

## KALKULASI PERCEPATAN PERGERAKAN *BUOY* SEBAGAI FUNGSI KETINGGIAN MUKA GELOMBANG AIR

### *CALCULATE THE ACCELERATION OF THE BUOY MOVEMENT AS A FUNCTION OF THE WATER WAVE LEVEL*

Haryati<sup>1</sup>, Rahmat Awaludin Salam<sup>2</sup>, Casmika Saputra<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

haryati@telkomuniversity.ac.id<sup>1</sup>, awaludinsalam@telkomuniversity.ac.id<sup>2</sup>  
casmika@telkomuniversity.ac.id<sup>3</sup>

#### Abstrak

Sistem peringatan dini bencana alam, misalnya tsunami, memerlukan pengumpulan dan analisis data yang sistematis dan baik. Di Indonesia sendiri masih kurangnya informasi yang masyarakat terima terkait dengan data aktifitas gelombang laut. Salah satu contohnya adalah pengambilan data hanya mampu menyajikan sebuah data percepatan dari sensor akselerometer tanpa adanya data ketinggian *buoy*. Dengan proses numerik yang tepat dan algoritma simulasi yang sesuai dapat membantu pengolahan data dan proses *monitoring* sistem peringatan dini untuk menyajikan data aktifitas gelombang laut. Salah satu bentuk simulasi gelombang untuk mengetahui pergerakan dari gelombang laut adalah dengan sistem *buoy*. Oleh sebab itu pada penulisan tugas akhir ini dilakukan kalkulasi percepatan pergerakan *buoy* sebagai fungsi ketinggian muka gelombang air dengan analitik dan simulasi dengan posisi *buoy* sebagai variabel bebas untuk mengetahui percepatan yang dapat diperoleh oleh pergerakan *buoy* akibat dari pergerakan gelombang yang terjadi. Faktor pergerakan *buoy* dipengaruhi oleh percepatan gravitasi, kecepatan angin, massa, tinggi dan lebar *buoy* (volume), dan akibat dari percepatan gelombang. Hasil data yang diperoleh ketinggian *buoy* untuk gelombang *regular* rata-rata 0,5 sampai 1 meter dengan ketinggian gelombang berkisar 4,8 meter. Sedangkan untuk sumber gelombang *irregular* memiliki selisih terkecil 1,3 meter antara ketinggian *buoy* dan gelombang.

**Kata Kunci:** *gelombang*, irregular, Matlab, regular, tsunami

#### Abstract

Early warning systems for natural disasters, such as tsunamis, require systematic and good data collection and analysis. In Indonesia itself, there is still a lack of information that people receive related to data on ocean wave activity. One example is that data retrieval is only able to present acceleration data from the accelerometer sensor without any height data buoy. With the right numerical process and suitable simulation algorithms, it can help data processing and monitoring the early warning system to present data on ocean wave activity. One form of wave simulation to determine the movement of ocean waves is the system buoy. Therefore, in writing this final project, the calculation of the acceleration of the movement is carried out buoy as a function of the height of the water wavefront by analytical and simulation with the position of the buoy as the independent variable to determine the acceleration that can be obtained by the movement of the buoy due to the movement of the waves that occur. The movement factor is buoy influenced by the acceleration of gravity, wind speed, mass, height and width of the buoy (volume), and the result of wave acceleration. The results of the data obtained show that the height of the buoy for waves is regular on average 0.5 to 1 meter with a wave height of 4.8 meters. As for the source of waves, the irregular smallest difference is 1.3 meters between the height of the buoy and the wave.

**Keywords:** irregular, Matlab, regular, tsunami, wave

#### 1. Pendahuluan

Penelitian terkait dengan informasi data aktifitas gelombang dapat memberikan terobosan baru dalam bidang *monitoring system* peringatan dini. Persamaan matematis yang sering digunakan pada proses simulasi yaitu fungsi gelombang sinusoidal yang membentuk osilasi berulang yang menjalar ke sumbu x positif. Ketika gelombang merambat maka parameter bergetar sejajar dengan sumbu y dimana fungsi sinus akan berulang atau berosilasi ketika sudutnya bertambah sebesar  $2\pi$  rad. Kecepatan gelombang  $v$  merupakan rasio jarak yang ditempuh dibagi perubahan waktu  $dx/dt$  sedangkan untuk nilai percepatan merupakan turunan suatu differensial dari kecepatan. Akibat gelombang acak yang dihasilkan oleh pergerakan gelombang akan memeberikan nilai percepatan yang

berbeda disetiap satuan waktu, sehingga memungkinkan melakukan penurunan fungsi persamaan yang lebih kompleks untuk hasil yang lebih optimal. Analisis parameter *buoy* untuk mengukur ketinggian muka gelombang banyak digunakan untuk melihat hasil perbandingan yang lebih maksimum sesuai dengan keadaan laut sebenarnya.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengetahui pergerakan dari gelombang laut dengan *system buoy* yaitu dengan metode *Euler* untuk mengetahui parameter optimal pergerakan *buoy* akibat gelombang acak. *Euler* merupakan metode sederhana yang digunakan untuk memberikan kriteria parameter yang tepat serta memiliki kestabilan pergerakan *buoy* pada kondisi gelombang *irregular*. Kekurangan metode ini adalah memiliki persamaan matematis yang cukup rumit yang membuat kesalahan dalam penurunan atau pembuatan simulasi. Untuk analisis data yang diperoleh menggunakan metode *euler* yang memiliki hasil penyelesaian pendekatan dengan nilai *error* yang cukup besar, dengan menggunakan partisi yang kecil dapat mengurangi nilai *error* yang dihasilkan, tetapi akan menambah jumlah iterasinya. Pada proses ini tidak perlu mencari turunan fungsi terlebih dahulu untuk mengetahui nilai selanjutnya. Tapi salah tantangan metode numerik adalah menentukan kesalahan tanpa mengetahui nilai sebenarnya yang hanya didapatkan jika fungsi yang diketahui dapat dicari secara analitik. Metode *Euler* banyak digunakan dalam pengembangan pengujian optimalisasi wahana apung.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan analisis terhadap respon naik turun pelampung bebas pada gelombang *regular* dibawah domain frekuensi yang menunjukkan bahwa ukuran *buoy* akan mempengaruhi besar kecilnya pergerakan yang dihasilkan pada muka gelombang. Penelitian sebelumnya juga telah dilakukan simulasi Matlab untuk memvisualisasikan gelombang acak dengan hasil tingkat kesalahan *error* yang dihasilkan diakibatkan oleh faktor data yang bukan nilai sebenarnya.

Berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan beberapa parameter yang berpengaruh dalam proses simulasi dan hasil pengolahan data yang kurang maksimal maka dalam pengerjaan tugas akhir ini, penulis melakukan proses simulasi terhadap percepatan pergerakan *buoy* sebagai fungsi ketinggian muka gelombang air untuk mendapatkan grafik percepatan terhadap waktu. Selain itu penulis melakukan analisis terhadap parameter yang digunakan terhadap pengaruh pergerakan *buoy* untuk mengetahui proses simulasi yang tepat dengan hasil tingkat *error* yang minimum. Diharapkan dengan melakukan pengujian akan menghasilkan persamaan percepatan pergerakan *buoy* yang tepat dapat membantu proses simulasi yang dioperasikan dan proses *monitoring* pergerakan *buoy* untuk mengukur ketinggian muka gelombang air.

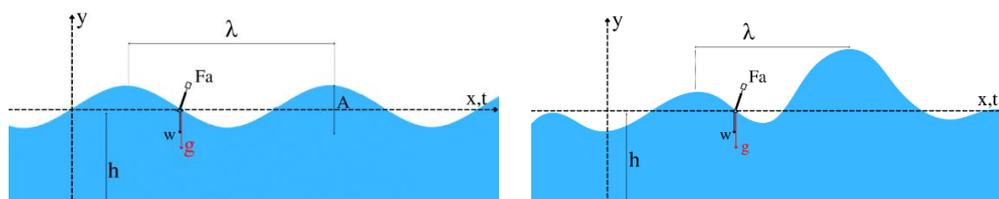
## 2. Perancangan Penelitian

### 2.1 Pemodelan Sistem

Dilakukan dua pemodelan system yaitu *buoy* sebagai benda titik dan *buoy* sebagai benda bervolume dengan metode *Euler*. Pertama dilakukan analisis kriteria gelombang laut sesuai dengan tinggi gelombang laut sebenarnya. Kriteria gelombang laut digunakan sebagai parameter dalam pembuatan simulasi untuk menentukan percepatan pergerakan *buoy* sebagai fungsi ketinggian muka gelombang air. Selanjutnya menentukan parameter yang mempengaruhi dalam pergerakan *buoy* seperti massa, tinggi, lebar, posisi *buoy*, dan percepatan gravitasi bumi  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

### 2.2 Perhitungan Numerik Buoy sebagai Benda Titik

Perhitungan numerik yang dilakukan dengan dua sumber gelombang yaitu gelombang *regular* dan *irregular* yang bergetar sejajar dengan sumbu  $y$ . Perhitungan numerik pertama dilakukan dengan menganggap *buoy* sebagai benda titik. Sebelum melakukan perhitungan dilakukan penentuan jenis gaya yang bekerja pada *buoy* tersebut, setelah itu lakukan perhitungan perpindahan  $y$  untuk mengetahui interval waktu ketika *buoy* bergerak kesumbu  $x$  dengan perpindahan sebesar  $\Delta x$  untuk gelombang *regular* dan *irregular*. Karena *buoy* mengalami gerak translasi maka perhitungan percepatan *buoy* yang ada pada permukaan gelombang menggunakan konsep Hukum II Newton.

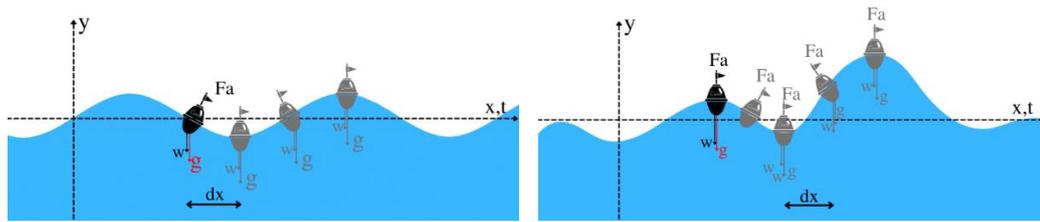


Gambar 2.1. Gaya yang bekerja pada *buoy*

Pada gambar 2.1. tersebut menunjukkan jenis gaya yang bekerja pada *buoy* yang diplot dalam bentuk animasi pada *software matlab* untuk mendapatkan nilai ketinggian persatuan waktu.

### 2.3 Perhitungan Numerik Buoy sebagai Benda Bervolume

Perhitungan numerik untuk benda bervolume 3D dilakukan dengan tahap yang sama pada perhitungan sebelumnya tetapi dengan gaya yang lebih kompleks, dimana pengaruh dari ketinggian dan panjang *buoy* akan dihitung sebagai volume *buoy* yang bekerja. Selain itu titik berat benda digunakan untuk menghitung volume *buoy* yang tercelup kedalam air menggunakan hukum *Archimedes*.

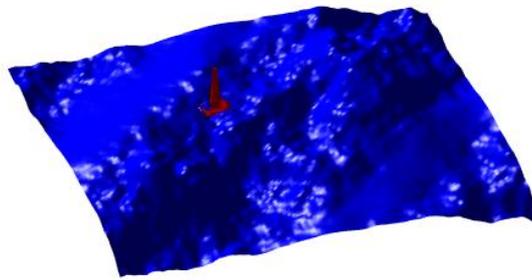


**Gambar 2.2.** Pergerakan *buoy* terhadap waktu

Gambar 2.2. merupakan pergerakan *buoy* untuk mengetahui interval waktu ketika *buoy* bergerak kesumbu  $x$  dengan perpindahan sebesar  $\Delta x$  untuk gelombang *regular* dan *irregular*.

#### 2.4 Simulasi Matlab

Untuk memvisualisasikan hasil dari persamaan yang diperoleh digunakan software matlab. Dilakukan 4 kali percobaan yaitu simulasi dengan menganggap *buoy* sebagai benda titik dan *buoy* sebagai benda bervolume terhadap gelombang *regular* dan *irregular*. Hasil yang didapat dari perhitungan numerik berupa persamaan matematis diubah kedalam bahasa pemrograman untuk mengetahui visualisasi pergerakan *buoy* yang dihasilkan seperti gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Visualisasi *software matlab*

Hasil *output* dari simulasi pergerakan *buoy* merupakan data ketinggian *buoy* persatuan waktu yang akan dikonversi menjadi data kecepatan dan percepatan pergerakan *buoy* pada muka gelombang air.

#### 2.5 Generatedata Hasil Simulasi

Hasil *output* dari simulasi yang berupa data ketinggian persatuan waktu selanjutnya akan dikonversi menjadi data kecepatan dan percepatan dengan menggunakan penurunan fungsi secara numerik berupa turunan tingkat satu dengan hampiran selisih maju. Data ketinggian, kecepatan, dan percepatan yang diperoleh selanjutnya diplot menjadi grafik untuk membandingkan hasil yang diperoleh terhadap percobaan yang telah dilakukan. Hasil yang didapatkan dari grafik berupa hubungan antara nilai percepatan terhadap waktu  $a-t$ . *Generatedata* akselerasi pada *buoy* dilakukan terhadap gelombang *regular* dan *irregular* masing-masing dengan *buoy* sebagai benda titik dan benda bervolume. Terakhir dilakukan analisis *error* yang diperoleh dari simulasi.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pemodelan *Buoy*

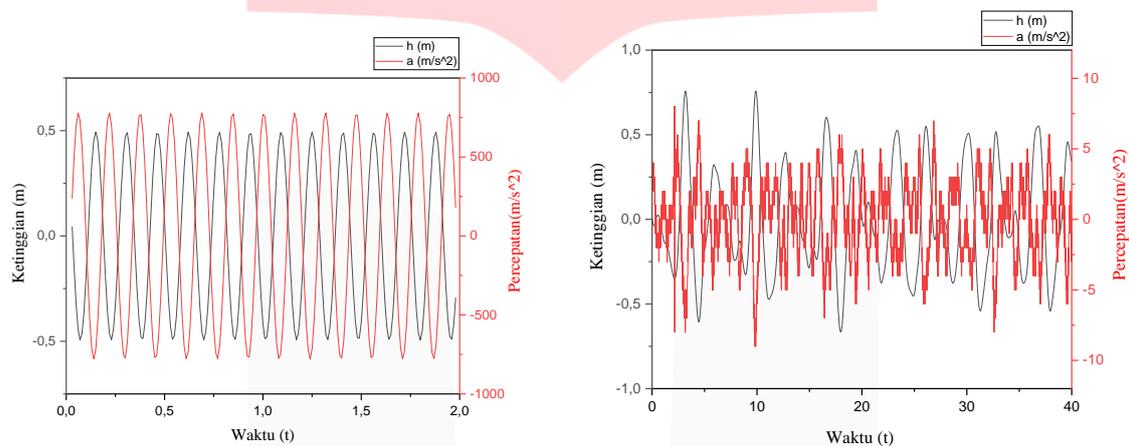
Pemodelan struktur sesuai dengan ukuran dan beberapa rumus pendekatan untuk data yang tidak diketahui. Dari dua pemodelan yang dilakukan, didapatkan kriteria stabilitas statis yang digunakan untuk menentukan stabilitas grafik yang didapatkan.

Tabel 4.1 Parameter *buoy*

Parameter	Data <i>Buoy</i>	Keterangan
Massa <i>buoy</i>	1	Kg
Tinggi <i>buoy</i>	1,6	m
Lebar <i>buoy</i>	1	m
Tertambat	-	Ya
Posisi <i>buoy</i>	[50 50]	[m, m]

Tabel 4.1 menunjukkan parameter yang mempengaruhi pergerakan *buoy*. Selain parameter dari *buoy* juga dipengaruhi oleh beberapa faktor lainnya yaitu gaya apung atau *archimedes*, gravitasi bumi  $9.8 \text{ m/s}^2$ , dan akibat dari sumber gelombangnya. Hasil percobaan dan simulasi dengan beberapa parameter tersebut menunjukkan kestabilan *buoy* yang cukup baik, dapat dilihat dari perolehan grafik yang didapatkan pada hasil pengujian dan simulasi.

### 3.2 Pengujian *Buoy* sebagai Benda Titik



Gambar 3. 1 (a) respon *buoy* pada gelombang *regular* (b) respon *buoy* pada gelombang *irregular*

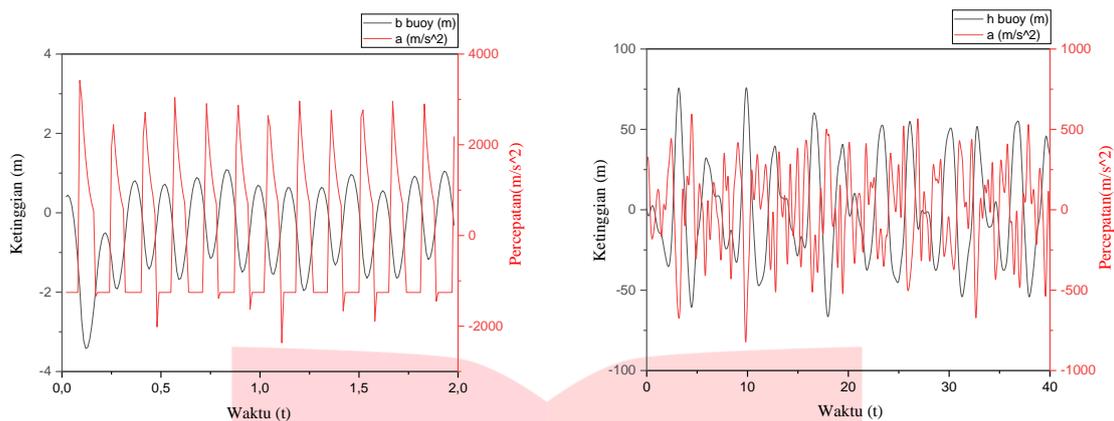
Pengujian respon pergerakan *buoy* sebagai benda titik dengan mekanika tinggi gelombang dan periode yang konstan menghasilkan grafik respon gerakan *buoy* yang menunjukkan bahwa nilai ketinggian maksimum yang dihasilkan akan mendapatkan respon kecepatan *buoy* yang minimum, sedangkan ketika kecepatan maksimum posisi *buoy* tepat berada di lembah gelombang. Fungsi gelombang yang digunakan pada penelitian ini adalah gelombang sinusoidal membentuk osilasi berulang dengan persamaan:

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t)$$

dengan  $A$  menunjukkan amplitudo,  $k$  bilangan sudut gelombang,  $x$  posisi atau jarak,  $\omega$  merupakan frekuensi sudut dan  $t$  adalah waktu. Dilihat dari gambar 3.1 (a) gelombang dengan periode tunggal dengan keadaan puncak mencapai  $0,5 \text{ m}$  dan menunjukkan periode yang sama disetiap osilasi yang terjadi selama  $2 \text{ s}$  dengan respon *buoy* saat ketinggian maksimum berada pada posisi  $0,5 \text{ m}$  dengan kecepatan yang dihasilkan sebesar  $20 \text{ m/s}$  sedangkan untuk posisi *buoy* minimum adalah  $-0,5 \text{ m}$  dengan kecepatan *buoy*  $-20 \text{ m/s}$  serta percepatan *buoy* terhadap waktu mencapai  $800 \text{ m/s}^2$  saat *buoy* mencapai percepatan maksimumnya (b) Respon *buoy* terhadap sumber gelombang *irregular*, dengan ketinggian *buoy* maksimum adalah  $0,79 \text{ m}$  saat  $t = 9,79 \text{ s}$  sedangkan untuk ketinggian minimum *buoy* pada saat  $t = 17,99 \text{ s}$  yaitu  $-0,6646 \text{ m}$  sedangkan kecepatan maksimum yang diperoleh dari pergerakan *buoy* mencapai  $1,8 \text{ m/s}^2$  saat  $t = 9,55 \text{ s}$  dan mengalami perlambatan hingga  $t = 30,79 \text{ s}$  dengan kecepatan minimum  $-1,68 \text{ m/s}^2$ . Gambar 3.1 menunjukkan bahwa data simulasi pergerakan *buoy* memiliki respon yang kurang maksimum dimana ditunjukkan pada grafik percepatan gelombang adanya osilasi yang terjadi disetiap pergerakannya. Kualitas gerakan dari gerakan *buoy* jika dengan melihat pergerakan

*buoy* sebagai benda titik belum terlalu tepat karena hanya dipengaruhi oleh beban *buoy* tanpa memperhatikan volume benda yang tercelup dalam permukaan air.

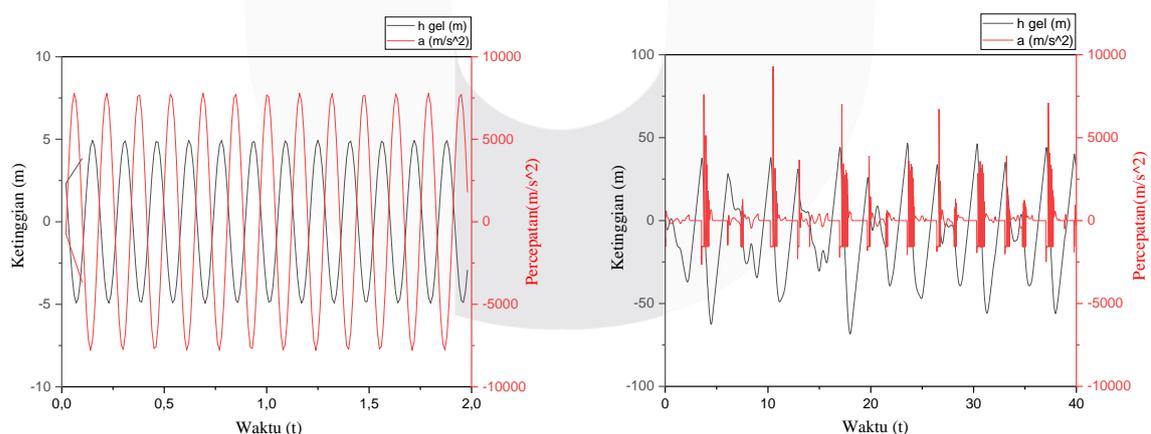
### 3.3 Pengujian *Buoy* sebagai Benda Bervolume



**Gambar 3.3** (a) respon *buoy* pada gelombang *regular* (b) respon *buoy* pada gelombang *irregular*

Sifat benda apung yang sesuai dengan keadaan dilaut memiliki respon pergerakan *buoy* seperti pada gambar 3.3. Pada gambar 3.3 (a) ketinggian maksimum rata-rata yang diperoleh *buoy* pada benda bervolume dengan gelombang *regular* adalah 0,5 – 1 m setiap periode gelombangnya dimana ketinggian minimum berada pada –3,4 m saat  $t = 0,13$  s dan terjadi kenaikan *buoy* yang cukup pesat antara waktu  $t = 0,13$  s hingga  $t = 0,23$  s selama 2 s percobaan serta akibat dari volume *buoy* akan mempengaruhi kelembaman atau inersia dimana kecenderungan *buoy* menolak perubahan terhadap keadaan gerakanya (b) Grafik kecepatan maksimum yang dapat dicapai *buoy* adalah 79,15 m saat  $t = 9,79$  s dan terjadi perpindahan *buoy* dari satu titik ke titik lainnya dengan pesat saat  $t = 23,97$  s hingga  $t = 25,69$  s dengan nilai percepatan yang dihasilkan *buoy* untuk benda bervolume terhadap gelombang *irregular* memiliki respon yang optimal, seperti yang terlihat pada grafik nilai respon gerak mengalami kenaikan disetiap *buoy* mendekati puncak gelombang.

### 3.4 Respon Pergerakan Gelombang

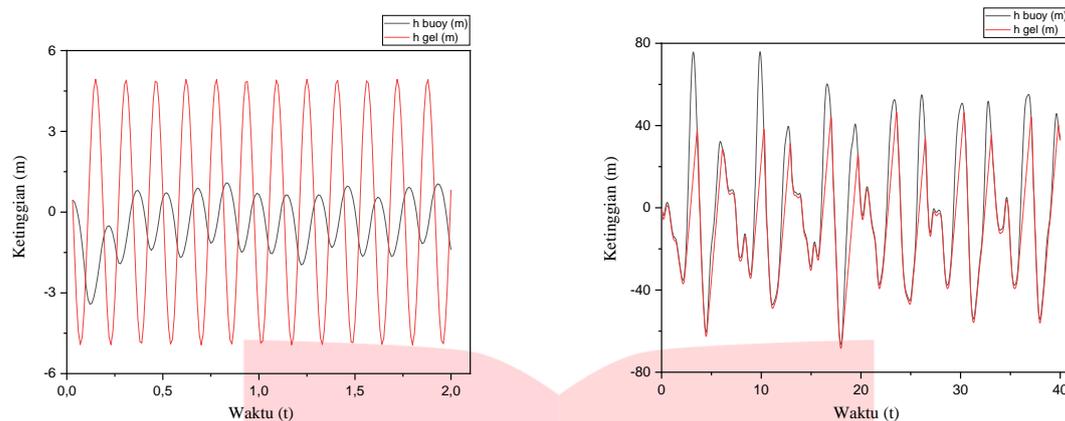


**Gambar 3.4** (a) respon *buoy* terhadap sumber gelombang *regular* (b) respon *buoy* terhadap sumber gelombang *irregular*

Pada Gambar 3.4 pengaruh dari sumber gelombang laut yang dapat mempengaruhi pergerakan *buoy* dalam menentukan pergerakan *buoy*. Gambar 3.4 (a) merupakan respon gelombang *regular* dengan periode tunggal atau memiliki nilai ketinggian yang sama setiap osilasinya dan terlihat hubungan antara ketinggian dan kecepatan gelombang bahwa ketika gelombang mencapai tinggi maksimum maka kecepatan yang dihasilkan minimum, sebaliknya ketika gelombang mencapai ketinggiannya minimumnya maka kecepatan yang diperoleh adalah maksimum (b) merupakan gelombang bersuperposisi dari beberapa gelombang *regular* yang mempunyai tinggi

dan periode gelombang yang berbeda yang dapat menunjukkan keadaan laut sebenarnya serta menunjukkan nilai percepatan yang lebih besar ini diakibatkan oleh adanya pengaruh pada frekuensi gelombang.

### 3.5 Perbandingan Hasil Pergerakan *Buoy*-Gelombang



**Gambar 3.5** (a) respon *buoy*-gelombang terhadap gelombang *regular* (b) Grafik respon *buoy*-gelombang terhadap gelombang *irregular*

Hasil percepatan yang didapatkan disetiap percobaannya dilakukan analisis terhadap hubungan pergerakan *buoy* dan pergerakan gelombang dengan dua keadaan yang berbeda dengan hasil percepatan yang diperoleh disetiap keadaannya. Gambar 3.5 (a) dijelaskan grafik bahwa ketinggian maksimum dan minimum *buoy* dipengaruhi oleh kelembaman atau inersia dimana keadaan *buoy* menolak perubahan terhadap keadaan yang menyebabkan adanya perbedaan ketinggian antara *buoy* dan gelombang. Selain itu juga menunjukkan pengaruh spesifikasi *buoy* dalam pergerakannya (b) menunjukkan bahwa ketinggian *buoy* dan gelombang air tidak memiliki jarak yang jauh artinya pergerakan *buoy* selalu mengikuti pergerakan gelombangnya serta dipengaruhi oleh kelembaman atau inersia akibat dari massa dan volume yang dapat menunjukkan keadaan sebenarnya dilaut. Gambar 3.5 dapat diketahui bahwa ketika ketinggian gelombang air lebih besar dari ketinggian *buoy* ditambah dengan tinggi *buoy* sendiri maka keadaan yang terjadi adalah *buoy* terbenam/melayang, ketika tinggi gelombang air sama dengan tinggi *buoy* maka keadaan *buoy* adalah mengapung/terapung, sedangkan keadaan lainnya adalah jika permukaan *buoy* tepat berada dia atas permukaan gelombang air.

## 4. Kesimpulan

Bedasarkan penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Menunjukkan respon pergerakan *buoy* sebagai fungsi ketinggian muka gelombang air pada sumber gelombang *regular* dengan ketinggian konstan dan *irregular* untuk ketinggian yang berbeda-beda.
2. Spesifikasi *buoy* seperti massa dan volume dapat mempengaruhi percepatan pergerakan *buoy* sebagai tinggi muka gelombang air dimana untuk benda bervolume terdapat kecenderungan *buoy* mempertahankan posisi sebelumnya sesuai dengan grafik yang diperoleh.
3. Pergerakan *buoy* yang terbentuk selaras dengan perubahan ketinggian yang terjadi pada *buoy* baik dalam gerak *regular* maupun *irregular*, dengan hasil yang diperoleh bahwa ketinggian *buoy* untuk gelombang *regular* rata-rata 0,5 sampai 1 meter dengan ketinggian gelombang berkisar 4,8 meter dan untuk sumber gelombang *irregular* memiliki selisih terkecil 1,3 meter antara ketinggian *buoy* dan gelombang.
4. Sumber gelombang *irregular* untuk benda bervolume memiliki hasil yang lebih optimum dengan pergerakan *buoy* tidak jauh berbeda dengan pergerakan gelombangnya dimana kecepatan maksimum yang dihasilkan berkisar 648 km/jam dan *delay* pergerakan yang sangat kecil serta memperhitungkan volume *buoy* sesuai dengan keadaan sebenarnya dilaut.

## REFERENSI

- [1] D. Jokowinarno, "Mitigasi Bencana Tsunami Di Wilayah Pesisir Lampung," *J. Rekayasa*, vol. 15, no. 1, pp. 13–20, 2011.
- [2] M. Rafiuddin, D. Adytia, and D. Tarwidi, "Simulasi Gelombang Laut di Daerah Selatan Jawa

- dengan Model SWAN,” vol. 5, no. 2, pp. 3760–3766, 2018.
- [3] S. Pascasarjana, “Rancang Bangun ‘Wave Buoy’ dan Analisis Pengukurannya (Sebagai Alat Pengukur Gelombang Permukaan di Daerah Pesisir) Erik Munandar,” 2016.
- [4] T. Phi-wiki, “Fisika Dasar I,” pp. 1–50, 2013.
- [5] V. G. N. MAIRI, ““Pasang Surut, Arus, dan Gelombang Air Laut,”” 2019.
- [6] A. M. Puja, D. Pembimbing, D. T. Kelautan, and F. T. Kelautan, “*Analysis The Motion Response Of Spar With Multi- Column Variation in Regular Wave and Irregular*” 2018.
- [7] W. A. Sonya, “Perancangan Sistem Prediktor Ketinggian Gelombang Berbasis *Thiessen Polygon* dan Jaringan Sraf Tiruan di Perairan Dangkal Jawa Timur” 2017.
- [8] C. N. Whittaker, A. C. Raby, C. J. Fitzgerald, and P. H. Taylor, “The Average Shape of Large Waves in The Coastal Zone,” *Coast. Eng.*, vol. 114, pp. 253–264, 2016, doi: 10.1016/j.coastaleng.2016.04.009.
- [9] O. Desain, D. Wahana, and N. Sabrina, “*Buoyweather Type II Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization Untuk Kestabilan Pada Sea State 6*” 2017.
- [10] R. Bangun, S. Buoyhull, and I. N. A. Tews, “Rancang Bangun *Surface Buoy-Hull* INA – TEWS BPPT” May, 2017.
- [11] Angela A, “Studi Eksperimen Pengaruh Kemiringan *Flap* Terhadap Redaman Gelombang Dan Konfigurasi Unit Pada Pembangkit Listrik Tipe *Oscillating Wave Surge* Sistem Jamak” Atikah Maulidyah., vol. 372, no. 2, pp. 2499–2508, 2018.
- [12] F. T. Kelautan, “Analisis Dampak Variasi Kedalaman Air Terhadap Performa *Calm Buoy* untuk *Variation to The Performance of Calm*” 2016.