

PENGANTAR MEKANIKA GELOMBANG

Sabaruddin Rahman

Sabaruddin Rahman

PENGANTAR MEKANIKA GELOMBANG

PENGANTAR MEKANIKA GELOMBANG

Penulis : **Sabaruddin Rahman**

Penyunting : **Marwati**

Tata sampul : **Rezkiawati**

Tata isi : **Widya Astuti**

Cetakan Pertama, **Maret 2024**

ISBN **xxx-xxx-xx-xxxx-x**

Penerbit **Professorline**

🏠 Jl. Dg. Ngadde Raya, Parangtambung, Makassar,
Sulawesi Selatan, Indoneisa

✉ professorline123@gmail.com
adminbook@professorline.com

☎ +62 853-4177-7525

🌐 www.professorline.com

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku
baik secara elektronik maupun mekanik tanpa izin tertulis

Penerbit Professorline.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ajar Pengantar Mekanika Gelombang ini. Buku ajar ini merupakan hasil dari pengalaman penulis dalam mengajar mata kuliah Mekanika Gelombang di Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Mekanika gelombang adalah cabang fisika yang mempelajari tentang gelombang dan fenomena yang terkait dengannya. Dari gelombang suara yang kita dengar setiap hari, hingga gelombang elektromagnetik yang membentuk dasar teknologi komunikasi modern, mekanika gelombang memiliki peran penting dalam banyak aspek kehidupan kita.

Buku ini disusun dengan tujuan untuk memudahkan Anda memahami konsep-konsep dasar mekanika gelombang, mulai dari definisi gelombang, jenis-jenis gelombang, hingga fenomena-fenomena yang terjadi akibat interaksi gelombang. Setiap bab dalam buku ini disertai dengan contoh-contoh soal dan penyelesaiannya untuk membantu Anda memahami materi dengan lebih baik.

Buku ajar ini ditujukan untuk mahasiswa tingkat sarjana yang mengambil mata kuliah mekanika gelombang. Buku ini juga dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa tingkat pasca sarjana, dosen, peneliti, dan praktisi yang berkecimpung dalam bidang yang berkaitan dengan gelombang. Buku ini mengasumsikan bahwa pembaca telah memiliki pengetahuan dasar tentang matematika, fisika, dan mekanika fluida.

Kami berharap buku ajar ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam mempelajari dan mengaplikasikan mekanika gelombang. Kami juga mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk meningkatkan kualitas buku ajar ini di masa depan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca, khususnya para dosen, mahasiswa, peneliti, dan praktisi di bidang kelautan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan buku ajar ini.

Semoga buku ajar ini bermanfaat bagi pembaca, khususnya para mahasiswa yang ingin mempelajari gelombang di bidang teknik kelautan. Semoga buku ajar ini dapat menjadi salah satu sumber referensi yang

berguna dan dapat meningkatkan kualitas pembelajaran dan pengajaran di bidang kelautan.

Makassar, Maret 2024

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENGERTIAN DAN KLASIFIKASI GELOMBANG	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Konsep Dasar Gelombang.....	2
1.3 Gelombang Mekanik Dan Gelombang Elektromagnetik	8
1.3.1 Gelombang Mekanik	8
1.3.2 Gelombang Elektromagnetik.....	13
1.4 Gelombang Transversal Dan Gelombang Longitudinal	17
1.4.1 Gelombang Transversal.....	18
1.4.2 Gelombang Longitudinal.....	22
1.5 Contoh Gelombang Mekanik Dalam Kehidupan Sehari-hari.....	25
1.5.1 Gelombang Bunyi.....	25
1.5.2 Gelombang Air	27
1.5.3 Gelombang Tali	29
1.6 Soal Latihan.....	31
1.7 Kesimpulan.....	32
BAB II GEJALA GELOMBANG	34
2.1 Pendahuluan	34
2.2 Pemantulan Dan Pembiasaan Gelombang.....	35
2.2.1 Pemantulan Gelombang.....	35
2.2.2 Pembiasaan Gelombang	39
2.3 Polarisasi.....	45
2.4 Difraksi Dan Dispersi	48
2.4.1 Difraksi	48
2.4.2 Dispersi.....	51
2.5 Efek Doppler	53
2.6 Soal Latihan.....	55
2.7 Kesimpulan.....	56
BAB III KINEMATIKA GELOMBANG.....	60

3.1	Pendahuluan	60
3.2	Amplitudo, Frekuensi Dan Periode Gelombang.....	61
3.2.1	Amplitudo Gelombang	61
3.2.2	Frekuensi Gelombang.....	65
3.2.3	Periode Gelombang	70
3.3	Panjang Gelombang Dan Kecepatan Rambat Gelombang	72
3.4	Fase Dan Beda Fase Gelombang	75
3.5	Contoh Perhitungan Kinematika Gelombang Dalam Berbagai Kasus	77
3.6	Soal Latihan.....	81
3.7	Kesimpulan.....	82
BAB IV TEORI GELOMBANG LINIER		84
4.1	Pendahuluan	84
4.2	Persamaan Gelombang Linier	85
4.3	Karakteristik Gelombang Linier	90
4.3.1	Memenuhi Prinsip Superposisi.....	90
4.3.2	Persamaan Matematis Yang Sederhana.....	91
4.3.3	Tidak Mengalami Perubahan Bentuk Atau Distorsi.....	92
4.4	Prinsip Superposisi Gelombang.....	93
4.4.1	Tangki Riak	102
4.4.2	Redaman Propagasi Pada Kanal Wireless	103
4.4.3	Inferometer	106
4.5	Contoh Penerapan Teori Gelombang Linier Dalam Berbagai Fenomena	108
4.5.1	Gelombang Berjalan.....	108
4.5.2	<i>Wave Front</i> Dan <i>Pulse</i>	112
4.5.3	Dispersi.....	113
4.6	Soal Latihan.....	114
4.7	Kesimpulan.....	115
BAB V GELOMBANG NONLINIER.....		117
5.1	Pendahuluan	117
5.2	Pengertian Dan Karakteristik Gelombang Nonlinier.....	119
5.2.1	Persamaan Potensial Kecepatan Dan Persamaan Dispersi	119

5.2.2	Fenomena <i>Breaking</i>	120
5.2.3	Panjang Gelombang Dihasilkan Lebih Kecil	120
5.3	Persamaan Gelombang Nonlinier	123
5.3.1	Persamaan Potensial Kecepatan	123
5.3.2	Persamaan Dispersi	125
5.4	Jenis-jenis Gelombang Nonlinier	129
5.4.1	Gelombang Stoke	129
5.4.2	Gelombang <i>Stream Function</i>	133
5.4.3	Gelombang Cnoidal	136
5.4.4	Gelombang Solitary	140
5.5	Contoh Gelombang Nonlinier Dalam Alam Dan Teknologi	143
5.5.1	Gelombang Laut	144
5.5.2	Gelombang Optik	146
5.5.3	Gelombang Plasma	148
5.5.4	Gelombang Mekanik	150
5.6	Soal Latihan	153
5.7	Kesimpulan	154
BAB VI GAYA GELOMBANG		157
6.1	Pendahuluan	157
6.2	Pengertian Dan Sumber Gaya Gelombang	158
6.2.1	Angin	159
6.2.2	Gempa Bumi	160
6.2.3	Matahari Dan Bulan	162
6.3	Gaya Gesek Dan Gaya Restorasi Gelombang	163
6.3.1	Gaya Gesek Gelombang	163
6.3.2	Gaya Restorasi Gelombang	169
6.4	Hukum Hooke Dan Persamaan Gerak Harmonik Sederhana ...	172
6.4.1	Hukum Hooke	172
6.4.2	Persamaan Gerak Harmonik Sederhana	176
6.5	Contoh Gaya Gelombang Pada Gelombang Tali Dan Gelombang Pegas	182
6.6	Soal Latihan	183
6.7	Kesimpulan	184

BAB VII TEKANAN GELOMBANG	187
7.1 Pendahuluan	187
7.2 Pengertian Dan Rumus Tekanan Gelombang.....	188
7.3 Tekanan Gelombang Pada Medium Padat, Cair Dan Gas	191
7.4 Tekanan Gelombang Pada Gelombang Bunyi Dan Gelombang Air.....	193
7.4.1 Tekanan Gelombang Pada Gelombang Bunyi.....	193
7.4.2 Tekanan Gelombang Pada Gelombang Air	195
7.5 Contoh Perhitungan Tekanan Gelombang Dalam Berbagai Situasi	198
7.6 Soal Latihan.....	200
7.7 Kesimpulan.....	201
BAB VIII ENERGI GELOMBANG DAN PERPINDAHANNYA	202
8.1 Pendahuluan	202
8.2 Pengertian Dan Rumus Energi Gelombang.....	204
8.3 Energi Potensial Dan Energi Kinetik Gelombang	207
8.4 Perpindahan Energi Gelombang Dan Hukum Konservasi Energi	209
8.5 Contoh Perhitungan Energi Gelombang Dan Perpindahannya Dalam Berbagai Gelombang	218
8.6 Soal Latihan.....	221
8.7 Kesimpulan.....	222
BAB IX STATISTIK DAN SPEKTRUM GELOMBANG	224
9.1 Pendahuluan	224
9.2 Pengertian Dan Tujuan Statistik Dan Spektrum Gelombang ...	226
9.2.1 Statistik Gelombang	227
9.2.2 Spektrum Gelombang.....	232
9.3 Distribusi Frekuensi Dan Amplitudo Gelombang	238
9.3.1 Distribusi Tinggi Gelombang Individual.....	239
9.3.2 Distribusi Rayleigh.....	240
9.3.3 Distribusi Statistik Gelombang Laut Dangkal	243
9.3.4 Deret Fourier	244
9.4 Metode-metode Analisis Spektrum Gelombang.....	249

9.4.1 Metode Fourier	249
9.4.2 Metode <i>Maximun Entropy</i>	251
9.4.3 Metode Bayesian	253
9.5 Contoh Penerapan Statistik Dan Spektrum Gelombang Dalam Berbagai Bidang	256
9.6 Soal Latihan.....	268
9.7 Kesimpulan.....	270
DAFTAR PUSTAKA.....	272

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Bentuk gelombang pada berbagai waktu	3
Gambar 1.2 Panjang gelombang untuk gelombang permukaan air dan gelombang tali.....	5
Gambar 1. 3 Panjang gelombang untuk permukaan air dan gelombang tali	5
Gambar 1. 4 Amplitudo gelombang	6
Gambar 1. 5 Arah kecepatan rambat gelombang	6
Gambar 1. 6 Gelombang longitudinal pada pegas.....	7
Gambar 1. 7 Gelombang transversal pada tali.....	7
Gambar 1. 8 contoh gelombang pada dawai atau tali yang teregang	10
Gambar 1. 9 Gelombang dengan medium berupa zat cair/gas dalam tabung	10
Gambar 1. 10 gelombang dengan medium air dalam suatu saluran.....	11
Gambar1.11 Contoh gelombang transversal dengan slinki yang disimpangkan tegak lurus untuk menghasilkan gelombang (a) dan gelombang longitudinal (b) maka slinki harus ditekan dan didorong sejajar slinki	18
Gambar 1. 12 Gelombang transversal pada air	19
Gambar 1. 13 Gelombang transversal pada tali digambarkan pada sistem koordinat kartesius	20
Gambar 1. 14 Panjang gelombang transversal pada tali	20
Gambar 1. 15 Gelombang longitudinal pada slinki	22
Gambar 1. 16 Slinky yang digerakkan membentuk pola gelombang longitudinal	24
Gambar 2. 1 Contoh peristiwa pemantulan gelombang tali, (a) pemantulan pada ujung tetap dan (b) pemantulan pada ujung bebas.....	35
Gambar 2. 2 Contoh peristiwa pemantulan gelombang permukaan air oleh dinding dan pemantulan gelombang cahaya oleh logam	36
Gambar 2. 3 Arah gelombang datang dan gelombang pantul	37
Gambar 2. 4 Pembuktian hukum pemantulan	38

Gambar 2. 5 Pembiasaan gelombang cahaya dan gelombang permukaan air	39
Gambar 2. 6 Pembuktian hukum pembiasan	41
Gambar 2. 7 cahaya merambat dalam medium berlapis dengan indeks bias berbeda-beda.....	43
Gambar 2. 8 gelombang tali memiliki polarisasi linier: (a) arah simpangan selalu vertikal dan (b) arah simpangan selalu horizontal	46
Gambar 2. 9 Amplitudo gelombang pada berbagai waktu dilihat dari depan (gelombang bergerak menuju mata)	47
Gambar 2. 10 Difraksi yang dihasilkan oleh permukaan CD atau DVD	48
Gambar 2. 11 Ilustrasi perbedaan interferensi dan difraksi.....	49
Gambar 2. 12 Difraksi gelombang permukaan air yang melewati celah: (a) celah sempit dan (b) celah lebar	50
Gambar 2. 13 Dispersi cahaya matahari oleh droplet air diudara menghasilkan pelangi dan dispersi cahaya oleh prisma.....	52
Gambar 4. 1 Ilustrasi nilai amplitudo	61
Gambar4.2 Ilustrasi periode gelombang berhubungan erat dengan frekuensi	71
Gambar 4. 3 Ilustrasi panjang gelombang	72
Gambar 4. 4 Sketsa definisi gelombang	88
Gambar 4. 5 Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam	90
Gambar 4. 6 Superposisi dua gelombang harmonis	94
Gambar 4. 7 Bentuk gelombang superposisi sefase	95
Gambar 4. 8 Bentuk gelombang superposisi berlawanan fase	95
Gambar 4. 9 Interferensi konstruktif	100
Gambar 4. 10 Interferensi destruktif	100
Gambar 4. 11 Tangki Riak	103
Gambar 4. 12 Fenomena propagasi gelombang oleh lingkungan	106
Gambar 4. 13 Sistem interferometer	107
Gambar 4. 14 Gelombang laut	109
Gambar 4. 15 Gelombang bunyi pada indera pendengar manusia	109
Gambar 4. 16 Gelombang elektromagnetik pada radio.....	110

Gambar 5. 1 Gelombang pendek (short wave) nonlinier	121
Gambar 5. 2 Ilustrasi gerakan orbital rambatan gelombang non linier berbentuk spiral dan tidak tertutup	122
Gambar 5. 3 Gerak maju orbit spiral gelombang dan gerak orbit yang terbuka dan maju (zoom)	123
Gambar 5. 4 Fluktuasi muka air akibat gelombang.....	124
Gambar 5. 5 Volume flux melintasi kurva antara titik P dan titik referensi sebagai definisi stream function.....	134
Gambar 5. 6 Profil muka air yang dinormalisasi untuk gelombang cnoidal	138
Gambar 5. 7 Profil muka air yang dinormalisasi untuk gelombang cnoidal untuk nilai k_2 dan X/L yang lebih besar	138
Gambar 5. 8 Hubungan k_2 dengan $L^2 H/d^2$, dan k_2 dengan Tg/h dan H/h	139
Gambar 5. 9 Hubungan $L^2 H/d^3$ dan kwadrat modulus eliptik (k), yc/H , yt/H dan $K(k)$	139
Gambar 5. 10 Fungsi M dan N gelombang solitary	142
Gambar 6. 1 Hukum Hooke	173
Gambar 6. 2 Batas elastisitas.....	174
Gambar 6. 3 Pegas yang menempel pada sebuah balok pada permukaan tanpa adanya gesekan.....	176
Gambar 6. 4 (a) Grafik $x-t$ untuk gerak partikel pada harmonik sederhana dan (b) grafik $x-t$ untuk kasus dimana $x=A$ pada $t=0$ dan $\phi=0$	178
Gambar 7. 1 Cara kerja sistem sonar aktif	196
Gambar 8. 1 Sebuah tali diikatkan pada batang vibrator tali, yang menghasilkan gelombang sinusoidal pada tali dengan kecepatan gelombang v	205
Gambar 8. 2 Menentukan energi yang dimiliki gelombang dalam elemen ΔV	211
Gambar 8. 3 Pelampung tsunami yang bergerak ke atas dan ke bawah oleh gelombang yang melewatinya	213
Gambar 8. 4 Proses terjadinya gelombang tsunami	214

Gambar 8. 5 Spektrum elektromagnetik.....	215
Gambar 9. 1 Ilustrasi tiga dimensi penggabungan gelombang tunggal menjadi gelombang acak dan tidak teratur	228
Gambar 9. 2 Metode statistik dan metode spektrum untuk analisa gelombang laut.....	229
Gambar 9. 3 Ilustrasi penentuan tinggi gelomban dan periode pada suatu pencatatan gelombang	230
Gambar 9. 4 Asumsi penyusunan gelombang irregular	234
Gambar 9. 5 Contoh spektrum energi gelombang	234
Gambar 9. 6 Spektrum gelombang untuk kecepatan angin yang berbeda- beda.....	236
Gambar 9. 7 Spektrum gelombang untuk fetch yang berbeda-beda.....	237
Gambar 9. 8 Histogram tinggi gelombang	239
Gambar 9. 9 Histogram gelombang tak berdimensi.....	240
Gambar 9. 10 Grafik distribusi Rayleigh	241
Gambar 9. 11 Gelombang ireguler dengan fungsi waktu (t)	245
Gambar 9. 12 Contoh elevasi muka air reguler	246
Gambar 9. 13 Varian spektrum gelombang	247
Gambar 9. 14 Ilustrasi analisa spektrum gelombang dengan FFT	248
Gambar 9. 15 Bentuk akhir varian spektrum gelombang.....	249

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jenis-jenis gelombang elektromagnetik	16
Tabel 3. 1 Jenis-jenis pita frekuensi audio	67
Tabel 4. 1 Klasifikasi gelombang menurut teori gelombang linier (Airy)89	
Tabel 5. 1 Perbandingan panjang gelombang, antara teroi gelombang linier dengan teori gelombang nonlinier, periode gelombang 6 detik	126
Tabel 9. 1 Urutan tinggi gelombang dari yang paling besar ke paling kecil	231
Tabel 9. 2 Perbandingan tinggi gelombang H_n terhadap H_{33} dan H_{100}	232

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Abdullah, Fisika Dasar II, Bandung: Insitut Teknologi Bandung, 2017.
- [2] R. Sirait, Diktat Fisika Gelombang, Medan: Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, 2020.
- [3] Sereliciouz and C. S. Mukti, "Karakteristik Gelombang," Quipper BLOG, 25 September 2019. [Online]. Available: <https://www.quipper.com/id/blog/mapel/fisika/karakteristik-gelombang-fisika-kelas-11/>. [Accessed 11 Februari 2023].
- [4] B. Ruwanto, Asas-asas Fisika 3A, Bogor: Yudhistira, 2007.
- [5] M. Ishaq, Fisika Dasar Semester II, 2002.
- [6] J. Strait, "A Digital Audio Primer," [Online]. Available: https://www.joelstrait.com/digital_audio_primer/. [Accessed 15 Februari 2024].
- [7] Denantara, "Frekuensi, Periode, Amplitudo & Ppanjang Gelombang," 04 April 2013. [Online]. Available: <https://desnantara.blogspot.com/2013/04/frekuensi-periode-amplitudo-panjang.html>. [Accessed 15 Februari 2024].
- [8] N. Yuwono, Teknik Pantai Volume I, Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada., 1982.
- [9] S. Hutahean, "Kajian Teoritis Terhadap Persamaan Gelombang Nonlinier," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 14, no. 3, pp. 163-170, 2007.
- [10] H. C. Ohanian, Principles Of Physics, New York : W.W.Norton, 1994.
- [11] Catatan Berliana, "Pembahasan Tentang Gerakan Air Laut," <https://berlianastory.blogspot.com/2014/12/pembahasan-tentang-gerakan-air-laut.html>, 06 Desember 2014. [Online]. Available:

- <https://berlianastory.blogspot.com/2014/12/pembahasan-tentang-gerakan-air-laut.html>. [Accessed 14 Februari 2024].
- [12] Brain, "Gejala Gelombang Bunyi," 30 Juli 2021. [Online]. Available: <https://bertigamas.github.io/brain/post/gejala-gelombang-bunyi/>. [Accessed 14 Februari 2024].
 - [13] evaydk, "Gelombang Radio," 16 Juni 2011. [Online]. Available: <https://dataeva.blogspot.com/2011/06/gelombang-radio.html>. [Accessed 14 Februari 2024].
 - [14] H. E. Krogstad and O. A. Arnsten, "Linear Wave Theory Part B - Random Waves Statistics," Norwegian University Of Science And Technology , Norway, 2000.
 - [15] R. G. Dean and D. , "Water Wave Mechanics For Engineers And Scientist," *Advanced Series on Ocean Engineering*, vol. 2, 1991.
 - [16] J. Chaplin, *The Theory of Waves In Deep Water*, New York: McGraw-Hill, 1970.
 - [17] M. Noorzaei, *Nonlinear Waves In Fluis Mechanics*, Cambridge: Cambridge University Press, 2005.
 - [18] G.K.Batchelor, *An Introduction To Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, 1967.
 - [19] US Army Corps of Engineers (USACE), *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, Davis: Hydrologic Engineering Center, 2000.
 - [20] R. L. Wiegel, "Transmission Of Waves Past A Right Vertical Thin Barrier," *Journal Of Applied Physics*, vol. 21, no. 3, pp. 1019-1026, 1960.
 - [21] W. H. Munk, "The Solitary Wave Theory And Its Application To SUrf Porblems," *Annals Of The New York Academy Of Sciences*, 1949.
 - [22] U.S. Army Corps of Engineers, *Shore Protection Manual*, vol. I and II, Washington, DC: Governmenr Printing Office, 1984.

- [23] Nurlina and Riskawati, Fisika Dasar I, Makassar: LPP Unismuh Makassar, 2017.
- [24] M. T. Y. d. S. T. Kadri, Fisika Dasar 2, Medan: Harapan Cerdas, 2016.
- [25] I. Afkarina, "Sistem Sonar dan Menghitung Kedalaman Laut," Ruang Guru, 19 Maret 2021. [Online]. Available: <https://www.ruangguru.com/blog/sistem-sonar-dan-menghitung-kedalaman-laut>. [Accessed 20 Februari 2023].
- [26] toppr.com, "Energy Of Wave Formula," [Online]. Available: <https://www.toppr.com/guides/physics-formulas/energy-of-a-wave-formula/>. [Accessed 23 Februari 2024].
- [27] Science Learning Hub, "Wave As Energy Transfer," 2 Mei 2011. [Online]. Available: <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/120-waves-as-energy-transfer>. [Accessed 23 Februari 2024].
- [28] carbontrust, [Online]. Available: <http://www.carbontrust.co.uk>. [Accessed 28 Februari 2024].
- [29] N. Yuwono, Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai, Yogyakarta: KMTSFT-UGM, 1992.
- [30] C. C. L. W. C. J. Liu. C. C., "Injected Voltage Of The Series Inverter," *IEEE Transactions On Power Delivery*, vol. 16, no. 4, pp. 800-805, 2001.
- [31] C. Bretschneider, "Wave Variability And Wave Spectra For Wind-Generated Gravity Waves" Technical Memorandum No.118, Beach Erosion Board: U.S Army Corps Of Engineers, 1959.
- [32] W. J. M. Pierson, "A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodskii," *Journal of Geophysical Research*, vol. 69, no. 24, pp. 5181-5190, 1964.

- [33] K. H. e. a. Hasselmann, Measurements Of Wind Waves Growth And Swell Decay During The Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), Deutsches Hydrograph Institut, 1973.
- [34] R. Ardyansyah, Tugas Akhir Analisis Perubahan Spektrum Gelombang Pada Floating Breakwater Bentuk Hexagonal, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2018.
- [35] M. J. F. Stive, "Cross-shore Mean Flow In The Surf Zone," *Coastal Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 325-340, 1986.