

Wave Tank Skala Laboratorium dengan Pembuat Ombak Tipe Piston

Deny Murdianto^{1*}, Rusli Jerius², Marhadi Budi Waluyo³, Hadi Santoso⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan
Jl. Amal Lama No.1 Kota Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

*Corresponding author: denymurdianto@gmail.com

Abstract

Wave power plants are very possible to be developed in Indonesia, given the vast potential of its waters. Various research related to wave power plants has also been widely carried out and continues to be developed to date. As an initial step before conducting further research, a laboratory-scale wave tank was constructed as a medium to observe wave characteristics. This study aims to design and construct a laboratory-scale wave tank capable of generating controlled waves for observing wave characteristics. The main parameters analyzed in this study are the height and length of waves generated by a piston-type wavemaker. The method used is a technical design that includes the design of the wave tank, frame system, and piston-type wavemaker mechanism. The wave tank was designed with dimensions of 150 cm in length, 35 cm in width, and 35 cm in height, while the support frame was designed based on mechanical load calculations to ensure system stability during operation. The drive system used an electric motor with a single rotation speed controlled by a dimmer to regulate the amplitude of the piston movement. Wave height and length data were collected experimentally using a camera in the form of photos and videos, which were then analyzed visually to obtain wave parameters under various wavemaker operating conditions. The design results produced a piston-type wave tank machine with a frame size, which is 155 cm long, 40 cm wide, and 122 cm high which is used to stably support the tank, electric motor, and wavemaker. The test results show that the system is capable of producing wave heights vary from 1.1 cm to 2.5 cm, while the resulting wavelengths also vary from 10.5 cm to 21 cm. These wave characteristics indicate that the developed wave tank can generate controllable periodic waves and is suitable for use as a laboratory testing facility for further research in the fields of fluid mechanics and ocean wave energy conversion.

Keywords: laboratory, piston, wave, wave tank.

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga gelombang laut sangat memungkinkan untuk dikembangkan di Indonesia mengingat potensi wilayah perairannya yang sangat luas. Berbagai penelitian terkait pembangkit listrik tenaga gelombang laut juga sudah banyak dilakukan dan terus dikembangkan hingga saat ini. Sebagai langkah awal sebelum melakukan penelitian lebih lanjut, dibuatlah *wave tank* skala laboratorium sebagai media untuk mengamati karakteristik gelombang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun wave tank skala laboratorium yang mampu menghasilkan gelombang terkontrol untuk pengamatan karakteristik gelombang. Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah tinggi dan panjang gelombang yang dihasilkan oleh *wavemaker* tipe piston. Metode yang digunakan adalah perancangan teknik yang mencakup perancangan tangki gelombang, sistem rangka, dan mekanisme *wavemaker* tipe piston. Tangki gelombang dirancang dengan dimensi panjang 150 cm, lebar 35 cm, dan tinggi 35 cm, sedangkan rangka penopang dirancang berdasarkan perhitungan beban mekanik untuk menjamin kestabilan sistem selama pengoperasian. Sistem penggerak menggunakan motor listrik dengan kecepatan putaran tunggal yang dikendalikan melalui dimmer untuk mengatur amplitudo gerak piston. Pengambilan data tinggi dan panjang gelombang dilakukan secara eksperimental menggunakan kamera dalam bentuk foto dan video, yang selanjutnya dianalisis secara visual untuk memperoleh parameter gelombang pada berbagai kondisi operasi *wavemaker*. Hasil rancang bangun menghasilkan *wave tank* model piston dengan ukuran rangka, yaitu panjang 155 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 122 cm yang digunakan untuk menopang tangki, motor listrik, dan *wavemaker* secara stabil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan tinggi gelombang yang bervariasi mulai dari 1,1 cm – 2,5 cm sedangkan panjang gelombang yang dihasilkan bervariasi juga antara 10,5 cm hingga 20,5 cm. Variasi karakteristik gelombang ini menunjukkan bahwa *wave tank* yang dikembangkan mampu menghasilkan gelombang periodik yang dapat dikendalikan dan layak digunakan sebagai fasilitas uji laboratorium untuk penelitian lanjutan di bidang mekanika fluida dan konversi energi gelombang laut.

Kata kunci: gelombang, laboratorium, piston, *wave tank*.



1. Pendahuluan

Salah satu masalah di dunia saat ini adalah krisis energi. Permintaan energi terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi, sementara sumber energi fosil yang masih menjadi andalan dunia semakin menipis dan berdampak buruk pada lingkungan. Beberapa faktor utama yang menyebabkan krisis energi meliputi: ketergantungan pada bahan bakar fosil, perubahan iklim dan emisi karbon, ketidakstabilan geopolitik, ketidakmerataan akses energi, dan kurangnya infrastruktur energi terbarukan [1] [2] [3]. Energi terbarukan menjadi solusi krisis energi karena sumbernya melimpah, berkelanjutan, dan memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil dibandingkan energi fosil. Energi gelombang laut sangat memungkinkan untuk dikembangkan di Indonesia karena Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki pulau dan lautan yang sangat besar, oleh karena itu potensi Indonesia dalam pemanfaatan energi gelombang laut ini sangat besar dibandingkan dengan negara-negara lainnya.

Penelitian tentang gelombang skala laboratorium sangat penting sebelum diterapkan langsung di lapangan. Tanpa penelitian laboratorium, risiko kegagalan dan biaya proyek di lapangan bisa meningkat drastis. Studi laboratorium memungkinkan pengembangan teknologi dan desain yang lebih efisien, aman, dan hemat biaya sebelum implementasi skala penuh. Berdasarkan hal tersebut, kami melakukan penelitian terkait *wave tank* dengan *wavemaker* tipe piston. Sebelumnya kami sudah berhasil membuat *wave tank* yang menghasilkan gelombang dengan *wavemaker* tipe *flap* [4]. *Wavemaker* tipe piston menghasilkan gelombang dengan memanfaatkan gerakan maju-mundur secara linier seperti piston, sedangkan pada *wavemaker* tipe *flap* salah satu sisi (atas atau bawah) di tahan pada engsel sedemikian hingga hanya satu sisi yang berayun seperti pintu dan menghasilkan gelombang.

Metode yang paling umum digunakan untuk pembangkitan gelombang soliter adalah dengan menggunakan pembuat gelombang tipe piston [5] [6]. Gelombang soliter yang dimaksud adalah gelombang tunggal yang bergerak tanpa perubahan bentuk dan kecepatan dalam suatu medium. Gelombang ini termasuk dalam kategori gelombang nonlinear dan sering muncul dalam sistem fluida dangkal, seperti kanal air atau laut. Gelombang soliter yang dihasilkan menggunakan hukum gerak dayung yang berasal dari solusi *Rayleigh* (diliniarkan atau disesuaikan) lebih murni dan lebih cepat terbentuk daripada prosedur berbasis teori air dangkal mana pun [5]. Sedangkan fokus dari penelitian [6] adalah bagaimana membangkitkan gelombang soliter semurni mungkin dengan menggunakan alat pembuat gelombang tipe piston. Mereka juga mensimulasikan lintasan partikel fluida dalam gerakan gelombang yang diberikan oleh dayung gelombang. Pada penelitian lanjutannya, [7] menyimpulkan bahwa metode yang diusulkan pada penelitian sebelumnya efektif untuk menghasilkan gelombang soliter, bahkan jika dayung gelombang tidak pas dengan *flume* gelombang.

Kode numerik untuk menghasilkan gelombang di *Numerik wave tank* (NWT) divalidasi terlebih dahulu terhadap data eksperimental untuk memeriksa keakuratan dan ketangguhan kode. Pengaturan eksperimental turbin dengan kode numerik awal divalidasi dengan membandingkan tinggi gelombang dan kinerja turbin terhadap data eksperimental. Hasil simulasi komputasi dinamika fluida menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data eksperimen [8]. Eksperimen numerik pada pembuat gelombang tipe piston baru juga dilakukan pada penelitian [9]. Teori ini terutama diturunkan dari persamaan Boussinesq klasik, berdasarkan metode iterasi parameter semu *Pseudo-parameter Iteration Method* (PIM). Teori baru ini digunakan untuk mengamati gelombang soliter dan gelombang *cnoidal* yang merambat dengan amplitudo rendah, di

mana dapat dilihat kemampuan kerja dan validitas teori tersebut.

Pemodelan gelombang panjang yang dihasilkan oleh pembuat gelombang miring ke bawah pada penelitian [10] dapat menghasilkan gelombang yang lebih panjang daripada gelombang soliter dalam hal panjang gelombang efektif, yang memberikan model gelombang panjang yang lebih baik. Model numerik nonlinier dan dispersif dibuat untuk memodelkan tangki gelombang. Adapun pada penelitian [11] yang melakukan pengaturan *wavemaker* dalam pembangkitan gelombang reguler dengan variasi kecepatan motor berbasis mikrokontroler *open hardware* pada Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro, mengemukakan bahwa panjang gelombang, tinggi gelombang, periode gelombang dan kecepatan gelombang dapat diatur sesuai dengan kehendak peneliti melalui mikrokontroler yang sudah diprogram. Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat kita simpulkan bahwa panjang maupun tinggi gelombang dapat diciptakan melalui berbagai metode, selain itu kedalaman *wavemaker* juga dapat mempengaruhi besarnya gelombang yang dihasilkan. Menurut hasil penelitian [12], semakin tinggi stroke segitiga yang masuk semakin besar pula amplitudo gelombang yang terbentuk, begitu pula dengan frekuensinya. Semakin tinggi frekuensinya maka semakin tinggi pula amplitudonya.

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaturan parameter gelombang melalui pengendalian kecepatan motor berbasis mikrokontroler [11] serta pengaruh stroke dan frekuensi gerak *wavemaker* terhadap amplitudo gelombang [12], penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada aspek kontrol dan hubungan parametrik gelombang. Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, fokus utama penelitian ini adalah pada rancang bangun *wave tank* skala laboratorium dengan *wavemaker* tipe piston dari sisi mekanik dan struktural, serta evaluasi

kinerja sistem secara eksperimental. Penelitian ini menekankan integrasi antara desain mekanik *wavemaker*, perhitungan beban rangka, dan pengujian kemampuan sistem dalam menghasilkan variasi tinggi dan panjang gelombang. Selain itu, karakterisasi gelombang dilakukan menggunakan metode akuisisi visual berbasis foto dan video, yang menawarkan pendekatan eksperimental sederhana namun efektif sebagai tahap awal pengembangan fasilitas uji gelombang untuk penelitian lanjutan di bidang mekanika fluida dan energi gelombang laut.

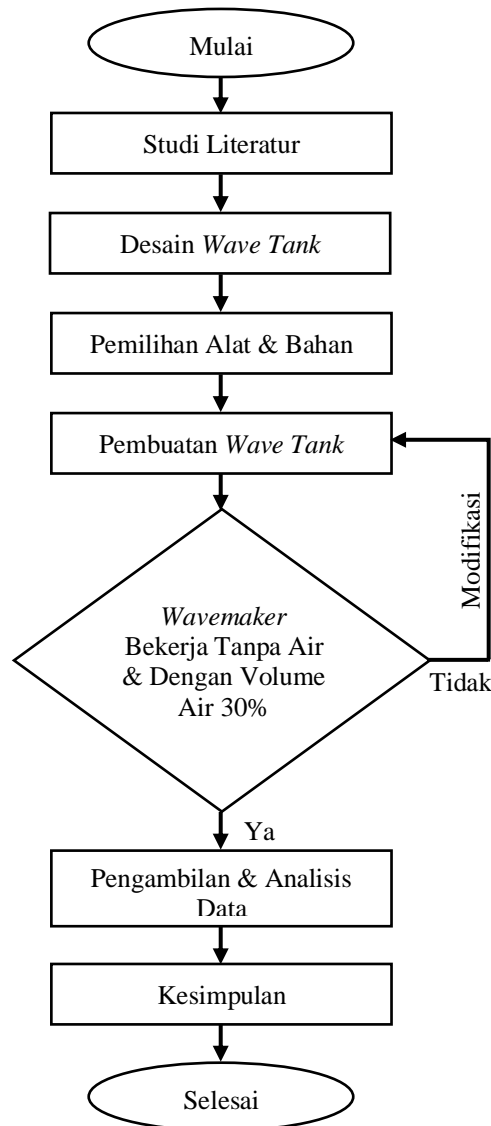
Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun *wave tank* skala laboratorium dengan *wavemaker* tipe piston serta mengevaluasi kemampuan sistem dalam menghasilkan variasi tinggi dan panjang gelombang melalui pengamatan eksperimental. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi penelitian lanjutan terkait pemodelan numerik, pembangkitan gelombang nonlinear, serta pengujian sistem konversi energi gelombang laut.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimental, dimana penelitian dimulai dengan studi literatur, membuat desain dan perhitungan alat, menyiapkan alat dan bahan, membuat alat, melakukan uji fungsi pada alat, serta diakhiri dengan melakukan pengambilan dan analisis data. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai teori dan konsep yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang diteliti serta mendapatkan referensi yang kuat dalam menerapkan suatu metode yang digunakan. Pada tahap desain *wave tank* dilakukan penentuan dimensi, material, dan kapasitas motor sebagai penggerak pembuat gelombang, serta memodelkan hasil rancangan ke dalam gambar yang kemudian diwujudkan dalam bentuk prototipe produk.

Setelah desain dan perhitungan mekanik selesai dikerjakan, tahap selanjutnya adalah menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk selanjutnya dilakukan perangkaian/pembuatan alat.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Uji coba dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin untuk memastikan alat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Apabila alat belum memenuhi kriteria, maka akan dicari masalah yang menyebabkannya dan tahapan riset akan diulang lagi, yaitu ke tahap desain dan perhitungan mekanik. Setelah tahap uji coba dilakukan dan alat sudah bekerja dengan baik serta memenuhi kriteria, dilakukan pengambilan data dan analisis data gelombang yang dihasilkan *wave tank*.

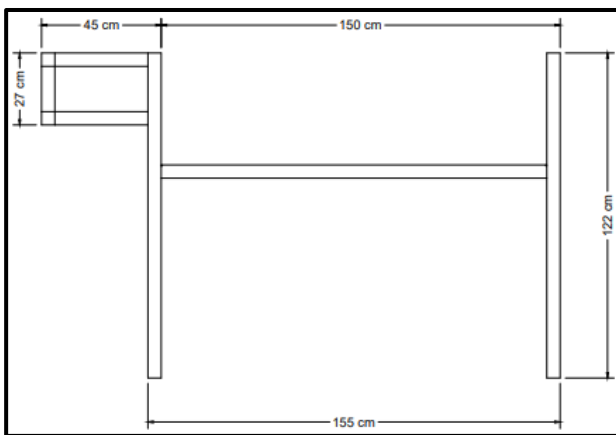
3. Hasil dan Pembahasan

Tangki yang berguna sebagai penampung air pada *wave tank* terbuat dari kaca yang memiliki ketebalan 5 mm dengan ukuran 150 cm x 35 cm x 35 cm. Proses pembuatan tangki melalui pemotongan sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan, kemudian disatukan dengan lem kaca yang kuat agar kaca menyatu dengan baik dan kaca dapat menahan gelombang yang tercipta dari *wave tank*. Kaca dipilih karena dapat memudahkan proses pengamatan terhadap gelombang yang tercipta. Tangki utama ini ditopang oleh rangka yang berukuran 155 cm x 40 cm x 122 cm dan tinggi rangka dari bawah ke ke tangki 75 cm (Gambar 2). Jenis besi yang digunakan adalah besi siku yang cukup kuat untuk menopang tangki dan motor listrik dari *wave tank* tersebut. Dalam pembuatan rangka besi siku dipotong sedemikian rupa sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan dan dilas dengan baik agar dapat bertahan dalam waktu yang lama. Tangki dan rangkanya sama dengan yang kami gunakan pada penelitian sebelumnya yaitu *wave tank* dengan tipe *flap wavemaker* [4]. Pemilihan material kaca dengan ketebalan 5 mm dan rangka besi siku bertujuan untuk menjaga kekakuan struktur sehingga deformasi tangki akibat beban air dan gelombang dapat diminimalkan, yang penting untuk memastikan gelombang yang terbentuk merepresentasikan hasil kerja *wavemaker* secara akurat.

Wavemaker merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai sumber pembentuk gelombang pada bagian dekat ujung mesin [13]. Model *wavemaker* yang digunakan sama dengan penelitian ini, yaitu *wavemaker* model piston. *Wavemaker* model piston merupakan salah satu penggerak yang paling banyak digunakan karena mekanisme geraknya sederhana dan mudah dipahami cara kerjanya sehingga banyak sekali inovasi yang dihasilkan. Mekanisme gerak linier maju-mundur pada *wavemaker* tipe piston memungkinkan transfer energi mekanik ke fluida secara langsung, sehingga karakteristik tinggi dan

panjang gelombang yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh parameter gerak piston.

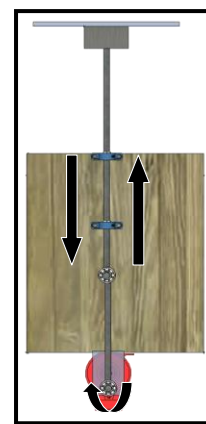
Wavemaker digerakkan oleh motor listrik dengan daya 21 Watt yang selanjutnya akan menggerakkan transmisi sederhana dengan volume air sebesar 30% dari total volume bak penampung gelombang. Pada kondisi volume air 30%, interaksi antara piston dan fluida menyebabkan adanya gaya hidrodinamik yang bekerja pada sistem, sehingga respon gerak piston dan gelombang yang dihasilkan dipengaruhi oleh massa air yang terdorong. Poros akan berputar ditunjukkan pada Gambar 3 kemudian akan menggerakkan transmisi sederhana dengan cara menggerakkan *wavemaker* maju-mundur sehingga menghasilkan gelombang. *Stanhub* dengan panjang 22 cm, ujung sisinya dihubungkan dengan putaran motor listrik sedangkan ujung lainnya dihubungkan dengan poros besi yang memiliki panjang 32 cm yang dihubungkan dengan akrilik berukuran panjang 51 cm dan lebar 32 cm. Akrilik ini yang akan menjadi *wavemaker*, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.



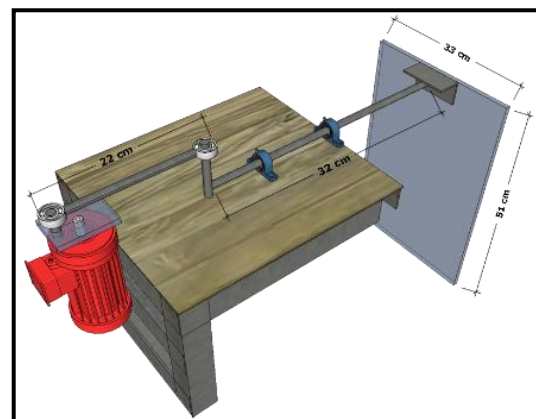
Gambar 2. Desain Rangka

Proses pembuatan *wavemaker* model piston dengan menggunakan transmisi sederhana mengalami beberapa perubahan karena gerakan maju-mundur piston kurang maksimal. Dimmer digunakan untuk menurunkan rpm motor ac, di mana digunakan satu kecepatan saja sesuai kebutuhan yang diinginkan tanpa memvariasi kecepatan tersebut. Putaran

motor ac ialah 2800 rpm yang diturunkan menggunakan dimmer menjadi 2100 rpm di mana daya yang dihasilkan ialah 21 Watt dan daya ini yang digunakan untuk proses menggerakkan transmisi sederhana. Jika semuanya sudah dapat bekerja dengan baik maka akan dilakukan pengambilan data gelombang. Penggunaan satu kecepatan putaran motor bertujuan untuk mengamati karakteristik gelombang pada kondisi operasi tetap, sehingga variasi tinggi dan panjang gelombang yang terjadi lebih merefleksikan respon sistem fluida terhadap mekanisme piston.



Gambar 3. Tampak Atas *Wavemaker*



Gambar 4. Tampak Isometri *Wavemaker*

Tabel 1. Hasil pengambilan data frekuensi *wavemaker* selama 1 menit

Volume Air	Pengambilan data ke-					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
Tanpa air (0% volume tangki)	138	136	137	139	135	136
30% volume tangki	93	94	92	95	93	93

Sebelum mendapatkan tinggi gelombang dan panjang gelombang pada volume air 30% dan pada titik pengukuran

yang berbeda maka akan terlebih dahulu melakukan pengujian frekuensi atau menghitung bolak-balik pada *wave tank* model piston selama 1 menit seperti pada Tabel 1.

Hasil dari Tabel 1 menyatakan bahwa volume air sangat mempengaruhi gerak bolak-balik alat pembuat gelombang model piston, semakin besar volume air maka semakin besar pula gaya dorong atau semakin berat pula beban yang dibutuhkan untuk menghasilkan gelombang, untuk volume air 30% memiliki rata-rata 93 kali gerakan bolak-balik sedangkan saat diuji tanpa air, gerakan *wavemaker* lebih bebas lagi dengan nilai rata-rata tanpa volume air adalah 136 kali gerakan bolak-balik. Fenomena ini sejalan dengan konsep *added mass*, di mana fluida yang bergerak bersama piston menambah inersia sistem sehingga menurunkan frekuensi gerak bolak-balik *wavemaker*.

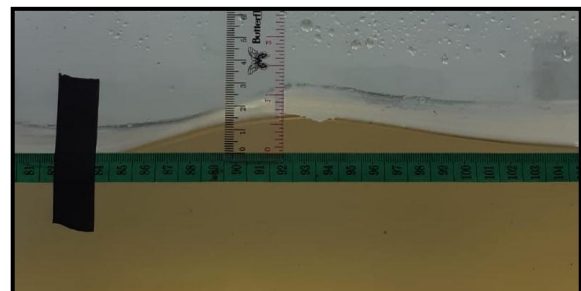
Setelah sistem mekanik *wavemaker* mampu bekerja maka dilanjutkan dengan pengambilan data yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengambilan data tinggi gelombang dengan volume air 30% dari total volume

Titik Pengukuran	Pengambilan data ke- (cm)				
	1	2	3	4	5
50 cm	2,0	1,7	1,7	2,5	2,0
70 cm	2,1	1,7	2,0	1,7	1,5
90 cm	2,0	2,5	1,1	1,3	1,3

Pada titik pengukuran 50 cm memiliki tinggi gelombang tertinggi pada percobaan ke-4 dengan tinggi gelombang yang dihasilkan sebesar 2,5 cm, sedangkan tinggi gelombang terendah terdapat pada percobaan 2 dan 3 dengan tinggi gelombang yang dihasilkan sebesar 1,7 cm. Pada titik pengukuran 70 cm memiliki tinggi gelombang tertinggi pada percobaan pertama dengan tinggi gelombang yang dihasilkan sebesar 2,1 cm, sedangkan tinggi gelombang terendah terdapat pada percobaan ke-5 dengan tinggi gelombang yang dihasilkan sebesar 1,5 cm. Pada titik pengukuran 90 cm memiliki tinggi gelombang tertinggi pada percobaan ke-2,

dengan tinggi gelombang yang dihasilkan sebesar 2,5 cm, sedangkan untuk tinggi gelombang terendah terdapat pada percobaan ke-3 dengan tinggi gelombang yang dihasilkan sebesar 1,1 cm. Gambar 5 merupakan salah satu hasil gelombang yang terbentuk. Perbedaan tinggi gelombang pada setiap titik pengukuran menunjukkan adanya pengaruh disipasi energi dan refleksi gelombang di dalam tangki, yang menyebabkan amplitudo gelombang tidak seragam sepanjang lintasan rambat.



Gambar 5. Gelombang yang dihasilkan pada titik pengukuran 90 cm

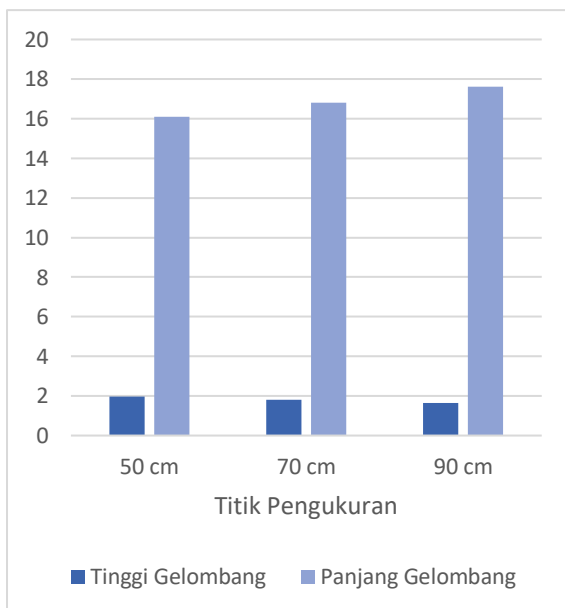
Tabel 3. Hasil pengambilan data panjang gelombang dengan volume air 30% dari total volume

Titik Pengukuran	Pengambilan data ke- (cm)				
	1	2	3	4	5
50 cm	15,0	18,0	18,5	16,0	13,0
70 cm	21,0	16,5	19,0	17,0	10,5
90 cm	20,5	20,5	11,0	20,0	16,0

Tabel 3 merupakan hasil pengambilan data panjang gelombang yang dilakukan berulang sebanyak lima kali. Pada titik pengukuran 50 cm, didapatkan panjang gelombang terpanjang pada percobaan ke-3 dengan panjang gelombang yang dihasilkan adalah 18,5 cm, sedangkan untuk panjang gelombang terpendek pada percobaan ke-5 dengan panjang gelombang yang dihasilkan sebesar 13 cm. Pada titik pengukuran 70 cm, didapatkan panjang gelombang terpanjang pada percobaan pertama dengan panjang gelombang yang dihasilkan adalah 21 cm, sedangkan untuk panjang gelombang terpendek pada percobaan ke-5 dengan panjang gelombang yang dihasilkan sebesar 10,5 cm. Pada titik pengukuran 90 cm, didapatkan panjang gelombang terpanjang pada percobaan pertama dan kedua dengan panjang gelombang yang dihasilkan adalah

20,5 cm, sedangkan untuk panjang gelombang terpendek pada percobaan ke-3 dengan panjang gelombang yang dihasilkan sebesar 11 cm. Variasi panjang gelombang yang terukur dipengaruhi oleh periode gerak piston serta kondisi batas tangki, di mana interaksi gelombang dengan dinding dan dasar tangki memengaruhi kecepatan rambat gelombang.

Hasil rerata tinggi gelombang dan panjang gelombang ditunjukkan pada Gambar 6. Rerata tertinggi untuk tinggi gelombang berada pada titik pengukuran 50 cm, dengan rerata 1,98 cm. Rerata terpanjang untuk panjang gelombang berada pada titik pengukuran 90 cm, dengan rerata 17,6 cm. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak tertentu dari *wavemaker*, gelombang memiliki kesempatan untuk berkembang lebih stabil sebelum mengalami pengaruh refleksi yang signifikan dari dinding tangki.



Gambar 6. Rata-rata tinggi gelombang dan panjang gelombang berdasarkan titik pengukuran

Tinggi gelombang dan panjang gelombang yang dihasilkan dari *wave tank* dengan *wavemaker* tipe piston berbeda-beda pada setiap titik pengukuran. Untuk mendapatkan hasil gelombang yang maksimal pada volume air dan titik pengukuran yaitu pada saat gelombang ketiga terbentuk atau pada saat *wavemaker* bergerak maju ketiga kalinya. Pada saat itulah gelombang yang terbentuk maksimal.

Begitu juga dengan gelombang keempat dan kelima. Namun, gelombang selanjutnya yang dihasilkan tidak akan optimal lagi dikarenakan tidak adanya peredam gelombang sehingga gelombang tersebut kembali mengganggu gelombang yang terbentuk sehingga gelombang tersebut saling bertabrakan membuat bentuk gelombang tidak optimal/pecah, sedangkan untuk gelombang pertama dan kedua gelombang yang dihasilkan belum optimal dikarenakan motor listrik baru dinyalakan dan masih perlu penyesuaian untuk membentuk gelombang yang maksimal. Kondisi ini mengindikasikan terjadinya superposisi antara gelombang datang dan gelombang pantul akibat ketiadaan peredam, sehingga kualitas gelombang menurun pada siklus berikutnya.

Meskipun *wave tank* ini mampu menghasilkan variasi tinggi dan panjang gelombang, sistem masih memiliki keterbatasan, antara lain belum dilengkapi peredam gelombang, penggunaan satu kecepatan motor, serta analisis gelombang yang masih berbasis pengamatan visual. Keterbatasan ini menjadi dasar untuk pengembangan lanjutan agar karakteristik gelombang yang dihasilkan lebih stabil dan terkontrol.

4. Kesimpulan

Wave tank skala laboratorium dengan *wavemaker* tipe piston berhasil dibuat dengan ukuran tangki 150 cm x 35 cm x 35 cm dari bahan kaca setebal 5 mm. Dudukan motor listrik dan transmisi sederhana disesuaikan dan diposisikan sesuai rangka. *Wavemaker* tipe piston terbuat dari bahan akrilik. Tinggi gelombang tertinggi yang dihasilkan adalah 2,5 cm dengan rata-rata tinggi gelombang tertinggi pada titik pengukuran 50 cm yaitu 1,98 cm. Panjang gelombang yang dihasilkan pada titik pengukuran 70 cm adalah yang terpanjang yaitu 21 cm. Sedangkan panjang gelombang rata-rata terpanjang berada pada titik pengukuran 90 cm yaitu 17,6 cm.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu, baik berupa materi maupun pemikiran sehingga penelitian dan karya tulis ini dapat diselesaikan. Kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Borneo Tarakan yang telah memberikan dana penelitian melalui program penelitian Riset Kompetensi Dosen (RKD) Tahun 2024 yang didanai melalui DIPA Universitas Borneo Tarakan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan atas fasilitas yang digunakan dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] D. M. F. Berlianto and R. S. Wijaya, "Pengaruh transisi konsumsi energi fosil menuju energi baru terbarukan terhadap produk domestik bruto di Indonesia," *e-Jurnal Perspektif Ekonomi dan Pembangunan Daerah*, vol. 11, no. 2, pp. 105–112, 2022.
- [2] D. S. Logayah, B. R. Mustikasari, D. Z. Hindami, and R. P. Rahmawati, "Krisis Energi Uni Eropa: Tantangan dan Peluang dalam Menghadapi Pasokan Energi yang Terbatas," *Hasanuddin Journal of International Affairs*, vol. 3, no. 2, pp. 102–110, 2023.
- [3] N. Mahmuddin and A. Burhanuddin, "Peran IEA (International Energy Agency) Dalam Mengatasi Krisis Energi Sebagai Dampak Perang Rusia-Ukraina," *POLITEIA: Jurnal Ilmu Politik*, vol. 16, no. 01, pp. 38–43, 2024.
- [4] D. Murdianto, A. N. Fadilah, H. Santoso, and M. B. Waluyo, "Wave Tank Skala Laboratorium dengan Pembuat Gelombang Model Flap," *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 384–389, Nov. 2024.
- [5] G. Katell and B. Eric, "Accuracy of solitary wave generation by a piston wave maker," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 40, no. 3, pp. 321–331, 2002.
- [6] N. J. Wu, T. K. Tsay, and Y. Y. Chen, "Generation of stable solitary waves by a piston-type wave maker," *Wave Motion*, vol. 51, pp. 240–255, 2014.
- [7] N. J. Wu, S. C. Hsiao, H. H. Chen, and R. Y. Yang, "The study on solitary waves generated by a piston-type wave maker," *Ocean Engineering*, vol. 117, pp. 114–129, 2016.
- [8] D. D. Prasad, M. R. Ahmed, Y. H. Lee, and R. N. Sharma, "Validation of a piston type wave-maker using Numerical Wave Tank," *Ocean Engineering*, vol. 131, pp. 57–67, 2017.
- [9] J. Park, D. Cho, and T. Jang, "A numerical experiment on a new piston-type wavemaker: Shallow water approximation," *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, vol. 15, p. 1, 2023.
- [10] H. Lu, Y. S. Park, and Y. S. Cho, "Modelling of long waves generated by bottom-tilting wave maker," *Coastal Engineering*, vol. 122, pp. 1–9, 2017.
- [11] A. R. Kopayona, E. S. Hadi, and D. Chrismianto, "Pengaturan Wave Maker dalam Pembangunan Gelombang Reguler dengan Variasi Kecepatan Motor Berbasis Mikrokontroler Open Hardware pada Laboratorium Hidrodinamika Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 255–261, 2019.
- [12] R. F. Rifai and W. Hendrowati, "Rancang Bangun Simulator Gelombang Laut Berskala Laboratorium Dengan Variasi Frekuensi dan Amplitudo," *JURNAL TEKNIK POMITS*, vol. 1, pp. 1–5, 2012.
- [13] D. Fahreza, M. M. Danial, and A. D. Lestari, "Rancang Bangun Alat

Pembangkit Gelombang Air Tipe Piston Dan Flumetank Skala Laboratorium,” *JeLAST: Jurnal Teknik Kelautan , PWK , Sipil, dan Tambang*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, 2023.