

Kajian Pembangunan Pemecah Ombak di Pantai Kuala Terengganu

Study on the Development of Breakwaters at Kuala Terengganu Beach

Siti Nur Safiqah Safanjamal¹, Sharifah Meryam Shareh Musa^{1,2,*}, Rozlin Zainal^{1,2}, Narimah Kasim^{1,2}

¹ Fakulti Pengurusan Teknologi dan Perniagaan,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, 86400, MALAYSIA

² Centre of Project, Property and Facilities Management Services, Fakulti Pengurusan Teknologi dan Perniagaan,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, 86400, MALAYSIA

*Pengarang Utama: meryam@uthm.edu.my

DOI: <https://doi.org/10.30880/rmtb.2026.07.01.060>

Maklumat Artikel

Diserah: 31 Mac 2026

Diterima: 31 Mei 2026

Diterbitkan: 30 Jun 2026

Kata Kunci

Pembangunan, Pemecah Ombak,
Hakisan, Pantai

Abstrak

Pembangunan bukan sahaja berlaku di kawasan bandar dan penempatan malah melibatkan kawasan pinggir pantai bagi menjaga ekosistem pantai. Salah satu inisiatif pembinaan di kawasan pantai ialah pembinaan pemecah ombak (breakwater) yang berperanan melindungi pantai daripada kemusnahan alam sekitar seperti hakisan. Kajian ini bertujuan mengenal pasti jenis pemecah ombak yang sesuai mengikut tahap hakisan, menilai faktor pemilihan jenis pembinaan yang dapat mengurangkan kadar hakisan, dan mencadangkan penambahbaikan untuk meningkatkan keberkesanan perlindungan pantai dalam jangka masa panjang. Kajian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui kaedah kualitatif seperti temubual bersama responden yang terlibat iaitu kontraktor 2 orang, wakil Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) 3 orang, serta membuat tinjauan ke kawasan kajian untuk mendapatkan gambar yang berkaitan dengan kajian. Data sekunder diperoleh melalui kajian literatur daripada jurnal, artikel, akhbar dan bahan rujukan. Hasil kajian daripada temubual responden dan tinjauan mendapati jenis pemecah ombak yang sesuai dibina dengan tahap hakisan yang tinggi di pantai Kuala Terengganu ialah pemecah ombak muara iaitu jenis timbunan batu (Rubble Mound) dan Crasmet manakala untuk faktor pemilihan jenis pemecah ombak yang dapat mengurangkan kadar hakisan ialah keadaan ombak dan arus laut, kedalaman perairan, lokasi, kos, dan ketersediaan bahan, kesan alam sekitar, jangka hayat dan keperluan penyelenggaraan, estetik dan kegunaan tambahan dan cabaran teknikal bagi cadangan untuk penambahbaikan adalah dengan menggunakan lapisan batu pelindung, membuat kajian pelarasan susun atur jarak pemecah ombak, penyelenggaraan berkala, reka bentuk hibrid, dan penggunaan drone. Oleh itu, diharap kajian ini dapat membantu menyelesaikan masalah hakisan di pantai Kuala Terengganu

Keywords

Development, Breakwater, Erosion, Coast

Abstract

Development does not only occur in urban areas and settlements, but also involves coastal areas to preserve the coastal ecosystem. One of the construction initiatives in coastal areas is the building of breakwaters, which function to protect the beach from environmental damage such as erosion. This study aims to identify the types of breakwaters suitable according to the level of erosion, evaluate the factors in selecting types of construction that can reduce the rate of erosion, and propose improvements to enhance the effectiveness of coastal protection in the long term. This study uses primary and secondary data. Primary data is obtained through qualitative methods such as interviews with respondents involved, namely 2 contractors, 3 representatives from the Department of Irrigation and Drainage (DID), as well as surveys of the study area to obtain relevant photos related to the research. Secondary data was obtained through literature studies from journals, articles, newspapers, and reference materials. The study results from respondent interviews and surveys found that the type of breakwater suitable to be constructed for areas with high erosion levels on Kuala Terengganu beach is the estuary breakwater, which includes rubble mound and Crasmet types. As for the factors in selecting the type of breakwater that can reduce erosion rates, these include wave and ocean current conditions, water depth, location, cost and availability of materials, environmental impact, lifespan and maintenance requirements, aesthetics and additional uses, and technical challenges. Recommendations for improvement include using protective stone layers, conducting studies on the adjustment of breakwater layout spacing, regular maintenance, hybrid design, and the use of drones. Therefore, it is hoped that this study can help address the erosion problem at Kuala Terengganu beach.

1. Pengenalan

Pembinaan di kawasan pantai pula bertujuan memajukan dan menjaga kelestarian kawasan pesisir yang merupakan aset penting negara, terutama dalam sektor eko-pelancongan. Pesisir pantai ialah jalur sempit yang terbentuk daripada sedimen dan pasir akibat tindakan ombak, namun kawasan ini sangat sensitif dan perlu dipelihara daripada ancaman seperti ombak besar, ribut monsun, dan kenaikan aras laut (Kementerian Kerajaan Tempatan dan Perumahan, 2020). Pembinaan bukan sahaja tertumpu di bandar, tetapi juga di kawasan pantai untuk menjaga kelestarian alam sekitar, khususnya melalui pembinaan struktur seperti pemecah ombak. Pemecah ombak berfungsi mengurangkan kelajuan ombak, seterusnya mengawal hakisan pantai dan melindungi kawasan pesisir yang sensitif. Malaysia memiliki kira-kira 4,800 km garis pantai yang terdedah kepada ribut monsun, pembangunan tidak terkawal dan hakisan (Roslan *et al.*, 2015). Negeri Terengganu, khususnya kawasan Mengabang Telipot, merupakan antara lokasi yang paling terkesan dengan hakisan sejak awal 2000-an, mengakibatkan kerosakan harta benda dan mengancam keselamatan penduduk (Yusoff & Mokhtar, 2010).

Permasalahan kajian bagi kajian ini adalah Kajian pembangunan pemecah ombak selepas 10 tahun di kawasan pantai Kuala Terengganu. Pemecah ombak ini berfungsi untuk melindungi pantai daripada hakisan dan untuk mengurangkan impak gelombang ombak ke pesisir pantai. Keluasan negeri Terengganu adalah kira-kira 1,295,638.3 hektar/ 1,295,512.1 hektar dan bagi keluasan pantai di Terengganu. Dalam kajian ini kawasan kajian adalah Pantai Mengabang Telipot yang terletak kira-kira 12-kilometer dari pusat bandar Kuala Terengganu. Pantai Mengabang Telipot merupakan kawasan pesisir yang terdedah dengan hakisan pantai terutamanya pada musim tengkujuh yang menyebabkan ombak besar dan arus kuat dari laut China Selatan yang menyebabkan hakisan berlaku di tepi pantai. Hal ini juga menyebabkan hakisan tidak hanya berlaku di tepi garis pantai malah juga akan menyebabkan kemusnahan kepada kawasan penempatan, infrastruktur, dan aktiviti komuniti jika hakisan tersebut bertambah teruk.

Pembinaan pemecah ombak (*Breakwater*) adalah untuk mengurangkan hakisan pantai. Menurut Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS, 2020) Negeri Terengganu telah merekodkan lebih 244-kilometer garis pantai dan lebih 30% telah mengalami hakisan yang sangat teruk. Walau bagaimanapun, pembinaan pemecah ombak ini memang memberi impak positif akan tetapi dalam 10 tahun pembinaanya telah menimbulkan beberapa isu tentang keberkesanannya dalam jangka masa yang panjang. Terdapat perubahan dalam bentuk garis pantai dan

corak pemendapan yang tidak seimbang, serta tanda-tanda hakisan yang berterusan di beberapa kawasan (Rosli *et al.*, 2021). Reka bentuk atau kedudukan pemecah ombak mungkin menyebabkan keadaan ini berlaku kerana ia tidak selaras dengan dinamika arus laut setempat.

Di samping itu, pemecah ombak (*Breakwater*) juga dapat memberi kesan yang buruk kepada kawasan yang berhampiran ini kerana ombak yang besar itu akan berpindah tempat untuk menghempas ombaknya ke kawasan yang tidak dilindungi oleh pemecah ombak ia akan menyebabkan hakisan akan beralih ke tempat lain. (Lokman *et al.* 2015). Berdasarkan kepada isu-isu diatas kajian ini akan dijalankan bagi melihat masalah yang berlaku apabila pembangunan pemecah ombak dijalankan di pantai Kuala Terengganu dan mencari jalan penyelesaian bagi menangani isu atau masalah diatas. Antara objektif yang ingin dikaji ialah mengenalpasti jenis pemecah ombak yang sesuai dengan tahap hakisan yang berlaku, menilai faktor pemilihan jenis pembinaan pemecah ombak agar dapat mengurangkan kadar hakisan dan mencadangkan penambahbaikan yang boleh meningkatkan keberkesanan perlindungan pantai dalam jangka masa panjang.

Kajian ini melibatkan beberapa pantai yang berada di sepanjang kawasan pantai Kuala Terengganu. Antara pantai yang terlibat dalam kawasan kajian ialah Pantai Batu Buruk, Pantai Teluk Ketapang, dan Pantai Mengabang Telipot. Oleh hal demikian, skop kajian bagi kajian ini dirangka berdasarkan objektif utama kajian yang melibatkan aspek teknikal, fizikal, dan cadangan penambahbaikan dalam jangka masa panjang. Kajian ini adalah untuk mengenalpasti jenis pemecah ombak yang telah dibina di sepanjang pantai Kuala Terengganu dan menilai faktor pemilihan jenis pemecah ombak. Kajian ini akan dilakukan secara kajian tinjauan ke kawasan kajian, pengumpulan data dan melihat kepada fungsi pemecah ombak. Selain itu, kajian ini juga adalah untuk menilai kesan pembinaan pemecah ombak (*Breakwater*) terhadap hakisan pantai sepanjang pantai Kuala Terengganu selepas 10 tahun.

Hal ini termasuk dengan penggunaan untuk menganalisis perubahan bentuk pantai sebelum dan selepas pembinaan dan meminta pandangan daripada responden mengenai perubahan yang berlaku selepas 10 tahun. Kajian ini adalah untuk meningkatkan keberkesanan perlindungan pantai dalam jangka masa panjang. Kajian ini juga akan mencadangkan penambahbaikan kepada struktur yang sedia ada atau kaedah yang baharu yang lebih berkesan dan lebih terbaik dan lebih sesuai dengan kawasan kajian. Cadangan penambahbaikan ini akan mengambil kira faktor seperti kesan perubahan iklim, peningkatan kekerapan ribut dan tekanan pembangunan pesisir pantai di sekitar pantai Kuala Terengganu. Responden kajian tertumpu kepada pihak Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS) dan pihak Kontraktor yang terlibat dalam pembangunan pemecah ombak.

2. Kajian Literatur

2.1 Definisi Kajian

Kajian ini menumpukan kepada pembangunan pemecah ombak di kawasan pantai sekitar Kuala Terengganu. Ia membincangkan bahawa pembangunan di kawasan pantai boleh memberi kesan positif atau negatif, namun dalam sesetengah situasi, pembinaan diperlukan untuk memelihara ekosistem pantai. Pembangunan mestilah dirancang secara berdaya tahan dan teratur bagi memberi manfaat sosial, ekonomi dan fizikal secara optimum. Pihak berwajib juga perlu mengawal pembangunan bagi mengelakkan risiko seperti hakisan, tsunami, kenaikan aras laut dan banjir melalui perancangan menyeluruh.

2.1.1 Hakisan Pantai

Hakisan pantai merupakan fenomena semula jadi dan antropogenik yang boleh menyebabkan kemusnahan alam sekitar, infrastruktur, dan penempatan di kawasan pesisir (Narashid *et al.*, 2021). Ia berlaku secara tidak terjangka dan boleh mengakibatkan kerugian besar, khususnya kepada kawasan yang berdekatan dengan pantai. Ia berpunca daripada faktor semula jadi seperti ombak, arus dan angin, serta aktiviti manusia.

2.1.2 Pemecah Ombak

Pemecah ombak (*breakwater*) ialah struktur kejuruteraan pantai yang dibina berhampiran atau di luar pesisir untuk menyerap dan mengurangkan tenaga ombak sebelum sampai ke pantai. Ia berfungsi melindungi kawasan pesisir dan pelabuhan daripada hakisan serta kerosakan akibat hempasan ombak yang kuat (Wahyudi, 2016). Walaupun memberi manfaat dari segi perlindungan pantai dan kestabilan garis pantai, pembinaan yang tidak dirancang dengan teliti boleh menyebabkan kesan negatif seperti pemendapan dan pembentukan lagun (Zahra, 2018).

2.1.3 Pantai

Pantai merupakan kawasan geografi yang memisahkan daratan dan lautan, terdiri daripada pasir dan sentiasa berubah akibat tindakan ombak, arus susur pantai, pergerakan sedimen, dan penggunaan tanah. Pantai merangkumi kawasan dari garis air pasang tertinggi hingga ke daratan tertentu yang dikenali sebagai tanah pantai, serta kawasan antara garis surut terendah dan pasang tertinggi. Garis pantai pula ialah sempadan dinamik yang berubah mengikut bentuk muka bumi pantai (Diraputra, 2001).

2.2 Jenis-jenis pemecah ombak

2.2.1 Pemecah Ombak Jenis Gravitasi

Pemecah ombak jenis graviti ialah pemecah ombak yang bersifat untuk memberikan kestabilan terhadap gelombang ombak yang datang menghempas ke pinggir pantai. Tambahan pula, pemecah ombak graviti biasanya terdiri daripada Kumpulan batu yang besar disusun secara konvensional Pemecah ombak jenis graviti ini boleh bertahan menghadapi tekanan ombak yang kuat tanpa menggunakan pengikat mekanikal tambahan.

2.2.2 Pemecah Ombak Permukaan Bebas

Pemecah Ombak Permukaan Bebas ialah pemecah ombak yang berstruktur separa terapung atau terapung yang membolehkan air mengalir bebas di bawah atau disekelilingnya tanpa bersentuhan dengan dasar laut. Di samping itu, pemecah ombak permukaan bebas juga dapat mengurangkan tenaga ombak daripada laut yang boleh mengancam alam sekitar dan infrastruktur kawasan berdekatan. Selain itu, pemecah ombak permukaan bebas ini dapat menyerap dan memantulkan tenaga ombak di permukaan air untuk mengurangkan ketinggian ombak yang kuat.

Jadual 1 Ciri-ciri Pemecah Ombak Permukaan Bebas Menghadapi Jenis Ombak

Ciri-ciri	Jenis Pepejal	Jenis Plat	Jenis Caisson
Pelemahan Ombak	Tinggi	Sederhana	Sederhana/ Tinggi
Pantulan Ombak	Tinggi	Rendah/ Sederhana	Sederhana/ Tinggi
Kehilangan tenaga	Rendah	Sederhana	Sederhana/ Tinggi
Jisim Berkesan	Tinggi	Rendah	Rendah/ Sederhana
Kos Pemasangan	Tinggi	Rendah	Rendah/ Sederhana

(Sumber: Teh, 2013)

2.2.3 Pemecah Ombak Permukaan Bebas Jenis Jas

Struktur jenis jasad ini ialah struktur terapung dan separa terapung yang diperbuat daripada bahan pepejal seperti batu atau konkrit tetulang bagi mengurangkan tenaga ombak tanpa menutup sepenuhnya dasar laut daripada permukaan. Selain itu, jenis jasad ini juga untuk memastikan kestabilan dan pantulan ombak yang cekap dan bentuk jenis jasad ini biasanya mempunyai bentuk geometri seperti petak, silinder dan trapezium (Teh, 2019).

2.2.4 Pemecah Ombak Permukaan Bebas Jenis Plat

Pemecah ombak permukaan bebas jenis plat adalah struktur pemecah ombak yang terdiri daripada plat nipis atau panel yang kebiasaannya diletakkan secara terapung atau separa terapung di permukaan air dan terdapat juga yang sedikit tenggelam dalam air. Sebagai contoh, keluli dan komposit ianya direka dengan ketebalan yang tertentu untuk menyesuaikan dengan keadaan ombak di sesuatu kawasan dan kedalaman air juga (Fu *et al.*, 2021).

2.2.5 Pemecah Ombak Permukaan Bebas Jenis Caisson

Pemecah ombak permukaan bebas jenis caisson adalah jenis pemecah ombak yang dibina menggunakan konkrit yang besar. Struktur pemecah ombak ini direka dengan bahagian depan mempunyai lubang dan bahagian belakang tertutup rapat bagi menghalang air daripada masuk. Tambahan pula, bahagian hadapan yang mempunyai lubang adalah untuk laluan ombak dengan adanya lubang dibahagian hadapan ianya dapat

mengurangkan tekanan ombak yang besar yang melalui pemecah ombak itu. Di samping itu, reka bentuk pemecah ombak ini dapat melindungi pantai daripada kesan ombak yang kuat yang boleh menyebabkan hakisan pantai (Abdullah, 2020).

2.2.6 Pemecah Ombak Terapung

Pemecah ombak terapung ialah pemecah ombak yang dimana strukturnya tidak tetap di laut tetapi diletakkan di permukaan melalui daya apung dan sistem tambatan. Di samping itu, pemecah ombak ini juga memainkan peranan penting dalam menjaga ekosistem pantai kerana pemecah ombak ini mampu mengawal corak ombak dan mengurangkan impak negatif terhadap kehidupan marin dan ekosistem pantai (Liu *et al.*, 2020).

2.2.7 Pemecah Ombak Tenggelam

Pemecah ombak jenis tenggelam ini terbahagi kepada dua jenis iaitu pemecah ombak tenggelam dan pemecah ombak tidak tenggelam. Struktur pemecah ombak tenggelam ini dibina dengan puncaknya terletak di bawah permukaan air. Tambahan pula, penggunaannya digabungkan dengan kaedah penambahan pasir di pantai ini adalah untuk mengurangkan beban hidraulik untuk mengekalkan keseimbangan dinamik pantai.

2.2.8 Pemecah Ombak Timbunan Batu

Pemecah ombak timbunan batu ialah pemecah ombak yang dibina menggunakan timbunan atau tumpukan batuan besar yang disusun untuk menahan dan mengurangkan tenaga ombak yang kuat dari laut. Selain itu, lapisan batuan besar yang dibentuk disebut sebagai lapisan pelindung (*armor layer*) dan lapisan inti (*Core*) yang terdiri daripada batuan-batuan yang lebih kecil (Campos *et al.*, 2020). Di samping itu, reka bentuk pemecah ombak timbunan batu dapat menahan ombak yang tinggi dan kuat dengan reka bentuknya yang memastikan ketinggian dan ketebalan lapisan batuan dapat menahan tekanan ombak yang kuat untuk mengelak hakisan di bahagian belakang struktur pemecah ombak.

2.2.9 Pemecah Ombak Jenis Komposit

Struktur binaan pemecah ombak jenis komposit adalah terdiri daripada beberapa lapisan komponen yang berbeza yang digabungkan sekali untuk membina pemecah ombak jenis ini. Hal ini demikian kerana, lapisan batuan besar digabungkan dengan struktur beton ataupun komponen pra-cetak lainnya (Zhang *et al.*, 2024).

2.3 Faktor Pemilihan Jenis Pemecah Ombak

2.3.1 Keadaan Ombak dan Arus Laut

Pemilihan jenis pemecah ombak amat penting bagi menyesuaikan dengan keadaan ombak dan arus laut di sesuatu kawasan. Setiap jenis pemecah ombak mempunyai kekuatan dan fungsi berbeza, justeru pemilihan yang tepat akan memastikan ketahanan struktur dan keberkesanan dalam mencegah hakisan (Williams, 2024). Pemantauan jangka panjang terhadap gelombang dan arus menggunakan alat khusus amat penting bagi menentukan jenis pemecah ombak yang paling sesuai. Tanpa kajian yang teliti, struktur boleh gagal dan meningkatkan risiko hakisan (Neelamani & Rajendran, 2002).

2.3.2 Kedalaman Perairan

Kedalaman turut mempengaruhi kestabilan tapak, bahan binaan dan teknik pembinaan. Tanah lembut atau berlumpur tidak sesuai untuk struktur berat seperti caisson kerana boleh mengganggu kestabilan dan daya tahan terhadap tekanan ombak (Le *et al.*, 2024).

2.3.3 Lokasi

Faktor seperti bentuk garis pantai, kedalaman air, jenis dasar laut, serta struktur semula jadi seperti terumbu karang perlu dipertimbangkan bagi mengelak gangguan kepada ekosistem. Lokasi juga mempengaruhi ketahanan struktur, kerana setiap jenis pemecah ombak seperti terapung, berbatu, dan graviti mempunyai keupayaan berbeza dalam mengawal tekanan arus. Pemilihan yang tidak sesuai boleh menyebabkan pemendapan pasir dan perubahan arus, yang menjejaskan persekitaran pantai.

2.3.4 Kos dan Ketersediaan Bahan Binaan

Kos dan ketersediaan bahan binaan sangat penting dalam pemilihan jenis pemecah ombak, terutama untuk projek berskala besar. Penggunaan bahan tempatan seperti batu besar dapat menjimatkan kos penghantaran dan masa pembinaan, selain menyokong kemampanan ekonomi dan ekologi (Blokland *et al.*, 2007). Pemecah ombak jenis runtutan sering dipilih kerana kos pengangkutan yang rendah.

2.3.5 Kesan Alam Sekitar

Faktor alam sekitar penting dalam pemilihan jenis pemecah ombak, terutama di kawasan sensitif ekologi. Struktur yang besar atau padat boleh mengubah aliran sedimen semula jadi, menyebabkan pemendapan dan hakisan tidak seimbang yang merosakkan ekosistem (Saengsupavanich *et al.*, 2022).

2.3.6 Jangka Hayat dan Keperluan Penyelenggaraan

Bagi pemilihan jenis pemecah ombak, ia perlu dikenal pasti jangka hayat dan keperluan jangkaannya supaya pemecah ombak yang dibina akan lebih terjaga dan tahan dalam masa jangka yang panjang. Struktur pemecah ombak yang tahan terhadap tekanan ombak yang kuat, aliran arus yang kuat dan cuaca yang ekstrem dapat menjimatkan kos penyelenggaraan terhadap pemecah ombak.

2.3.7 Estetik dan Kegunaan Tambahan

Pemilihan pemecah ombak bukan sahaja dapat menjaga kawasan pantai, tetapi juga dapat dijadikan sebagai tarikan pelancong dan rekreasi awam. Hal ini akan menyebabkan kawasan tersebut dapat dijadikan sebagai kawasan perlancongan disebabkan oleh kawasan tersebut dijadikan tempat laluan pejalan kaki, tempat memancing dan kawasan rekreasi. Selain itu, rekaan yang estetik dapat menarik perhatian pelancong daripada luar. Seterusnya, ia juga dapat meningkatkan nilai sosial dan ekonomi kawasan tersebut (Siedoo, 2025).

2.4 Penambahbaikan Pembinaan Pemecah Ombak

2.4.1 Reka Bentuk Hibrid

Pemecah ombak masa kini perlu ditambah baik bagi memastikan ketahanan jangka panjang dan mengatasi kelemahan sedia ada. Prof. Madya Dr. Mohd Lokman Husain (UMT) mencadangkan penggunaan reka bentuk hibrid yang menggabungkan tukun tiruan dan pemecah ombak untuk mengurangkan hakisan pantai, khususnya di Terengganu.

2.4.2 Reka Bentuk Modular dan Reka Bentuk Inovatif

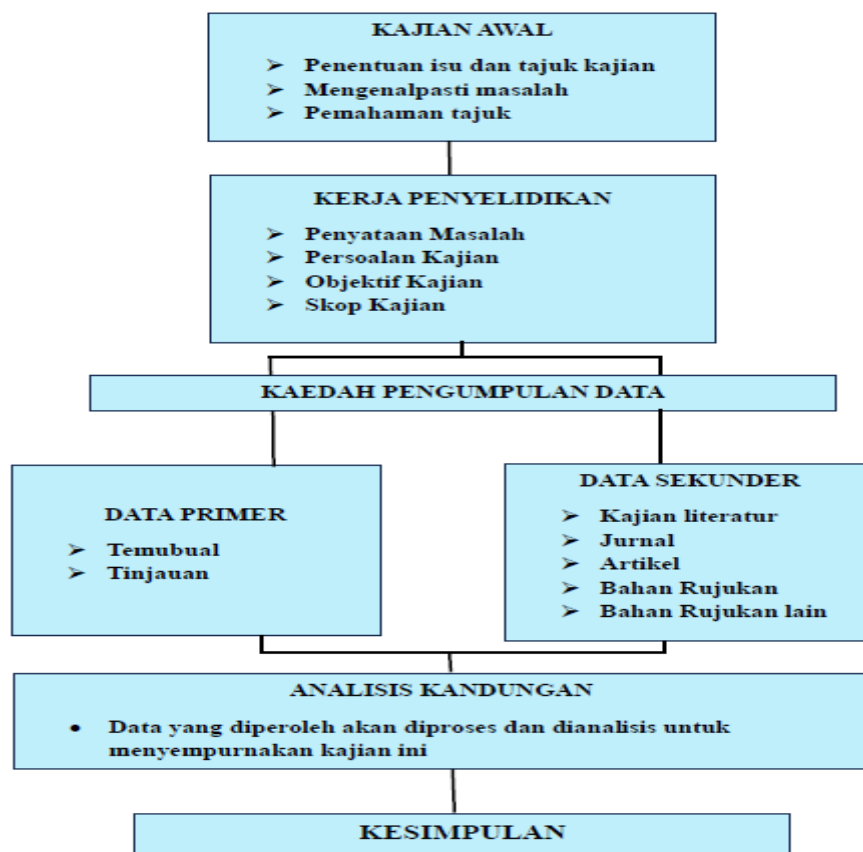
Pemecah ombak modular “Wave Breaker Coral Restoration” (WABCORE) merupakan reka bentuk inovatif berbentuk trapezoid yang mudah dipasang dan berfungsi sebagai pemecah ombak tenggelam serta terumbu tiruan konkrit. Ia berkesan mengawal hakisan, melindungi pantai, dan menyokong ekosistem marin.

2.4.3 Integrasi Teknologi Pemantauan Struktur

Sistem ini membantu mengesan awal kerosakan akibat tekanan ombak, hakisan atau cuaca ekstrem, seterusnya membolehkan tindakan segera diambil. Kaedah ini bukan sahaja memanjangkan jangka hayat pemecah ombak, tetapi juga mengurangkan keperluan pemeriksaan fizikal yang mahal dan kerap (Mohammed *et al.*, 2021).

3. Metodologi Kajian

Metodologi kajian adalah salah satu bahagian yang terpenting dalam proses kajian. Bahagian ini membincangkan dengan lebih terperinci tentang reka bentuk kajian, kaedah pengumpulan data, rangka persampelan kajian dan kaedah analisis kajian yang dilakukan sepanjang kajian ini dijalankan. Selain itu, dalam Rajah 1, bahagian ini membincangkan proses yang terlibat dalam menjalankan kajian yang bermula dari peringkat kajian literatur sehingga ke penemuan kajian.



Rajah 1 Carta Alir Metodologi Kajian

3.1 Kaedah Pengumpulan Data

Pengumpulan data terbahagi kepada dua bahagian iaitu daripada data primer dan data sekunder. Dalam kajian ini, sumber primer adalah daripada kaedah kualitatif iaitu temubual dan tinjauan dan data sekunder ialah daripada kajian literatur, jurnal, artikel, akhbar, bahan rujukan dan bahan rujukan lain. Oleh itu, hasil yang diperoleh akan dikumpulkan untuk kajian ini supaya menjadi bahan bukti untuk dijadikan bahan sokongan bagi kajian ini.

3.1.1 Data Primer

Data primer ialah data yang diperoleh secara langsung daripada persekitaran sebenar dan merupakan maklumat utama untuk menyelesaikan isu serta mencapai objektif kajian.

i. Temubual

Menurut Creswell (2014), temu bual ialah kaedah pengumpulan data kualitatif melalui soalan terbuka yang diajukan kepada responden. Dalam kajian ini, temubual separa struktur telah dijalankan bersama dua kumpulan utama iaitu kontraktor projek pemecah ombak 2 orang dan pegawai JPS Terengganu 3 orang.

ii. Tinjauan

Kaedah tinjauan ke lokasi kajian merujuk kepada proses lawatan secara fizikal ke lokasi kajian bagi mengumpulkan maklumat berkaitan ciri-ciri geografi, fizikal, persekitaran dan aktiviti manusia di kawasan tersebut.

3.1.2 Data Sekunder

Menurut Sabitha (2005), data sekunder ialah data yang telah dikumpulkan oleh pengkaji lain yang dikumpul

untuk tujuan lain, tetapi sesuai digunakan untuk menjawab persoalan kajian yang dijalankan oleh pengkaji masa kini.

i. Kaedah Analisis Kandungan

Kaedah analisis data adalah proses mentafsir data bagi mencapai objektif kajian. Dalam kajian ini, data dikumpul melalui temubual dan tinjauan. Data yang diperolehi daripada isi kandungan untuk mengenal pasti corak, hubungan dan makna yang menyokong kajian. Gabungan data primer dan sekunder membantu menentukan jenis pemecah ombak yang sesuai, faktor pemilihannya, serta cadangan penambahbaikan untuk perlindungan pantai jangka panjang.

4. Hasil Dapatan Kajian dan Cadangan

4.1 Analisis Kajian

Pengkaji menggunakan kaedah kualitatif dengan menjalankan sesi temubual dengan pihak responden secara bersemuka. Kajian ini telah menebual seramai 5 orang responden iaitu daripada 3 orang pegawai JPS dan 2 orang kontraktor yang telah menjalankan projek pembinaan pemecah ombak di Kuala Terengganu. Responden 1, responden 2, responden 3 ialah pegawai JPS manakala responden 4 dan responden 5 ialah pihak kontraktor.

4.2 Analisis Latar Belakang Responden

Latar belakang responden mengaitkan responden yang telah mengambil bahagian dalam menjawab soalan temubual. Maklumat Latar belakang responden seperti di Jadual 2.

Jadual 2 *Latar Belakang Responden*

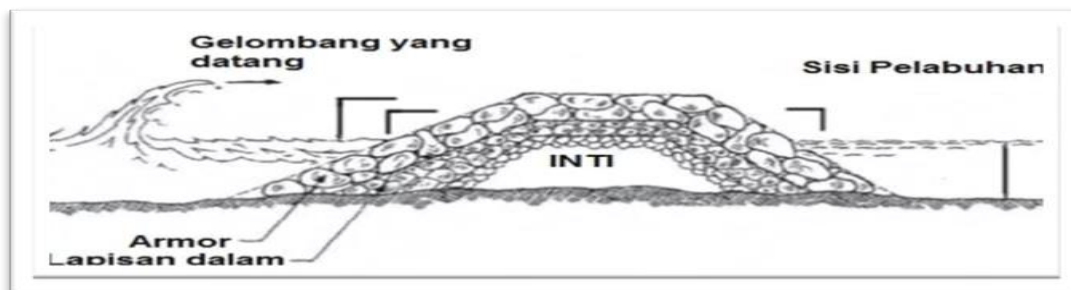
Soalan	Responden 1	Responden 2	Responden 3	Responden 4	Responden 5
Taraf Pendidikan	Doktor Falsafah (Phd)	Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam	Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam	Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam	Ijazah Sarjana Kejuruteraan Awam
Jawatan Rasmi di Syarikat	Jurutera Kanan	Jurutera Awam	Pegawai Teknikal	Pengurus Projek	Penyelia Tapak
Tempoh Berkhidmat dalam Syarikat	18 Tahun	12 Tahun	9 Tahun	7 Tahun	12 Tahun
Tempoh berkhidmat dalam bidang	20 Tahun	16 Tahun	11 Tahun	19 Tahun	15 Tahun
Penglibatan secara langsung	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

4.3 Analisis Jenis Pemecah Ombak yang sesuai dengan tahap hakisan yang berlaku di pantai Kuala Terengganu

Hasil daripada temubual yang dijalankan kepada pegawai JPS daripada cawangan Daerah Kuala Terengganu dan Negeri Kuala Terengganu mendapati bahawa jenis pemecah ombak yang telah dibina di daerah Kuala Terengganu ialah Pemecah Ombak Muara iaitu pemecah ombak jenis Crasmet dan pemecah ombak timbunan batu. Rajah 2 iaitu pemecah ombak Crasmet dan Rajah 2 iaitu pemecah ombak timbunan batu merupakan jenis pemecah ombak dibina di pinggir pantai Kuala Terengganu untuk mengurangkan hakisan yang berlaku di pantai serta menjaga bentuk pantai sendiri serta dapat mengawal hakisan yang berlaku di pantai Kuala Terengganu. Tahap hakisan di pantai Kuala Terengganu merupakan tahap hakisan yang tinggi kerana hakisan yang berlaku di pantai Kuala Terengganu telah menyebabkan kerosakkan harta benda dan kemusnahan alam sekitar. Oleh itu, pemecah ombak jenis Crasmet dan pemecah ombak jenis timbunan batu merupakan pemecah ombak yang sesuai untuk mengawal hakisan di pantai Kuala Terengganu.



Rajah 2 Pemecah Ombak Crasmet



Rajah 3 Pemecah Ombak Timbunan Batu (Rubble Mound)

Jadual 3 menunjukkan hasil daripada temubual bersama 3 orang pegawai JPS daerah Kuala Terengganu dan JPS negeri Terengganu. Jadual 3 menunjukkan ciri-ciri pemecah ombak yang dibina di Kuala Terengganu ditetapkan oleh data analisis kawasan pantai seperti aras ombak dan data monsun untuk mendapatkan saiz, ketinggian dan ketebalan pemecah ombak.

Bagi bentuk geometri pantai Kuala Terengganu menggunakan bentuk trapezium *Rubble Mound Breakwater* iaitu susunan timbunan berbentuk trapezium daripada yang kecil hingga timbunan yang besar. Hal ini kerana susunan batuan yang paling kecil itu akan saling *interconnect* antara satu sama lain dan juga sifat batuan yang mempunyai permukaan yang tidak rata menyebabkan batuan itu akan saling menyokong struktur daripada tekanan ombak yang besar daripada laut. Hal ini selaras dengan lapisan batuan besar yang dibentuk disebut sebagai lapisan pelindung (*armor layer*) dan lapisan inti (*Core*) yang terdiri daripada batuan-batuan yang lebih kecil (Campos *et al.*, 2020). Manakala Crasmet pula dibina menggunakan bahan konkrit yang sifatnya tahan dan kuat menahan hempasan tenaga ombak.

Dari segi bahan yang telah digunakan untuk membina pemecah ombak ialah *armor rock*, konkrit dan batu granit. Hal ini kerana sifat ketiga-tiga bahan ini adalah sangat kukuh. Hal ini dapat dibuktikan dengan pemecah ombak yang dibina sekarang di pantai Kuala Terengganu sampai sekarang belum ada lagi penyelenggaraan yang besar diperlukan untuk menjaga kestabilan pemecah ombak yang ada di Kuala Terengganu. Jangka hayat untuk pemecah ombak yang dibina kebiasaanya lebih daripada 20 tahun dan pemecah ombak di pantai Kuala Terengganu juga sudah melebihi 20 tahun pembinaanya. Fungsi tambahan untuk pemecah ombak menjadi habitat marin dan pembiakan ikan dan memberi manfaat kepada ekologi pantai.

Jadual 3 Ciri-ciri jenis pemecah ombak yang dibina di Kuala Terengganu

Soalan	Responden 1	Responden 2	Responden 3
Saiz, ketinggian, dan ketebalan struktur pemecah ombak	Analisis hidraulik seperti <i>significant wave height</i> , data <i>Work JPS</i> , monsun dan rekod	<i>Guidelines for Coastal Protection</i>	Analisis paras ombak dan tekanan yang dikenakan ke pinggir.
Bentuk geometri	Pemecah ombak timbunan batu dan pemecah ombak jenis Crasmet yang terbuat daripada Konkrit	Struktur <i>rubble mound</i> berbentuk trapezium	Struktur <i>rubble mound breakwater</i> bentuk trapezium
Bahan yang telah digunakan untuk membina pemecah	Batu perisai " <i>armor rock</i> " dan <i>concrete</i>	Batu armor, batu underlayer dan pasir tampungan	Batu granit dan <i>concrete</i>

ombak

Jangka hayat struktur pemecah ombak	20 tahun ke atas.	20 tahun ke atas	20 tahun ke atas
Fungsi tambahan	Habitat marin kecil	Kawasan perlindungan untuk ikan keci	Pembiakan ikan dan ia juga memberi manfaat kepada ekologi pantai.

4.4 Analisis Faktor Pemilihan jenis pemecah ombak yang dapat mengurangkan kadar hakisan di pantai Kuala Terengganu

Faktor pemilihan jenis pemecah ombak yang dapat mengurangkan kadar hakisan di Pantai Kuala Terengganu telah dilakukan dengan menebual 3 pegawai JPS iaitu pegawai JPS daripada daerah Kuala Terengganu dan pegawai JPS negeri Kuala Terengganu dan 2 orang kontraktor yang terlibat dalam pembinaan pemecah ombak di Kuala Terengganu.

4.4.1 Keadaan Ombak dan arus laut

Responden membuat pemantauan daripada gabungan rekod kejadian hakisan lepas dan data laporan hidrografi arah angin dominan dan perubahan garis pantai dari semasa ke semasa. Selain itu mengenalpasti kekuatan ombak dan arus laut supaya dapat memilih jenis pemecah ombak yang sesuai. Ketiga-tiga responden menyatakan bahawa setiap kawasan pantai mempunyai perbezaan keadaan ombak dan arus laut. Oleh itu, reka bentuk dan pemilihan bahan perlulah sesuai dengan keadaan kawasan pantai supaya tahap hakisan yang tinggi dapat dikurangkan. Hal ini selaras dengan pemantauan terhadap tenaga ombak dan arus amatlah penting dalam proses pembinaan pemecah ombak (Neelamani & Rajendran, 2002).

4.4.2 Lokasi

Responden mengenalpasti kawasan pantai yang sensitif kerana pantai merupakan kawasan yang sangat sensitif jika pembinaan tidak dilakukan dengan cara yang baik akan merosakkan ekosistem pantai tersebut. Responden akan memastikan reka bentuk pemecah ombak yang dibina sesuai dengan habitat marin dikawasan tersebut supaya kemusnahan dan kerosakkan habitat dan ekosistem berlaku dan membuat pemantauan yang berkala untuk memastikan pemecah ombak yang dibina selamat untuk ekosistem pantai dan sesuai dengan tahap hakisan yang tinggi.

4.4.3 Kos dan Ketersediaan bahan binaan

Responden menyatakan bahawa kos dan ketersediaan bahan sangat mempengaruhi pembangunan pemecah ombak. Di pantai Kuala Terengganu pemecah ombak dibina menggunakan bahan batu granit dan konkrit kerana bahan-bahan ini mudah didapati dan dapat mengawal hakisan di pantai Kuala Terengganu. Kos pula berdasarkan responden pembinaan pemecah ombak di muara mengambil kos anggaran RM 90 juta.

4.4.4 Jangka Hayat dan Keperluan Penyelenggaraan

Responden menyatakan jangka hayat dan keperluan penyelenggaraan sangat dititikberatkan oleh responden kerana setiap kerosakkan kehilangan bahan pemecah ombak pihak responden akan menjalankan pembaikan dengan segera supaya jangka hayat pemecah ombak terjaga. Responden menekankan bahawa pemecah ombak yang dijaga dapat bertahan sehingga 20 tahun ke atas. Hal ini selaras dengan pemilihan pemecah ombak haruslah diperhatikan dengan baik mengikut kemampuan pemilik atau pihak berkuasa tempatan untuk menyelenggara struktur tersebut (William, 1986).

4.4.5 Estetik dan Kegunaan Tambahan

Responden menyatakan bahawa pemecah ombak yang dibina di Kuala Terengganu tidak menghalang sebarang aktiviti rekreasi atau pelancongan. Pihak responden juga mengimbangi fungsi perlindungan pantai dengan nilai estetika untuk komuniti setempat dengan memastikan reka bentuk pemecah ombak tidak mengganggu landskap semula jadi kawasan pantai di samping pemecah ombak juga dapat mengurangkan hakisan yang teruk berlaku di kawasan hakisan.

4.4.6 Cabaran Teknikal

Responden menyatakan cabaran teknikal juga menjadi faktor pemilihan jenis pemecah ombak. Ini kerana dasar laut yang berpasir dan berbatu mempunyai risiko mendapan dan ketidakstabilan yang tinggi. Responden menyatakan bahawa sebelum memulakan projek pembinaan pemecah ombak, pemeriksaan secara teliti diperlukan supaya dapat membina pemecah ombak yang stabil di permukaan pantai.

4.4.7 Kedalaman Perairan

Perairan yang mempunyai kedalaman yang cetek lebih mudah untuk dibina manakala perairan yang mempunyai kedalaman yang dalam pula lebih sukar untuk dibina. Responden menyatakan bahawa pantai yang berada di kawasan Kuala Terengganu mempunyai kedalaman perairan yang dalam serta banyak yang berteluk. Setiap kali pembinaan pemecah ombak hendak dijalankan di kawasan pantai Kuala Terengganu hendaklah menjalankan penelitian yang teliti untuk mengenalpasti kawasan tersebut cetek atau dalam.

4.5 Analisis Penambahbaikan yang boleh meningkatkan keberkesanan perlindungan dalam jangka masa panjang

Penambahbaikan yang boleh meningkatkan keberkesanan perlindungan dalam jangka masa panjang telah dilakukan dengan menebual 3 pegawai JPS iaitu pegawai JPS daripada daerah Kuala Terengganu dan pegawai JPS negeri Kuala Terengganu dan 2 orang kontraktor yang terlibat dalam pembinaan pemecah ombak di Kuala Terengganu.

Jadual 4 menunjukkan penambahbaikan yang telah dilaksanakan oleh pihak responden iaitu JPS dengan menambahkan lapisan batu pelindung untuk bahagian, membuat kajian tentang susun atur jarak pemecah ombak dan penyelenggaraan yang kerap terutama selepas musim monsun. Bagi maklumat yang diperolehi untuk reka bentuk hibrid sesuai digunakan di pantai Kuala Terengganu adalah kerana rekaan pemecah ombak hibrid ini lebih mesra alam dan dapat menjaga habitat hidupan marin serta pemecah ombak rekaan hibrid ini akan bertahan lebih lama jika dibina mengikut keadaan tempatan. Hal ini selaras dengan reka bentuk hibrid ini dapat memelihara ekosistem marin dan dapat mengurangkan tenaga ombak (BERNAMA, 2025).

Maklumat yang diperolehi untuk pembinaan pemecah ombak yang lebih mesra alam tetapi tetap kuat menahan hakisan adalah dengan menggunakan bahan semula jadi supaya bahan konkrit dapat dikurangkan. Di samping itu, ia akan menyebabkan habitat marin akan lebih terjaga dan pemecah ombak juga akan dibina dengan lebih stabil. Selain itu, teknologi pemantauan yang telah digunakan untuk memantau keadaan pemecah ombak ialah drone. Drone ini akan digunakan apabila sesuatu bahagian pemecah ombak sukar untuk diperiksa secara langsung maka drone akan digunakan untuk mengenalpasti kerosakkan pada struktur pemecah ombak tersebut.

Jadual 4 juga menunjukkan pandangan daripada pihak responden tentang penambahbaikan jangka panjang yang terbaik adalah dengan menambahkan pasir di pesisir pantai yang terjejas dengan hakisan, akibat ribut dan ombak yang kuat. Hal ini kerana pihak responden ingin menjaga pantai tanpa mengubah bentuk garis pantai yang asal. Selain itu, pihak responden juga mencadangkan penambahbaikan dengan pemantauan yang lebih berkala supaya kerosakkan atau kehilangan bahan pemecah ombak dapat dikesan awal sebelum kerosakkannya dapat dicegah sebelum menjadi lebih buruk.

Jadual 4 Penambahbaikan yang boleh meningkatkan keberkesanan perlindungan dalam jangka masa panjang

Soalan	Responden 1 (JPS)	Responden 2 (JPS)	Responden 3 (JPS)
Penambahbaikan yang telah dilaksanakan	Penambahan lapisan batu pelindung.	Membuat kajian tentang pelarasan susun atur dan jarak pemecah ombak terhadap pemecah	Penyelenggaraan berkala terutama ketika selepas musim monsun
Reka bentuk hibrid	Berupaya menyokong ekosistem marin	Berpotensi digunakan tapi belum dibina di pantai Kuala Terengganu	Kos untuk membuat rekaan hibrid ini sangat tinggi.

Pemecah ombak dibina supaya lebih mesra alam	Menggunakan bahan semula jadi supaya lebih mesra alam dan bentuk rekaannya sesuai untuk pergerakan sedimen.	Mengurangkan penggunaan konkrit	Mencuba reka bentuk hibrid iaitu gabungan pemecah ombak dan tukun tiruan. .
Teknologi pemantauan moden	Drone	Drone	Drone

5 Kesimpulan Kajian

5.1 Pencapaian Objektif Kajian

Hasil daripada keseluruhan kajian yang dilaksanakan, setiap objektif bagi kajian ini dapat dicapai.

- Mengenalpasti jenis pemecah ombak yang sesuai dengan tahap hakisan yang berlaku di pantai Kuala Terengganu.
- Menilai faktor pemilihan jenis pembinaan pemecah ombak bagi mengurangkan hakisan di pantai Kuala Terengganu.
- Mencadangkan penambahbaikan yang boleh meningkatkan keberkesanan perlindungan pantai dalam jangka masa panjang.

5.1.1 Objektif 1: Mengenalpasti jenis pemecah ombak yang sesuai dengan tahap hakisan yang berlaku di pantai Kuala Terengganu

Pemecah ombak yang sesuai dengan tahap hakisan di pantai Kuala Terengganu ialah Pemecah Ombak Muara iaitu pemecah ombak timbunan batu *Rubble Mound* dan pemecah ombak Crasmet. Hal ini disebabkan oleh pemecah ombak ini sesuai dengan jenis garis pantai dan tahap hakisan yang tinggi di pantai Kuala Terengganu. Dengan adanya pembinaan pemecah ombak hakisan pantai yang tinggi dan kemusnahan kawasan pantai dapat dielakkan.

5.1.2 Objektif 2: Menilai faktor pemilihan jenis pemecah ombak bagi mengurangkan kadar hakisan di pantai Kuala Terengganu

Hasil kajian menunjukkan faktor keadaan ombak dan arus yang mencabar semasa monsun, kesesuaian lokasi bagi melindungi aktiviti sosio-ekonomi penduduk, serta kekangan kos dan logistik yang mengutamakan penggunaan batu granit di kawasan muara. Selain itu, impak alam sekitar (EIA), jangka hayat struktur melalui penyelenggaraan *armor rock*, dan nilai estetika untuk rekreasi turut menjadi kriteria penting. Gabungan faktor ini memastikan pemilihan struktur *rubble mound* adalah paling efektif, stabil, dan lestari dalam mengurangkan kadar hakisan di pantai Kuala Terengganu.

5.1.3 Objektif 3: Mencadangkan penambahbaikan yang boleh meningkatkan keberkesanan perlindungan pantai dalam jangka masa panjang

Hasil kajian menunjukkan cadangan penambahbaikan yang boleh dilakukan adalah dengan membuat penyelenggaraan yang berkala seperti pasca-monsoon, inovais reka bentuk hibrid dengan menggabungkan pemecah ombak dengan tukun tiruan, menggunakan teknologi moden seperti sensor dan drone dan menggunakan bahan semula jadi yang lebih mesra alam seperti penambahan pasir supaya garis pantai dapat diperlihara.

5.2. Limitasi Kajian

Limitasi kajian yang telah dikenal pasti antaranya ialah semasa proses temubual iaitu ketidaksediaan dan kekangan daripada pihak responden untuk memberikan kerjasama sepenuhnya dalam menjalankan temubual.

5.3. Cadangan Kajian Lanjutan

Berdasarkan hasil kajian yang diperoleh terdapat beberapa saranan yang boleh dilakukan:

- i. Mengkaji keberkesanan reka bentuk pemecah ombak hibrid dalam mengurangkan hakisan pantai serta kesannya terhadap ekosistem marin di pantai Kuala Terengganu.
- ii. Mengkaji perubahan morfologi pantai dan pergerakan sedimen selepas pembinaan pemecah ombak dalam tempoh jangka panjang bagi menilai kesan sebenar terhadap garis pantai.
- iii. Mengkaji tahap penerimaan dan impak sosial pembinaan pemecah ombak terhadap komuniti setempat, khususnya nelayan dan aktiviti ekonomi pesisir pantai.

5.4. Penutup

Kesimpulannya, kajian ini mencapai objektif dalam menjelaskan pembangunan pemecah ombak di Kuala Terengganu. Keberkesanan perlindungan pantai bergantung kepada pertimbangan menyeluruh terhadap faktor ombak, arus, bahan binaan, kos, dan impak alam sekitar. Penyelenggaraan berkala selepas musim monsun serta pemantauan berterusan adalah kritikal bagi mengekalkan kestabilan struktur dalam jangka masa panjang. Secara keseluruhannya, perancangan teliti melalui penggunaan reka bentuk hibrid dan bahan berkualiti terbukti berkesan mengurangkan hakisan pantai di samping menjaga keseimbangan alam sekitar dan keperluan komuniti setempat.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan setinggi-tinggi terima kasih kepada Fakulti Pengurusan Teknologi dan Perniagaan serta kepada Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongan yang diberikan.

Konflik Kepentingan

Penulis mengumumkan bahawa tidak ada konflik kepentingan yang berkaitan dengan penerbitan makalah ini.

Sumbangan Penulis

Penulis mengesahkan sumbangan kepada kertas ini seperti berikut: **konsepsi dan reka bentuk kajian:** Siti Nur Safiqah Binti Safanjamal; **pengumpulan data:** Siti Nur Safiqah Binti Safanjamali; **analisis dan interpretasi hasil:** Siti Nur Safiqah Binti Safanjamal, Sharifah Meryam Binti Shareh Musa; **penyediaan draf manuskrip:** Siti Nur Safiqah Binti Safanjamal, Sharifah Meryam Binti Shareh Musa, Rozlin Zainal dan Narimah Kasim. Semua penulis telah mengkaji hasil dan meluluskan versi terakhir manuskrip.

Rujukan

- Abdullah, M. (2020). Perencanaan pemecah gelombang tipe caisson di pelabuhan perikanan Nusantara Kota Baru Kalimantan Selatan. Universitas Muhammadiyah Makassar. Ang Kean Hua. 2016 Mengenai penyelidikan dan kajian kes: Satu tinjauan literature GEOGRAFIA OnlineTM *Malaysian Journal of Society and Space* 12 issue 10 (49-55).
- BERNAMA. (2025). Hibrid pemecah ombak, tukun sebagai alternatif kawal hakisan pantai Terengganu Terengganu Pakar. <https://www.bernama.com/bm/news.php?id=2381689>
- Blokland, T., Escartin, J., Fons, M., Glennerster, M., Smith, G., Tørum, A., Trmal, C., & Sallaberry, A. (2007). Design of marine structures. Dalam K. McConnell (Ed.), *The Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering* (Bab 6). <https://kennisbankwaterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/BWchapter%206.Pdf>
- Campos, Á., Castillo, C., & Molina-Sánchez, R. (2020). Damage in rubble mound breakwaters. Part I: Historical review of damage models. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(5), 317. <https://doi.org/10.3390/jmse8050317>
- Diraputra, Suparman A. 2001. Sistem Hukum dan Kelembagaan dalam Pengelolaan Wilayah Pesisir secara Terpadu. *Prosiding Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu*. Bogor: PKSPL IPB.
- Fu, Z., Zhao, X., Wang, Y., & Yan, Z. (2021). Numerical simulations of waves interacting with flexible submerged horizontal plate breakwaters. *Ocean Engineering*, 230, 108933. <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/6/1004>
- Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS). (2020). Laporan Tahunan Pengurusan Pantai Negara 2019/2020. Kuala Lumpur: Bahagian Pengurusan Zon Pantai, Kementerian Alam Sekitar dan Air (KASA). Kumar, A., & Astha.

- (2022). Observationmethod. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/360808469_OBSERVATION_MET_HOD
- Kementerian Kerajaan Tempatan dan Perumahan.(2020).
https://mlgh.sabah.gov.my/muatturun/files/GarisPanduan/lanskap/GP0152019_GP%20Kawasan%20
- Liu, Y., Zhang, H., & Wang, S. (2020). Hydrodynamic performance of floating breakwaters under irregular waves. *Ocean Engineering*, 209,107430. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107430>
- Le, T. Q., Vu, H. T. D., Oberle, P., Dang, T. D., Ba, H. T., & Manh, H. L. (2024).Hydrodynamics and wave transmission through a hollow triangle breakwater *Estuarine Coastal and She Science*, 276,108765. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2024.108765>
- Mohd Lokman, H., Ismail, T., & Hashim, R. (2015). Effectiveness of coastal protection structures in Malaysia: A review. *Ocean & Coastal Management*, 116, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.002>
- Mohamed Rashidi, A. H., Jamal, M. H., Hassan, M. Z., Mohd Sendek, S. S., Mohd Sopie, S. L., & Abd Hamid, M. R. (2021). Coastal structures as beach erosion control and sea level rise adaptation in Malaysia: A review. *Water*, 13(13), 1741. <https://doi.org/10.3390/w13131741>
- Narashid, R.H., Zakaria, M.A., Mohd, F.A., Pa'Suya, M.F., Talib, N. & Ariffin, E.H. (2021). Effect of erosion and accretion on beach profile in Kuala Terengganu coastal areas. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Vol. 620*. IOP Publishing Ltd.
- Neelamani, S., & Rajendran, R. (2002). Wave Interaction with 'L'-type breakwaters. *Applied Ocean Research*, 23(2), 115–129.[https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(01\)00030-0](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(01)00030-0)
- Rosli, N. A., Hamzah, J., & Ismail, K. (2021). Persepsi komuniti terhadap perubahan garis pantai di Mengabang Telipot, Terengganu. *Jurnal Geografi Alam Sekitar*, 8(1), 35–48. -Shapes-of-Horizontal-Breakwaters-10-II-METHODOLOGY-OF-VERTICAL BREAKWATERS_fig2_321900568
- Sabitha Marican. (2005). *Kaedah Penyelidikan Sains Sosial*. Petaling Jaya, Selangor: Pearson Prentice Hall.
- Saengsupavanich, C., Ariffin, E. H., Yun, L. S., & Pereira, D. A. (2022). Environmental impact of submerged and emerged breakwaters. *Heliyon*, 8(12), e12626. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12626>
- Siedoo. (2025). Pemecah ombak hibrid mengawal hakisan pantai Terengganu. Siedoo. <https://siedoo.com/2025/01/14/pemecah-ombak-hibrid-mengawal-hakisan-pantai-terengganu/>
- Teh, H.M. (2019). Design and Performance of Free Surface Breakwaters. *Journal of Coastal Engineering Research*.
- Wahyudi, F. (2016). Pengertian pemecah ombak (breakwater) [Web log PT. Anugerah Atlantik]. Retrieved from <http://www.kubusapung.id/post/8/pengertian-pemecah-ombak-breakwater.html>.
- Williams, D. (2024, January). Breaking waves, building havens: A guide to protection against natural & manufactured events. MSA Professional Services. <https://www.msa-ps.com/breaking-waves-building-havens-a-guide-to-protection-against-natural-manufactured-events/MSA+3MSA+3MSA+3>
- William, A. E. (1986). Design of breakwaters and jetties (Engineer Manual No.1110-2-2904). U.S. Army Corps of Engineers. https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-2904.pdf
- Zahra, K.A. (2018). Assessment of implementation stages of submerged breakwater on the bay and shoreline at AlAhlam Sea Resort, Northwest Coast, Egypt. *Ocean and Coastal Management* 165: 15–32.
- Zhang, Y., Wang, L., & Li, X. (2021). Advanced modeling techniques for coastal wave dynamics. *Journal of Coastal Engineering*, 168, 102-115. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2021.103730>