

Studi Literatur Penelitian Pemecah Gelombang Berpori terhadap Nilai Koefisien Transmisi dan Koefisien Refleksi

Irwan^{1*}, M.A. Thaha¹, S. Rahman²

¹Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Gowa, INDONESIA

²Departemen Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin, Gowa, INDONESIA

*Corresponding author: irwangani03@gmail.com

INTISARI

Gelombang yang datang secara terus-menerus ke garis pantai dapat menyebabkan abrasi, erosi, dan kerusakan pada ekosistem pesisir maupun infrastruktur di sekitarnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, para peneliti mengembangkan berbagai bentuk dan tipe pemecah gelombang (*breakwater*) sebagai struktur pelindung pantai. Salah satu perlindungan pantai yang digunakan untuk pantai berlumpur adalah menggunakan pemecah gelombang tipe permeabel atau berpori yang lolos air. Tinjauan pustaka ini dilakukan dengan mengkaji beberapa penelitian pemecah gelombang berpori terhadap nilai koefisien transmisi dan koefisien refleksi. Jurnal ini dipilih melalui empat tahapan utama, yaitu pemilihan basis data, pencarian awal, seleksi sampel, dan penyempurnaan akhir. Basis data yang digunakan meliputi Web of Science, dan Google Scholar karena memiliki cakupan luas serta reputasi yang baik dalam publikasi ilmiah bidang teknik kelautan dan teknik pantai. Selanjutnya, dilakukan proses seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, serta secara spesifik membahas kinerja hidrodinamika yang terdiri koefisien transmisi dan koefisien refleksi. Berbagai model seperti blok beton berpori, dinding berpori, blok beton terkait, hingga keranjang berisi batu menunjukkan nilai K_t dan K_r yang berbeda, performanya berkisar 20% sampai dengan 80% terhadap tinggi gelombang datang. Desain perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kemampuan mereduksi energi gelombang melalui refleksi dan disipasi energi pada struktur agar diperoleh desain yang efektif dalam melindungi kawasan pesisir.

Kata kunci: diameter pori, koefisien transmisi, koefisien refleksi.

1 PENDAHULUAN

Perubahan kondisi pantai akibat aktivitas gelombang laut merupakan salah satu isu penting dalam bidang teknik pantai dan kelautan. Banyak dari garis pantai berupa material sedimen lepas seperti kerikil, pasir, atau lumpur yang dipengaruhi oleh gelombang, arus, dan angin, yang terus-menerus membentuknya kembali (Robert, 2004). Gelombang yang datang secara terus-menerus ke garis pantai dapat menyebabkan abrasi, erosi, dan kerusakan pada ekosistem pesisir maupun infrastruktur di sekitarnya. Untuk mengatasi masalah tersebut, para peneliti mengembangkan berbagai bentuk dan tipe pemecah gelombang (*breakwater*) sebagai struktur pelindung pantai. Fungsi utama pemecah gelombang adalah mengurangi energi gelombang sebelum mencapai daratan, sehingga laju abrasi dapat ditekan dan stabilitas garis pantai dapat dipertahankan (Hariati et al., 2020). Namun, variasi kondisi laut di setiap lokasi menuntut inovasi desain yang mampu menyesuaikan diri dengan karakteristik gelombang dan morfologi pantai yang beragam. Oleh karena itu, dalam memilih jenis yang akan digunakan, diperlukan pertimbangan terhadap fungsi kawasan pantai yang akan dilindungi, fungsi ekologis lingkungan (Kuswadi et al., 2022) dan pengaruhnya terhadap transport sedimen (Hariati et al., 2020).

Selain bertujuan mencegah abrasi, penelitian mengenai bentuk-bentuk model pemecah gelombang juga dilatarbelakangi oleh kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi disipasi energi gelombang. Gelombang yang merambak mengenai suatu bangunan pemecah gelombang, sebagian energinya akan diteruskan (transmisi), sebagian energinya dipantulkan (refleksi), dan sebagian energinya akan dihancurkan (disipasi) (Kuswadi et al., 2022). *Breakwater* tipe tumpukan batu membutuhkan biaya pembangunan yang mahal (Paotonan et al., 2021). Selain itu, pemecah gelombang tipe ini menggunakan material batu alam yang cukup besar sehingga berpotensi mengganggu lingkungan akibat penambangan batu dengan ukuran yang relatif besar dan dalam jumlah yang banyak (Paotonan et al., 2021). Struktur pelindung pantai yang dirancang untuk melindungi pantai dapat diintegrasikan ke dalam berbagai solusi tergantung pada ruang yang tersedia, lokasi, dan urgensi sosial penempatannya (Sujantoko, 2022). Salah satu perlindungan pantai yang digunakan untuk pantai berlumpur adalah menggunakan pemecah gelombang tipe *permeabel* atau berpori yang lolos air berupa kelompok tiang (Hendra Achiari1 et al., 2020). Pemecah gelombang tipe permeable ini memiliki struktur bercelah yang terdapat jarak antara satu dan lainnya, sehingga dapat meloloskan sebagian air yang datang akibat gelombang dari lepas (Hendra Achiari1 et al., 2020). Banyak teknologi yang sudah dikembangkan oleh para ahli saat ini seperti bangunan revetment, groin, breakwater

lepas pantai (*detached breakwater*), namun belum dirasa memuaskan (I Ketut Dharma Setiawan dan Juventus W.R. Ginting, 2018). Efektifitas struktur pemecah gelombang dalam melindungi perairan pesisir dan pelabuhan dapat dilihat dari seberapa besar energi gelombang yang dapat diserap oleh bangunan tersebut (Mulyawan et al., 2023).

2 METODE PENELITIAN

Tinjauan literatur ini dilakukan dengan mengkaji beberapa penelitian pemecah gelombang berpori terhadap nilai koefisien transmisi dan koefisien refleksi. Jurnal ini dipilih melalui empat tahapan utama, yaitu pemilihan basis data, pencarian awal, seleksi sampel, dan penyempurnaan akhir. Basis data yang digunakan meliputi Web of Science, dan Google Scholar karena memiliki cakupan luas serta reputasi yang baik dalam publikasi ilmiah bidang teknik kelautan dan teknik pantai.

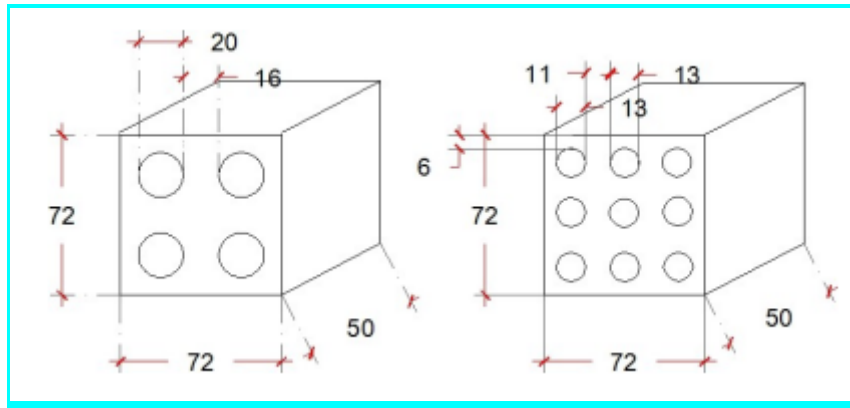
Selanjutnya, dilakukan proses seleksi berdasarkan kriteria inklusi serta secara spesifik membahas kinerja hidrodinamika yang terdiri koefisien transmisi dan koefisien refleksi. Kriteria inklusi yang digunakan adalah kriteria penelitian yang terdiri atas penelitian tentang pemecah gelombang berpori, membahas koefisien transmisi dan atau koefisien refleksi gelombang, serta menggunakan metode eksperimen atau pemodelan fisik. Artikel yang tidak relevan dieliminasi melalui penelaahan judul, abstrak, dan naskah lengkap. Dari hasil seleksi, diperoleh lima artikel penelitian utama yang menjadi dasar analisis dalam studi ini. Kelima jurnal tersebut secara kolektif mencakup seluruh variabel utama yang dikaji, yaitu kinerja pemecah gelombang meliputi koefisien transmisi dan koefisien refleksi gelombang. Meskipun tidak setiap jurnal membahas semua variabel secara bersamaan

Tahap akhir berupa penyempurnaan sampel dilakukan melalui analisis komprehensif untuk memastikan artikel yang terpilih benar-benar representatif, sehingga kajian literatur yang dihasilkan bersifat sistematis, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademik.

3 KAJIAN LITERATUR PARAMETER K_T DAN K_R STRUKTUR BERPORI

Berbagai model penelitian pemecah gelombang berpori telah dikembangkan untuk memahami perilaku interaksi antara gelombang laut dan struktur pelindung pantai tersebut. Penelitian-penelitian sebelumnya dilakukan melalui pendekatan model fisik di laboratorium dengan menggunakan saluran gelombang dua dimensi (*2D wave flume*), sehingga karakteristik gelombang yang datang, dipantulkan, dan diteruskan oleh struktur dapat diamati secara terkontrol. Dalam beberapa studi sebelumnya, model pemecah gelombang berpori dibuat dengan memanfaatkan berbagai jenis bahan pembentuk struktur, seperti blok beton, resin, multipleks, maupun keranjang besi yang diisi material tertentu untuk menciptakan tingkat porositas yang diinginkan. Variasi bahan dan konfigurasi struktur tersebut digunakan untuk merepresentasikan karakteristik struktur berpori yang berbeda, sehingga dapat dianalisis pengaruhnya terhadap proses disipasi energi gelombang, khususnya terhadap nilai koefisien transmisi dan koefisien refleksi gelombang yang dihasilkan oleh struktur pemecah gelombang tersebut.

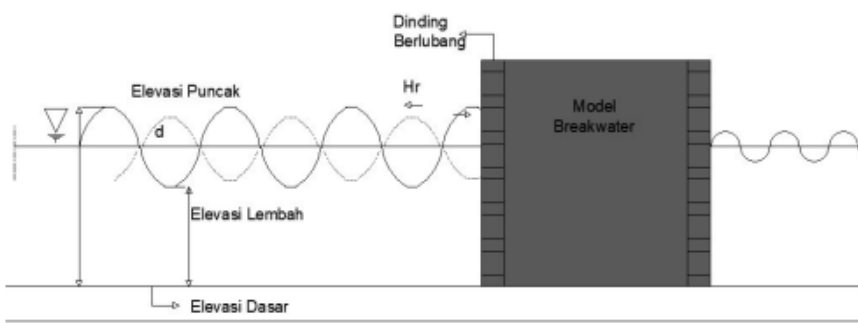
Blok beton berlubang merupakan pemecah gelombang yang memiliki fungsi serupa dengan terumbu karang dan pemecah gelombang buatan. Penelitian oleh (Tamrin dkk., 2014) menunjukkan model pemecah gelombang yang menggunakan penempatan blok beton berlubang dengan 3 ukuran yang bervariasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelidiki bagaimana blok beton berlubang berfungsi sebagai struktur pelindung pemecah gelombang dalam mengurangi tinggi gelombang. Dalam menganalisis pengaruh berbagai ukuran terhadap efektivitas penggunaannya, maka dilakukan simulasi dengan tiga tinggi (H) air yang berbeda sekitar 2 cm – 4,5 cm dan periode (T) sekitar 1–2 detik, serta 3 kedalaman air (d) yang bervariasi, yaitu 18,5 cm; 21,5 cm, dan 24 cm. Untuk memenuhi persyaratan skala semua variabel, digunakan skala geometris 1:20. Gambar model dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi pemecah gelombang blok beton berlubang (Sumber: Tamrin et al, 2014)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kuswadi et al. (2022), kajian mengenai refleksi gelombang dilakukan melalui pendekatan pemodelan fisik dua dimensi di laboratorium. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya koefisien refleksi gelombang yang terjadi akibat interaksi gelombang dengan struktur model yang diuji. Dalam proses pengujian, parameter utama yang diamati adalah tinggi gelombang sebelum mengenai struktur dan tinggi gelombang setelah mengalami refleksi. Perbandingan antara kedua parameter tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai koefisien refleksi gelombang sebagai indikator kemampuan struktur dalam memantulkan energi gelombang yang datang.

Data hasil pengukuran selanjutnya dianalisis untuk melihat hubungan antara koefisien refleksi gelombang dengan luas lubang pada model struktur yang digunakan. Dalam penelitian tersebut digunakan empat sampel model yang berbeda berdasarkan jumlah lubang serta lebar lubang pada struktur. Variasi tersebut kemudian dikombinasikan dengan penggunaan *ventury flume* untuk mensimulasikan kondisi aliran dan gelombang secara lebih terkontrol di laboratorium. Melalui variasi konfigurasi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karakteristik lubang pada struktur terhadap besarnya refleksi gelombang yang terjadi, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai desain struktur berpori yang lebih efektif dalam mereduksi energi gelombang. Gambar model disajikan pada Gambar 2 berikut.



(a)

(b)

Gambar 2. (a) Sketsa Pengujian Gelombang Menggunakan Breakwater Dinding Berlubang (b) Model Breakwater (Sumber : Didit Kuswadi et al, 2022)

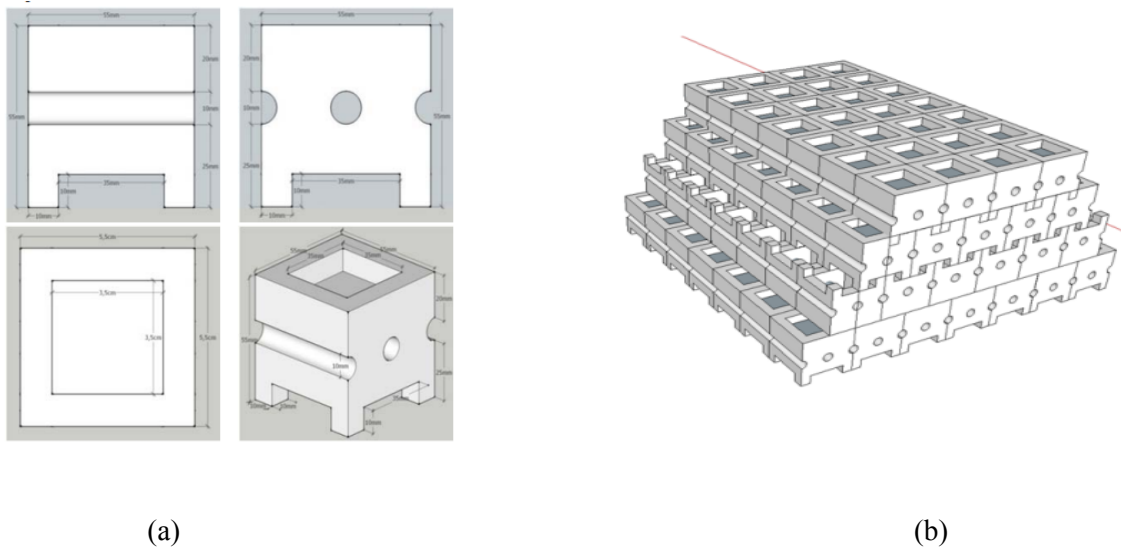
Adapun variasi panjang gelombang pada flume ditentukan dari nilai 71,63 cm sampai pada 91,98 cm ditentukan berdasarkan parameter pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perhitungan panjang gelombang

No	d (mm)	T (detik)	L (cm)
1	16	1,1	91,98
2	15	1,1	87,12
3	14	1,1	82,10
4	13	1,1	76,93
5	12	1,1	71,62

Variasi ini dilakukan untuk mensimulasikan kondisi gelombang rendah ke gelombang tinggi sehingga dapat diamati pengaruh perubahan karakteristik gelombang terhadap proses refleksi yang terjadi pada struktur yang diuji. Dengan menggunakan beberapa variasi panjang gelombang tersebut, peneliti dapat menganalisis sejauh mana perubahan panjang gelombang mempengaruhi besarnya gelombang yang dipantulkan oleh struktur. Melalui pengujian ini diharapkan dapat diperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai hubungan antara panjang gelombang dengan nilai koefisien refleksi gelombang yang dihasilkan pada model pemecah gelombang di dalam saluran flume.

I Ketut Dharma Setiawan dan Juventus W.R. Ginting (2018) meneliti *breakwater* tenggelam blok beton berkait. Model *breakwater* tenggelam blok beton berkait dengan skala 1:10 ini dibuat dari campuran semen dan pasir. Kemudian blok beton tersebut saling dikaitkan dan disusun seperti gambar teknis seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. (a) Isometrik model breakwater blok beton berkait (b) Sketsa penyusunan block beton (Sumber : Ketut Dharma Setiawan dan Juventus W.R. Ginting, 2018)

Variasi parameter hidro-oseanografi yang diterapkan sebagai berikut.

Tabel 2. Perhitungan panjang gelombang berdasarkan variasi parameter hidroceanografi

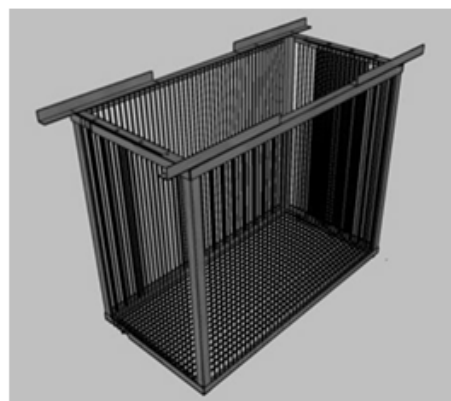
Model	Kedalaman air (m)	Tinggi <i>feeboard</i> (m)	Lebar puncak (m)
1	0,4	0,2	1,0
			1,5
			2,0
2	0,35	0,15	1,0
			1,5
			2,0

Model	Kedalaman air (m)	Tinggi freeboard (m)	Lebar puncak (m)
3	0,3	0,10	1,0
			1,5
			2,0
4	0,25	0,05	1,0
			1,5
			2,0
5	0,20	0,00	1,0
			1,5
			2,0

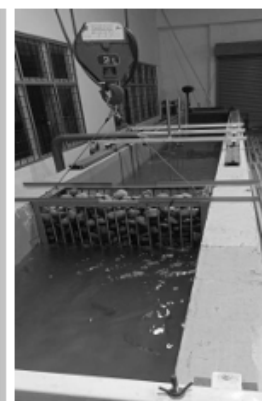
Kajian refleksi gelombang ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik interaksi gelombang terhadap struktur *interlocking submerged breakwater* yang tersusun dari blok-blok beton. Struktur pemecah gelombang tipe ini dirancang dengan konfigurasi saling mengunci (*interlocking*) sehingga mampu memberikan stabilitas yang lebih baik terhadap pengaruh gaya gelombang. Dalam proses interaksi tersebut, sebagian energi gelombang akan dipantulkan kembali ke arah laut, sebagian lagi akan terdisipasi di sekitar struktur, dan sebagian dapat diteruskan melewati bagian atas atau celah struktur. Skematisasi skenario model penelitian dilakukan dengan memvariasikan beberapa parameter geometrik utama dari struktur pemecah gelombang. Variasi yang diterapkan antara lain perubahan besaran freeboard terhadap puncak *breakwater* serta perubahan lebar puncak struktur. Perubahan nilai freeboard mempengaruhi seberapa besar bagian struktur yang berada di atas atau di bawah permukaan air, yang pada akhirnya menentukan intensitas limpasan gelombang (*wave overtopping*) dan tingkat refleksi yang terjadi. Sementara itu, variasi lebar puncak *breakwater* berpengaruh terhadap panjang lintasan gelombang saat berinteraksi dengan struktur, sehingga dapat mempengaruhi tingkat disipasi energi gelombang. Melalui variasi parameter tersebut, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh konfigurasi struktur terhadap karakteristik refleksi gelombang pada *interlocking submerged breakwater*.

Mulyawan et al., (2023) mengkaji *hanging breakwater*. Model pemecah gelombang tipe *Hanging Breakwater* dirancang sebagai keranjang persegi panjang yang dapat diisi dengan batu dan dapat divariasikan panjang modelnya yang dapat berubah-ubah sehingga dapat kita sesuaikan dengan panjang yang diinginkan. Beberapa material yang digunakan dalam penelitian ini adalah: model pemecah gelombang besi tipe *hanging breakwater* dengan lebar (b) = 97 cm, panjang model ($L_1 = 40$ cm, $L_2 = 50$ cm, $L_3 = 60$ cm dan tinggi model (h) = 80 cm. Gambar modelnya seperti pada Gambar 4 berikut.

(a)



Gambar 4. (a) Model *Hanging Breakwater* (b) Model *Hanging Breakwater* Flume (Sumber : Deni Mulyawan



(b)

Breakwater di Wave et al., 2023)

Ada dua variabel yang akan penelitian ini, variabel terikatnya gelombang yang ditransmisikan gelombang refleksi (H_r).

variabel bebasnya adalah koefisien transmisi (K_t) dan koefisien refleksi (K_r). Tinggi gelombang diukur dengan 5 titik pengukuran di depan model dan 3 titik di belakang model. Jarak antara probe di depan model ditentukan oleh panjang gelombang. Informasi utama yang diamati dan dicatat selama uji laboratorium adalah tinggi gelombang di depan dan di belakang model. Dari hasil pengujian dan perekaman tinggi gelombang pada setiap titik pengamatan, sensor 1, 2, 3, 4 dan 5 berada di depan model dan probe 6, 7 dan 8 berada di belakang model. Kedalaman air (d) adalah 70 cm dan dengan variasi periode 1 s.d. 2 detik. Perekaman menggunakan sensor kemudian hasil rekaman tersebut dikirimkan ke data logger di komputer.

diteliti dalam adalah tinggi (H_i) dan tinggi Sedangkan

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Imran Al Hamzah, 2025) mengenai pemecah gelombang berpori juga dilakukan untuk memahami kinerja struktur dalam mereduksi energi gelombang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh diameter lubang terhadap nilai koefisien refleksi dan koefisien transmisi gelombang pada pemecah gelombang berpori dengan sisi miring. Struktur berpori dengan sisi miring dipilih karena dianggap mampu meningkatkan proses disipasi energi gelombang melalui kombinasi mekanisme refleksi, transmisi, serta kehilangan energi akibat gesekan dan turbulensi yang terjadi di dalam lubang-lubang struktur.

Dalam penelitian ini digunakan model pemecah gelombang dengan beberapa variasi diameter lubang dan jarak antar lubang untuk mengkaji pengaruh konfigurasi pori terhadap karakteristik gelombang yang berinteraksi dengan struktur. Parameter tersebut kemudian dianalisis berdasarkan nilai koefisien refleksi dan koefisien transmisi yang dihasilkan dari hasil pengujian. Model *breakwater* dibuat menggunakan potongan multipleks dengan ketebalan 2 cm yang disusun membentuk geometri trapesium di dalam saluran gelombang. Melalui variasi konfigurasi lubang pada model tersebut, penelitian ini berupaya untuk mengetahui bagaimana perubahan dimensi dan distribusi lubang pada struktur berpori dapat mempengaruhi kemampuan pemecah gelombang dalam mereduksi energi gelombang yang datang.

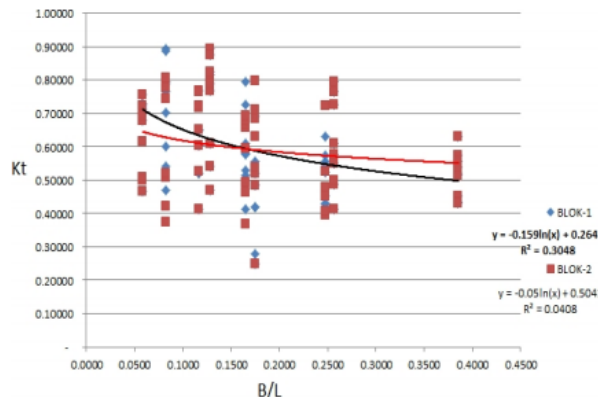
Metode dari kelima penelitian tersebut dirangkum dalam Tabel 3, meliputi bentuk model, diameter pori, kedalaman perairan, variasi periode gelombang dan variasi tinggi gelombang.

Tabel 3. Perbandingan metode dan variasi parameter penelitian

Penulis	Bentuk model	Diameter Pori (cm)	Kedalaman Air (cm)	Variasi Periode (detik)	Variasi Tinggi Gelombang (cm)
Tamrin et al	Blok beton berpori	1,3 dan 2,0	18,5, 21,5 dan 24	1 s.d. 2	2 s.d. 4,5
Didit Kuswadi et al	Dinding berpori	12,13,14,15,16	12-16	1,1	4,29 s.d. 5,39
I Ketut Dharma Setiawan et al	Blok beton terkait	1	20,25,30,35 dan 40	1 s.d. 2,6	5 s.d. 10
Hamzah Al Imran et al	Dinding berpori (multipleks)	0,8 , 1 dan 1,2	16,20 dan 24	1,2,1,3 dan 1,4	2,8 s.d. 5,075
Deni Mulyawan et al	keranjang persegi panjang	Acak (di isi batu)	70	1, 1,2, 1,5, 1,8 dan 2,0	1,5 s.d. 4,62

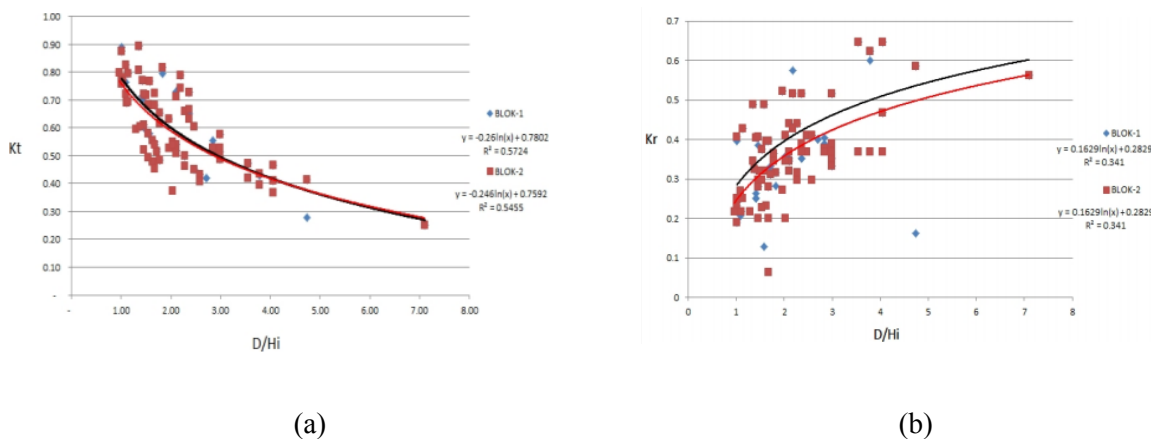
4 KAJIAN HASIL PENELITIAN STRUKTUR PEMECAH GELOMBANG BERPORI

Penelitian (Tamrin et al., 2014) menunjukkan dengan penambahan slot pada blok beton, tinggi gelombang di bagian belakang pemecah gelombang dalam struktur akan berkurang karena energi gelombang akan diserap oleh pori-pori beton, yang pada akhirnya akan mengurangi tinggi gelombang di bagian belakang pemecah gelombang. Hal ini akan ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Grafik pengaruh panjang slot B/L terhadap koefisien transmisi (K_t) (Sumber : Tamrin et al, 2014)

Sedangkan nilai K_t dan K_r sangat dipengaruhi oleh ukuran diameter lubang blok beton. Jika diameter slot pori (D/H_i) lebih lebar, maka kemampuan disipasi blok beton akan berkurang, dan refleksi di depan pemecah gelombang akan lebih kecil, namun gelombang transmisi akan lebih besar. Jika diameter slot blok beton (D/H_i) semakin kecil, maka tingkat disipasi pemecah gelombang akan meningkat, sehingga gelombang transmisi dan refleksi akan lebih besar. Hal ini bisa dilihat seperti pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. (a) Grafik pengaruh diameter slot terhadap koefisien transmisi (K_t) (b) Grafik pengaruh diameter slot terhadap koefisien refleksi (Sumber : Tamrin et al, 2014)

Berdasarkan grafik hasil penelitian, terlihat bahwa pengaruh ukuran diameter lubang pori memberikan variasi yang cukup signifikan terhadap nilai koefisien transmisi gelombang (K_t). Nilai koefisien transmisi yang diperoleh berada pada rentang antara 0,28 hingga 0,83. Rentang nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan dimensi lubang pada struktur berpori sangat mempengaruhi besarnya energi gelombang yang dapat diteruskan melewati struktur pemecah gelombang. Dengan kata lain, karakteristik porositas yang dibentuk oleh diameter lubang menjadi salah satu parameter berpengaruh dalam menentukan kinerja hidrodinamika dari pemecah gelombang berpori.

Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin kecil diameter lubang pori pada struktur, maka nilai koefisien transmisi gelombang (K_t) cenderung semakin kecil. Sebaliknya, apabila diameter lubang pori semakin besar, maka nilai K_t akan semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena ukuran lubang yang lebih kecil menyebabkan hambatan aliran gelombang yang lebih besar, sehingga energi gelombang yang mampu melewati struktur menjadi lebih terbatas. Sebaliknya, lubang dengan diameter yang lebih besar memberikan ruang yang lebih luas bagi aliran gelombang untuk melewati struktur, sehingga jumlah energi gelombang yang diteruskan ke belakang pemecah gelombang menjadi lebih besar.

Hal yang berbeda terjadi pada nilai koefisien refleksi gelombang, dimana ketika diameter pori pada struktur pemecah gelombang semakin kecil maka nilai koefisien refleksi cenderung semakin besar. Kondisi ini terjadi karena lubang pori yang berukuran kecil memberikan hambatan yang lebih besar terhadap pergerakan gelombang

yang datang, sehingga sebagian besar energi gelombang akan dipantulkan kembali ke arah laut oleh permukaan struktur tersebut. Sebaliknya, apabila diameter pori semakin besar, maka gelombang memiliki ruang yang lebih luas untuk menembus struktur sehingga energi yang dipantulkan menjadi lebih kecil dan nilai koefisien refleksi cenderung menurun.

Sedangkan Penelitian Didit Kuswadi et al (2022) hasil menunjukkan bahwa nilai terbesar koefisien refleksi (K_r) terdapat pada model empat yaitu 0,3436 dikarenakan luasan lubang yang terkecil. Nilai terkecil koefisien refleksi (K_r) terdapat pada model satu breakwater yaitu 0,2373 tipe dinding berpori dikarenakan luasan lubangnya yang terbesar pada model breakwater, dan untuk nilai koefisien lain pada model dua dan tiga yaitu 0,2555 dan 0,2807. Secara keseluruhan hubungan antara koefisien refleksi, koefisien transmisi terhadap ukuran diameter dan luasan yang tenggelam dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi model satu dan dua

No	d (mm)	Hi/L	Kr	Hi/L	Kr
1	16	0,0587	0,2407	0,0620	0,2632
2	15	0,0591	0,2233	0,0585	0,2549
3	14	0,0572	0,2766	0,0609	0,2400
4	13	0,0630	0,1959	0,0487	0,2267
5	12	0,0559	0,2500	0,0572	0,2927

Tabel 5. Rekapitulasi model tiga dan empat

No	d (mm)	Hi/L	Kr	Hi/L	Kr
1	16	0,0473	0,4943	0,0603	0,5676
2	15	0,0729	0,2598	0,0683	0,2101
3	14	0,0706	0,2759	0,0731	0,1667
4	13	0,0708	0,3333	0,0845	0,1538
5	12	0,0866	0,3548	0,0803	0,2522

Tabel 4 dan Tabel 5 menyajikan hasil rekapitulasi pengujian empat model pemecah gelombang berpori yang dianalisis berdasarkan beberapa parameter utama, yaitu diameter pori (d), rasio tinggi gelombang terhadap panjang gelombang (Hi/L), serta koefisien refleksi gelombang (Kr). Diameter pori (d) merupakan ukuran lubang pada struktur pemecah gelombang berpori yang divariasikan dari 16 mm hingga 12 mm. Berdasarkan data pada Tabel 4, yang merupakan hasil pengujian Model Satu dan Model Dua, nilai koefisien refleksi gelombang (Kr) menunjukkan variasi pada setiap perubahan diameter pori dan rasio Hi/L . Pada Model Satu nilai Kr berkisar antara 0,1959 hingga 0,2766, sedangkan pada Model Dua berkisar antara 0,2267 hingga 0,2927. Variasi nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan diameter pori mempengaruhi kemampuan struktur dalam memantulkan energi gelombang. Pada beberapa kondisi terlihat bahwa semakin kecil diameter pori, maka hambatan terhadap aliran gelombang menjadi lebih besar sehingga energi gelombang yang dipantulkan cenderung meningkat. Sebaliknya, diameter pori yang lebih besar memberikan ruang bagi gelombang untuk menembus struktur sehingga energi yang dipantulkan menjadi lebih kecil.

Sementara itu, pada Tabel 5 yang menunjukkan hasil pengujian Model Tiga dan Model Empat, nilai koefisien refleksi gelombang (Kr) menunjukkan rentang yang lebih bervariasi. Pada Model Tiga nilai Kr berkisar antara 0,2598 hingga 0,4943, sedangkan pada Model Empat berkisar antara 0,1538 hingga 0,5676. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa selain diameter pori, parameter lain seperti rasio tinggi gelombang terhadap panjang gelombang (Hi/L) juga mempengaruhi besarnya refleksi gelombang yang terjadi. Nilai Hi/L menggambarkan karakteristik gelombang yang datang, sehingga perubahan rasio tersebut akan mempengaruhi intensitas interaksi gelombang dengan struktur berpori.

Secara keseluruhan, hasil pengujian pada keempat model menunjukkan bahwa konfigurasi struktur pemecah gelombang berpori, khususnya diameter pori dan karakteristik gelombang yang dinyatakan dalam rasio H_i/L , memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai koefisien refleksi gelombang. Struktur dengan konfigurasi pori yang tepat dapat mengurangi energi gelombang yang dipantulkan dan meningkatkan proses disipasi energi di dalam struktur. Oleh karena itu, pemilihan diameter pori dan desain geometrik pemecah gelombang berpori menjadi faktor penting dalam perencanaan struktur pelindung pantai yang efektif dalam mereduksi energi gelombang.

I Ketut Dharma Setiawan dan Juventus W.R. Ginting (2018) meneliti bahwa nilai koefisien refleksi berbeda beda akibat variasi lebar puncak, kecuraman gelombang, dan kedalaman air. Unjuk kerja bangunan pemecah gelombang ambang rendah blok beton berkait berdaya guna sebagai bangunan pelindung pantai bawah air ditinjau dari refleksi gelombang dengan koefisien refleksi 34,7% pada saat $(h-d)/h = 0$ dan lebar puncak $B = 2.0$. Refleksi gelombang dipengaruhi oleh dimensi pemecah gelombang ambang rendah blok beton berkait yang dicirikan oleh kedalaman air dan lebar puncak bangunan. Secara detail nilai koefisien refleksi terhadap variasi lebar puncak, kecuraman gelombang, dan kedalaman air dapat dilihat pada Tabel 6,7 dan 8

Tabel 6. Perbandingan variasi kecuraman gelombang terhadap koefisien refleksi pada lebar puncak 1 meter

Variasi Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2)	Koefisien refleksi (Kr)	Variasi Elevasi Muka Air (cm)	Koefisien refleksi (Kr)
0,002	0,08	0,2	0,15
0,003	0,11	0,3	0,13
0,004	0,12	0,4	0,24

Tabel 7. Perbandingan variasi kecuraman gelombang terhadap koefisien refleksi pada lebar puncak 1,5 meter

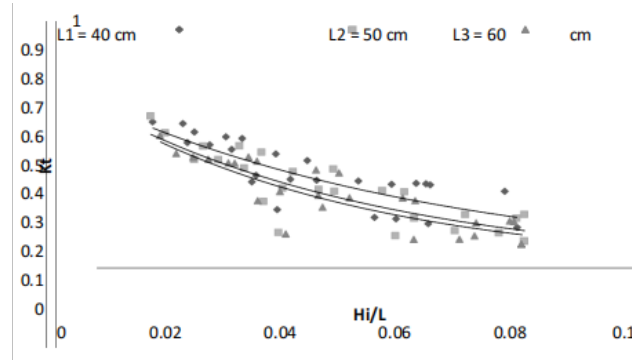
Variasi Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2)	Koefisien refleksi (Kr)	Variasi Elevasi Muka Air (cm)	Koefisien refleksi (Kr)
0,002	0,07	0,2	0,18
0,003	0,14	0,3	0,17
0,004	0,27	0,4	0,14

Tabel 8. Perbandingan variasi kecuraman gelombang terhadap koefisien refleksi pada lebar puncak 2 meter

Variasi Kecuraman Gelombang (H_i/gT^2)	Koefisien refleksi (Kr)	Variasi Elevasi Muka Air (cm)	Koefisien refleksi (Kr)
0,002	0,08	0,2	0,18
0,003	0,13	0,3	0,17
0,004	0,34	0,4	0,14

Hasilnya menunjukkan berdasarkan perbedaan lebar puncak gelombang besaran nilai refleksi pada tabel yakni lebar puncak $B = 2,0$ berkisar 8,8%–34,7%, pada lebar puncak $B = 1,5$ berkisar 7,2%–27,5%, sedangkan pada lebar puncak $B = 1,0$ berkisar 8,3% –24,5 %. Peredaman energi gelombang dipengaruhi oleh dimensi *breakwater* yang dicirikan oleh kedalaman air diatas puncak bangunan dan lebar puncak bangunan. Unjuk kerja *Breakwater* blok beton berkait cukup signifikan sebagai bangunan pelindung pantai bawah air ditinjau dari refleksi dengan koefisien refleksi hingga 34,7% pada saat $(h-d)/h = 0$ dan lebar puncak $B = 2.0$

Hasil penelitian Deni Mulyawan et al (2023) untuk ketiga variasi model ($L_1 = 40$ cm, $L_2 = 50$ cm dan $L_3 = 60$ cm) dimana semakin besar nilai Kecuraman gelombang (H_i/L) maka nilai koefisien transmisi (Kt) semakin kecil pada tiap-tiap model sebaliknya semakin kecil nilai kecuraman gelombang (H_i/L) maka nilai koefisien transmisi (Kt) nya semakin besar. Hasilnya dapat dilihat seperti pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Perbandingan H_i/L terhadap K_t untuk semua model, Deni Mulyawan et al (2023)

Dari Gambar 7 menunjukkan bahwa apabila dibandingkan antara variasi model ($L_1 = 40$ cm, $L_2 = 50$ cm dan $L_3 = 60$ cm) maka dapat dilihat bahwa nilai K_t condong lebih rendah pada variasi model ke tiga yaitu $L_3 = 60$ cm dengan nilai $0,095 < K_t < 0,530$ dan $L_2 = 0,108 < K_t < 0,608$ serta $L_1 = 0,163 < K_t < 0,584$. Hal ini menunjukkan bahwa pemecah gelombang tipe hanging breakwater lebih efektif jika semakin lebar model uji yang diberikan. Lebar model akan banyak mereduksi energi gelombang datang sehingga tinggi gelombang setelah melewati struktur pemecah gelombang akan semakin kecil.

Hasil penelitian Hamzah Al Imran et al. (2025) menunjukkan bahwa diameter lubang berpengaruh signifikan terhadap koefisien refleksi dan transmisi. Model dengan diameter lubang yang besar menunjukkan nilai koefisien refleksi yang lebih kecil dan nilai koefisien transmisi yang lebih besar. Hal ini karena gelombang yang menghantam model dengan diameter lubang yang besar cenderung lebih diserap dan tidak dipantulkan secara signifikan. Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekap data tinggi hasil antara tinggi gelombang datang (H_i) terhadap tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang transmisi (H_t) pada model 1

Kedalaman air (cm)	Periode (detik)	H_i (cm)	H_r (cm)	H_t (cm)
16	1,2	3,539	1,744	1,241
16	1,3	3,110	1,594	1,107
16	1,4	2,837	1,528	1,087
20	1,2	4,207	2,481	1,625
20	1,3	3,892	2,433	1,594
20	1,4	3,634	1,871	1,470
24	1,2	5,075	4,406	1,708
24	1,3	4,741	3,786	1,689
24	1,4	4,498	3,660	1,663

Dari Tabel 9 dapat disimpulkan bahwa pada model 1 semakin dalam air maka semakin rendah tinggi gelombang refleksi dan gelombang transmisi. Semua variasi di atas juga diterapkan pada model 2 dan model 3. Hasilnya menunjukkan model 3 dengan diameter lubang 1,2 cm lebih baik dalam meredam gelombang refleksi dan mentransmisikan gelombang dibandingkan dengan model 1 dengan diameter 0,8 cm dan model 2 dengan diameter 1,0 cm. Hal ini terjadi karena porositas pada model 3 lebih besar dari model lainnya. Kemudian koefisien refleksi dan transmisi pada model 3 dengan diameter 1,2 cm lebih baik dibandingkan model lainnya. Penelitian ini membuktikan bahwa semakin besar porositas maka semakin kecil koefisien refleksi dan transmisi.

Hasil dari kelima penelitian tersebut direkap sebagai dalam Tabel 10. Perbandingan yang dimasukkan meliputi bentuk model, diameter pori, dan koefisien transmisi dan koefisien refleksi

Tabel 10. Perbandingan hasil penelitian

Penulis	Bentuk model	Diameter Pori (cm)	Koefisien transmisi (K_t)	Koefisien refleksi (K_r)	Keterangan
Tamrin et al	Blok beton berpori	1,3 dan 2,0	0,28 s.d. 0,83	0,2 s.d. 0,65	Jika pori semakin besar maka gelombang transmisi besar dan gelombang refleksi kecil
Didit Kuswadi et al	Dinding berpori	12,13,14,15,16	-	0,19 s.d. 0,56	Ada pengaruh Kecuraman Gelombang
I Ketut Dharma Setiawan et al	Blok beton terkait	1 (variasi lebar puncak, kecuraman gelombang, dan kedalaman air)	-	0,1 s.d. 0,34	
Hamzah Al Imran et al	Dinding berpori (multipelks)	0,8, 1 dan 1,2	0,33 s.d. 0,38	0,49 s.d. 0,81	semakin besar porositas maka semakin kecil koefisien refleksi dan semakin besar koefisien transmisi.
Deni Mulyawan et al	keranjang persegi panjang	Acak (di isi batu)	0,095 s.d. 0,584	-	lebih efektif jika semakin lebar model uji

Berdasarkan Tabel 10 terlihat bahwa berbagai penelitian mengenai pemecah gelombang berpori menunjukkan variasi nilai koefisien transmisi (K_t) dan koefisien refleksi (K_r) yang dipengaruhi oleh perbedaan bentuk model, diameter pori, serta konfigurasi struktur yang digunakan. Secara umum, seluruh penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui kemampuan struktur berpori mereduksi energi gelombang melalui mekanisme refleksi dan transmisi gelombang di dalam pori-pori struktur, performanya berkisar 20% sampai dengan 80% terhadap tinggi gelombang datang. Perbedaan material dan geometri model seperti blok beton berpori, dinding berpori, blok beton terkait, hingga keranjang berisi batu menunjukkan bahwa desain struktur sangat menentukan kinerja hidrodinamika pemecah gelombang.

Struktur dengan porositas yang lebih besar cenderung meningkatkan transmisi gelombang namun menurunkan refleksi, sedangkan struktur dengan pori yang lebih kecil cenderung meningkatkan refleksi gelombang. Oleh karena itu, perancangan pemecah gelombang berpori perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kemampuan mereduksi energi gelombang melalui refleksi dan transmisi energi di dalam struktur agar diperoleh desain yang efektif dalam melindungi kawasan pesisir.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari kelima penelitian tersebut dapat diberi kesimpulan sebagai berikut ;

1. Semakin besar diameter pori atau tingkat porositas struktur, maka gelombang yang dapat melewati struktur semakin besar sehingga nilai koefisien transmisi (K_t) meningkat, sedangkan koefisien refleksi (K_r) cenderung menurun. Selain diameter pori, faktor lain yang mempengaruhi adalah kecuraman gelombang, kedalaman air, panjang rongga pori dan lebar puncak struktur.
2. Berbagai model seperti blok beton berpori, dinding berpori, blok beton terkait, hingga keranjang berisi batu menunjukkan nilai K_t dan K_r yang berbeda, performanya berkisar 20% sampai dengan 80% terhadap tinggi

gelombang datang. Performa ini menunjukkan bahwa geometri pori dan kondisi perairan sangat menentukan kemampuan struktur dalam mereduksi energi gelombang.

3. Desain perlu mempertimbangkan keseimbangan antara kemampuan mereduksi energi gelombang melalui refleksi dan transmisi energi di dalam struktur agar diperoleh desain yang efektif dalam melindungi kawasan pesisir.

REFERENSI

- Hariati, F., Muhammad, F., & Taqwa, L. (2020). *Kajian konseptual pemecah gelombang*. 5(1), 31–37.
- Hendra Achiar1 at. al. (2020). *Analisis Refleksi dan Transmisi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Tiang Pancang*. December, 723–738. <https://doi.org/http://doi.org/10.29244/jitkt.v12i3.27591>
- I Ketut Dharma Setiawan dan Juventus W.R. Ginting. (2018). *Wave Reflection on Interlocking Concrete Block Submerged Breakwater*. 33–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.32679/jth.v9i1.335>
- Imran Al Hamzah, et al. (2025). *Pengaruh Variasi Diameter Lubang Pada Breakwater Sisi Miring Berpori Terhadap Koefisien Refleksi Dan Transmisi*. 12(4), 1494–1500.
- Kuswadi, D., Tugiono, S., Wahono, E. P., & Zakaria, A. (2022). *Study Refleksi Gelombang Menggunakan Model Breakwater Tipe Dinding Berpori Dengan Pemodelan Fisik 2-D*. 10(2), 257–266. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jrsdd.v10i2.2572>
- Mulyawan, D., Paotonan, C., Kelautan, D. T., Hasanuddin, U., Breakwater, H., & Transmisi, K. (2023). *Studi Eksperimental Pengaruh Panjang Struktur Hanging Breakwater Terhadap Transmisi Gelombang*. 5(2), 186–190.
- Paotonan, C., Rahman, S., Umar, H., Putra, T. P., Teknik, D., Fakultas, K., & Universitas, T. (2021). *FORMULASI ANALITIS GAYA GELOMBANG PADA HANGING*. 4(1), 86–92.
- Robert, R. G. D. and R. A. D. (2004). *Coastal Processes with Engineering Applications*. <https://scispace.com/pdf/coastal-processes-with-engineering-applications-3wb35rwhzk.pdf>
- Sujantoko, et al. (2022). *Stability Analysis of Concrete Block Anchor on Steep-Slope*.
- Tamrin, P. S., Parung, H., Thaha, A., & Blok, A.--. (2014). *Studi Eksperimental Tembok Pemecah Gelombang dari Bata Beton Berlubang*. 6–10.