



AKURASI PENGUKURAN GELOMBANG DI DEPAN MODEL PEMECAH GELOMBANG TERAPUNG

*Sabaruddin Rahman, Novrian Yosua Timang dan Achmad Yasir Baeda
Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin
* sabaruddin-r@eng.unhas.ac.id

Abstrak

Akurasi pengukuran gelombang di laboratorium merupakan faktor penting penentu kualitas hasil pengujian. Penelitian ini mengevaluasi akurasi pengukuran tinggi gelombang di depan model pemecah gelombang terapung menggunakan metode kombinasi dua dan tiga titik *wave probe*. Nilai akurasi ditentukan dengan membandingkan hasil tersebut terhadap pengukuran metode enam *wave probe*. Gelombang teratur dibangkitkan dari satu sisi tangki gelombang dengan panjang 25 m, lebar 1 m dan kedalaman 1,2 m yang dilengkapi dengan generator gelombang tipe *flap*. Peredaman gelombang di ujung lainnya dibangun dari tumpukan batu. Enam titik *wave probe* (*HR Wallingford* 8 saluran) ditempatkan di sepanjang gelombang di depan model berjarak $0,2L$. Pembangkit gelombang membangkitkan fluktuasi muka air yang meningkat hingga mencapai ketinggian gelombang yang diinginkan. Setelah beberapa gelombang datang, gelombang pantul kemudian menurunkan fluktuasi muka air hingga mencapai kondisi gelombang stabil (yang bentuk dan tinggi puncaknya relative sama) yang menunjukkan bahwa gelombang yang dihasilkan adalah gelombang linear. Nilai R^2 digunakan untuk mengevaluasi akurasi pengukuran gelombang. Metode tiga titik dengan jarak wave probe gelombang $0,2L$ adalah metode terbaik untuk mengukur tinggi gelombang. Kedua metode tersebut dibandingkan dengan metode umum untuk mendapatkan yang sesuai untuk setiap kasus. Kinerja pembangkit gelombang dapat ditingkatkan dengan mengurangi refleksi gelombang. Sementara pengaruh jarak wave probe juga memberikan pengaruh terhadap akurasi pengukuran tinggi gelombang.

Kata Kunci: Gelombang, Pengukuran, *HR Wallingford*.

Abstract

Sea waves are the movement of sea water on the surface with an up or down motion that is shaped the same as a sinusoidal line, which can arise due to the generating force on the sea surface with various types of sea wave generation by the wind, the attractive force between the earth, the moon and the sun, earthquakes and finally by the movement of the ship. Regular waves were tested in a wave flume 25 m long, 1 m wide and 1.2 m deep equipped with a flap type wave generator. The wave absorber at the other end is built from a mound of rock. Eight wave measuring points (HR Wallingford 8 channels) are co-located with the wavelength. Wave probes 1-5 are set at $0.1L$ while 5-8 are set at $0.2L$. The wave generator then produces fluctuations in the water level that increase until it reaches the desired wave height. After several incoming waves, the reflected waves then lower the fluctuations in the water level until they reach a stable wave condition (which has the same shape and peak height) which indicates that the resulting waves are linear waves. The R^2 method is used to evaluate the accuracy of wave measurement, that the two-point method with a wave measuring distance of $0.2L$ is the best method for measuring wave height. The two methods are compared with the general method to obtain the appropriate one for each case. The generated waves tend to be nonlinear with increasing wave height. The accuracy is reduced due to the nonlinearity of the resulting waves. Wave generator performance can be improved by reducing wave reflection. There is an influence of the distance of the wave meter on the accuracy of the wave height measurement. Good accuracy can be achieved at a wave probe distance of $0.2L$ for the two-point and three-point methods.

Keyword: Waves, Measurement, *HR Wallingford*



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara maritim yang berada dalam kawasan teritorial laut yang luas, memiliki banyak pulau, dikelilingi oleh wilayah laut dan perairan; yang sebagian besar penduduknya menetap di wilayah perairan. Gelombang laut suatu fenomena alam yang sering terjadi di laut, gelombang laut dapat tercipta karena adanya transfer energi yang akan bergerak melintasi permukaan laut (Jasin dan Yosua, 2015). Gelombang dengan ketinggian puncak yang relative tinggi, dapat mengganggu aktivitas kehidupan masyarakat di darat. Gelombang tinggi tersebut dapat dicegah ataupun dikurangi bila adanya informasi karakteristik gelombang pada semua wilayah yang dapat dipahami dengan baik agar dapat menunjang perencanaan kegiatan kelautan [1].

Gelombang laut merupakan pergerakan dari air laut di permukaan dengan gerakan naik ataupun turun yang berbentuk sama seperti garis sinusoidal, yang dapat timbul diakibatkan oleh gaya pembangkit pada permukaan laut dengan macam pembangkit gelombang laut oleh angin, gaya tarik menarik antara bumi, bulan dan matahari, gempa dan terakhir oleh gerakan kapal [5]. Menurut Triatmodjo [6], dengan pergerakan udara yang dapat mengubah suhu dari atmosfer dan juga angin dapat mempengaruhi tinggi rendahnya gelombang laut dengan siklus angin makin kuat gelombang laut akan besar. Gelombang air dangkal adalah gelombang yang terjadi pada permukaan air dangkal di mana panjang gelombangnya cukup besar dibandingkan kedalamannya. Secara matematika gelombang air dangkal dapat dimodelkan dalam persamaan diferensial parsial.

Erosi pantai adalah salah satu masalah yang membahayakan bangunan di daerah pesisir, dapat pula menyebabkan degradasi tanah dan sumber daya alam yang ada. Hal ini juga dapat mengganggu industri perikanan, perkapalan dan pariwisata. Pemecah gelombang terendam digunakan untuk melindungi daerah pantai dari pemecah gelombang dari aksi gelombang dengan cara meredam gelombang yang datang. Struktur ini menyebabkan gelombang pecah dan menghilangkan sebagian energi gelombang; yang ada juga dipantulkan dan juga ditransmisikan ke pantai.

Interaksi gelombang dengan struktur pantai merupakan fenomena yang banyak dipelajari di laboratorium, kajian dilakukan untuk mengetahui kinerjanya dalam panjang gelombang, fasilitas untuk melakukan pengujian gelombang reguler diuji dalam tangki gelombang yang dilengkapi dengan generator gelombang tipe flap, probe yang digunakan untuk mengukur gelombang. Salah satu faktor penting dalam pengujian bangunan pantai di laboratorium menggunakan gelombang adalah sesuai dengan gelombang di lapangan dengan yang dibangkitkan di laboratorium baik tinggi maupun periode gelombang. Pembangkit gelombang pada tangki gelombang memiliki kemampuan dan keterbatasan dalam membangkitkan gelombang. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor antara lain dimensi tangki gelombang, alat pembangkit gelombang, sistem frekuensi gelombang dan metode pengukuran tinggi gelombang yang digunakan. Selain itu, gelombang refleksi yang dihasilkan oleh model juga dapat memberikan pengaruh yang signifikan. Oleh karena itu, akurasi pengukuran tinggi merupakan faktor utama dalam menentukan ketidakpastian pengujian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Gelombang laut terbentuk pada daerah yang perairan lepas atau di tengah laut, gelombang dapat terjadi karena adanya pengaruh dari angin yang menyentuh permukaan laut, gesekan pada angin akan membentuk gerakan seperti mengombak dan sirkulasi [1]. Gelombang merupakan salah satu dari parameter laut terhadap laju mundurnya garis pantai yang posisinya dapat berubah karena pasang surut maupun juga erosi yang terjadi di Indonesia [2]. Menurut Kurniawan [3], dari beberapa jenis pembangkit gelombang, anginlah yang paling dominan terjadi di permukaan air laut, yang terlihat dari frekuensi kejadiannya ataupun juga energinya.

Refleksi gelombang terjadi ketika gelombang datang mengenai atau membentur suatu rintangan sehingga kemudian dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Gelombang datang yang tidak tegak lurus terhadap garis pantai akan dipantulkan kembali dengan sudut datang dan sudut kembali yang sama terhadap garis normal (tegak lurus) pantai. Tinjauan refleksi gelombang ini menjadi sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Pada kasus khusus seperti pelabuhan, gelombang yang ada di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak-tenangan muka air. Fluktuasi dari muka air ini menimbulkan gerakan pada kapal-kapal yang ditambat, dan membuat terbentuknya tegangan yang besar terhadap tali tambat.

Ada beberapa metode yang tersedia untuk mengukur tinggi gelombang menggunakan pengukur gelombang. Metode dua dan tiga poin adalah metode yang umum digunakan oleh para peneliti. Metode dua titik



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

dikembangkan oleh Goda dan Suzuki. Metode ini telah digunakan oleh beberapa peneliti untuk mengukur transmisi dan refleksi gelombang simulasi akibat pemecah gelombang terendam. Dua pengukur gelombang ditempatkan baik di depan dan di belakang struktur. Jarak antara dua probe gelombang dalam kisaran 0,05 hingga 0,45L juga telah digunakan oleh peneliti sebelumnya [4], di mana L adalah panjang gelombang. Selanjutnya, dua pengukur gelombang pada jarak 0,1L digunakan untuk mengukur gelombang datang dan gelombang pantul. Empat pengukur gelombang telah digunakan untuk mengukur tinggi gelombang di dua tempat berbeda dalam tangki gelombang. Namun, ada beberapa keterbatasan metode pengukur gelombang dua titik ini. Mereka mengembangkan metode tiga titik untuk memisahkan gelombang datang dan gelombang refleksi. Metode ini telah digunakan untuk mengukur refleksi dan transmisi gelombang yang melewati floating breakwater. Metode umum lainnya adalah dengan menggunakan sejumlah wave probe yang disusun pada satu panjang gelombang. Kemudian tinggi gelombang data dihitung dengan persamaan:

$$H = \frac{H_{max} + H_{min}}{2} \quad (1)$$

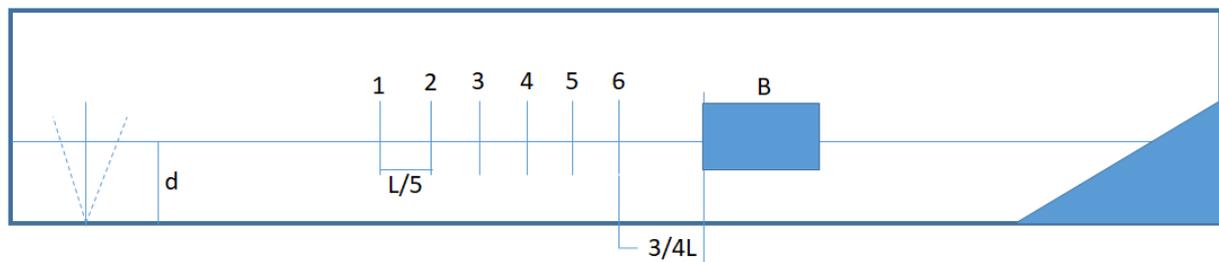
dimana Hmax dan Hmin adalah masing-masing tinggi gelombang terbesar dan terkecil terukur di sejumlah alat ukur yang disusun pada satu panjang gelombang.

Nilai akurasi menunjukkan kedekatan hasil terhadap nilai sebenarnya yang telah ditentukan oleh metode standar. Metode akurasi yang lebih baik adalah yang memberikan nilai R yang mendekati 1,0 atau 100%. Kesalahan yang berhubungan dengan akurasi yaitu kesalahan sistematik. Kesalahan sistematik dapat disebabkan oleh standar, kalibrasi, atau instrument yang tidak baik. Nilai presisi menunjukkan seberapa dekat suatu hasil pemeriksaan bila dilakukan berulang dengan sampel yang sama. Kesalahan yang berhubungan dengan nilai presisi adalah kesalahan Acak (Random Error) Kesalahan acak mungkin disebabkan ketidakstabilan. Suatu metode yang baik adalah yang memiliki presisi dan akurasi yang baik. Oleh karena semua kondisi lingkungan eksternal adalah faktor yang penting, maka diperlukan pengukuran yang tepat dari berbagai peralatan yang dipergunakan. Salah satu hal yang sulit dalam pengukuran laboratorium, adalah menghasilkan lingkungan eksternal di lepas pantai seperti gelombang periodik umum. Ketika gelombang biasanya dihasilkan di salah satu ujung tangki gelombang, gelombang yang merambat bergerak menuju ujung yang lain sehingga reflektif gelombang juga dihasilkan. Fenomena ini menjadi analisis yang lebih rumit, yaitu karena membentuk superposisi, pemisahan dan penggabungan satu sama lain. Biasanya gelombang multi-refleksi ini seharusnya tidak terjadi di laboratorium, yang tidak mungkin terjadi di lapangan nyata, seperti daerah lepas pantai bahkan lingkungan laut [7].

3. METODE DAN MEKANISME PENGUKURAN

Serangkaian percobaan dilakukan di laboratorium Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin, Gowa, Indonesia. Adapun data penelitian berupa data primer yang diperoleh melalui pengujian di laboratorium. Gelombang reguler diuji dalam tangki gelombang dengan panjang 25 m, lebar 1 m dan kedalaman 1,2 m yang dilengkapi dengan generator gelombang tipe flap. Sementara peredam gelombang terbuat dari tumpukan batu diletakkan di ujung lainnya. Penempatan *wave probe* secara skematis dapat dilihat pada Gambar 1(a). Data yang divariasikan selama eksperimen adalah data gelombang berupa tinggihan periode. Gelombang reguler dari lima ketinggian gelombang yang berbeda, empat periode gelombang yang berbeda dan tiga kedalaman air yang berbeda dihasilkan. Enam titik pengukuran fluktuasi muka air (HR Wallingford 8 channel) ditempatkan bersama sesuai dengan panjang gelombang yang terukur. Enam *wave probe* diatur pada jarak 0,2L.





(a)



(b)

Gambar 1. Pengaturan posisi *wave probe*. (a) Rencana penempatan terhadap model (b) Pelaksanaan di laboratorium

Pelaksanaan kalibrasi *wave probe* dilakukan sebelum pengujian dilaksanakan. Setelah persiapan *flume* selesai dan *wave probe* ditempatkan pada masing-masing titik pengukuran, kalibrasi dapat dimulai. Pekerjaan kalibrasi *wave probe* membutuhkan teknisi minimal sebanyak dua orang; satu teknisi bertugas menaik- turunkan elevasi *probe*, sedangkan satu teknisi bertugas sebagai operator software dan mengatur data logger. Proses kalibrasi enam *wave probe* menghabiskan sekitar lebih 10 menit.

Kalibrasi dari tinggi gelombang ke tegangan output dapat dilakukan dengan mengukur perubahan tegangan output ketika elevasi *probe* dinaikkan atau diturunkan setinggi muka air tenang acuan. *Instrument wave probe* yang digunakan pada pengujian ini (HR Wallingford) dirancang mengakomodasi kebutuhan pengkalibrasian, gagang *probe* dilengkapi dengan serangkaian lubang yang berjarak 2 cm satu dengan yang lain untuk mempermudah proses kalibrasi.

Kalibrasi *wave probe* HR Wallingford menggunakan modul ‘*calibration*’ yang terdapat di dalam *software* HR DAQ. HR DAQ akan merekam input sinyal tegangan pada saat elevasi *wave probe* dinaikkan dan diturunkan, kemudian membandingkannya terhadap nilai model yang dimasukkan. HR DAQ akan mengkalkulasi tingkat ketepatan menggunakan Metode Kuadrat Terkecil. Kalibrasi Data Mentah dan faktor penskalaan kalibrasi disimpan ke sebuah file yang secara otomatis dinamakan berdasarkan instrument, judul proyek, dan waktu dan tanggal file tersebut disimpan.

Kalibrasi *wave probe* dilakukan untuk meningkatkan ketelitian dari pembacaan tinggi gelombang oleh sensor. Peningkatan ketelitian itu dengan membandingkan antara data yang dibaca oleh *wave probe* dengan perubahan tinggi muka air yang dinaik dan diturunkan sebesar 2 cm, apakah benar yang dibaca oleh *wave probe* tersebut juga 2 cm. dari ketidaksesuaian itu nanti nya akan diperoleh nilai *error* antara data bacaan *wave probe* dan naik turun muka air dan diharapkan *error* $R^2 = 0,999$



Tabel 1. Konfigurasi probe pengukur gelombang

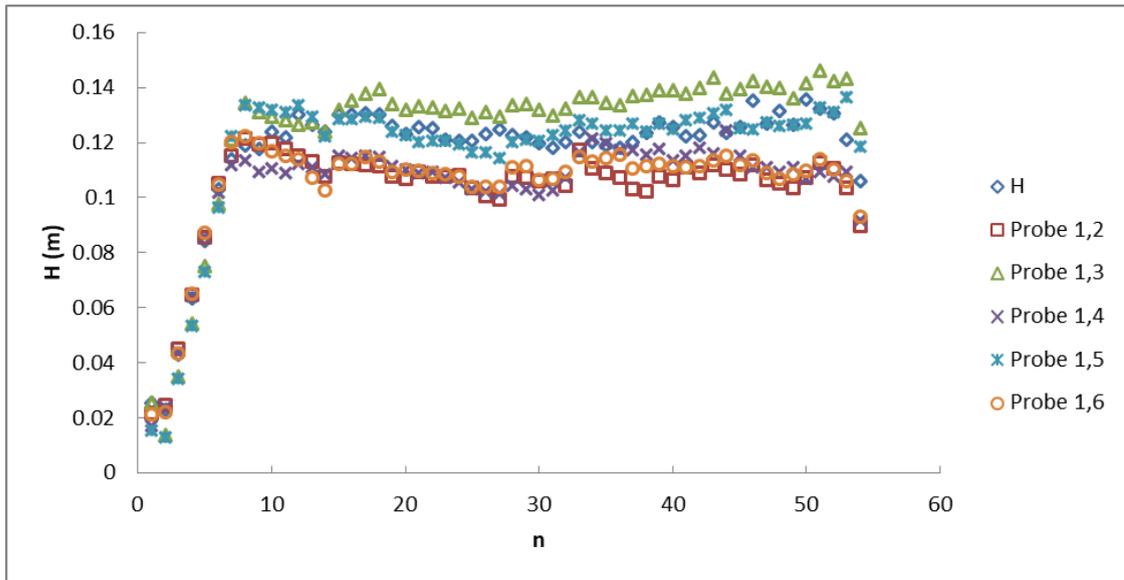
No.	Nomor probe	Jarak (x/L)	Metode
1	1, 2	0.2	Dua titik
2	2, 3	0.2	Dua titik
3	3, 4	0.2	Dua titik
4	4, 5	0.2	Dua titik
5	5, 6	0.2	Dua titik
6	1, 3	0.4	Dua titik
7	2, 4	0.4	Dua titik
8	3, 5	0.4	Dua titik
9	4, 6	0.4	Dua titik
10	1, 4	0.6	Dua titik
11	2, 5	0.6	Dua titik
12	3, 6	0.6	Dua titik
13	1, 5	0.8	Dua titik
14	2, 6	0.8	Dua titik
15	1, 6	1.0	Dua titik
16	1, 2, 3	0.2	Tiga titik
17	2, 3, 4	0.2	Tiga titik
18	3, 4, 5	0.2	Tiga titik
19	4, 5, 6	0.2	Tiga titik
20	1, 3, 5	0.4	Tiga titik
21	2, 4, 6	0.4	Tiga titik
22	1, 2, 3, 4, 5, 6	0.2	Enam titik (metode referensi)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

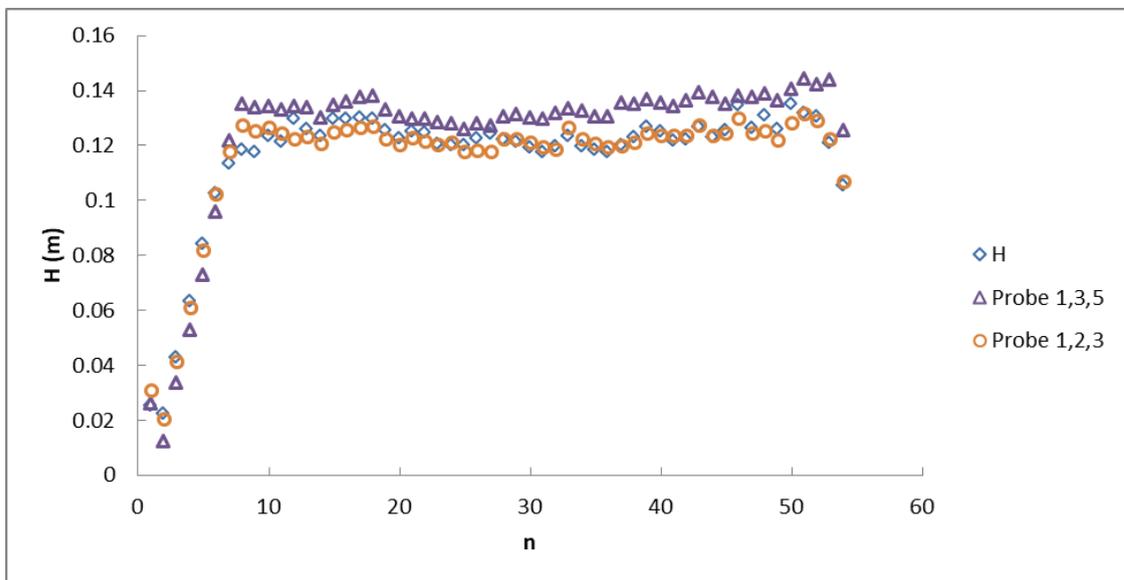
Data fluktuasi muka akir hasil pembangkitan gelombang dianalisis untuk mendapatkan tinggi gelombang datang. dari hasil pengujian simulasi gelombang, selanjutnya mencari nilai tertinggi, terendah dan H dari 6 probe (ch 1, ch 2, ch 3, ch 4, ch 5, dan ch 6) pada data uji $d = 0,7$ m, $A = 0,058$ m. Untuk mencari nilai tertinggi dan nilai terendah dari 6 probe atau metode referensi yaitu ch 1, ch 3, ch 5, ch 6, ch 7, dan ch 8 menggunakan nilai data pada hasil pengujian simulasi, sehingga akan mendapatkan nilai tertinggi dan nilai terendah. Untuk data nilai H, 6 probe diperoleh dari perhitungan rata-rata nilai tertinggi dan nilai terendah yang telah didapatkan sebelumnya.

Konfigurasi metode pengukur gelombang (probe), terdapat beberapa metode, baik yang menggunakan 2 probe dan 3 probe yang akan dibandingkan dengan nilai H dari metode referensi (6 probe). Untuk mencari nilai masing-masing metode dengan cara pada hasil data simulasi di rata – ratakan antara probe sehingga mendapatkan hasil nilai H metode 2 probe dan 3 probe.





Gambar 3. Tinggi gelombang menggunakan dua probe.



Gambar 4. Tinggi gelombang menggunakan tiga wave probe.

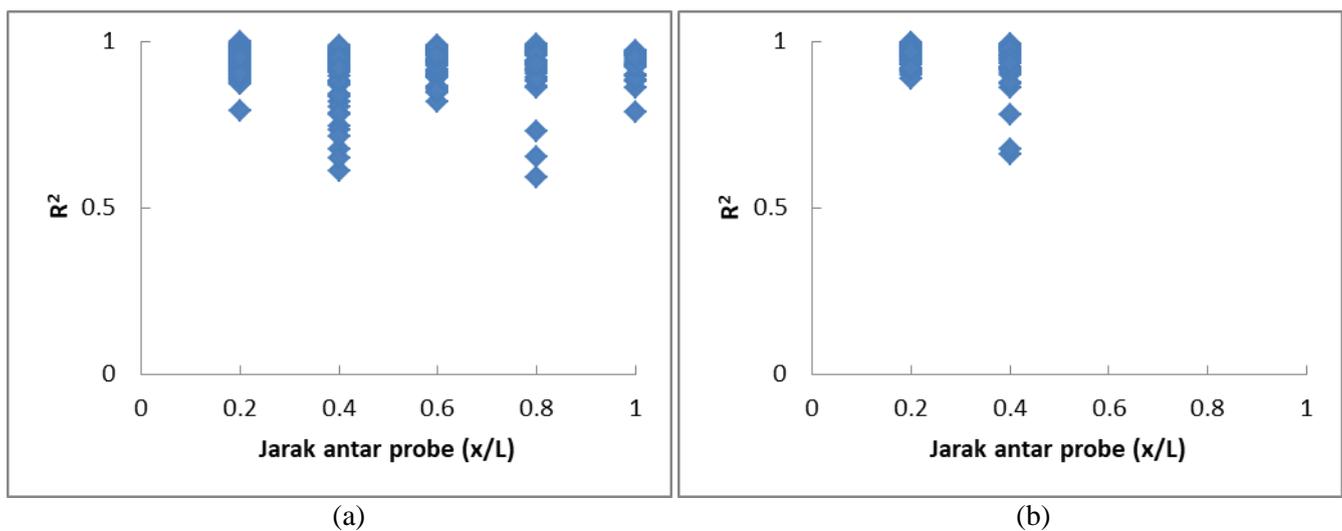
Karena wave paddle membuat gelombang merambat maju dalam tangki gelombang dan dipantulkan oleh ujung yang lain. Kemudian, gelombang yang dipantulkan kembali ke sisi wave paddle dan dipantulkan kembali. Gelombang yang dipantulkan kembali merambat maju lagi dan kondisi ini diulang sampai gelombang multipantulan sepenuhnya dilemahkan. Gelombang dalam arah positif disebut gelombang datang dan dalam arah negatif disebut gelombang pantul.

Untuk mengevaluasi keakuratan pengukuran, tinggi gelombang yang diperoleh dari setiap pasang pengukur gelombang (no. 1 hingga 20 pada Tabel 1) dibandingkan dengan metode umum (no. 21 pada tabel yang sama). Hasilnya pada Gambar 5 untuk metode dua titik dan tiga titik, akurasi yang baik dapat dicapai pada jarak probe gelombang $0,2L$ adalah metode terbaik untuk mengukur tinggi gelombang. Oleh karena dari hasil yang telah didapatkan pada hasil nilai R-square yang ada pada grafik tersebut mendekati nilai R-square yang diharapkan adalah 0,999.



Tabel 2. Tabel hasil nilai H Metode 3 probe data $d = 0,7$ m, $A = 0,058$ m

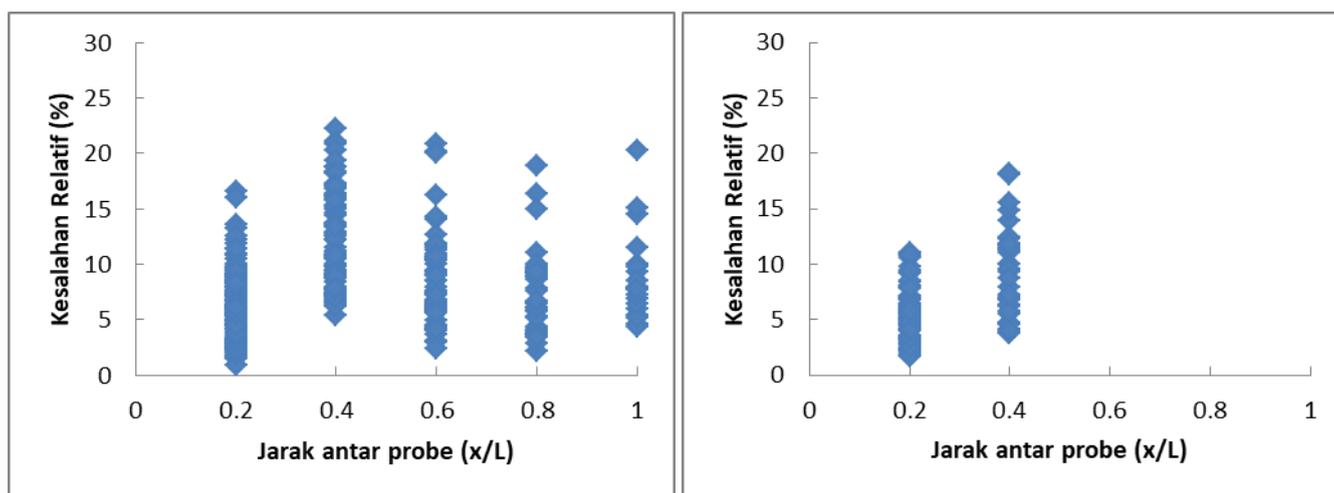
No.	Nomor <i>probe</i>	Nilai rerata R-square	Nilai rerata kesalahan relatif (%)
1	1, 2	0,935	7,64
2	2, 3	0,959	4,74
3	3, 4	0,964	5,24
4	4, 5	0,939	7,74
5	5, 6	0,935	7,39
6	1, 3	0,936	11,36
7	2, 4	0,880	13,68
8	3, 5	0,917	12,21
9	4, 6	0,893	10,52
10	1, 4	0,930	7,29
11	2, 5	0,930	8,30
12	3, 6	0,958	9,50
13	1, 5	0,946	5,93
14	2, 6	0,894	8,66
15	1, 6	0,924	8,82
16	1, 2, 3	0,974	4,36
17	2, 3, 4	0,969	5,40
18	3, 4, 5	0,965	5,77
19	4, 5, 6	0,945	6,64
20	1, 3, 5	0,952	8,57
21	2, 4, 6	0,906	9,56



Gambar 4. Perbandingan nilai R-square (a) Metode dua *wave probe*, (b) Metode tiga *wave probe*



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Gambar 5. Nilai kesalahan relatif (a) Metode dua *wave probe*, (b) Metode tiga *wave probe*

Tabel 3. Tabel nilai rerata R-square dan rerata kesalahan relatif

Jarak <i>probe</i> (x/L)	Nilai rerata R-square	Nilai rerata kesalahan relatif (%)	Keterangan
0,2	0,946	6,55	Metode dua <i>wave probe</i>
0,4	0,907	11,94	
0,6	0,939	8,36	
0,8	0,920	7,30	
1,0	0,924	8,82	
0,2	0,963	5,54	Metode tiga <i>wave probe</i>
0,4	0,929	9,07	

5. KESIMPULAN

Perbandingan metode pengukuran tinggi gelombang di depan model bangunan apung dibahas pada penelitian ini. Enam *wave probe* diletakkan di depan model untuk merekam fluktuasi muka air. Data tersebut digunakan untuk mendapatkan data tinggi gelombang dengan metode pengukuran kombinasi dua dan tiga *wave probe*. Kombinasi pertama terdiri dari lima variasi jarak 0,2L, 0,4L, 0,6L, 0,8L dan 1,0L, sementara kombinasi kedua terdiri dari dua variasi jarak 0,2L dan 0,4L. Data tinggi gelombang metode enam *wave probe* digunakan sebagai nilai acuan untuk mengevaluasi akurasi hasil pengukuran dari dua kombinasi tersebut. Hasil yang diperoleh menunjukkan akurasi tinggi gelombang terbaik didapatkan dengan metode tiga *wave probe* berjarak 0,2L dengan nilai rerata R-square dan kesalahan relatif masing-masing sebesar 0,963 dan 5,54. Berikutnya disusul oleh metode dua *wave probe* berjarak 0,2L dengan nilai tersebut masing-masing sebesar 0,946 dan 6,55.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutedjo, A., Pradana S., 2018, *Perairan Laut*, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, RISTEKDIKTI, Jakarta.
- [2] A.C. Wakkary, M.J Ihsan, A.K.T. Dundu, “Studi Karakteristik Gelombang Pada Daerah Pantai Desa Kalinaung Kab. Minahasa Utara”, *Jurnal Sipil Statik*, vol. 5(3), pp. 167-174 ISSN: 2337-6732, Jakarta, 2017.
- [3] R. Kurniawa, *Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia* (Tesis), Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [4] A. Mahmoudi, H. Hakimzade, M.J. Ketabdari, N. Cartwright, and M. Vaghefi, *Int. J. Coast. Offshore Eng.* 1, 19–27, 2017.
- [5] Ayunarita S., 2017, *Studi Pola Arus, Pasang Surut Dan Gelombang di Perairan Pantai Pelawan Desa Pangke Kecamatan Meral Kabupaten Karimun Provinsi Kepulauan Riau*, Fakultas Perikanan dan



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Kelautan. Universitas Riau, Pekanbaru.

- [6] Triatmodjo, B., 2012, Perencanaan Bangunan Pantai, Beta Offset, Yogyakarta.
- [7] Yuan, Z., BS Chauhan dan H.-C. Lim, 2013, Mekanika Terapan dan Material, Studi penyerap gelombang di berbagai jarak ditempatkan dalam gelombang merambat sinusoidal, 302, 326 – 331.
- [8] Ghozali, I., 2016, Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 23 (Edisi 8), Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang.



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).