

# Rancang Bangun Instrumen Sistem Buoy Menggunakan A-Wsn Protokol Zigbee Untuk Pengamatan Ekosistem Pesisir

Acta Withamana\*<sup>1</sup>, Indra Jaya<sup>2</sup>, dan Totok Hestirianoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mayor Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.  
Jl. Agatis No. 1, Bogor, Indonesia. 16680  
Email: actawithamana@gmail.com

<sup>2</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.  
Jl. Agatis No. 1, Bogor, Indonesia. 16680  
Email: indrajaya@ipb.ac.id, totokhestirianoto@ipb.ac.id

## Abstrak

Luasnya perairan dan lingkungan laut yang tidak bersahabat menimbulkan tantangan tersendiri untuk diobservasi. Aktivitas observasi secara konvensional di laut, yang menggunakan kapal sebagai wahana bergerak, membutuhkan biaya yang tinggi dan tidak efisien untuk memperoleh resolusi spasial dan temporal yang diinginkan. Buoy tertambat telah lama digunakan sebagai salah satu pilihan untuk aktivitas observasi laut. Namun ukuran yang besar dari rancangan buoy yang ada pada umumnya tidak cocok untuk pengamatan ekosistem pesisir. Perkembangan teknologi semikonduktor yang pesat melahirkan konsep wireless sensor network (WSN). Komunikasi protokol ZigBee memiliki kelebihan penggunaan energi yang efisien dan kemudahan pemasangan. Riset ini dilakukan untuk mengembangkan instrumen buoy tertambat dan menguji apakah WSN dapat diaplikasikan di wilayah pesisir. Buoy tertambat yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dan stabil sebagai wahana instrumen. Kinerja jaringan ZigBee menunjukkan tingkat keberhasilan pengiriman data sebesar 100% pada uji coba statis. Menggunakan empat buah baterai NiMH, instrumen ini dapat bekerja selama kurang lebih 39 jam untuk coordinator dan router, serta 89 jam untuk end device. Pengujian di lapangan menunjukkan hasil terburuk sebesar 84.94% keberhasilan pengiriman data pada E1, dan hasil terbaik sebesar 100% keberhasilan pengiriman data pada R1 dan E3. Data suhu permukaan laut yang diterima juga dapat menggambarkan sebaran suhu permukaan di Pulau Panggang. Hasil penelitian memberikan gambaran bahwa Instrumen Sistem Buoy Menggunakan A-Wsn Protokol Zigbee sangat berpotensi untuk digunakan dalam pengamatan ekosistem pesisir.

**Kata kunci:** instrumen, buoy tertambat, ZigBee, suhu permukaan laut, observasi pesisir

## Abstract

### Development of Buoy System Instrument using A-WSN ZigBee Protocol for Coastal Ecosystem Monitoring

Ocean observation has become a challenge due to its vast and rough condition. The conventional observation, for example using ship as a mobile platform, is very expensive and inefficient to obtain desired spatial and temporal resolution of sampling. Mooring buoy has been used as one of the options to carry out the task. However the big dimension in the existing buoy system is not suitable for coastal ecosystem monitoring. Rapid development in semiconductor technology has brought wireless sensor network (WSN). ZigBee communication protocol has the advantage of energy efficient and ease of implementation. This research was conducted to developing mooring buoy platform as well as analyzes the possibility of WSN to be implemented in coastal environment. The test on performance of developed mooring buoy was good and stable as the platform of instrument. The network performance of ZigBee radio gave 100% data transmitting and receiving success ratio in the static test. Using four Ni-MH batteries, the instrument can be operated for roughly 39 hours for coordinator and router, and 89 hours for end device. The sea field test shows that the worst is 84.94% success ratio on E1 and the greatest is 100% success ratio on R1 and E3. The received temperature data also accurate to describe the distribution of sea surface temperature at Panggang Island. Results of this study suggest that application of Buoy System instrument using ZigBee-WSN protocol has the potential to be used in the observation activities of coastal ecosystems.

**Keywords:** mooring buoy, instrument, WSN, ZigBee, coastal observation

## Pendahuluan

Luasnya perairan dan lingkungan laut yang tidak bersahabat menimbulkan tantangan tersendiri untuk diobservasi. Akses yang sulit dan faktor cuaca menyebabkan lokasi pengamatan di laut memerlukan perencanaan yang baik (Voigt *et al.*, 2007). Secara umum, observasi sumber daya laut melibatkan dua komponen utama, yaitu: penginderaan jarak jauh menggunakan citra satelit dan observasi *in situ* (Ravichandran, 2011). Observasi laut atau survey *in situ* biasanya menggunakan tenaga manusia untuk mengambil sampel pada lokasi yang diinginkan. Pengambilan sampel dengan teknik ini memerlukan waktu yang lama dan biaya yang tinggi. Apabila menggunakan kapal riset besar, biaya pengambilan data di laut mencapai 15.000 euro atau 200 juta rupiah per hari (Voigt *et al.*, 2007). Seiring dengan perkembangan teknologi, dikembangkan sistem observasi yang mampu mengambil data secara otomatis (Albaladejo *et al.*, 2010; Ravichandran, 2011). Salah satu wahananya adalah menggunakan *mooring buoy* atau buoy tertambat. Buoy tertambat merupakan wahana yang menggunakan metode eularian, yaitu didasarkan pada lokasi yang tetap.

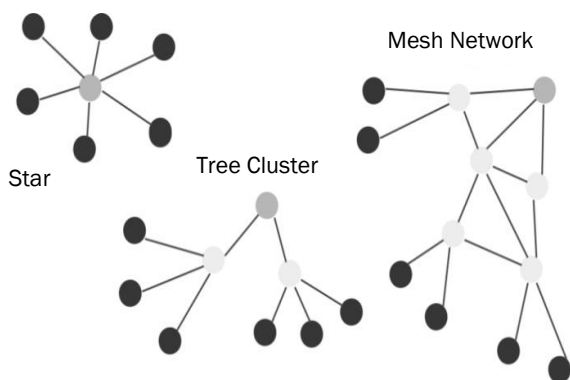
Salah satu wahana buoy tertambat paling sukses adalah *Tropical Atmosphere Ocean/Triangle Trans-Ocean Buoy Network (TAO/TRITON) array* di Samudera Pasifik. Sistem buoy yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* dan *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC)* adalah salah satu sistem observasi laut yang sukses mengamati fenomena La Nina dan El Nino (Sheinbaum, 2003). Lebih dari 600 jurnal ilmiah telah dipublikasi dari data TAO/TRITON sejak tahun 1980. Untuk menghadapi lingkungan laut yang tidak bersahabat, buoy TAO/TRITON ini didesain kuat sehingga ukurannya pun besar. Tidak hanya itu, dimensi yang besar ini juga berkaitan dengan kebutuhan kompartemen catu daya yang besar karena kebutuhan energi yang tinggi untuk komunikasi melalui satelit. Beberapa jenis buoy tertambat memiliki generator diesel di dalamnya. Sistem observasi buoy jenis ini umumnya dipakai untuk mengamati fenomena dalam skala global.

Ekosistem pesisir yang terdiri dari estuaria, hutan mangrove, padang lamun dan terumbu karang merupakan ekosistem dengan produktivitas tinggi dan memiliki beragam fungsi (Pigawati, 2005; Bengen, 2009). Tekanan yang tinggi akibat aktivitas manusia menjadikan ekosistem ini sangat rentan terhadap kerusakan (Tahir *et al.*, 2009; Rositasari *et al.*, 2011). Kebijakan pengelolaan ekosistem pesisir secara terpadu yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan merupakan mekanisme terbaik dalam

mengelola ekosistem pesisir (Pollnaca dan Pomeroy, 2005; Purwanti *et al.*, 2008). Namun, pengawasan aspek bio-fisik kunci dari perairan keempat ekosistem ini belum banyak dilibatkan dalam pengambilan suatu kebijakan (Bengen, 2009). Hal ini disebabkan pengamatan kualitas suatu perairan memerlukan biaya yang tinggi. Metode observasi menggunakan satelit memiliki keterbatasan resolusi spasial dan temporal (Bromage *et al.*, 2007). Kebutuhan data yang akurat dengan resolusi spasial maupun temporal yang tinggi, akan membantu para pemangku kepentingan untuk bereaksi cepat dan akurat dalam memutuskan sebuah kebijakan.

Aplikasi teknologi untuk mengobservasi lingkungan terus berkembang pesat. Perkembangan teknologi *Microelectromechanical System (MEMS)* membuat ukuran sebuah pemancar dan penerima radio memiliki ukuran sangat kecil, hemat daya, dan memiliki kecepatan transfer data yang baik (Alkandari *et al.*, 2012). Dalam setiap *node* (satu perangkat modul WSN, sensor dan baterai) terdapat mekanisme pengukuran variable, pengolahan data, penyimpanan data dan melakukan komunikasi (Dargie dan Poellabauer, 2010). Awal perkembangan *wireless sensor network (WSN)* tidak disertai dengan standarisasi protokol, sehingga komunikasi antar perangkat menjadi sulit. Seiring dengan kebutuhan yang unik tersebut, protokol ZigBee dikembangkan. ZigBee bukan membuat teknologi baru, melainkan mengembangkan protokol tingkat tinggi dengan basis IEEE 802.15.4 untuk aplikasi sensor dan perangkat kontrol (Kinney, 2003).

Terdapat tiga topologi jaringan yang digunakan ZigBee ini seperti yang (Gambar 1). Topologi merupakan mekanisme pengaturan jaringan yang digunakan. Ada tiga jenis *sensor node* dari sistem ini, yaitu: *Coordinator (C)*, *router (R)*, dan *end node (E)* (Kinney, 2003). *Coordinator* mampu membuat jaringan *Personal Access Network (PAN)*. *Router* merupakan jenis *node* yang dapat mengirim data, menerima data, dan mengarahkan (*routing*) data dari *end device* dan *coordinator*. Namun *router* tidak bisa masuk membentuk PAN dan masuk ke mode *sleep*. *End device* merupakan jenis *sensor node* yang bisa mengirim data, menerima data dan masuk ke mode *sleep*. Ketika mode *sleep*, radio tidak bisa mengirimkan atau menerima data karena pasokan energi yang dibutuhkan diputus. Pasokan energi hanya disalurkan ke komponen yang esensial saja. Dengan demikian, kebutuhan energi total yang dibutuhkan menjadi jauh lebih kecil dibandingkan *coordinator* atau *router*. Penelitian ini merancang sistem buoy tertambat serta uji coba *Aerial Wireless Sensor Networks (A-WSN)* berbasis modul radio protokol ZigBee untuk pengamatan ekosistem pesisir secara *real-time*.



Gambar 1. Topologi Jaringan ZigBee

Keterangan : ● : End node, ● : Router, ● : Coordinator

### Materi dan Metode

Terdapat beberapa tahap pengembangan instrumen ini, yaitu: pembuatan wahana apung, pembuatan instrumen, analisis konsumsi daya dan uji coba lapang. Penelitian dilakukan pada bulan Februari hingga Mei 2013. Perancangan, pembuatan, dan analisis statis beserta konsumsi daya instrumen dilakukan di Laboratorium Akustik dan Instrumentasi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Sedangkan uji coba lapang dilakukan di Pulau Panggang, Kepulauan Seribu, Jakarta Utara yang merupakan Taman Nasional Laut (Yusuf et al., 2009).

#### Pembuatan wahana buoy

Mooring buoy atau buoy tertambat pada prinsipnya adalah sebuah alat yang mengapung diatas permukaan air yang kemudian diikat pada jangkar. Beberapa parameter penting dari sebuah wahana buoy tertambat adalah kestabilan, keseimbangan, dan kemampuan kembali ke kondisi seimbang (Jordán dan Beltrán-Aguedo, 2004). Desain buoy yang dibuat ditujukan untuk daerah pesisir. Dinamika perairan di wilayah ini relatif lebih dangkal dan terlindungi dibandingkan laut lepas. Buoy juga diharapkan tidak terlalu berat agar memudahkan mobilisasi. Gambar 2. merupakan desain buoy secara keseluruhan. Bahan yang digunakan pada tiang penyangga adalah pipa stainless steel 304 dengan diameter 1/2 inch dan tebal 2mm. Bagian pelampung adalah bola plastik dengan diameter 35 cm dengan tebal 5mm lalu kemudian diisi dengan polyurethane foam. Penghitungan gaya apung pelampung diperoleh melalui persamaan 1 (IALA, 2013).

$$F_b = V_b \times \rho \times g$$

Keterangan:

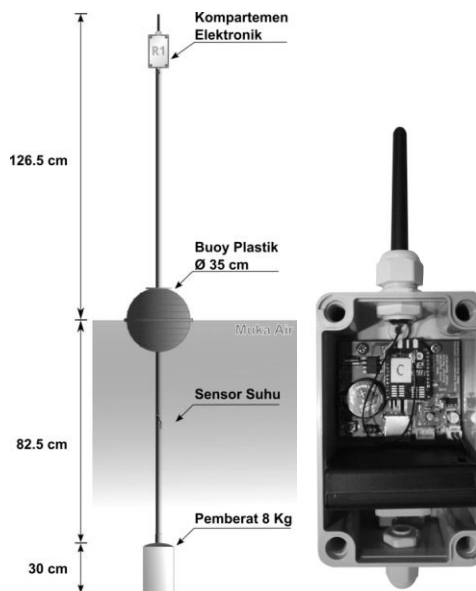
$F_b$  = gaya apung dalam satuan Newton,

$V_b$  = volume wahana apung,

$\rho$  = densitas air laut, dan

$g$  = percepatan gravitasi bumi.

#### Pembuatan Instrumen



Gambar 2. Rancangan wahana apung (kiri) dan kompartemen eletronik (kanan)

Pembuatan instrumen melalui dua tahap, yaitu pembuatan perangkat keras dan pembuatan perangkat tegar (firmware). Perangkat keras yang dirancang berbasis mikrokontroler ATmega 328P. Modul radio yang digunakan adalah XBEE Pro ZB Series 2 yang dihubungkan melalui antarmuka serial UART dengan konfigurasi baudrate 9600. Informasi waktu disimpan dalam Real Time Clock (RTC) PCF8583 melalui antarmuka I2C. Parameter kualitas air yang akan diamati adalah suhu permukaan laut. Oleh karena itu digunakan sensor suhu digital DS1820 versi tahan air dengan menggunakan antarmuka Dallas onewire. Penyimpanan data dilakukan dalam micro SDcard berkapasitas 4GB dengan menggunakan antarmuka SPI. Sumber daya energi diperoleh menggunakan empat buah baterai NiMH dengan kapasitas 2700mAh. Semua komponen dirangkai dalam papan sirkuit elektronik yang dirancang menggunakan Cadsoftusa EAGLE PCB Schematic Editor. Instrumen yang dibuat adalah sebanyak 6 buah yang terdiri dari satu buah coordinator, dua buah router, dan tiga buah end device. Satu buah instrumen untuk selanjutnya akan disebut sebagai sensor node. Perangkat tegar merupakan seperangkat instruksi untuk menjalankan mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang

digunakan adalah bahasa C dengan *compiler* AVR-gcc. Penyusunan bahasa pemrograman dilakukan di *Integrated Development Environment* (IDE) Eclipse versi Indigo. Kemudian program akan dikompilasi dengan output file dengan ekstensi .hex. File ini akan diunggah ke mikrokontroler menggunakan antarmuka *In-System Programmer* (ISP).

**Analisis konsumsi daya**

Pengukuran konsumsi daya dilakukan menggunakan *digital multimeter* Sanwa CD800a. Kondisi pengukuran dilakukan pada saat kondisi siaga (*idle*) dan saat mengirim atau menerima data.. Setelah mengetahui hasil pengukuran rata-rata konsumsi daya pada dua kondisi tersebut, kemudian masing-masing *node* dibuat model konsumsi daya rata-rata per menit menggunakan Persamaan 2.  $I_{siaga}$  merupakan konsumsi daya rata-rata pada kondisi siaga dalam satuan mA.  $T_{siaga}$  merupakan satuan waktu kondisi siaga tersebut terjadi dalam 60 detik. Sedangkan  $I_{aktif}$  dan  $T_{aktif}$  adalah parameter konsumsi daya dan satuan waktu dalam kondisi aktif. Masing-masing *sensor node* memiliki karakteristik yang berbeda-beda.

$$I = \frac{(I_{siaga} \times T_{siaga}) + (I_{aktif} \times T_{aktif})}{60}$$

Selanjutnya menggunakan hasil konsumsi daya per menit, maka estimasi daya tahan baterai dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.

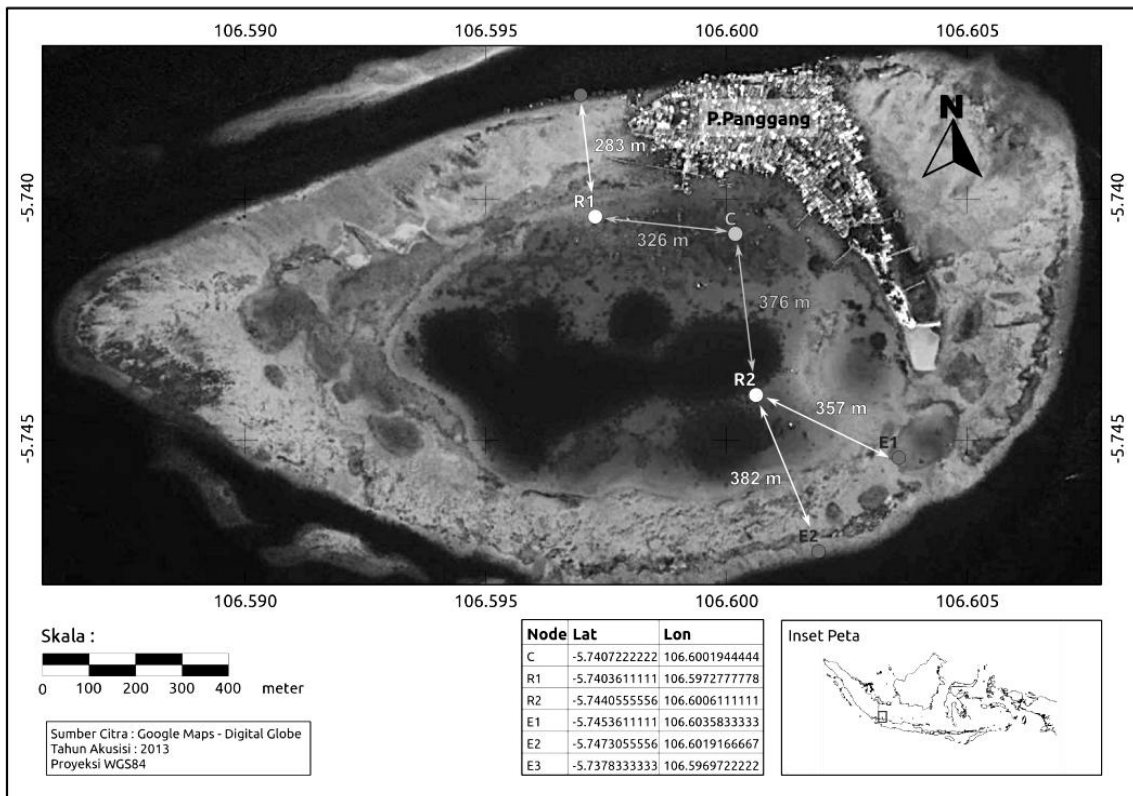
$$T_{battery} = \frac{2700}{I}$$

**Uji coba lapang**

Uji coba lapang dilakukan untuk mengetahui kinerja instrumen pada kondisi sebenarnya. Parameter yang diamati adalah kinerja wahana apung dan rasio keberhasilan pengiriman data. Kinerja wahana apung dinilai berdasarkan pengamatan secara visual. Kemampuan apung, kestabilan, dan ketahanan adalah parameter yang diamati untuk wahana apung. Rasio keberhasilan pengiriman data dihitung menggunakan data yang tersimpan di masing-masing *sensor node* dengan menggunakan persamaan 4.

$$R_s = \frac{\sum Data_{terkirim}}{\sum Data_{diterima}} \times 100\%$$

Uji coba lapang dilakukan pada gobah Pulau Panggang, Kepulauan Seribu selama 18 jam. Terdapat enam titik pemasangan instrumen buoy ini (Gambar 3). Jarak antar *sensor node* berkisar antar 280 meter hingga 350 meter.



Gambar 3. Peta lokasi pemasangan sensor node pada uji coba lapang



### Hasil dan Pembahasan

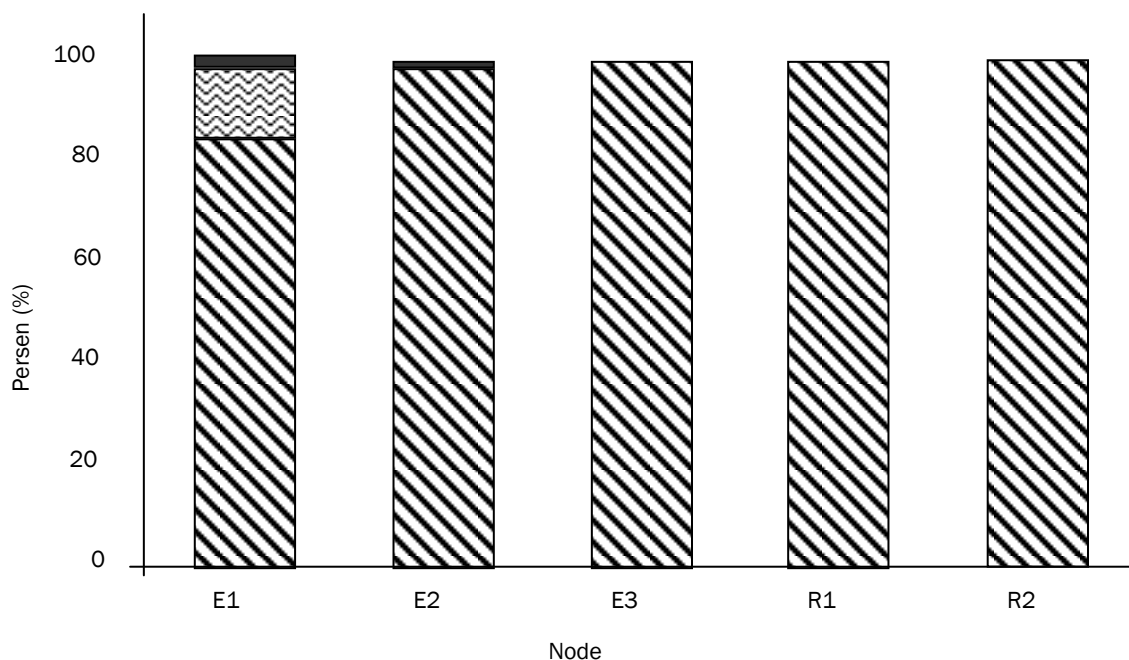
Wahana apung memperoleh daya apung dari bola plastik dengan diameter 35 cm. Apabila dihitung menggunakan Persamaan 1, diperoleh gaya apung sebesar 225.9503 N atau daya apung sebesar kurang lebih 23 kg. Berat total wahana apung beserta kompartemen elektronik kurang lebih seberat 12 kg. Sehingga bisa dipastikan wahana apung tidak akan tenggelam karena daya apung lebih besar dibandingkan dengan beban muatan. Wahana apung diikat pada jangkar seberat kurang lebih 80 kg atau ke keramba masyarakat. Kedalaman perairan dipilih pada kisaran 2 meter hingga 10 meter pada saat surut terendah untuk menghindari kandasnya wahana apung. Menggunakan pengamatan secara visual, wahana apung yang dibuat memiliki kinerja yang baik. Hal ini ditunjukkan tidak ada wahana apung yang miring ke

salah satu sisi, terbalik, atau tenggelam selama percobaan dilakukan.

Hasil penghitungan konsumsi daya memperlihatkan bahwa untuk *coordinator* dan *router* memiliki konsumsi daya yang hampir sama, yaitu sebesar 39.5 dan 39.8 jam (Tabel 1). *End device* menunjukkan penurunan konsumsi daya yang sangat signifikan karena dapat menggunakan *sleep mode*. Namun kondisi di lapangan belum tentu bisa sebaik hasil perhitungan karena beberapa faktor, diantaranya: suhu baterai yang panas akibat terpapar sinar matahari, penurunan kapasitas akibat usia pemakaian, serta adanya batas minimum tegangan dari regulator tegangan yang digunakan (Albaladejo et al., 2010). Untuk penggunaan jangka panjang, penggunaan panel surya 5V dengan daya 1 Watt dapat menambah waktu pengoperasian menjadi lebih lama.

**Tabel 1.** Hasil pengukuran konsumsi daya

Jenis Node	Konsumsi Daya (mA)		Rata-rata Konsumsi Daya (mA)		Konsumsi Daya Rata-rata per Menit	Daya Tahan Baterai (jam)
	Siaga	Aktif	Siaga	Aktif		
Coordinator	67.4	72.5	67.4	72.5	68.4	39.5
Router 1	68.1	74.8	67.6	74.1	67.9	39.8
Router 2	67	73.4				
End Device 1	21.9	71.2	22.2	73.6	30.7	87.8
End Device 2	22.3	77.6				
End Device 3	22.3	72				



**Gambar 4.** Persentase keberhasilan pengiriman data

Keterangan: ■ : Kegagalan Jaringan, ☞ : Kegagalan software / hardware, ▨ : Berhasil

Gambar 4 menunjukkan bahwa persentase keberhasilan pengiriman data paling rendah sebesar 84.94% pada E1 dan tertinggi 100% R1 dan E3. Rasio Kegagalan akibat kegagalan antar sensor node untuk berkomunikasi paling besar pada E1 yaitu 0.77% dan terendah pada R2 0.43%. Apabila dilihat dari sebaran spasialnya, R2, E1 dan E2 berada pada satu bagian jaringan yang sama. Hal ini menunjukkan kegagalan akan lebih tinggi rasio pada beban jaringan yang lebih banyak (Kinney, 2003). Ada kemungkinan terjadinya tabrakan (*coalision*) pada saat pengiriman paket data. Pada E1 terdapat kegagalan *software/hardware* yang penyebabnya belum diketahui. Sistem pengiriman berhenti secara tiba-tiba dan modul radio gagal mengirimkan data. Beberapa kemungkinan seperti baterai yang mau habis atau sistem *clock* yang berhenti bekerja (Kinney, 2003). Hal ini menunjukkan diperlukannya peningkatan mekanisme perangkat tegar maupun perangkat keras terhadap *error*. Gambar 5. menunjukkan data suhu permukaan laut (SPL) yang diterima pada *coordinator* pada saat percobaan dilakukan. Lokasi R1 dan R2 terlihat memiliki puncak suhu tertinggi. Hal ini disebabkan pada saat siang hari sirkulasi air di dalam goba tidak sedinamis sirkulasi air di luar goba. Akumulasi bahang yang tinggi di dalam goba menjadikan suhu di dalam goba relatif lebih tinggi. Perbedaan suhu yang terjadi kurang lebih sebesar 1.5 °C. Perbedaan suhu dalam luasan yang relatif kecil ini sulit diamati melalui satelit sehingga instrumen dikembangkan yang memiliki resolusi spasial yang tinggi. Apabila diaplikasikan pada pengamatan ekosistem terumbu karang resolusi spasial yang tinggi ini akan sangat bermanfaat. Perbedaan suhu 2 °C menyebabkan polip karang kehilangan alga yang bersimbiosis dengannya dan kemudian mati. Data SPL yang diterima cukup baik dalam menggambarkan kondisi perairan yang sebenarnya.

## Kesimpulan

Hasil ujicoba di lapang wahana buoy berbasis komunikasi *Aerial Wireless Sensor Network* (A-WSN) dengan protokol ZigBee memiliki kinerja yang sangat baik. Wahana buoy yang dibuat teruji sangat stabil baik pada uji coba statis maupun dinamis serta rasio kegagalan transmisi yang rendah, dimana tingkat keberhasilan pada uji coba lapang bervariasi antara 84% hingga 100%. Kekurangan pada sistem instrumen ini terletak pada perbedaan waktu antar *sensor node*. Hal ini disebabkan sistem RTC yang ada independen untuk setiap instrumen. Keterbatasan daya juga membatasi waktu operasi instrumen. Untuk pengembangan selanjutnya akan dilengkapi dengan *solar cell* serta sistem manajemen daya yang lebih baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

instrumen sistem buoy dengan menggunakan A-WSN Protokol Zigbee berpotensi untuk digunakan dalam kegiatan pengamatan ekosistem pesisir

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teknisi di Laboratorium Akustik Instrumentasi Kelautan dan MIT-ITK IPB yang turut membantu dalam uji coba lapang. Terimakasih juga disampaikan kepada dua anonymous reviewer.

## Daftar Pustaka

- Albaladejo, C., P. Sánchez, A. Iborra, F. Soto, J.A. López & R. Torres. 2010. Wireless Sensor Networks for Oceanographic Monitoring: A Systematic Review. *Sensors*. 10(7):6948-6968.
- Alkandari, A., M. Alnasheet, Y. Alabduljader & S.M. Moein. 2012. Water monitoring system using Wireless Sensor Network (WSN): Case study of Kuwait beaches. Second International Conference on Digital Information Processing and Communications (ICDIPC). 2012 Juli 10-12. Klaipeda City. Lithuania Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Hlm10-15.
- Bengen, D.G. 2009. Ekosistem dan Sumberdaya Pesisir dan Laut Serta Pengelolaan Secara Terpadu dan Berkelanjutan. Prosiding Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/24548>. [diunduh 2013 Feb 21].
- Bromage, M., K. Obraczka & D. Potts. 2007. SEA-LABS: A Wireless Sensor Network for Sustained Monitoring of Coral Reefs. 6<sup>th</sup> International IFIP-TC6 Networking Conference, 2007 Mei 14-18. Atlanta. USA. Jerman (DE). Springer Berlin Heidelberg. Hlm 1132-1135.
- Dargie, W. & C. Poellabauer. 2010. Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice. Sherman X, Pan Y, editor. Sussex (UK). John Wiley & Sons.
- IALA (International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities). 2013. Hydrostatic design of buoys edition 1. *IALA-AISM Guidelines* 1099:1-25
- Jordán, M.A. & R. Beltrán-Aguedo. 2004. Optimal identification of potential-radiation hydrodynamics for moored floating structures-a new general approach in state space. *Ocean Eng.* 31(14):1859-1914.

- Kinney, P. 2003. ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works. Communication Design Conference. 2003 October 2. San Jose. United States of America. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- Pigawati, B. 2005. Identifikasi Potensi dan Pemetaan Sumberdaya Pesisir Pulau - Pulau Kecil dan Laut Kabupaten Natuna-Provinsi Kepulauan Riau. *Ilmu Kelautan*. 10(4):229-236.
- Pollnaca, R.B. & R.S. Pomeroy. 2005. Factors influencing the sustainability of integrated coastal management projects in the Philippines and Indonesia. *Ocean & Coastal Manag.* 48 (3-6):233-251.
- Purwanti, F., H.S. Alikodra, S. Basuni & D. Soedharma. 2008. Pengembangan Co-Management Taman Nasional Karimunjawa. *Ilmu Kelautan*. 13(3):159-166.
- Ravichandran, M. 2011. In-Situ Ocean Observing System. ch. 3. In Schiller A dan Brassington GM, editor. *Operational Oceanography in the 21st Century*. Springer. New York.
- Rositasari, R., W.B. Setiawan, Supriadi, I.H., Hasanuddin & B. Prayuda. 2011. Kajian dan Prediksi Kerentanan Pesisir Terhadap Perubahan Iklim: Studi Kasus di Pesisir Cirebon. *J. Ilmu Teknol. Kel. Trop.* 3(1):52-64.
- Sheinbaum, J. 2003. Current theories on El Nino-Southern Oscillation: A review. *Geofisica Internacional*. 42(3):291-305.
- Tahir, A., M. Boer, S.B. Susilo & I. Jaya. 2009. Indeks Kerentanan Pulau-Pulau Kecil: Kasus Pulau Barrang Lompo-Makasar. *Ilmu Kelautan*. 14(4):8-13.
- Voigt, T., F. Österlind, N. Finne, N. Tsiftes, Z. He, J. Eriksson, A. Dunkels, U. Båmstedt, J. Schiller & K. Hjort. 2007. Sensor Networking in Aquatic Environments - Experiences and New Challenges. 32<sup>nd</sup> IEEE Conference of Local Computer Network. 2007 Oktober 15-18. Dublin. Irlandia. Hlm 793-798.
- Yusuf, C., Ambariyanto & R. Hartati. 2009. Abundance of Tridacna (Family Tridacnidae) at Seribu Islands and Manado Waters, Indonesia. *Ilmu Kelautan*. 14 (3):150-154.