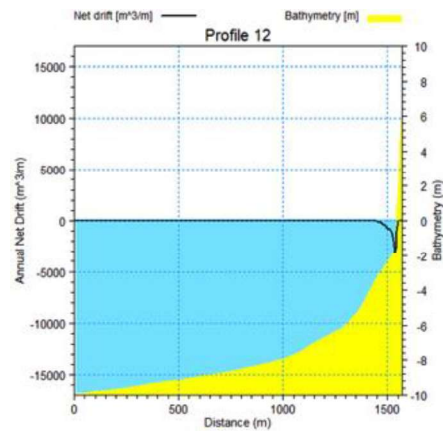
Profile 09



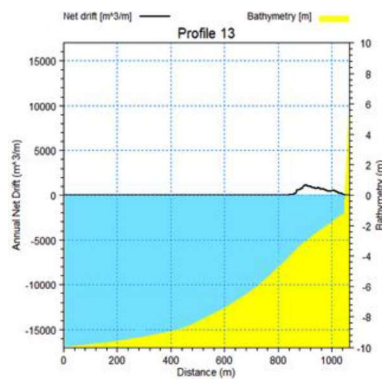
Profile 10



Profile 11

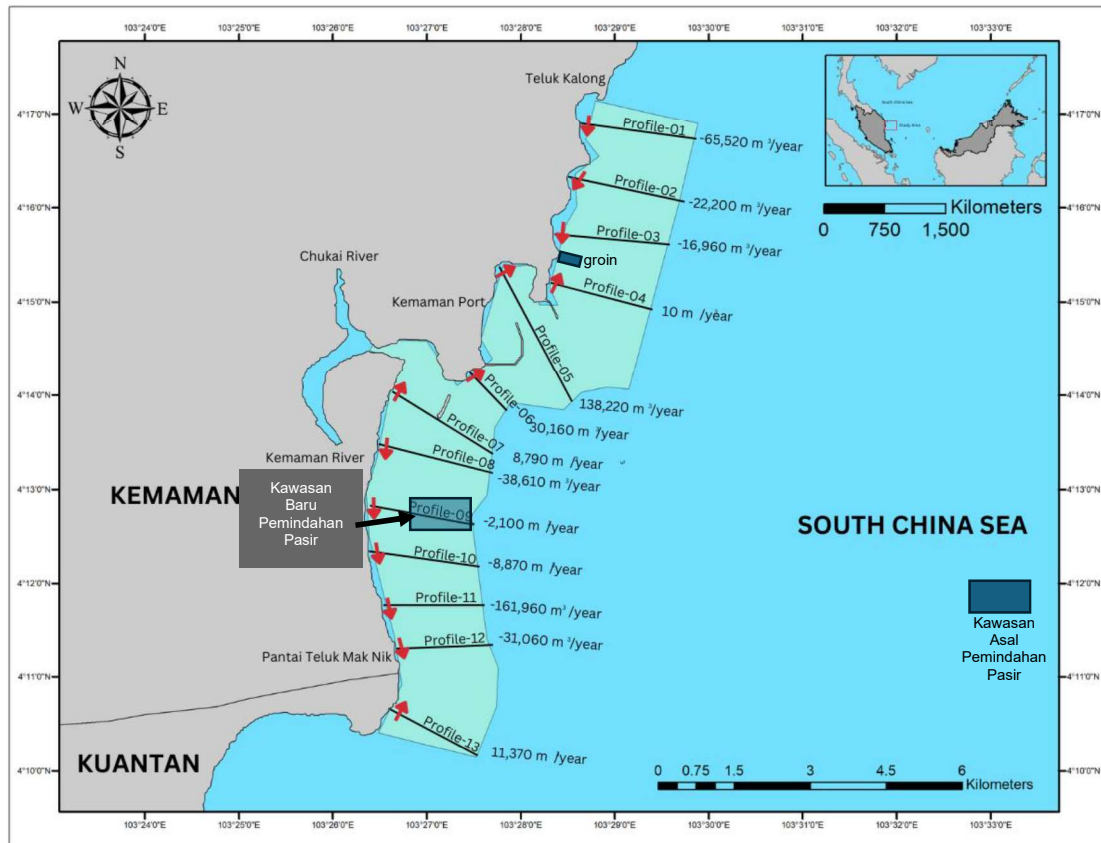


Profile 12



Profile 13

Rajah 4.28 menunjukkan hasil keputusan annual drift bagi profil 9-13 di zon Sungai.



Rajah 4.29 menunjukkan cadangan mitigasi di kawasan persekitaran Pelabuhan Kemaman.

5.0 KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 HASIL RINGKASAN DAPATAN KAJIAN

Berdasarkan hasil pemodelan numerikal yang telah dijalankan menggunakan MIKE 21 HD, SW, MT dan LITPACK, kajian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kesan hakisan/pemendapan dan juga aktiviti pengorekan terhadap hidrodinamik, pengangkutan sedimen, gelombang, hakisan, dan kualiti air di sekitar Pelabuhan Kemaman. Secara kesimpulannya dibentangkan seperti di bawah:

5.1.1 KESTABILAN HIDRODINAMIK

Kajian menunjukkan bahawa pengorekan di kawasan yang ditetapkan tidak memberi kesan signifikan terhadap perubahan kelajuan arus. Arus pasang surut masih beroperasi dalam julat biasa tanpa perubahan drastik yang boleh menjejaskan operasi pelabuhan atau kawasan perairan sekitarnya.

5.1.2 PENGANGKUTAN DAN PENYEBARAN SEDIMEN

Corak pengangkutan sedimen menunjukkan arah aliran ke arah barat laut dan selatan dengan kemungkinan pemendapan sedimen yang tinggi di sekitar muara Sungai Kemaman dan juga di dalam kawasan Pelabuhan akibat arus menjadi perlahan kerana kawasan ini terlindung dari pemecah ombak. Faktor arus monsun dan pasang surut memainkan peranan utama dalam menentukan pola transportasi sedimen, yang perlu diberi perhatian dalam perancangan kerja pengorekan bagi mengelakkan kesan negatif terhadap kestabilan pantai.

Model MT telah menunjukkan dinamik sedimen dalam pelabuhan yang lebih sesuai untuk menilai kesan jangka pendek secara terperinci. Manakala melalui LITPACK, keputusan laporan numerikal ini dapat memberi pemahaman bagaimana pengorekan memberi kesan kepada perubahan pergerakan sedimen di luar kawasan pelabuhan dan lebih sesuai untuk menilai kesan jangka panjang terhadap kawasan pesisir pantai.

5.1.3 IMPAK GELOMBANG

Analisis gelombang menunjukkan bahawa perubahan ketinggian gelombang akibat aktiviti pengorekan adalah minimum, menandakan tiada transformasi signifikan terhadap tenaga gelombang yang boleh mencetuskan hakisan pantai yang luar biasa. Walau bagaimanapun, beberapa kawasan tertentu menunjukkan risiko hakisan yang lebih tinggi akibat kehilangan sedimen, terutamanya di zon Pantai Utara dan Pantai Selatan kawasan kajian yang lebih terdedah dari dinamik gelombang.

5.1.4 PERUBAHAN MORPHOLOGI DARI PENGAKUTAN LITORAL

Apabila kita melihat kesan hidrodinamik, gelombang dan pengangkutan sedimen boleh dilihat kesan hakisan banyak tertumpu di kawasan zon Pantai Utara berbanding dengan Pantai Selatan. Tetapi apabila proses pengorekan pasir untuk memperdalamkan kawasan Pelabuhan dan Muara Sungai kerana kesan pemendapan yang tinggi, ia dapat dilihat tidak stabil di kawasan Zon Pantai Selatan kerana sumber pasir tidak mencukupi ke kawasan ini. Oleh itu, dengan kajian yang komprehensif dengan menggabungkan pemodelan HD, SW, MT dan LITPACK dapat memberi jawapan yang terbaik untuk proses langkah mitigasi ke atas hakisan dan juga pemendapan di kawasan pengairan Pelabuhan Kemaman.

5.2 CADANGAN

Walaupun hasil kajian hidraulik menunjukkan kesan yang minimum, terdapat beberapa cadangan yang boleh dilaksanakan bagi mengurangkan lagi impak aktiviti pengorekan terhadap persekitaran, terutamanya di kawasan berdekatan. Antara cadangan yang dicadangkan adalah seperti berikut:

- i) Mengadaptasi kaedah pengorekan bertahap (*staged dredging*) dengan tempoh kerja yang dirancang secara sistematik dan lokasi pemindahan pasir di letakkan di kawasan zon Pantai Selatan. Ini bertujuan bagi meminimumkan gangguan kepada proses semula jadi pengangkutan sedimen sepanjang Pantai dan juga menjadi sebagai sumber pasir di kawasan tersebut.

- ii) Selain itu, bagi mengurangi hakisan di kawasan zon Pantai Utara boleh dibina struktur groin untuk menghalang sumber pasir hilang ke Selatan dan mengelak sedimen lebih termendap ke kawasan Pelabuhan.
- iii) Pemantauan pemendapan sedimen di sekitar muara sungai dan kawasan Pelabuhan berterusan, bagi mengesan perubahan dalam kadar pemendapan atau hakisan yang mungkin menjejaskan kestabilan garis pantai.

Oleh itu, Cadangan-cadangan ini bertujuan untuk memastikan kesan hakisan/pemendapan dan aktiviti pengorekan pasir di Pelabuhan Kemaman tidak memberi impak yang negatif terhadap kestabilan pantai, hidrodinamik, serta ekosistem marin.

6.0 RUJUKAN

- i) Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia. (2001). Guidelines for Preparation of Coastal Engineering Hydraulic Study and Impact Evaluation (For Hydraulic Studies Using Numerical Models) (Fifth Edition ed.). Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia.
- ii) DHI, 2011. MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM. Mud transport module scientific documentation. Danish Hydraulic Institute.
- iii) DHI, 2012. MIKE 21 Spectral Wave, scientific documentation. Danish Hydraulic Institute.
- iv) Mirzaei, A., Tangang, F., Juneng, L., Mustapha, M.A., Husain, M.L., Akhir, M.F., 2013. Wave climate simulation for southern region of the South China Sea. Ocean Dynam. 63 (8), 961–977.
- v) Tidal Tables Malaysia (2022) National Hydrographic Centre, Royal Malaysia Navy.
- vi) Wind Wave Data : ECWMF