

Rancang Bangun, Uji Coba dan Analisis Hasil Pengukuran Instrumen Pengukur Tinggi Gelombang Permukaan Laut

Khasanah Dwi Astuti dan Indra Jaya*

Departement Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK Institut Pertanian Bogor
Gedung Marine Center Lantai 3, FPIK-IPB, Bogor 16680 Indonesia
Email: indrajaya@ipb.ac.id

Abstrak

Gelombang merupakan salah satu parameter penting yang berpengaruh terhadap dinamika yang terjadi di pantai, namun pengukuran langsung gelombang relative masih jarang dilakukan. Makalah ini menguraikan hasil rancang bangun, uji coba dan analisis hasil pengukuran instrument pengukur tinggi gelombang permukaan laut. Instrumen dirancang menggunakan sensor accelerometer yang diletakkan pada sebuah pelampung untuk dapat mengikuti pergerakan partikel air di permukaan laut dan sebagai pengendali utama kerja instrument digunakan mikro kontroler ATmega32. Data dari sensor kemudian disimpan pada MMC/SD card dan dilakukan analisis data lapang menggunakan perangkat lunak MATLAB. Analisis data menggunakan zero crossing analysis untuk mendapatkan karakteristik gelombang. Pengukuran dilakukan dengan system penambatan pada satu titik tetap pada dasar perairan, dan uji lapang dilakukan di perairan Wakatobi, Sulawesi Tenggara pada Juli 2013 di kedalaman 8 meter. Dari hasil analisis data pada lokasi pengamatan selama 22 jam perekaman menunjukkan karakteristik gelombang, yaitu rata-rata tinggi gelombang (\bar{H}) sebesar 0.72 meter; tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) 1.32 meter dan tinggi gelombang maksimum (H_{max}) 2.58 meter. Sebagai kesimpulan, instrument pengukur tinggi gelombang yang telah dikembangkan dan diuji menunjukkan bahwa instrument telah bekerja dengan baik dalam mengukur tinggi gelombang dan data hasil pengukuran ini dapat dianalisis lebih lanjut.

Kata kunci: accelerometer, instrumen, gelombang, wakatobi

Abstract

Design, Testing and Results Analysis of Sea Surface Wave Height Instrument Measurement

Ocean wave is one of the important parameter that affects the dynamic of the coastal. Ocean monitoring that provides real-time data are needed to help better understand of the ocean. The objectives of this study are designing and constructing an instrument to measure the wave height. The instrument was designed by using accelerometer sensor and it was placed on a buoy to follow the water particle movement on the sea surface. Electronics system used was ATmega32 microcontroller as the main control of this instrument. Data from the sensors were stored on the MMC/SD card. MATLAB software was used to analyse the data by using zero crossing method to get the wave properties. The instrument measured at one fixed point by mooring system. This instrument had undergone fields test in Wakatobi, Southeast Sulawesi and was moored at 8 meters depth. Data analysis in 22 hours recording in location showed that the average wave height (\bar{H}) was 0.72 meters; the significant wave height (H_{sig}) was 1.32 meters and the maximum wave height (H_{max}) was 2.58 meters. In conclusion, the wave buoy instrument that we have developed and tested showed that it work well as intended in measuring wave height, and the measured data can be further analyzed.

Keywords: accelerometer, instrument, wave, wakatobi

Pendahuluan

Gelombang laut merupakan pergerakan air naik dan turun tegak lurus dengan permukaan laut. Angin merupakan pembangkit utama gelombang yang terjadi di permukaan laut. Angin berhembus di atas permukaan laut dan memindahkan energinya melalui partikel air sesuai dengan arah angin.

Gelombang yang terjadi di laut memiliki pergerakan yang acak dan kompleks, dimana tinggi dan periode gelombang sulit dirumuskan secara akurat. Tinggi gelombang merupakan salah satu parameter penting untuk diketahui. Pemantauan gelombang di laut perlu dilakukan karena memiliki pengaruh terhadap dinamika yang terjadi di pantai. Selain itu data gelombang dapat membantu kegiatan

perencanaan bangunan pantai, pelabuhan, alur pelayaran dan lalu lintas kapal.

Teknologi yang telah berkembang untuk melakukan pemantauan tinggi gelombang laut antara lain menggunakan satelit altimetry (Jansen *et al.*, 2007; Passaro *et al.*, 2014; dan Shanias *et al.*, 2014), *wave gauge* menggunakan sensor tekanan (Mendes *et al.*, 2008; Tsai *et al.*, 2008; dan Moorits *et al.*, 2011), *Synthetic Aperture Radar* pada satelit (Vesecky *et al.*, 1983; Sugimori *et al.*, 2011), dan sensor *accelerometer* yang diletakkan pada sebuah *buoy* (Stewart, 2008; Vlachos dan Tsabaris, 2008; Guinasso, 2009). Pemantauan gelombang menggunakan pelampung gelombang (*wave buoy*) dengan *accelerometer* sebagai sensor sudah lama dilakukan di dunia, salah satunya oleh perusahaan Datawell (www.datawell.nl). *Wave buoy* ini telah dikembangkan sejak 40 tahun terakhir dan saat ini menjadi desain standar *wave buoy* di dunia. Salah satu permasalahan utama kelautan di Indonesia adalah ketersediaan dan kelangkaan instrument untuk memantau secara langsung (*real time*) dan teratur perairan Indonesia yang luas dan dinamis. Penyediaan instrumen kelautan memerlukan biaya besar karena harus diimpor. Jalan keluar dari permasalahan ini adalah melalui pengembangan sendiri instrument kelautan yang dibutuhkan, misalnya *wave buoy*.

Dalam penelitian ini, dirancang instrumen yang mampu melakukan pengukuran tinggi gelombang permukaan laut dengan menggunakan sensor *accelerometer*. *Accelerometer* merupakan sensor yang dapat mengukur percepatan pada tiga sumbu bumi (x,y,z). *Accelerometer* dapat mengukur percepatan positif maupun negatif akibat pergerakan benda yang melekat padanya. Sensor ini diletakkan pada sebuah pelampung yang dirancang untuk mengikuti pergerakan partikel air di permukaan laut sehingga dapat dilakukan pengukuran tinggi gelombang. Pengambilan data dan uji coba pengukuran di laut dilakukan di perairan Wakatobi, Provinsi Sulawesi Tenggara, yaitu selat antara Pulau Hoga dan Pulau Kaledupa pada kedalaman *mooring* 8 meter.

Materi dan Metode

Pembuatan instrument *wave buoy* dilakukan di Workshop Akustik dan Instrumentasi Kelautan, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor pada bulan Maret-Juni 2013. Uji kinerja dan pengambilan data dilakukan pada bulan Juli 2013 di perairan Wakatobi, Sulawesi Tenggara. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Bogor pada bulan September-Januari 2014. Desain instrumen menggunakan model desain *wave buoy*

yang telah dikembangkan oleh perusahaan Datawell. Wahana terdiri atas pelampung (*buoy*) untuk pemberi daya apung sekaligus peletakan komponen elektronika. *Buoy* ini dirancang untuk dapat mengikuti gerakan partikel air pada permukaan laut sehingga dapat dideteksi perpindahannya (perubahan posisi vertikal dan horizontal).

Komponen elektronika terdiri dari mikrokontroler ATmega32 sebagai pengendali utama kerja instrumen, modul sensor *accelerometer* MMA 7361 yang menghasilkan data percepatan sumbu, modul *real time clock* DS1307 sebagai penanda waktu. Kemudian data yang diperoleh disimpan dalam *MMC/SDcard* sebagai sistem penyimpanan data. Catu daya untuk semua komponen elektronik tersebut menggunakan baterai 5 V 10 AH.

Perangkat lunak yang digunakan yaitu BASCOM AVR yang merupakan bahasa pemrograman *basic*. Perangkat lunak dirancang untuk mengambil data dari sensor *accelerometer* dan penanda waktu kemudian disimpan pada media penyimpanan

Uji lapang bertujuan untuk melihat kinerja instrumen di perairan terbuka. Hal yang perlu diperhatikan dalam uji lapang diantaranya kestabilan wahana, sistem penambatan, kinerja sistem elektronik dan sistem penyimpanan data. Kestabilan dan sistem penambatan dilihat secara visual yaitu posisi wahana dan sistem instalasi instrumen di lapang. Dilihat pula kinerja sistem elektronik untuk dapat melakukan pengukuran serta keberhasilan untuk melakukan penyimpanan data. Selanjutnya dilakukan pengambilan data selama satu hari untuk dapat dianalisis.

Hasil pengukuran data berupa tegangan analog merepresentasikan percepatan benda. Nilai analog diubah menjadi nilai digital oleh fitur ADC mikrokontroler. Untuk mendapatkan data percepatan, maka nilai digital yang dihasilkan dikonversi menjadi voltase per-sensitivitas sensor menggunakan persamaan:

$$g = \frac{DN \times Vref}{1024 \times sensitivitas}$$

Nilai *g* merupakan percepatan, *DN (Digital Number)* adalah nilai digital yang dihasilkan setelah konversi ADC. *Vref* merupakan tegangan referensi yang digunakan pada ADC dan Sensitivitas adalah nilai sensitivitas sensor yang dipilih.

Data perekaman *wave buoy* yang digunakan untuk perhitungan tinggi gelombang adalah data

percepatan pada arah vertikal. Data percepatan dalam satuan g merupakan satuan percepatan yang menunjukkan adanya pengaruh gravitasi bumi yang bekerja pada setiap benda. Nilai yang didapatkan kemudian dikalikan dengan percepatan gravitasi standar yang didefinisikan sebagai 9.81 m.s^{-2} . Percepatan benda (a) ini kemudian dikonversi menjadi jarak (*displacement*) yang menunjukkan tinggi gelombang dalam satuan meter. Percepatan merupakan perubahan kecepatan terhadap waktu. Adapun kecepatan merupakan perpindahan posisi tiap satuan waktu. Maka jarak atau perpindahan posisi buoy terhadap titik sebelumnya didapatkan dengan persamaan sederhana:

$$\Delta v = \frac{a}{t} \quad \text{dan} \quad \Delta s = \frac{v}{t}$$

Data jarak yang telah didapatkan kemudian dianalisis untuk mendapatkan karakteristik gelombangnya. Metode yang biasa digunakan untuk melakukan analisis gelombang laut pada domain waktu adalah *zero crossing analysis* (Seifert dan Camacho, 2007; Tuck, 2007), dimana sebuah gelombang dibentuk dari puncak gelombang dan lembah gelombang setelah melewati nilai 0. Nilai 0 merupakan *Still Water Level* (SWL) pada permukaan perairanyaitu ketinggian level air pada saat tidak terdapat gelombang.

Jika diukur pada suatu titik tetap, distribusi statistik nilai periode dan tinggi gelombang akan memiliki kesamaan dari perekaman satu dan yang lainnya. Distribusi statistik adalah cara yang paling tepat digunakan untuk mendeskripsikan pengukuran dari perekaman data gelombang. Karakteristik yang sering digunakan adalah (WMO 1998):

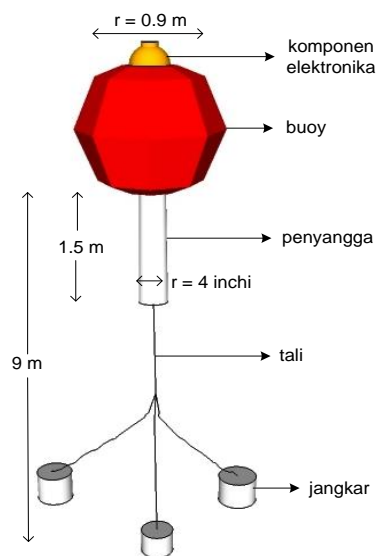
- $H(\bar{H})$: tinggi gelombang rata-rata
- $H_{sig} (H_{1/3})$: ketinggian gelombang signifikan, yaitu rata-rata ketinggian dari 1/3 atau dengan proporsi 33% tinggi gelombang yang diurutkan menurut ketinggiannya
- H_{max} : ketinggian gelombang maksimum dari seluruh data perekaman
- $T(\bar{T})$: periode gelombang rata-rata
- $T_{sig} (T_{1/3})$: periode gelombang signifikan, yaitu rata-rata periode gelombang yang mendefinisikan H_{sig}

Hasil dan Pembahasan

Hasil Rancang Bangun

Wahana menggunakan *buoy* sebagai pelampung yang akan mengikuti partikel air sekaligus peletakan komponen elektronika telah

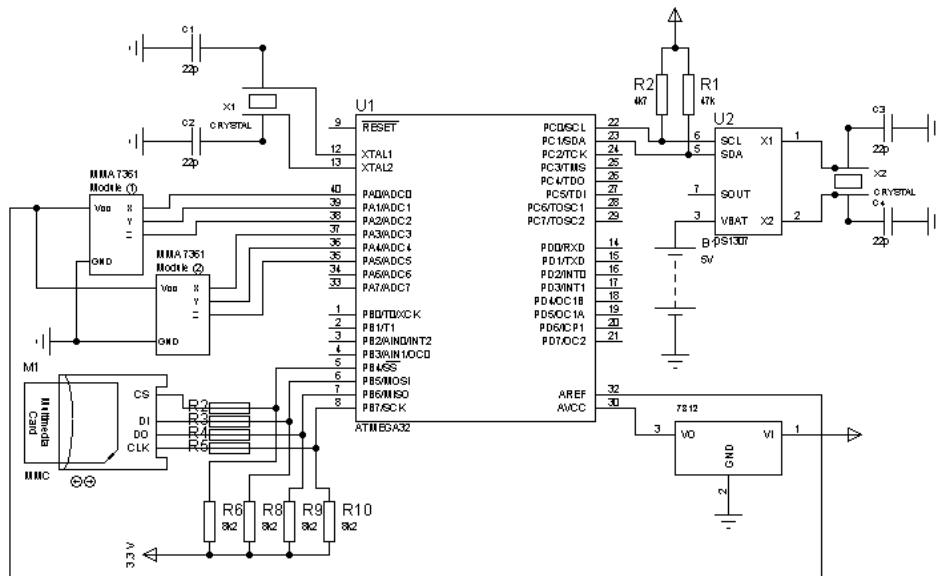
dirancang bangun (Gambar 1). *Buoy* memiliki diameter 0.9 m, pada bagian bawah dipasang penyangga yang terbuat dari paralon dengan diameter 10.16 m dan panjang 1.5 m. Penyangga ini dibuat untuk menjaga kestabilan *buoy* agar dapat melayang dengan baik di permukaan. Sistem penambatan menggunakan tiga buah jangkar yang dipasang di dasar perairan. Tali tambang digunakan untuk mengikat wahana dengan jangkar. Panjang total tali dari *buoy* ke jangkar adalah 9 meter dengan mempertimbangkan pasang surut perairan di lokasi instalasi. Kedalaman perairan pada saat instalasi adalah 8 meter.



Gambar 1 Desain umum dan dimensi teknis instrument pengukur tinggi gelombang

Mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega32 yang diproduksi oleh Atmel dan memiliki sirkuit dasar yang telah ditetapkan (Gambar 2.). Mikrokontroler beroperasi pada tegangan 4.5 V sampai 5.5 V. Sensor *accelerometer* yang digunakan adalah modul MMA7361. Keluaran sensor dihubungkan dengan 3 buah pin di PORT.A. Pin *g-select* (GS) diberikan logika *low* untuk pemilihan sensitifitas sebesar 800 mV.g^{-1} . Komponen *Real Time Clock* (RTC) yang digunakan yaitu DS1307. Pin SCL dihubungkan dengan PORTC.0 dan pin SDA dihubungkan dengan PORTC.1 mikrokontroler. Sistem penyimpanan data menggunakan modul MMC FRAM V3.0. MMC/SD Card dihubungkan dengan mikrokontroler menggunakan antar muka *Serial Peripheral Interface* (SPI). Jalur yang digunakan yaitu MISO, MOSI, SCK, dan SS.

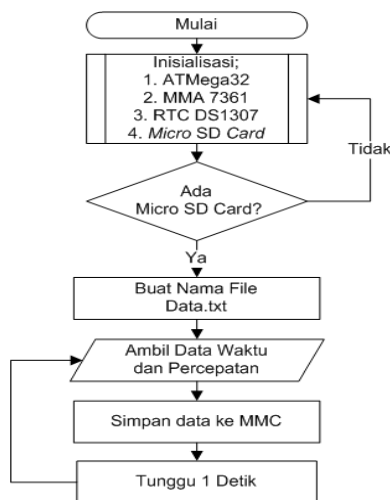
Pada tahap awal, mikrokontroler melakukan inialisasi mikrokontroler, sensor *accelerometer*, DS1307 dan MMC card. Kemudian mikrokontroler akan mendeteksi keadaan MMC card. Pada kondisi ini, program akan terus berulang dan tidak dapat



Gambar 2. Skematik elektronika instrument

diteruskan apabila MMC card tidak terdeteksi. Setelah itu dibuat sebuah file di dalam MMC card dengan nama file data.txt. Mikrokontroler kemudian mengambil data analog dari sensor accelerometer dan data waktu dari DS1307 yang selanjutnya disimpan pada satu baris dalam file data.txt. Terdapat waktu tunggu 1 detik dan kemudian terus berulang untuk pengambilan data sensor dan penyimpanannya dalam file data.txt.

Selama uji coba, instrument berhasil mengukur tinggi gelombang dan berhasil menyimpan data tersebut pada media penyimpanan. Hasil uji lapang menunjukkan sistem elektronik instrumen bekerja dan melakukan perekaman data selama 22 jam dengan selang pencuplikan data setiap 1 detik.



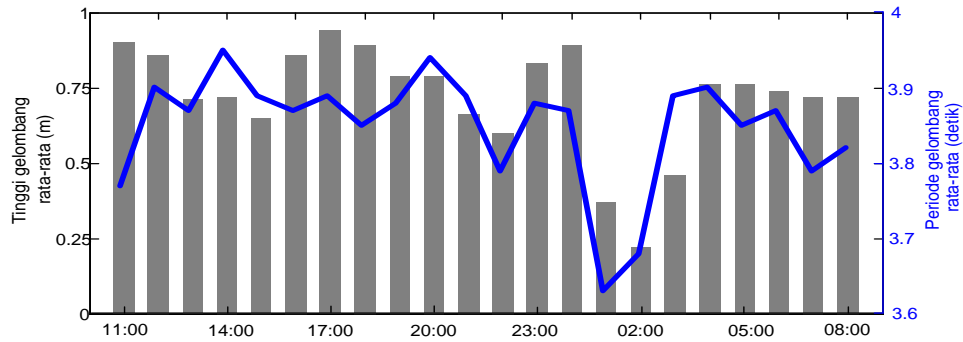
Gambar 3. Alur program utama

Pengolahan dan analisa data

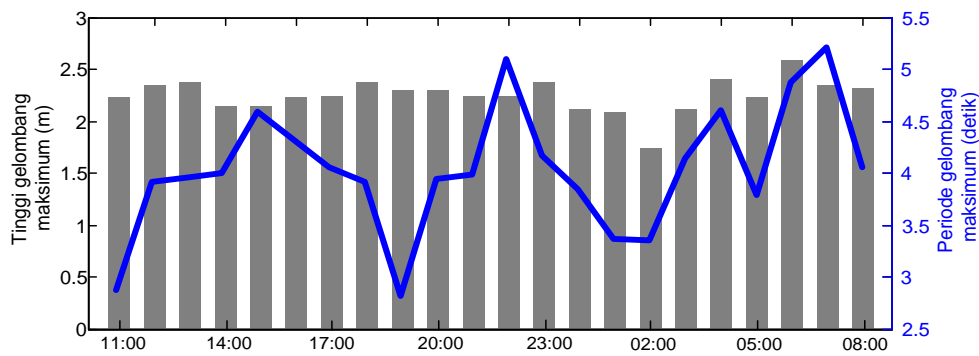
Untuk mendapatkan parameter tinggi gelombang, digunakan data hasil perekaman pada sumbu z. Data mentah hasil perekaman tersebut kemudian diolah sehingga didapatkan nilai percepatan pada arah vertikal. Sensor bergerak mengikuti partikel gelombang sehingga didapatkan perpindahan positif sensor, yaitu benda bergerak vertikal di atas titik 0 dan perpindahan negatif artinya benda bergerak vertikal di bawah titik 0. Apabila sumbu z mendeteksi percepatan gravitasi sebesar 1g, maka percepatan pada sumbu ini kemudian dikalikan dengan nilai percepatan gravitasi. Nilai percepatan ini dikonversi menjadi jarak dalam satuan meter.

Selanjutnya dihitung nilai SWL yang akan digunakan sebagai titik 0, yaitu muka air tenang tanpa adanya gelombang. Setelah didapatkan nilai SWL, dapat diketahui perpindahan posisi buoy di atas nilai 0 yang merupakan puncak gelombang dan perpindahan posisi di bawah nilai 0 yang merupakan lembah gelombang.

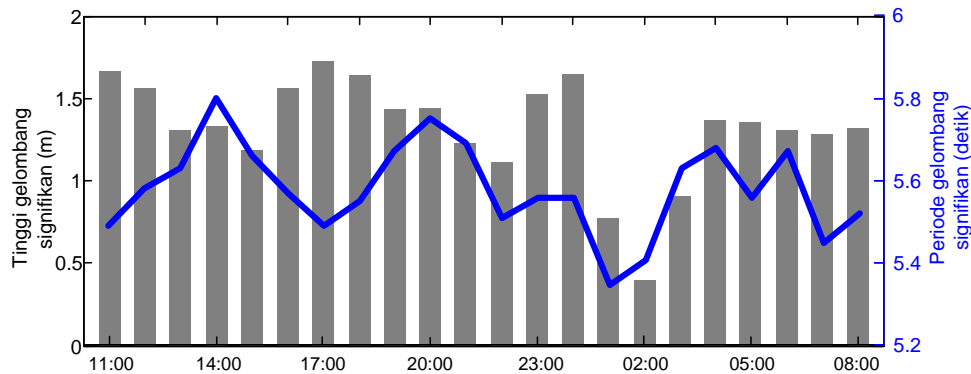
Data perekaman selama 22 jam dipilah menjadi data per satu jam perekaman. Selanjutnya dianalisa menggunakan metode zero crossing analysis untuk mengetahui deskripsi statistic dan mendapatkan karakteristik gelombangnya. Tinggi gelombang rata-rata (\bar{H}) dan periode gelombang rata-rata (\bar{T}) yang didapatkan tiap jam perekaman ditunjukkan pada Gambar 4. Fluktuasi nilai tinggi gelombang rata-rata yang didapatkan yaitu berkisar 0.2 sampai 0.9 meter dengan periode gelombang rata-rata berkisar 3.6 sampai 4 detik.



Gambar 4. Tinggi gelombang rata-rata (\bar{H}) dan periode gelombang rata-rata (\bar{T})



Gambar 5. Tinggi gelombang maksimum (H_{max}) dan periode gelombang maksimum (T_{max})



Gambar 6. Tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) dan periode gelombang signifikan (T_{sig})

Gambar 5 menunjukkan tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum per-jam perekaman. Tinggi gelombang maksimum (H_{max}) adalah nilai tinggi gelombang tertinggi pada waktu perekaman sedangkan periode gelombang maksimum (T_{max}) mendefinisikan periode pada tinggi gelombang maksimum. Tinggi gelombang maksimum berkisar antara 2.2 meter sampai 2.58 meter dengan periode gelombang maksimum berkisar 2.9 detik sampai 5.2 detik.

Tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) adalah nilai yang digunakan untuk menghitung probabilitas tinggi gelombang dari distribusi statistik data gelombang. Periode gelombang signifikan (T_{sig}) mendefinisikan periode pada tinggi gelombang signifikan. Tinggi gelombang signifikan yang didapat dari analisis berkisar antara 0.4 sampai 1.7 m.

Tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pukul 17.00 mencapai 1.72 m dan terendah pukul 02.00 dengan ketinggian gelombang 0.4 m (Gambar 6.).

Kesimpulan

Hasil uji coba instrumen di lapangan cukup baik dan mampu melakukan perekaman data gelombang. Hasil pengolahan data perekaman selama 22 jam dengan metode *zero crossing analysis* dari uji lapang di titik pengamatan yang dilakukan di perairan Wakatobi menunjukkan tinggi gelombang rata-rata (\bar{H}) sebesar 0.72 meter; tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) 1.32 meter dan tinggi gelombang maksimum (H_{max}) 2.58 meter. Berdasarkan hasil rancang bangun dan uji coba tersebut dapat disimpulkan bahwa instrument wave

buoy yang dibuat dapat berfungsi dengan baik dalam mengukur tinggi gelombang serta mengisi kelangkaan instrument kelautan di Indonesia.

Daftar Pustaka

- Aziz, F.M. 2006. Gerak Air di Laut. *J. Oseana* XXXI(4): 9-21.
- Freescale Semiconductor. 2008. $\pm 1.5g$, $\pm 6g$ Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer, MMA 7361L.pdf [internet] [diunduh 2013 April 29]. Tersedia pada: <http://www.sparkfun.com/data-sheet/components/general/mma7361L.pdf>
- Guinasso, N.L., L.C. Bender, J.N. Walpert, L.L. Lee, R.D. Martin, R.D. Hetland, S.K. Baum & M.K. Howard. 2009. Texas automated buoy system. *OCEANS 2009.MTS/IEEE*. Pp 1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.7901/2169-3358-2014-1-300175.1>
- Janssen, P.A.E.M., S. Abdallah, H. Hersbach & J.R. Bidlot. 2007. Error estimation of buoy, satellite and model of wave height data. *J. Atmosphere and Oceanic Technology*, 24(9):1665-1677. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JTECH2069.1>
- Joosten, H.P. 2006. Wave Buoys and Their Elastic Mooring dalam Elastic Mooring of Wave Navigation Buoys. International Ocean Systems, Datawell Publication IOS :3-8
- Kuperus, J. 2009. Wave Monitoring Using Single Nodes.pdf [internet] [diunduh 2013 April 29]. Tersedia pada: http://essay.utwente.nl/59198/1/scriptie_J_Kuperus.pdf
- Laing, A.K. 1998. An Introduction to Ocean Wave dalam Guide to Wave Analysis and Forecasting Ed 2. World Meteorological Organization, WMO-No.702:1-6
- Mendes, L.B.B., L.M.P. Nunes, D. Penteado & J.A.M. Lima. 2008. Wave measurements using an air pressure gauge. ASME 2008, 27th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, pp. 853-858. doi: 10.1115/OMAE2008-57670
- Manly Hydraulics Laboratory. 2011. Wave Data Analysis and Statistics. pdf [internet] [diunduh 2013 Desember 28]. Tersedia pada: <http://new.mhl.nsw.gov.au/data/realtime/wave/docs/Wave%20Data%20Analysis%20and%20Statistics.pdf>
- Moorits, E., A. Usk & T. Kouts. 2011. Wave height measurement as a secondary function of navigational buoys. *OCEANS 2011*. Pp: 1-5.
- Pandian, P. K., O. Emmanuel, J. P. Ruscoe, J. C. Side, R. E. Harris, S. A. Kerr & C. R. Bullen. 2010. An overview of recent technologies on wave and current measurement in coastal and marine applications. *J. Oceanogr. Mar. Sci.* 1(1): 1-10.
- Passaro, M., L. Fenoglio-Marc & P. Cipollini. 2014. Validation of significant wave height from improved satellite altimetry in the German Bight. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 99:1-11. doi: 10.1109/TGRS.2014.2356331
- Seifert, K. & O, Camacho. 2007. Implementing Positioning Algorithm Using Accelerometer. Freescale Semiconductor Inc.
- Shannas, P.R., V.S. Kumar & N.K. Hithin. 2014. Comparison of gridded multi-mission and along track mono-mission satellite altimeter wave height with in situ near shore buoy data. *J. Ocean Eng.* 83:24-35. doi:10.1016/j.oceaneng.2014.03.014
- Stewart, H. 2008. Introduction to Physical Oceanography. Departement of Oceanography Texas A&M University.
- Sugimoto, M., N. Shiroto & K. Ouchi. 2011. Estimation of ocean wave height using polarization ratio of synthetic aperture radar data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing (IGARSS)*. 2011: 2821-2824. doi: 10.1109/IGARSS.2011.6049801
- Tsai, J.C., C.H. Tsai & H.M. Tseng. 2008. Pressure derived wave height using artificial neural networks. *OCEANS 2008 - MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean*. Pp. 1-8. doi: 10.1109/OCEANS_KOBE.2008.4531043
- Tuck, K. 2007. Implementing Auto-Zero Calibration Technique for Accelerometer: Freescale Semiconductor Inc.
- Vesecky, J. F., S.L. Durden, D. Napolitano & M.P. Smith. 1983. Theory and practice of ocean wave measurement by synthetic aperture radar. *OCEAN '83 Proceedings*, pp 331-337. doi: 10.1109/OCEANS.1983.1152141
- Vlachos, D.S. & C. Tsabaris. 2008. The use of vertical and horizontal accelerations of a floating buoy for the determination of directional wave spectra in coastal zones. *Math. Comp. Modelling*, 48:1949-1956. doi: 10.1016/j.mcm.2007.06.033
- Wahyudi, Susanto A. 2009. Penentuan Faktor Kalibrasi Accelerometer MMA 7260Q pada Ketiga Sumbu. *J. Teknik Elektro* 11(1): 16-22.