

**PENGEMBANGAN INSTRUMEN LAGRANGIAN
GPS DRIFTER COMBINED (GERNED) UNTUK OBSERVASI LAUT**

**DEVELOPMENT OF LAGRANGIAN INSTRUMENT
GPS DRIFTER COMBINED (GERNED) FOR OCEAN OBSERVATION**

**Noir P. Purba¹, Syawaludin A. Harahap¹, Donny J. Prihadi¹, Ibnu Faizal¹, Putri G. Mulyani¹, Candra A. Fitriadi¹,
Isnan F. Pangestu¹, Prio D. Atmoko², Adam Alfath², Joshua T. Sitio³**

¹Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran

²Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran

³Departemen Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran

FPIK-UNPAD, Kampus Jatinangor, Jl. Ir. Sukarno Km. 21

Bandung, Jawa Barat 45363, Telp: 022-87701519, Faks: 022-87701518

e-mail : noir.purba@unpad.ac.id

Diterima tanggal: 14 September 2017 ; diterima setelah perbaikan: 7 November 2017 ; Disetujui tanggal: 12 Desember 2017

ABSTRAK

Instrumen *Lagrangian* telah banyak digunakan untuk pengumpulan data arus laut dan observasi di perairan Indonesia membutuhkan data yang langsung dapat diketahui (*real time*). Kajian ini menekankan pada pengembangan *GPS Drifter Combined* (GERNED) dari sisi desain dan sistem pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa GERNED dapat digunakan di danau, perairan dangkal, dan laut terbuka. Konstruksi terdiri dari bahan akrilik, Polyethylene, dan aluminium. Desain konstruksi terdiri dari bagian atas sebagai penutup dan juga tempat sensor udara dan lampu indikator, bagian tengah yang merupakan pusat mikro-kontroller, catu daya, sensor-sensor, penyimpanan data manual dan pengiriman data via satelit. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat alat ini sekitar 15.000.000 (lima belas juta rupiah) dengan biaya terbesar adalah kontrol pengiriman data. Pada bagian bawah merupakan baling-baling statik. Pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk melihat posisi lokasi sudah menunjukkan data yang sama dengan data lapangan sedangkan untuk pengujian lapangan yang dilakukan di pulau Untung Jawa menunjukkan bahwa arah dan pergerakan GERNED sama dengan pergerakan *float tracking* umumnya.

Kata kunci: Instrumen, *lagrangian*, *GPS Drifter*, GERNED, observasi laut.

ABSTRACT

Lagrangian instrument has been widely used for collection data of ocean currents and observations in Indonesian waters requires data that can be real time. This study emphasizes the development of GPS Drifter Combined (GERNED) in terms of design and measurement systems. Test results showed that GERNED can be used in lakes, shallow waters, and open seas. Construction consists of acrylic material, Polyethylene, and aluminum. The construction design consists of the top as a cover and also the air sensor and indicator lights, the central part which is the center of the micro-controller, power supply, sensors, manual data storage and data transmission via satellite. The cost needed about 15,000,000 (fifteen million rupiah) with the highest cost is the control of data transmission. At the bottom is a static propeller. Testing conducted in the laboratory to see the location position has shown the same data with field data while for field testing conducted on the island of Untung Java shows that the direction and movement of GERNED equals the movement of float tracking generally.

Keywords: Instrument, *lagrangian*, *GPS Drifter*, GERNED, ocean observation.

PENDAHULUAN

Deskripsi variabilitas kolom air dan sistem dinamikanya harus mencakup informasi tentang keadaan statik dan kinetiknya (Griffa *et al.*, 2007). Salah satu metode *in situ* terbaik untuk mengetahui kondisi dinamik suatu perairan adalah dengan mengukur arus laut. Pengukuran arus dengan metode Lagrangian (Yeung & Pope, 1988) telah lama diterapkan untuk mengukur pola, arah, dan asal arus (Davis, 1991; Mullarney & Henderson, 2013). Pendekatan dengan konsep lagrangian adalah dengan mengikuti atau melacak gerak air spesifik secara ruang dan waktu (Schacht & Lemckert, 2007). Salah satu instrumen lagrangian yakni GPS (*Global Positioning System*) *drifter* atau *float tracking* merupakan instrumen yang sudah lama digunakan untuk melacak arus (Spencer *et al.*, 2014). Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan instrumen pengukur arus telah digunakan di lautan secara global untuk mempelajari dinamika termasuk untuk stratifikasi kolom air (Lange & Seville, 2017). Konsep *Lagrangian* sudah digunakan untuk beberapa aplikasi seperti penyebaran larva plankton (Cowen *et al.*, 2006), rekrutmen planula terumbu karang (Cetina-Heredia *et al.*, 2015; Fitriadi *et al.*, 2016), pencemaran laut termasuk sampah dan polusi minyak (Lebreton *et al.*, 2012), fronts (Song *et al.*, 1995) dan sebaran nutrien (Jönsson *et al.*, 2011; Qin *et al.*, 2016).

Secara teori bahwa desain dari GPS *Drifter* harus berfungsi dengan baik dengan mengedepankan teknologi dan sesuai dengan karakteristik partikel air (Huhn *et al.*, 2012). Pengembangan ini sudah dilakukan oleh beberapa peneliti (Stommel, 1949; Swallow, 1955; Austin & Atkinson, 2004), dengan menambahkan GPS didalamnya (George & Largier, 1996), memodifikasi desain (Spencer *et al.*, 2014; Jannssen & de Koning, 2015), dan data dapat ditransfer secara *real time* (Perez *et al.*, 2003). Untuk melihat berbagai contoh *float tracking* dapat dilihat di www.aoml.noaa.gov/phod/dac/gdp_drifter.php. Sejak pengembangan GPS *Drifter* sudah dilakukan di berbagai negara dan perusahaan, namun di Indonesia pengembangan ini masih jarang dilakukan (<5 konstruksi) dan hanya terbatas pada pengukuran arus. Kekurangan dari instrumen yang telah ada adalah sinyal pengirim data yang tidak *real time*, harga yang mahal, dan hanya mencakup 1 parameter saja. Indonesia merupakan negara dengan karakteristik yang kompleks, sehingga informasi biologi, kimia, dan fisis perairan sangat penting. Pengukuran dengan kapal dirasa sangat mahal dan membutuhkan waktu yang lama. Untuk itu, kajian ini sendiri akan menekankan pada pengembangan pengukur arus yang dinamakan

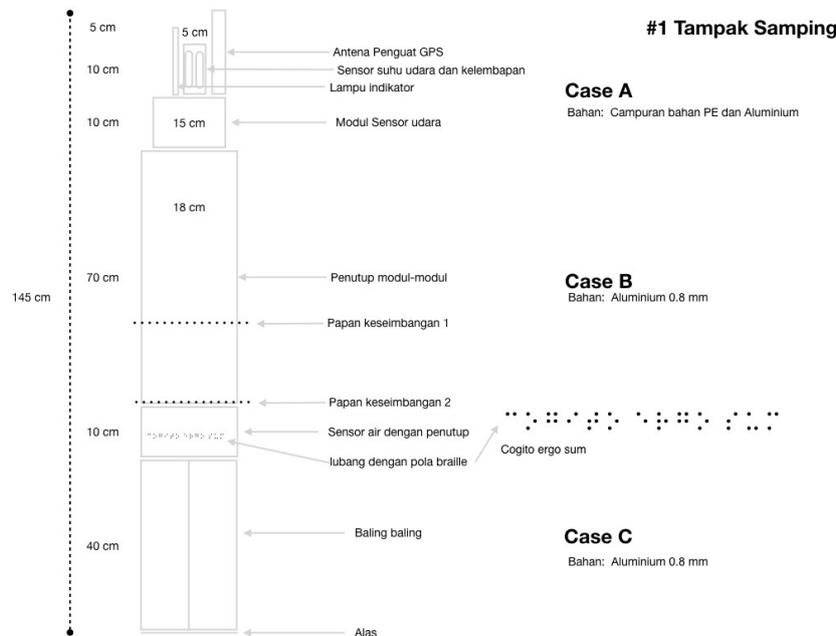
dengan GERNED (*GPS Drifter Combined*). Alat ini didesain dengan sederhana, harga yang murah, dan dapat digunakan untuk perairan Indonesia yang kompleks. Kelebihan dari alat ini adalah dapat digunakan pada perairan dangkal (<1 meter), perairan umum daratan, dan laut terbuka. GERNED juga dikombinasikan dengan sensor temperatur air dan udara, konduktivitas, pH, kelembapan udara. Instrumen ini juga didesain untuk mengirimkan data secara *real time* dan dapat digunakan selama beberapa hari hingga bulanan. Diharapkan, dalam jangka panjang, instrumen ini dapat menjadi alat pengukur standar untuk perairan Indonesia sehingga diharapkan dapat mengumpulkan data sebanyak mungkin dengan biaya yang murah.

BAHAN DAN METODE

Konstruksi dan Material

Konstruksi GERNED berdasarkan filosofis dari propagul mangrove yang dapat melayang di perairan sebelum mencapai tempat yang cocok (*settlement area*). Selain itu, pendekatan untuk desain ini adalah dengan melihat beberapa desain pelampung yang telah digunakan seperti ARGO Float (Pranowo *et al.*, 2005), *float profiling* lainnya, dan GPS drifter. Alat ini merupakan pengembangan dari instrumen sebelumnya dimana kelemahan dari GERNED tahap 1 adalah desain yang tidak stabil, tidak terdapat sensor atmosfer, dan juga data hanya dapat disimpan dalam *memory card*. Instrumen ini akan fokus pada tiga hal yakni pengukuran arus, pengukuran fisis dan kualitas perairan, dan kondisi atmosfer. Kontruksi GERNED dibagi menjadi beberapa hal inti, pertama, sketsa desain, perancangan struktur, dan pemilihan material. Kedua, memeriksa sensor dan memperkirakan volume total dan kemudian menghitung kestabilan dan gaya apung. Ketiga, mencetak kerangka dan baling-baling. Keempat, bagian pengujian dan kelayakan. Ukuran permukaan mengapung dan *drogue* bervariasi, dengan rasio area terseret 40. Dengan rasio *slip* arah angin yang dihasilkan adalah 0,7 cm/s dalam 10 m/s angin (Niiler & Paduan, 1995; Pazan & Niiler, 2001). Kemudian, berat GERNED disesuaikan dengan berat standar yakni sekitar 20 kg.

Instrumen ini terdiri dari tiga bagian utama yakni bagian atas (sensor atmosfer dan penutup), bagian utama (mikro-kontroller, sensor dan catu daya) dan bagian bawah yakni baling-baling statik (Gambar 1). Total tingginya adalah 145 cm dengan diameter 17 cm pada bagian utama. Lambung utama badan GERNED terbuat dari alumunium setebal 0,3-0,4 mm dengan



Gambar 1. Sketsa perancangan desain GERNED.
 Figure 1. GERNED design design sketch.

panjang 70 cm. Bagian bawah (baling-baling) dan bagian atas terbuat dari akrilik dan pvc. GERNED berisi baterai di dalam *diode-protected packs*, 24 D-cell batteries, memory card, alat untuk transmisi data ke satelit, seperangkat sensor tekanan udara dan kelembapan, salinitas, pH, dan konduktivitas.

Desain GERNED dirancang untuk dapat digunakan pada perairan dangkal dengan penambahan papan keseimbangan pada bagian bawah disamping sensor berada. Untuk itu, case C dapat dilepas sehingga ketika digunakan pada perairan dangkal, akan ditambahkan papan keseimbangan. Secara umum perancangan sistem transmit data GPS dan sensor dengan menggunakan sistem satelit. Penggunaan sistem ini membangun kerja GERNED yang lebih optimal terutama untuk memenuhi kualitas data di tempat-tempat yang tidak terjangkau sinyal terutama di perairan Indonesia. Namun alat ini juga dilengkapi dengan memori card internal untuk mendukung penyimpanan data secara manual. Bagian *Case A* merupakan penutup dan tempat sensor kelembapan dan suhu udara yang dilengkapi dengan indikator lampu dan juga penutup utama (Gambar 2). Pada *Case B* merupakan tempat mikrokontroler, catu daya, satelit transmitter, micro sd, dan sensor-sensor yang terletak pada bagian bawah. Sensor sensor yang dipasang berada sekitar 0,5 m dari permukaan perairan.

Denah mikro-kontroler di desain seefisien mungkin dengan mengatur penempatan setiap komponen. Penempatan mikro-kontroler di dalam badan

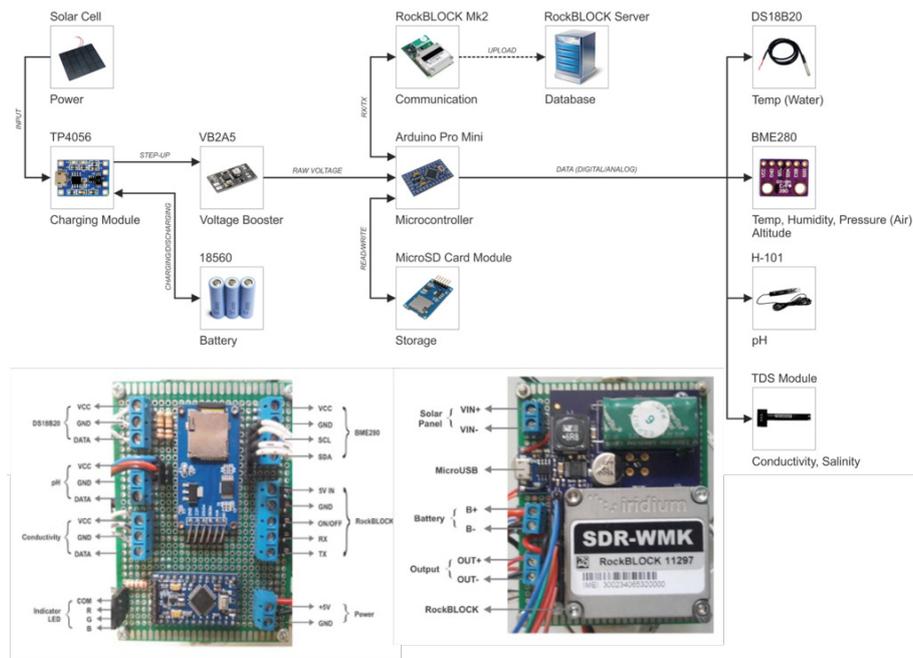
GERNED adalah di bagian tengah, hal ini diharapkan dapat mencegah kerusakan pada sistem utama ini jika terjadi kecelakaan. Terdapat segmen di bagian atas dan bawah tiang tempat mikro-kontroler ditempatkan, sehingga keamanannya lebih terjamin.

Sensor-sensor

Ada 8 sensor yang dipasang pada GERNED dan merupakan sensor *portable* yang didapatkan dari berbagai sumber. Sensor-sensor tersebut dicari via online dan merupakan sensor yang terstandarisasi. Untuk pengiriman data secara *real time* digunakan RockBLOCK 11297 dari *sparkfun electronics* sebagai sarana untuk pengiriman data melalui satelit (Tabel 1).

Pengujian-pengujian

Pengujian yang paling utama adalah pengukuran arus. Hal ini dikarenakan desain yang dibuat berbeda dengan desain sebelumnya. Selanjutnya dilakukan dengan beberapa tahap: 1) Uji sensor, 2) uji pengukuran arus, 3) uji parameter lainnya. Uji laboratorium dilakukan untuk melihat kekuatan daya tahan baterai, stabilitas, data dari sensor, sinyal GPS, dan kesinambungan data. Selanjutnya pengujian lapangan dilakukan pada 1-4 November 2017 di Pulau Untung Jawa yang merupakan bagian dari gugusan Kepulauan Seribu di Teluk Jakarta (-5.976343^o, 106.703604^o). Pemilihan lokasi ini dikarenakan arus yang relatif tenang (Sachomar, 2008) sehingga tes ini dapat dipantau secara terus menerus. Tes ini berguna untuk melihat stabilitas



Gambar 2. Sistem Mikro-Kontroler dan Sirkuit.
 Figure 2. Micro-Controller and Circuit System.

GERNED di perairan. Instrumen ini akan diujibandingkan dengan float tracking dan juga *Artificial Debris* (AD) yang dilengkapi dengan GPS. AD merupakan botol kecil yang didalamnya dipasang GPS *tracker* TK102-2 dengan sinyal transmisi GSM dan tingkat akurasi 10 meter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain

Fokus pertama pada penelitian ini adalah pada desain GERNED yang terjangkau. Total biaya GERNED kira-kira Rp. 15.000.000 (lima belas juta rupiah) dengan biaya terbesar ada pada data transfer kontroller. Selanjutnya, komponen mekanis utama drifter adalah float permukaan, *tether*, dan *drogue*, seperti yang ditunjukkan pada skematik Gambar 3. Desain instrumen ini mempunyai berat sekitar 20 kg dengan komponen yang paling berat berada di baling-baling (~16 kg). Hal ini berguna agar instrumen ini lebih stabil dan tidak dipengaruhi oleh angin. Pemilihan akrilik dan aluminium dikarenakan bahan ini tahan terhadap korosi dan mudah didapatkan dengan harga yang relatif terjangkau.

Gambar 2 (kiri) menunjukkan GERNED saat dilepas dan (kanan) saat dirakit seluruhnya. Agar antara sensor dan penutup utama tidak terjadi kebocoran, maka dipasang *o-ring*. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan melihat indicator lampu untuk sinyal GPS dan

saluran transmisi sensor. Terdapat dua lampu yang dipasang pada GERNED dimana satu lampu berada di dalam untuk melihat apakah sensor dan mikro-kontroler sudah dalam keadaan menyala, dan satu lagi diletakkan di bagian atas sebagai indikator untuk pencarian sinyal (Gambar 4).

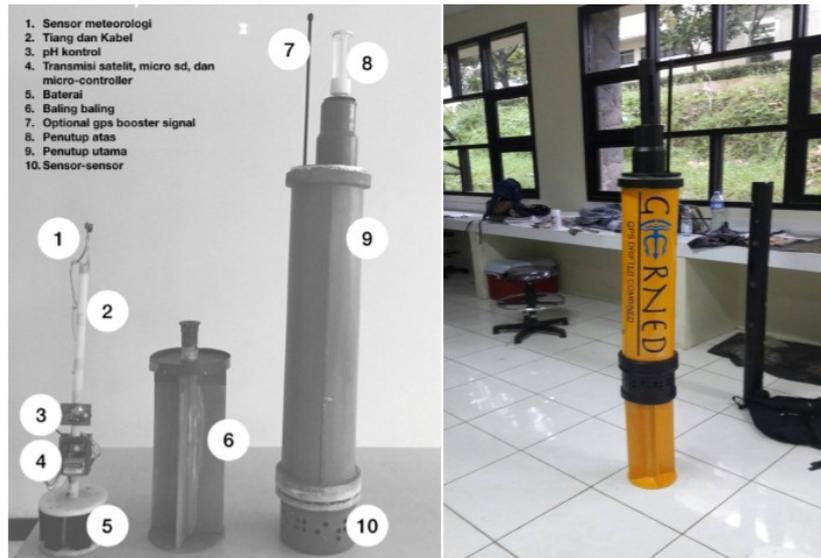
Ada tiga indikator lampu yakni berwarna merah bahwa tidak terdapat sinyal, warna hijau adalah sedang mencari sinyal, dan biru menandakan siap untuk digunakan. Pada percobaan di laboratorium, bahwa waktu dari warna merah ke biru memakan waktu 2 detik, namun akan tergantung pada kondisi ruangan (tertutup atau terbuka).

Uji Ketahanan dan Kelayakan Hasil Ujicoba Laboratorium

Pengujian pengiriman data dengan RockBLOCK (transfer satelit) dilakukan dengan melihat tes penerimaan posisi dan juga hasil posisi yang didapatkan oleh google earth di wilayah Jatinangor. Pengiriman data dapat dilakukan dengan interval detik, menit, dan jam tergantung kebutuhan. Untuk alat ini, data pengukuran disimpan terlebih dahulu pada media penyimpanan (*memory card*) dan kemudian dapat ditransfer via satelit. Tidak terdapat perbedaan penunjukan lokasi diantara keduanya, sehingga dapat disimpulkan bahwa posisi yang ditunjukkan oleh RockBLOCK dapat digunakan. Selanjutnya, pengujian kestabilan alat dilakukan di kolam simulasi.

Tabel 1. Sensor dan Spesifikasinya
 Table 1. Sensors and Specifications

No.	Sensor	Presisi	Perusahaan	Keterangan
1	GPS	Higher timing accuracy	U-Blox	Time pulse 0,25 – 10 MHz
2	Temperatur udara	2 °C	Adafruit	Range : -40 – 85 °C
3	Temperatur air DS 18820	0,1 °C		Probe stainless steel
4	Konduktivitas		DF Robot	
5	pH	7±0,5	SFE Electronics	Range : 0 - 14
6	Kelembapan		Adafruit	Range : 0 - 100
7	Altimeter	±1M	Adafruit	0-9,2 km dari permukaan laut
8	Tekanan Udara (APM)	12	Adafruit	30.000 - 110.000 Pa



Gambar 3. Desain GERNED.
 Figure 3. GERNED Design.

Hasil menunjukkan bahwa terdapat kemiringan alat dikarenakan berat pada bagian bawah yang masih kurang (14 kg) sehingga kemudian ditambahkan piringan dengan berat sekitar 6 kg. Penambahan beban ini membuat GERNED stabil dan dapat tegak lurus. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa berat *float drifter* untuk ukuran mini sekitar 20 kg (Lumpkin & Pazos, 2007).

Hasil Ujicoba Lapangan

Pengujian lapangan dilakukan di sekitar Pulau Untung Jawa (PUJ) Kepulauan Seribu, DKI Jakarta pada tanggal 3 Desember 2017. Pengujian dilakukan untuk melihat arah dan kecepatan GERNED dibandingkan dengan float tracking standar dan juga *Artificial Debris* (AD) yang dilengkapi dengan GPS. Hasil uji coba di perairan Untung Jawa dapat dilihat pada Tabel 2.

Pengujian dilakukan selama hampir 1 jam yakni dimulai pada pukul 09.30 WIB dan berakhir pada

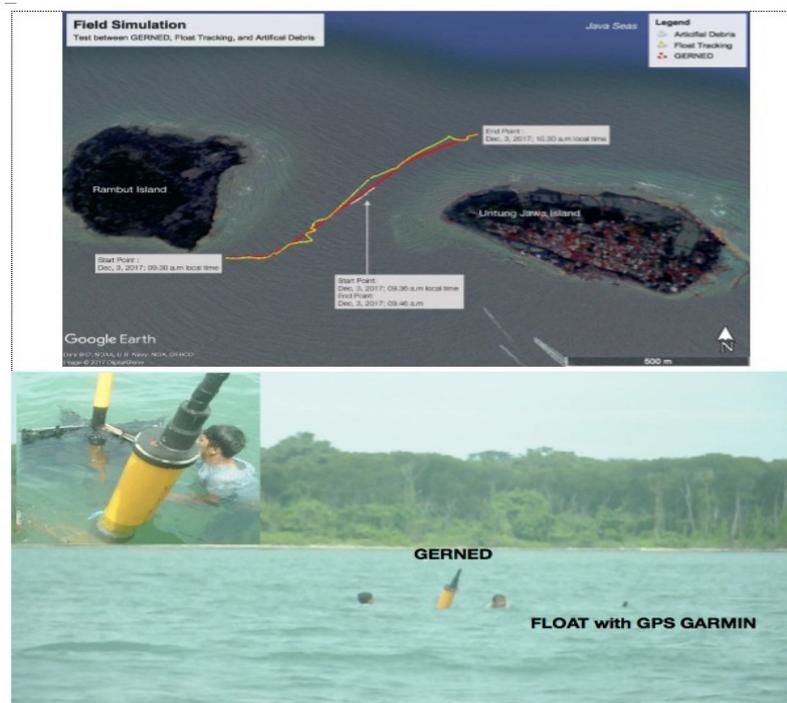
pukul 10.30 WIB. Untuk AD sendiri hanya dilakukan selama 10 menit (09.36-09.46 WIB). Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kecepatan diantara ketiga instrumen dimana kecepatan GERNED lebih cepat dibandingkan dengan *float tracking* dan AD, namun memiliki arah yang sama. Kecepatan ketiga alat ini berkisar antara 0,35-0,19 m/s. Kajian ini hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Yuliasari *et al.*, 2012 di sekitar teluk Jakarta dengan kecepatan rerata 0,123 m/s dan hasil penelitian Setiawan, 2016 sekitar 0,2-0,3. Ketiga alat ini juga sesuai dengan arah angin yang berasal dari barat daya menuju ke timur laut dan berbelok ke utara. Perbedaan kecepatan lebih diakibatkan pada saat pengujian masih terjadi Badai Dahlia sehingga pergerakan ketiga instrumen lebih cepat. Kecepatan angin pada bulan Monsun Barat bervariasi antara 7-20 knot dan bertiup dari barat daya sampai ke barat laut (Sachomar, 2008). Pengujian di lapangan dilakukan pada saat awal memasuki Monsun Barat sehingga efek dari Monsun Peralihan II masih ada dan mempengaruhi kondisi arus di perairan tersebut.

Tabel 2. Sensor dan spesifikasinya
 Table 2. Sensors and Specifications

Jenis Tracker	Tanggal	Mulai (WIB)	Berhenti (WIB)	Waktu Tempuh (detik)	Jarak Tempuh (m)	Kecepatan (m/s)
Float Tracking	3-Des-17	09.30	10.30	3.600	1.370	0,38
GERNED		09.30	10.30	3.600	1.260	0,35
AD		09.36	09.46	600	114	0,19



Gambar 4. Visualisasi Sinyal Transmisi Data, (atas kiri-kanan) Mikro-Kontroller dan Sensor Atmosfer Serta Lampu Indikator, (bawah) Lampu Indikator Untuk Proses Pencarian Sinyal.
 Figure 4. Visualization of Data Transmission Signals (top left-right) Micro-Controller and Atmospheric Sensor and Indicator Light, (below) Indicator Lamp For Signal Search Process.



Gambar 4. Hasil Tracking GERNED dan Float Tracking di Untung Jawa.
 Figure 4. Results of GERNED Tracking and Float Tracking in Untung Jawa.

Kondisi angin di Kepulauan Seribu dipengaruhi sistem *monsoon*.

Peletakan ketiga alat dilakukan di barat dari PUJ dan mendekati Pulau Rambut. Perairan di sekitar pulau ini sekitar 30-40 m dengan arus permukaan yang didominasi oleh angin dan pasang surut (Lubis & Yosi, 2012). Perubahan arah arus lebih disebabkan oleh kontur kepulauan dan juga kondisi perairan Teluk Jakarta (Gambar 5).

Terjadinya perbedaan kecepatan GERNED dan *float tracking* lebih diakibatkan oleh luasan tabung yang berada di atas permukaan laut lebih terpengaruh oleh angin jika dibandingkan luasan *float tracking* dengan rasio (3:1). Pengaruh angin masih mempengaruhi pergerakan alat jika dilihat dari hasil pengujian. Kemudian, selama pengujian, baterai yang dipasang sekitar 6 buah li-on lithium yang dapat di isi ulang, dan masih dapat berfungsi, namun pada saat kajian ini tidak dihitung tingkat daya baterai pada saat di lapangan. Pada skenario dengan menggunakan komposisi panel surya plus 5 baterai Lithium 6800 mAh. Panjang operasional instrumen GERNED secara teori dengan daya tahan yang lama (harian dan bulanan). Skenario dengan sel surya dapat memenuhi kebutuhan daya setiap hari dimana tenaga yang dihasilkan dari sel surya adalah 60.000 mW dan daya yang dibutuhkan adalah 60.000 mW. Penambahan baterai ini diperlukan sebagai kekuatan cadangan yang meningkat dari 5 baterai dengan kekuatan 100.640 mW. Akan tetapi, ruang yang ada di GERNED untuk pemasangan sel surya bisa mengganggu tingkat keseimbangan. Berdasarkan skenario dengan sel surya, waktu beroperasi dihitung selama 24 hari. Namun pada saat ini, pengujian dengan panel surya belum dilakukan mengingat akan mengubah keseimbangan GERNED.

KESIMPULAN DAN SARAN

Instrumen ini mempunyai konstruksi yang dapat mengukur arus sekaligus parameter lainnya dengan biaya murah dan tahan lama. Penggunaan alat ini juga dapat menggantikan survei laut yang mementingkan data permukaan. Alat ini juga mudah dioperasikan dengan tidak memerlukan keahlian khusus. GERNED telah berhasil diuji coba di laut dangkal di perairan Untung Jawa dengan waktu tempuh selama satu jam didapatkan jarak tempuh sejauh 1.260 m, dengan modifikasi yang dilakukan pada desain baling-baling dan penambahan sensor-sensor. Pengembangan dengan penambahan sensor termasuk pengujian baterai harus dilakukan dengan mempertimbangkan

daya tahan baterai dan kestabilan alat. Pengujian pada danau belum dilakukan sehingga diperlukan pengujian-pengujian lanjutan untuk memberikan gambaran yang utuh terkait aplikasinya. Walaupun selama pengujian di lapangan telah dilakukan bersamaan dengan sampah laut, namun perlu pada tahapan jenis sampah dengan berbagai bobot yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan Hibah Internal Universitas Padjadjaran (HIU) pada tahun 2017. Penulis mengucapkan terima kasih kepada James Manning dari NOAA (*National Oceanographic Atmospheric and Administration*) untuk diskusi tentang desain global. Alat ini dibuat di Laboratorium Teknologi Kelautan-FPIK. Selain itu, terima kasih kepada Luthfi Fauzan Akuan, Cynthia Mutiara S, Sapta, Wisnu, Titan, Fadlyian, Kemal, Salafy, Mreward, Yuki Pratama, yang telah membantu selama pembuatan dan uji di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Austin, J., & Atkinson, S. 2004. The Design and Testing of Small, Low-cost GPS-tracked. *Journal Estuaries*, vol. 27, No. 6, p 1026-1029
- Cetina-Heredia, P., Roughan, M., van Sebille, E., Feng, M., & Coleman, M. A. (2015). *Strengthened currents override the effect of warming on lobster larval dispersal & survival*, *Glob. Change Biol.*, 21, 4377–4386.
- Cowen, R. K., Paris, C. B., & Srinivasan, A. (2006). *Scaling of connectivity in marine populations*, *Science*, 311, 522–527.
- Davis, R. E. (1991). *Lagrangian ocean studies*. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 23, 43–64.
- Fitriadi, C. A., Dhahiyat Y., Purba, N. P., Harahap, S. A., & Prihadi, D.J. (2016). *Planula Recruitment Based on Oceanography Condition in Rakit Islands-Indonesia*. *Proc. Biodiversitas, Jatinangor-Indonesia*
- George, R., & J. Largier. (1996). Description and performance of nescal drifters for coastal and estuarine studies. *J. Atmos. Ocean. Technology*, 13, 1322-1326.
- Green, A. N., & Cooper, J. A. G. (2014). Lagrangian Drifter Approach. *Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa)*, *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, pp. 029-034, ISSN 0749-0208.
- Griffa, A., Kirwan, D., Mariano, A., Ozgokmen, T., & Rossby, T. (2007). *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics*. Cambridge University, 1-38.
- Huhn, F., von Kameke, A., Allen-Perkins, S., Montero, P., Venancio, A., & Pérez-Muñuzuri, V. (2012). *Horizontal Lagrangian transport in a tidal-driven*

- estuary-Transport barriers attached to prominent coastal boundaries*. *Continental Shelf Research*, 39–40, 1–13.
- Jannssen, M., & de Koning, R. (2015). *Feasibility of Velocity Measurements by a Drifter in the Yangon River*. Delft University of Technology, 1–9
- Jönsson, B.F., Döös, K., Myrberg, K., & Lundberg, P.A. (2011). *A Lagrangian-trajectory study of a gradually mixed estuary*. *Continental Shelf Research*, 31, 1811–1817.
- Lange M., & E. van Sebille. (2017). *Parcels v0.9: prototyping a Lagrangian ocean analysis framework for the petascale age*. *Geosci. Model Dev.*, 10, 4175–4186, 2017, <https://doi.org/10.5194/gmd-10-4175-2017>
- Lebreton, L. C. M., Greer, S. D., & Borerro, J. C. (2012). *Numerical modeling of floating debris in the world's oceans*, *Mar. Pollut. Bull.*, 64, 653–661.
- Lubis, A., & Yosi, M. (2012). *Kondisi Meteorologi Maritim dan Oseanografi di Perairan Sekitar Pulau Kotok, Kepulauan Seribu: April 2011*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 4, No. 1, Hl. 24–34
- Lumpkin, R., & Pazos, M. (2007). *Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results*. *Lagrangian Analysis and Prediction of Coastal and Ocean Dynamics*. Cambridge University Press. Pp. 39–67
- Mullarney, J. C & Henderson, S. M. (2013). *A Novel drifter designed for use with a mounted Acoustic Doppler Current Profiler in shallow environments*. *Limnol. Oceanography: Methods* 11, 438–449. DOI 10.4319/lom.2013.11.438
- Perez, J.C., Bonner, J., Kelly, F.J., & Fuller, C. (2003). *Development of a Cheap, GPS-Based, Radio-Tracked, Surface Drifter for Closed Shallow-Water Bays*. Proc. Of the IEEE/OES Seventh Working Conference on Current Measurement Technology
- Pranowo, W. S., Phillips, H., & Wiffles, S. (2005). *Upwelling Event 2003 Along South Java Sea and Lesser Sunda Islands*. *Journal Segara*, Vol. 1 No. 3
- PRTK [Pusat Riset Teknologi Kelautan]. (2008). *Kaji Terap Sistem Observasi Lingkungan Laut Terpadu*. Laporan. 223 Hal.
- Qin, X., Menviel, L., Sen Gupta, A., & van Sebille, E. (2016). *Iron sources and pathways into the Pacific Equatorial Undercurrent*, *Geophys. Res. Lett.*, 43, 9843–9851, <https://doi.org/10.1002/2016GL070501>
- Sachoemar, S. I. (2008). *Karakteristik Lingkungan Perairan Kepulauan Seribu*. *JAI* Vol. 4, No. 2
- Setiawan, A.S. (2016). *Simulasi Model Hidrodinamika dan Dispersi Termal di Teluk Jakarta Pra dan Pasca-Reklamasi 17 Pulau*. Laporan Teknis, 24 Hal.
- Song, T., Rossby, T., & Carter, E. Jr. (1995). *Lagrangian studies of fluid exchange between the Gulf Stream and surrounding waters*. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 46–63.
- Spencer, D., Lemckert, C.J., Yu, Y., Gustafson, J., Lee, S.Y., & Zhang, H. (2014). *Quantifying Dispersion in an Estuary: A Lagrangian Drifter Approach*. *Proceedings 13th International Coastal Symposium* (Durban, South Africa), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 70, pp. 029–034, ISSN 0749–0208.
- Stommel, H. (1949). *Horizontal diffusion due to oceanic turbulence*. *J. Mar. Res.*, 8, 199–255
- Swallow, J. (1955). *A neutral-buoyancy float for measuring deep currents*. *Deep Sea Res.*, 3, 74–81.
- Yuliasari, D., Zainuri, M., & Sugianto, D. N. (2012). *Kajian Pola Arus di Pantai Marina Ancol dan Pengaruhnya Terhadap Rencana Reklamasi*. *Buletin Oseanografi Marina*, Vol. 1, 1–9.
- Yeung, P. K., & Pope, S. B. (1988). *An Algorithm for Tracking Fluid Particles in Numerical Simulations of Homogeneous Turbulence*, *Journal of Computational Physics* vol. 79, 373–416.