

**STUDI POTENSI ARUS LAUT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK
DI SELAT MADURA**

**LAPORAN SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Oleh:
**MOH. RIZKY NANDA HADJU
NIM. 125080600111076**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**



**STUDI POTENSI ARUS LAUT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK
DI SELAT MADURA**

**LAPORAN SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
Di Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya**

**Oleh:
MOH. RIZKY NANDA HADJU
NIM.125080601111076**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

LEMBAR PENGESAHAN

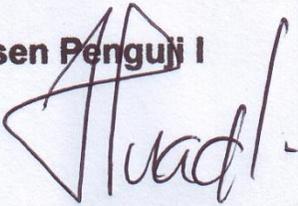
**STUDI POTENSI ARUS LAUT SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK
DI SELAT MADURA**

Oleh:

**Moh. Rizky Nanda Hadju
NIM. 125080601111076**

**Telah dipertahankan di depan penguji
pada Tanggal 3 Februari 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat
Tanggal :**

Dosen Penguji I

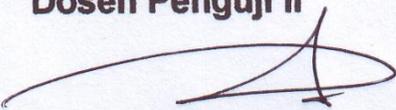


(Mochamad Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc)

NIP. 19801005 200501 1 002

Tanggal : 22 FEB 2016

Dosen Penguji II



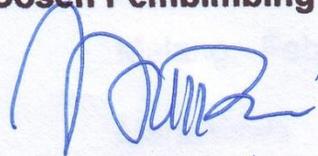
(Andik Isdianto, ST., MT)

NIK. 2013098209281001

Tanggal : 22 FEB 2016

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

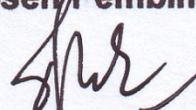


(Nurin Hidayati, ST., M.Sc)

NIP. 19781102 200502 2 001

Tanggal : 22 FEB 2016

Dosen Pembimbing II



(Dhira Kurniawan Saputra, S.Kel., M.Sc)

NIK. 2012018601151001

Tanggal : 22 FEB 2016

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Laporan Skripsi ini hasil penjiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.



Malang, Februari 2016

Mahasiswa

Moh. Rizky Nanda Hadju



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT, yang selalu memberikan berkah yang tidak ternilai dan memberi kekuatan dalam menghadapi segala kesulitan selama proses pengerjaan laporan ini
2. Ayahanda dan Ibunda tercinta, Djoni Hadju, SE dan Mas'ad G. Hadju, SE atas dorongan yang kuat, kebijakan dan do'a
3. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang
4. Nurin Hidayati, ST., M.Sc dan Dhira Kurniawan Saputra, S.Kel., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan waktu, motivasi, bimbingan dan pengarahan selama penyusunan proposal dan laporan
5. Mochammad Arif Zainul Fuad, S.Kel., M.Sc dan Andik Isdianto, ST., MT yang telah bersedia memberikan waktunya untuk menguji skripsi ini
6. Tim *project* PLTAL Mas Titus, Mbak Silvi, Reyhan, dan Irham yang membantu dan bekerja sama selama penelitian.
7. Sahabat-sahabat penulis Dhea, Nina, Tiwi, Fajar, Ardi, Nisa, Aan, Azka, Dico, Oka, Jefri, Alvin, Riris, Aris, dan Tio, serta teman-teman Ilmu Kelautan 2012 yang telah memberikan dukungan, motivasi dan bantuan dalam pembuatan laporan ini

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

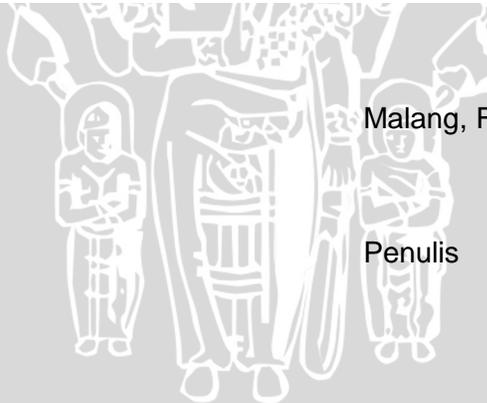
Malang, 6 Februari 2016

Penulis

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas kelimpahan rahmat dan hidayah-Mu penulis dapat menyajikan Laporan Skripsi yang berjudul “Studi Potensi Arus Laut sebagai Pembangkit Listrik di Selat Madura”. Di dalam laporan ini disajikan pokok-pokok bahasan yang meliputi pola pergerakan arus laut, materi pembangkit listrik tenaga arus laut, simulasi alat konversinya, analisis penentuan lokasi diterapkannya PLTAL di Selat Madura.

Sangat disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangtepatan, Oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.



Malang, Februari 2016

Penulis



RINGKASAN

Moh. Rizky Nanda Hadju. Analisis Potensi Arus Laut sebagai Pembangkit Listrik di Selat Madura (dibawah bimbingan **Nurin Hidayati, ST., M.Sc** dan **Dhira Kurniawan Saputra Saputra, S.Kel., M.Sc**)

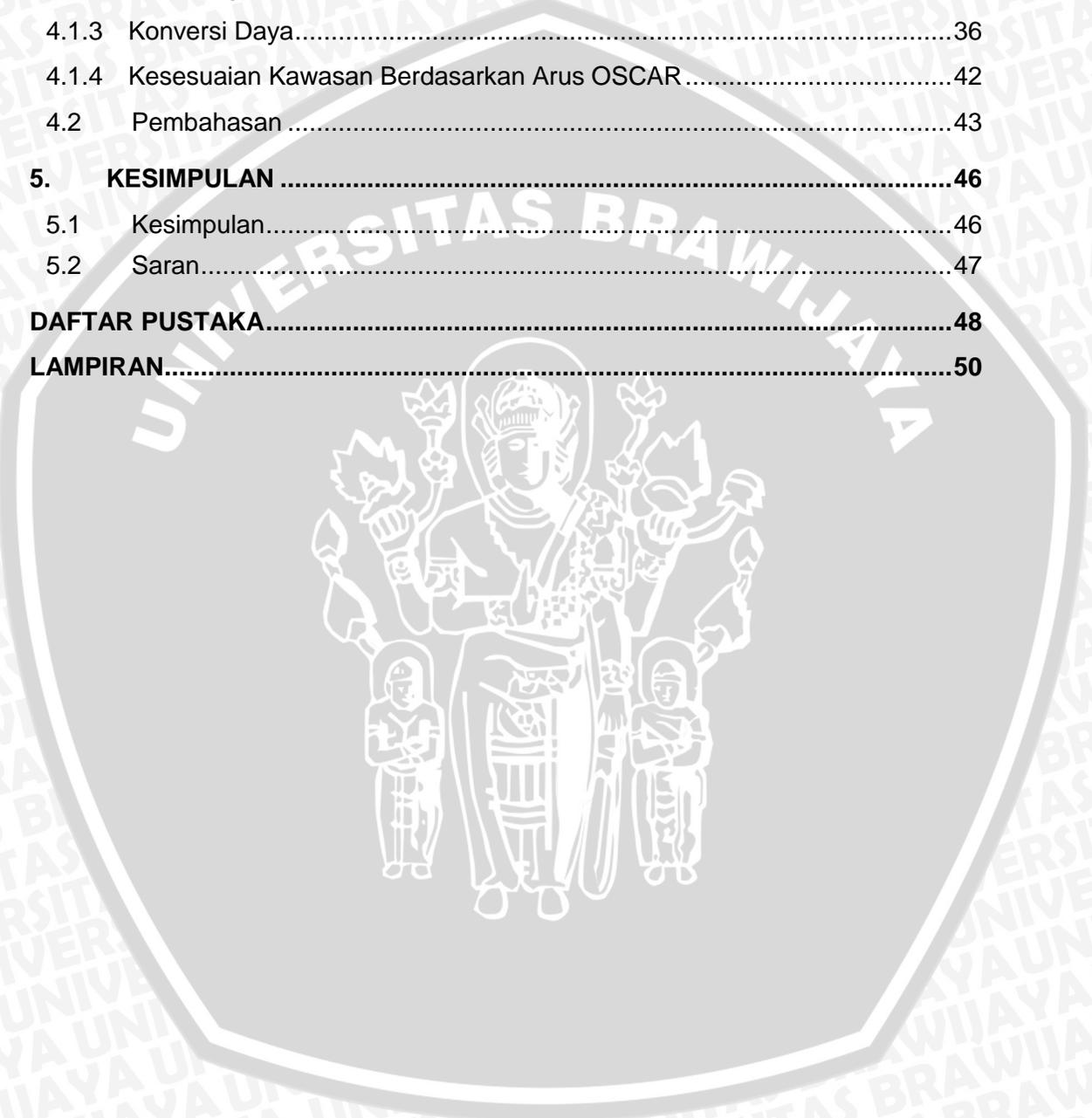
Arus laut adalah salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia. Potensi energi dari sumber arus laut di Selat Madura cukup besar untuk bisa dimanfaatkan sebagai salah satu sumber kelistrikan. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sumber data arus dari OSCAR selama tahun 2005-2015. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pola pergerakan arus permukaan di perairan Selat Madura serta mengestimasi potensi energi arus laut secara spasial dan temporal dengan memanfaatkan data Arus OSCAR dan hasil survei lapang yang kemudian mengkonversinya menjadi satuan daya. Verifikasi lapangan dilakukan di Pantai Camplong, Sampang Madura, pada tanggal 13 Agustus 2015. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif analitik. Pengolahan data arus menggunakan perangkat lunak seperti *Ms. Excel*, *ODV*, dan *Surfer* Versi 10 sebagai pembuat model pola pergerakan arus.

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pola pergerakan arus selama 11 tahun 2005-2015 di Selat Madura memiliki kecepatan berkisar antara 0,01 sampai 0,55 m/s dengan arah berasal dari barat daya menuju timur laut dan tenggara. Kisaran output daya yang paling berpotensi berada di sisi utara Selat Madura tepatnya sebelah selatan Kabupaten Sampang. Turbin arus yang potensial adalah Turbin Darrieus Tipe H dengan output daya mencapai 273 watt dengan arah dominan dari arah barat-daya menuju timur laut.

DAFTAR ISI

SAMPUL	
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	v
KATA PENGANTAR	vi
RINGKASAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Kegunaan	3
1.5 Jadwal Pelaksanaan.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Arus.....	4
2.1.1 Pengertian Arus	4
2.1.2 Tipe Arus	4
2.1.3 Faktor Pembangkit Arus.....	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut	7
2.3 Turbin Darrieus.....	8
2.4 Kondisi Arus Selat Madura	10
2.5 Data <i>Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR)</i>	11
3. METODE PENELITIAN	12
3.1 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian	12
3.2 Metode Penelitian.....	13
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	14

4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1	Hasil	19
4.1.1	Gambaran Umum Wilayah Penelitian.....	19
4.1.2	Pola Pergerakan Arus OSCAR	20
4.1.3	Konversi Daya.....	36
4.1.4	Kesesuaian Kawasan Berdasarkan Arus OSCAR.....	42
4.2	Pembahasan	43
5.	KESIMPULAN	46
5.1	Kesimpulan.....	46
5.2	Saran.....	47
	DAFTAR PUSTAKA.....	48
	LAMPIRAN.....	50



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Arus Perairan Camplong Madura	34
Tabel 2 Data Pengukuran Arus untuk Verifikasi Lapang	35
Tabel 3 Nilai Uji T data kecepatan arus Oscar dan lapang.....	36
Tabel 4 Nilai Faktor Terhadap Output Daya.....	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Ilustrasi Turbin Darrieus Tipe H (a) (Sumber: Erwandi, 2011) dan Tipe V (b) (Sumber: Wind and Wet).....	10
Gambar 2 Peta Lokasi Penelitian.....	13
Gambar 3 Skema Download Data OSCAR.....	16
Gambar 4 Diagram Alur Penelitian.....	18
Gambar 5 Peta Administrasi Jawa Timur.....	19
Gambar 6 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2005 (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	21
Gambar 7 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2006. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	22
Gambar 8 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2007. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	23
Gambar 9 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2008. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	24
Gambar 10 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2009. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	25
Gambar 11 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2010. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	26
Gambar 12 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2011. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	27
Gambar 13 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2012. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	28
Gambar 14 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2013. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	29
Gambar 15 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2014. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	30
Gambar 16 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2015. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2.....	31
Gambar 17 Pola Pergerakan Arus di Selat Madura per Tahun dari Tahun 2005 sampai 2015.....	32
Gambar 18 <i>Overlay</i> Pola Pergerakan Arus.....	34
Gambar 19 Potensi Output Daya selama 11 tahun Berdasarkan Musim Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H. (a) Musim Barat, (b) Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Peralihan 2.....	38

Gambar 20 Potensi Output Daya selama 11 tahun Berdasarkan Musim Menggunakan Turbin Darrieus Tipe V. (a) Musim Barat, (b) Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Peralihan 2 38

Gambar 21 Potensi Output Daya Tahun 2005-2010 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H 39

Gambar 22 Potensi Output Daya Tahun 2011-2015 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H 40

Gambar 23 Potensi Output Daya Tahun 2005-2010 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe V..... 41

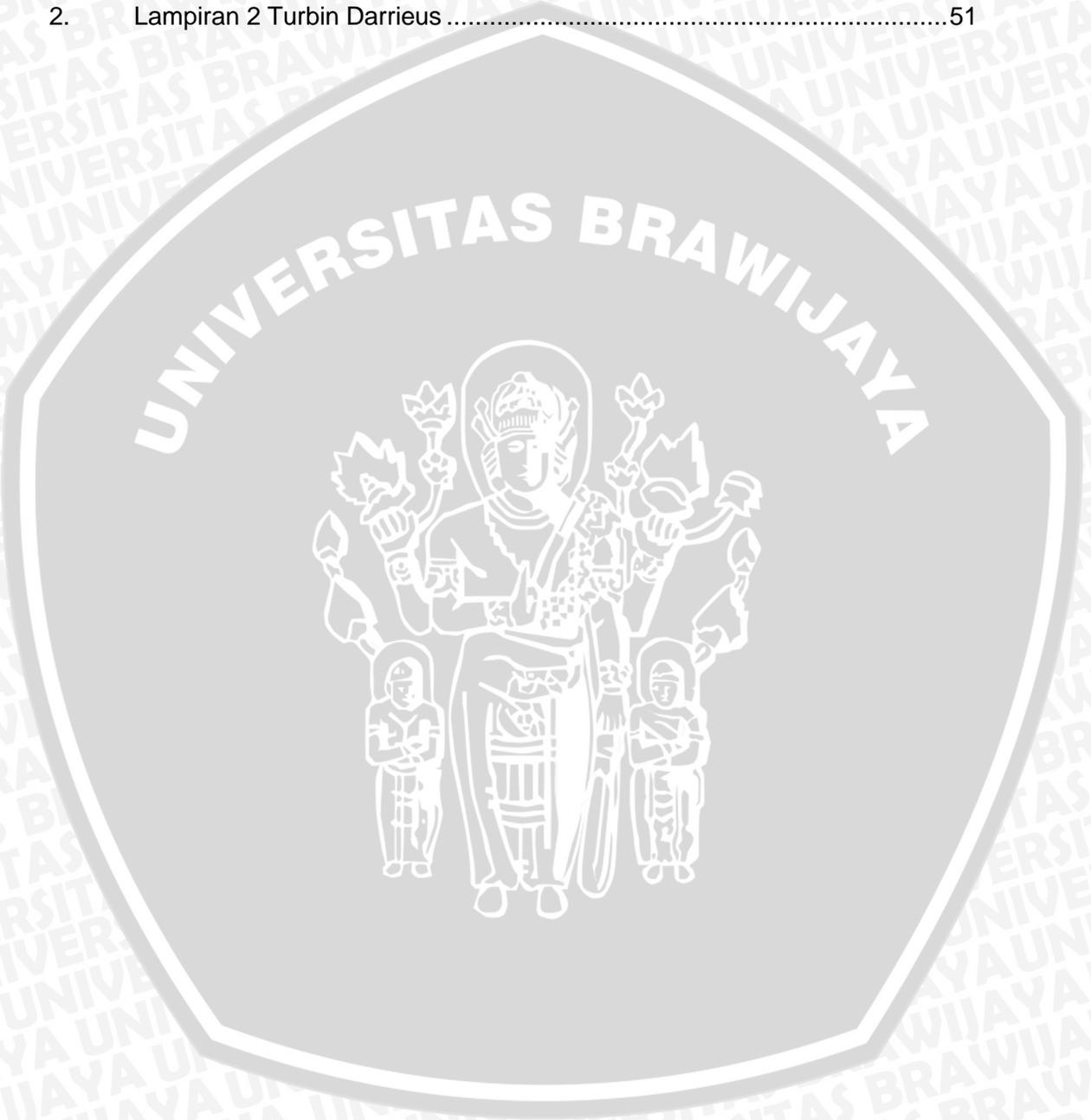
Gambar 24 Potensi Output Daya Tahun 2011-2016 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe V..... 42

Gambar 25 Potensi Output Daya Tahun 2005-2015 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H 43



DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1 Dokumentasi Observasi Lapang50
2. Lampiran 2 Turbin Darrieus51



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan utama masyarakat sekaligus sebagai penunjang di segala aspek kehidupan dan pembangunan nasional, termasuk peningkatan taraf hidup bangsa Indonesia. Kebutuhan energi listrik juga semakin meningkat pesat dari tahun ke tahun, namun ketersediaan energi listrik untuk kebutuhan nasional belum mencukupi seperti dengan adanya pemadaman bergilir di beberapa daerah di Indonesia.

Menurut Erwandi (2015) dalam LIPI (2015), sebagian besar energi yang digunakan rakyat Indonesia saat ini berasal dari bahan bakar fosil, yaitu: bahan bakar minyak, gas, dan batu bara. Kerugian yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil ini meliputi kerusakan lingkungan, tidak terbarukan (*nonrenewable*), dan tidak berkelanjutannya (*unsustainable*) bahan bakar fosil itu sendiri. Sebentar lagi Indonesia akan menjadi pengimpor BBM yang nantinya beban kerugian yang disangga bangsa ini semakin besar seiring dengan naiknya harga BBM di pasaran dunia hingga lebih dari 60 dollar AS per barrel.

Arus laut merupakan salah satu energi yang sangat potensial sebagai energi yang terbarukan. Menurut Trimulyono dan Berlian (2012), dewasa ini dibutuhkan pemanfaatan energi arus laut yang memiliki intensitas energi kinetik yang besar dalam penyediaan energi di masa depan. Energi yang dibangkitkan dari arus laut membutuhkan alat pengkonversi yang ramah lingkungan, tidak bising, ukuran sederhana, dan memiliki densitas yang tinggi. Agar listrik yang dihasilkan optimal,

alat ini harus mempunyai spesifikasi komponen yang baik serta harus melalui sejumlah prosedur pengujian sebelum diaplikasikan.

Dewasa ini, dalam mempercepat dan mempermudah informasi penerapan teknologi sangat dibutuhkan. Penggunaan *software* merupakan salah satu cara yang dapat membantu menampilkan pola pergerakan arus dengan wilayah kajian yang luas dan dalam waktu yang lama tanpa mengeluarkan tenaga, waktu dan biaya yang besar.

1.2 Rumusan Masalah

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik pemanfaatan energi laut sebagai sumber energi terbarukan semakin pesat. Salah satu adalah energi arus laut. Wilayah Madura memiliki selat di utara Jawa Timur yang memiliki potensi arus laut sebagai sumber energi listrik bagi masyarakat di pesisir Madura. Untuk itu perlu dilakukan beberapa kajian untuk mengetahui sebaran dan pola arus yang ada di Selat Madura dalam pemanfaatan arus laut sebagai pembangkit listrik. Kajian tersebut antara lain: kajian potensi energi arus laut, kajian pola arus, konversi arus menjadi satuan daya energi, pemetaan potensi energi arus laut, analisis alat dan tipe turbin, dan penentuan kesesuaian kawasan PLTAL di Selat Madura.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Mengetahui pola pergerakan arus permukaan di perairan Selat Madura.
2. Mengestimasi potensi energi arus laut secara spasial dan temporal dengan memanfaatkan data Arus OSCAR dan hasil survei lapang yang kemudian mengkonversinya menjadi satuan daya.

3. Memetakan kesesuaian wilayah potensi arus laut di Selat Madura dalam penentuan lokasi PLTAL.

1.4 Kegunaan

Kegunaan dari penelitian yakni untuk dapat mengetahui peta pola persebaran arus secara spasial dan temporal, peta potensi arus laut sebagai sumber energi listrik di wilayah Selat Madura dalam penentuan lokasi PLTAL.

1.5 Jadwal Pelaksanaan

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Agustus 2015 dan berakhir pada bulan Desember 2015. Pengambilan data dari citra satelit yaitu mencakup keseluruhan selat Madura.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arus

2.1.1 Pengertian Arus

Arus adalah pergerakan massa air secara vertikal dan horizontal yang terjadi secara periodik. Arus dibedakan menjadi arus pasang surut dan *non* pasang surut. Pergerakan massa air laut secara horizontal akibat adanya pengaruh pasang surut disebut Arus Pasut. Sedangkan arus yang dibangkitkan oleh perbedaan densitas dan angin merupakan Arus *non*-Pasut. Arus dipengaruhi oleh angin, pasang-surut, gerakan kapal dan aktifitas gunung berapi yang merupakan salah satu faktor fisika oseanografi perairan. Menurut Marpaung dan Prayogo (2014) arus laut adalah pergerakan air laut secara horizontal maupun vertikal untuk mencapai kesetimbangan. Gerakan tersebut terjadi akibat dari gaya yang mempengaruhi air laut. Sverdrup *et al.* (1961) dalam jurnalnya menambahkan bahwa arus adalah gerakan air yang mengakibatkan perpindahan horizontal dan vertikal massa air.

Menurut Wibisono (2011), arus laut merupakan gerakan massa air laut ke arah horizontal dalam skala besar, tetapi juga bergerak secara vertikal. Salah satu faktor yang mempengaruhi adanya arus yaitu tiupan angin musim. Selain itu faktor suhu permukaan laut yang selalu berubah-ubah juga mempengaruhinya. Di Indonesia terdapat dua musim antara lain musim barat dan musim timur.

2.1.2 Tipe Arus

Salah satu tipe arus laut adalah arus permukaan yang merupakan gerakan massa air yang disebabkan oleh angin yang berhembus di permukaan laut. Menurut Widyastuti *et al* (2009), angin yang berhembus di permukaan laut terjadi pada kedalaman kurang dari 200 m yang berpindah dari satu tempat yang bertekanan

udara tinggi ke tempat lain yang bertekanan udara rendah yang sangat luas dan terjadi pada seluruh lautan di dunia. Arus merupakan gerakan yang sangat luas yang terjadi pada seluruh lautan di dunia. Arus permukaan dibangkitkan terutama oleh angin yang berhembus di permukaan laut. Selain itu topografi muka air laut juga turut mempengaruhi gerakan arus permukaan.

Arus geostropik adalah arus yang dominan terjadi di permukaan laut. Arus geostropik terjadi akibat pengaruh gradien tekanan mendatar dan gaya coriolis. Arus geostropik memiliki kecepatan dengan arah yang bervariasi. Arus eddy dalam arus geostropik dapat mengakibatkan fenomena upwelling maupun downwelling. Analisis arus eddy secara simultan dengan anomali tinggi muka laut dapat digunakan untuk menentukan zona yang berpotensi sebagai daerah penangkapan ikan (Marpaung dan Prayogo, 2014).

Menurut Martono (2009), gerakan arus eddy ada dua jenis yaitu secara siklonik (searah jarum jam) dan antisiklonik (berlawanan arah jarum jam) di belahan bumi selatan. Marpaung dan Prayogo (2014) menambahkan bahwa di belahan bumi utara, eddy akan menyebabkan upwelling jika bergerak searah jarum jam. Sebaliknya, di belahan bumi selatan, jika eddy bergerak searah jarum jam akan menyebabkan upwelling dan jika bergerak berlawanan arah jarum jam akan menyebabkan downwelling.

2.1.3 Faktor Pembangkit Arus

Arus merupakan gerakan massa air yang sangat luas yang terjadi pada seluruh lautan di dunia. Berdasarkan temperaturnya, arus dibagi menjadi arus panas dan arus dingin. Arus panas terjadi apabila temperature air pada arus itu lebih tinggi dari pada temperature air laut yang didatanginya seperti arus laut yang menuju ke

daerah lintang tinggi (daerah dingin) dari daerah lintang rendah (daerah panas) sedangkan arus dingin terjadi apabila temperatur arus itu lebih rendah dari arus yang didatanginya atau arus yang bergerak ke daerah panas dari daerah dingin. Menurut Sugianto dan Agus (2007), secara umum, arus laut yang mempengaruhi karakteristik perairan di Indonesia adalah arus laut yang dibangkitkan oleh angin dan pasut.

Pada Musim Barat, di Samudera Hindia sebelah barat Sumatera Barat bertiup angin dari barat ke timur, sehingga arus laut secara umum mengalir dari barat ke timur. Sedangkan pada musim timur arus laut mengalir sebaliknya. Arus-arus laut di kedalaman laut yang lebih dalam lebih banyak dipengaruhi oleh keadaan pasang surut dan sifat-sifat fisik lainnya seperti perbedaan temperatur, salinitas dan tekanan (Ilahude, 1999).

Menurut Palaguna (2016), Faktor-faktor penyebab terjadinya arus antara lain: perbedaan temperatur, perbedaan permukaan air laut (niveau), angin, perbedaan salinitas dan densitas, pasang surut, dan bentuk pantai.

a. Faktor Angin

Drift merupakan istilah dari arus permukaan yang disebabkan karena tiupan angin. Arah arus biasanya menyimpang ke arah kanan untuk belahan bumi utara dan ke kiri untuk belahan bumi selatan, karena bentuk bumi yang bulat dan adanya rotasi bumi. Dengan arah arus yang mendorong, arah arus membentuk sudut 45° , misalnya akibat dorongan Angin Pasat Timur laut, Arus Ekuator Utara mengarah dari timur ke barat, juga tiupan Angin Pasat Tenggara yang mengakibatkan Arus Ekuator Selatan. Arus-arus tersebut yang ada di daerah iklim sedangkan belahan bumi utara disebabkan oleh Angin Barat daya. Begitupun di belahan bumi selatan, karena adanya Angin Barat laut maka terjadi arus arus di belahan tersebut. Arus hembusan

Angin Barat (Arus Circumpolar) merupakan arus yang mengelilingi bumi akibat adanya hembusan Angin Barat laut tersebut. Untuk Indonesia sendiri terjadi dua kali pembalikan arah arus yaitu angin Musim Barat dan angin Musim Timur yang terjadi karena adanya angin musim ini.

b. Faktor Neveau Air Laut

Arus neverau atau arus yang disebabkan oleh adanya perbedaan tinggi rendahnya permukaan air laut disebabkan oleh angin, perbedaan curah hujan, penguapan laut pedalaman, misalnya arus yang menuju Laut Tengah yang berasal dari Samudera Atlantik, dan arus yang menuju Laut Merah yang berasal dari Samudera Hindia.

c. Faktor Suhu, Salinitas, dan Densitas

Baik perbedaan densitas suhu maupun salinitas, keduanya disebabkan adanya perbedaan suhu. Air yang lebih padat dan besar salinitasnya akan turun dan mengalir di bagian bawah sebagai arus bawah. Sedangkan air yang ringan dan kurang padat akan muncul dan bergerak di permukaan sebagai arus permukaan.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut

Arus laut adalah berpindahnya gerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain. Arus di kedalaman laut disebabkan oleh perbedaan densitas massa air laut. Sedangkan Arus di permukaan laut terutama disebabkan oleh tiupan angin, dan gerakan pasang surut air laut atau gelombang. Secara luas, arus laut terjadi di samudera yang bergerak melintasi samudera (*ocean currents*). Arus laut juga terjadi di perairan pesisir (*coastal currents*). Derasnya arus dan tinggi gelombang dipengaruhi oleh interaksi bulan, bumi, dan matahari. Tenaga pasang surut inilah yang dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (Docslide, 2015).

Energi yang mengalir dalam bentuk energi kinetik dapat dimanfaatkan dalam wujud energi mekanik maupun energi listrik. Penggunaan turbin sering digunakan dengan memanfaatkan adanya aliran air ataupun aliran arus laut. Pemanfaatan energi arus itu dapat dilakukan dengan pemakaian sumber pembangkit listrik tenaga arus laut berupa turbin arus laut yang akan mengkonversi energi kinetik arus laut menjadi energi listrik (Aziz, 2010).

2.3 Turbin Darrieus

Turbin adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi kinetik menjadi energi mekanik. Prinsip kerja turbin arus sama dengan Turbin Darrieus. Menurut Daryanto (2007), turbin angin dibagi menjadi dua macam. Salah satunya yaitu Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Vertical Axis Wind Turbine*). Turbin dengan sumbu tegak ini memiliki gerakan rotor dan poros sejajar dengan arah angin. Kelebihan dari VAWT yaitu memiliki torsi tinggi sehingga mampu berputar pada kecepatan angin yang rendah, tidak bising, dan kerjanya yang tidak dipengaruhi arah angin. VAWT banyak digunakan untuk konversi energi dalam skala kecil.

Turbin Darrieus adalah salah satu jenis turbin yang dikembangkan oleh Georges Jean Marie Darrieus, seorang *Aeronautical Engineer* asal Prancis pada tahun 1931. Keunggulan turbin ini diantaranya mampu beroperasi pada kecepatan yang rendah, tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuknya yang simetri, tekanan gravitasi tidak mampu balik pada bentuk bilahnya. Sedangkan kelemahannya adalah ketidakmampuan melakukan *self-starting*, dan getaran yang tinggi. Prinsip kerja turbin Darrieus adalah berputarnya bilah akibat kecepatan aliran air dengan kecepatan putar tertentu, maka menghasilkan gaya hidrodinamis berupa resultan dari kecepatan tersebut, dan bentuk *airfoil* dari bilah turbin. Bilah-bilah ini

memotong udara dengan sudut serang yang mengakibatkan perbedaan tekanan. Hasil dari perbedaan tekanan inilah yang mengakibatkan gaya angkat, yang mana mendorong bilah bergerak ke depan. Untuk mendorong turbin, torsi yang disebabkan oleh gaya angkat harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) (Sudargana dan Yuniarso, 2012).

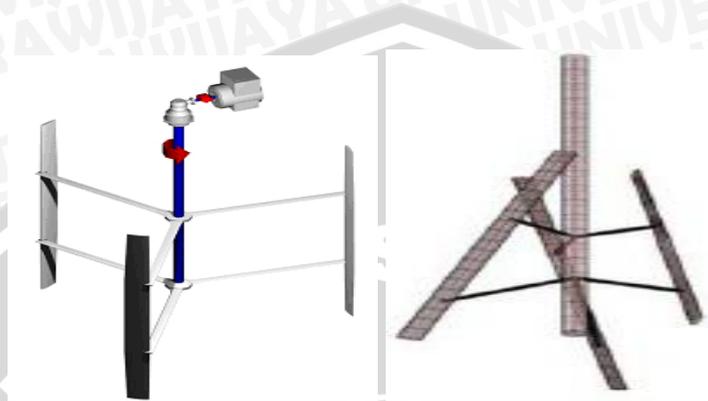
Potensi daya yang akan dihasilkan dari putaran turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti massa jenis air laut, efisiensi, luas penampang, dan kecepatan arus. Menurut Ludji *et al* (2014), daya yang dibangkitkan turbin dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P = \text{eff. } 0,5 \rho AV^3 \quad [W]$$

di mana P adalah kekuatan [Watt], ρ adalah densitas [kg/m^3], A adalah luas penampang [m^2] dan V adalah kecepatan [m/s].

Turbin Darrieus Tipe H memiliki sumbu vertikal dengan bilah turbin lurus. Tipe turbin ini juga disebut *Straight Darrieus*. Menurut BPPH (2013), turbin ini dirancang dengan bentuk diagonal dengan sudut 90° . Rancang bangun dengan bentuk ini diharapkan dapat menyerap energi arus laut seoptimal mungkin dari berbagai arah. Untuk penggunaannya, terdapat modifikasi dengan membuat vertikal lurus dengan 3 *radial arm* dan 3 *blade* yang membuat pola rotasinya mejadi tabung. Turbin dengan Tipe *Angled Darrieus* ini sedikit berbeda dengan Turbin *Straight Darrieus*. Turbin tipe ini juga disebut *V rotor Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*. Turbin ini dirancang dengan bentuk diagonal dengan sudut 45° . Rancang bangun dengan bentuk ini diharapkan dapat menyerap energi arus laut sekaligus menyerap energi gelombang secara efisien agar energi listrik yang dihasilkan lebih besar. Untuk penggunaannya, terdapat modifikasi dengan membuat vertikal miring dengan

3 radial arm dan 3 blade yang membuat pola rotasinya mejadi kerucut. Ilustrasi Turbin Darrieus ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi Turbin Darrieus Tipe H (a) (Sumber: Erwandi, 2011) dan Tipe V (b) (Sumber: Wind and Wet)

2.4 Kondisi Arus Selat Madura

Perairan Selat Madura memiliki potensi energi laut yang cukup besar untuk dimanfaatkan, khususnya energi kinetik arus laut. Menurut Nurhayati (2006), Salah satu daerah yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat pengembangan energi *non* konvensional dari laut adalah selat. Selat merupakan suatu wilayah perairan yang mengalami penyempitan, selat terletak di antara dua permukaan daratan, dan menghubungkan dua bagian perairan yang lebih besar. Adanya perbedaan tekanan antara ujung-ujung perairan selat menyebabkan arus pada daerah perairan selat menjadi lebih kuat.

Menurut Hadi dan Radjawane (2009) dalam Fajar *et al.* (2014), Kecepatan arus tertinggi pada perairan Selat Madura didominasi dengan pola arah barat daya-tenggara, dengan pola arah sebaliknya arus juga memiliki kecepatan yang optimal namun tidak secepat arus yang dihasilkan ketika menuju barat daya-tenggara.

Karakteristik dan tipe arus di Selat Madura merupakan arus pasang surut yang dibangkitkan oleh pasang surut sebagai hasil dari interaksi bumi dan bulan, membuat periode kecepatan arus pasang surut mengikuti periode pasang surut yang membangkitkannya, pasang surut pada daerah selat khususnya Selat Madura memiliki pola hidrolis.

2.5 Data Ocean Surface Current Analyses Real-time (OSCAR)

OSCAR menunjukkan estimasi arus permukaan laut, hasil dari penggunaan *quasi-linear* dan persamaan momentum aliran. Kecepatan arus secara horizontal secara langsung diestimasi dari ketinggian terhadap permukaan laut, vektor angin permukaan, dan suhu permukaan laut (*sea surface temperature*). Data ini dikumpulkan dari berbagai satelit dengan model formulasi dikombinasikan dengan Arus Geostropik, Ekman, dan Stommel. Data ini diambil pada grid 1/3 derajat dengan resolusi waktu selama 5 hari dan *smoothing* 10 hari. OSCAR dihasilkan oleh *Earth Space Research* (ESR) (podaac, 2016).

Data OSCAR tersedia secara bebas melalui dua pusat data yang dioperasikan oleh NOAA dan NASA PO.DAAC situs (<http://podaac.jpl.nasa.gov>) yang menyediakan arus OSCAR pada 1 degree dan 1/3 *degree grid spacing* dengan format **netcdf*. Perhitungan langsung dari arus permukaan global berdasarkan pada tingginya satelit terhadap muka laut, angin, dan suhu. Data ini juga digunakan untuk penelitian manajemen sumber daya perikanan, dan studi kelautan tentang migrasi hewan serta secara tidak langsung digunakan dalam menentukan *stress* angin. Analisis secara luas digunakan dalam studi iklim, seperti untuk penyimpanan suhu laut dan *blooming* fitoplankton (ESR, 2016).

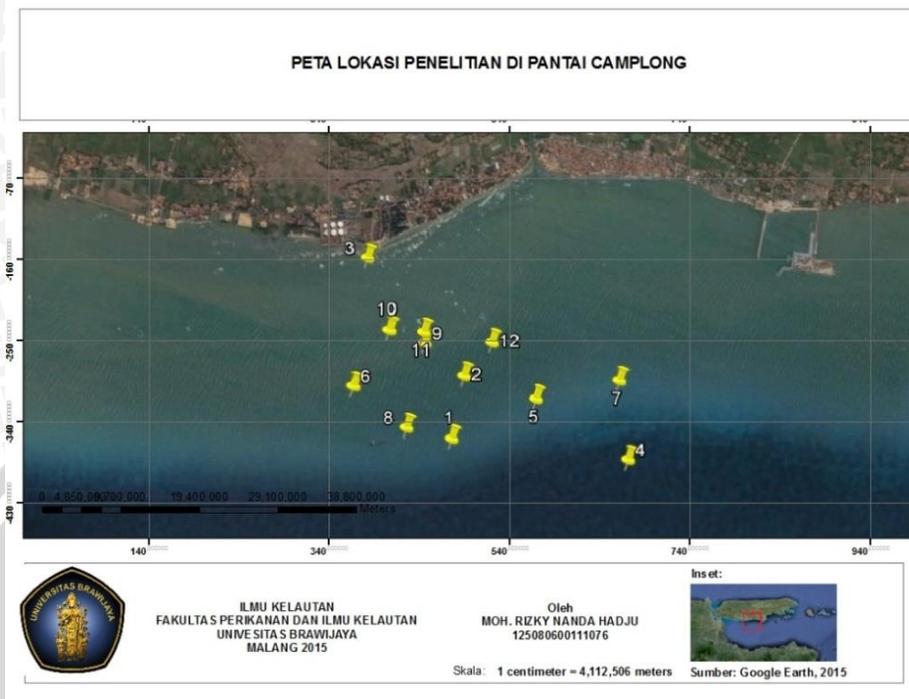
3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian

Penelitian untuk verifikasi data OSCAR dilaksanakan di perairan Pantai Camplong Madura, Jawa Timur. Penelitian dilaksanakan pada tanggal 13 Agustus 2015 untuk dilakukan analisis dan pemetaan potensi arus laut sebagai PLTAL. Analisis pola arus dan pemetaan potensi arus dan peta potensi yang menggambarkan pola dan kondisi arus laut. Untuk memetakan pola kecepatan arus di lapangan diambil data arus sebanyak 12 titik koordinat yang ditampilkan pada Tabel 1 sedangkan lokasi *in-situ* ditampilkan pada Gambar 2.

Tabel 1 Koordinat Pengambilan Data Arus (*In-Situ*)

No	Latitude	Longitude
1	7° 13'45.56" LS	113° 19'22.33" BT
2	7° 13'33.45" LS	113° 19'22.29" BT
3	7° 13'12.02" LS	113° 19'03.98" BT
4	7° 13'47.50" LS	113° 19'56.44" BT
5	7° 13'36.99" LS	113° 19'38.04" BT
6	7° 13'36.68" LS	113° 19'02.86" BT
7	7° 13'32.54" LS	113° 19'53.82" BT
8	7° 13'43.96" LS	113° 19'13.54" BT
9	7° 13'27.7" LS	113° 19'16.06" BT
10	7° 13'25.57" LS	113° 19'09.06" BT
11	7° 13'25.57" LS	113° 19'15.76" BT
12	7° 13'26.77" LS	113° 19'28.92" BT



Gambar 2 Peta Lokasi Penelitian

Materi pada penelitian ini meliputi data primer (lapangan) dan data sekunder (pendukung) dari web terkait. Data hasil pengukuran diambil selama 1 hari dengan interval waktu 10 menit menggunakan current meter dengan titik lokasi di Pantai Camplong. Data yang diambil saat survei dilapang diantaranya: kecepatan dan arah arus, serta parameter fisika lain seperti suhu dan salinitas.

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif analitik. Metode ini adalah metode yang berusaha menjelaskan suatu peristiwa, ataupun suatu gejala dengan menganalisis hasil pengolahan data-data berupa angka-angka atau model. Sedangkan untuk pengambilan data observasi lapang dilakukan dengan metode *purposive sampling* yaitu metode yang pengambilan sampel secara sengaja

bukan secara random (acak). Lokasi pengambilan data gelombang ditentukan berdasarkan pertimbangan bebas halangan dan cukup jauh dari tepi pantai. Selain itu penempatan titik disesuaikan dengan pertimbangan bahwa stasiun pengukuran mewakili pergerakan arus di Pantai Camplong, serta keamanan saat observasi. Kecepatan arus yang diukur adalah kecepatan arus permukaan yang dibagi menjadi 3 kedalaman yaitu 0.2d, 0.6d, dan 0.8d diukur dari permukaan laut menggunakan *current* meter, GPS, dan kompas. Pengukuran arus dilakukan secara berulang sebanyak 3 kali yang kemudian dirata-ratakan. Selanjutnya dilakukan analisis statistik menggunakan *t-test* untuk mengetahui apakah ada perbedaan dari nilai yang diperkirakan dengan nilai hasil perhitungan statistika dari dua sumber.

Penelitian ini akan menghasilkan peta pola pergerakan arus di Selat Madura dan pantai Camplong sebagai acuan untuk mendeskripsikan pola pergerakan arus itu sendiri menggunakan OSCAR (*Ocean Surface Current Analyses Real-time*) sebagai metode analisis peta citra arus.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Beberapa perangkat ataupun alat bantu yang digunakan pada penelitian ini adalah untuk mempermudah dalam pelaksanaan penelitian. Perangkat yang dimaksud terdiri dari *hardware* (perangkat keras) dan *software* (perangkat lunak). Perangkat keras digunakan untuk mengoperasikan perangkat lunak sedangkan perangkat lunak sebagai pengolah data sekunder.

3.2.1 Hardware (Perangkat Keras)

Pada penelitian ini digunakan perangkat keras yaitu laptop merk ASUS dengan *Operating System* (OS) *Windows 7*.

3.2.2 Software (Perangkat Lunak)

Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak seperti *Ms. Excel* yang berfungsi untuk menghitung arah dan kecepatan data arus dari hasil *download*, ODV untuk mengubah format nc, dan *Surfer* Versi 10 sebagai pembuat model pola pergerakan arus laut.

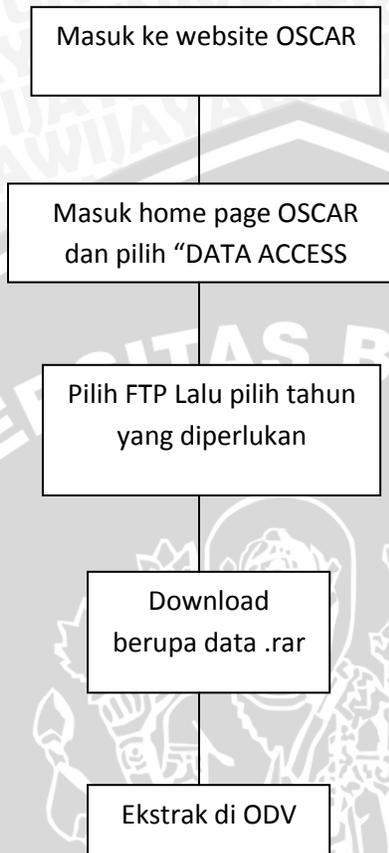
3.3 Metode Pengumpulan Data

Untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan, maka dilakukan suatu metode pengumpulan data. Data tersebut terdiri dari data primer dan sekunder. Data yang diperoleh dari pengukuran arus laut di lapangan sebagai data primer, sedangkan data sekunder diperoleh dari website maupun instansi untuk permodelan arus sebagai inputan dalam pengolahan *Software Surfer*.

Dengan mengunduh data arus melalui Satelit Altimetri TOPEX/POSEIDON dan data Scatterometer di situs OSCAR, data vektor arus untuk wilayah Selat Madura dapat diketahui. Data yang diunduh adalah data arus dengan kurun waktu 11 tahun yaitu Tahun 2005-2015. Data vektor arus yang diunduh ini merupakan data vektor arus permukaan yang selanjutnya diolah melalui *Software Ms. Excel* sebelum diinput pada pengolahan *Software Surfer*. Data pada *Software Ms. Excel* dibagi menjadi empat musim sebagai berikut.

- Musim Barat (Desember-Februari)
- Peralihan 1 (Maret-Mei)
- Musim Timur (Juni-Agustus)
- Peralihan 2 (September-November)

Langkah download dari data OSCAR ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema *Download* Data OSCAR

3.4 Analisis Data Hasil

Pada penelitian ini, berdasarkan pola musiman yakni Musim Barat, Peralihan 1, Musim Timur, dan Peralihan 2 hasil pola pergerakan arus *Surfer* akan dianalisis. Karena data satelit yang diunduh merupakan data arus permukaan, maka analisis arus pada *Surfer* lebih ditekankan pada arus permukaan. Analisis musiman tersebut ialah analisis tiap tahun (2005-2015).

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan keseluruhan langkah kerja penelitian yang diawali dengan proses awal persiapan penelitian, pelaksanaan penelitian,

pengolahan data, dan penyusunan laporan akhir penelitian. Prosedur kerja tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Pemilihan Lokasi

Pada tahap ini, pemilihan lokasi berdasarkan pada kondisi dinamika hidro-oseanografi, peranan dari lokasi tersebut terhadap aktivitas manusia, dan kelimpahan sumberdaya hayati. Kajian referensi dilakukan dalam penentuan wilayah kajian dalam penelitian

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data yang diperlukan pada penelitian dilakukan pada tahap ini yaitu dengan mengunduh di situs server Data NOAA terkait data hidro-oseanografi untuk data vektor arus.

3. Pengolahan Data Vektor Arus dengan *Ms, Excel*

Pengolahan data arus hasil unduhan dari situs server data NOAA dilakukan pada tahap ini yaitu dengan mengolah data vektor arus menjadi data kecepatan arus, kecepatan arus untuk menjadi inputan data pada *Surfer*, dan pembuatan *new sheet* pada *Excel* berisikan titik koordinat x dan y.

4. Pengolahan Data Arus Satelit menggunakan *Surfer*

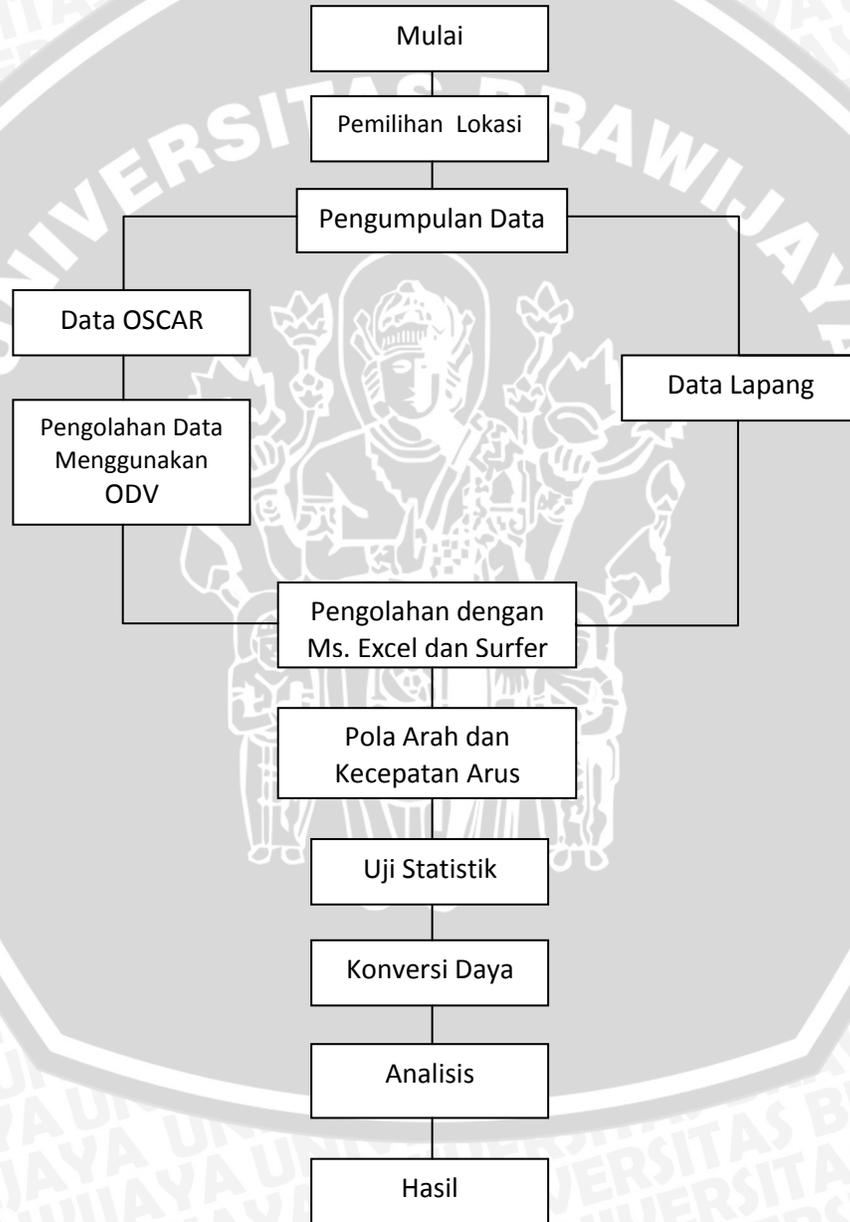
Untuk menghasilkan pola kecepatan dan arah arus di wilayah kajian, maka dilakukan pengolahan data arus menggunakan Aplikasi *Ms. Excel*. Pola yang akan dihasilkan adalah pola kecepatan dan arah arus pada setiap musim tahun 2005-2015

5. Perbandingan Hasil pola *Surfer* dan *t-test* dengan analisis statistik

Perbandingan data hasil olahan dari *Software Surfer* dan *T-test* yaitu nilai dan arah kecepatan yang dihasilkan.

6. Analisis Data

Proses analisis dilakukan pada tahap ini. Data dari hasil model menggunakan *Software Surfer* dianalisis lebih lanjut. Berdasarkan dari data pengukuran langsung dan hasil dari permodelan arus dilakukan analisis potensi arus laut sebagai PLTAL. Diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Selat Madura merupakan selat yang memisahkan Pulau Jawa dan Pulau Madura serta memiliki peranan penting dalam kehidupan sehari-hari terutama pada bidang ekonomi, keamanan, dan social. Menurut Sugianto (2009), berbagai aktivitas seperti pemukiman, pelabuhan, industri, dan pusat terdapat di wilayah perairan Selat Madura. Selat Madura masuk dalam tipe perairan setengah tertutup (*semi-enclosed sea*), pada bagian barat laut dan timur perairan Selat Madura mempunyai tipe terbuka, di bagian barat laut perairan Selat Madura berbatasan dengan Laut Jawa. Sedangkan pada bagian timur Selat Madura berbatasan dengan Selat Bali. Peta Administrasi Jawa Timur disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Peta Administrasi Jawa Timur
(Sumber: Desigmap, 2013)

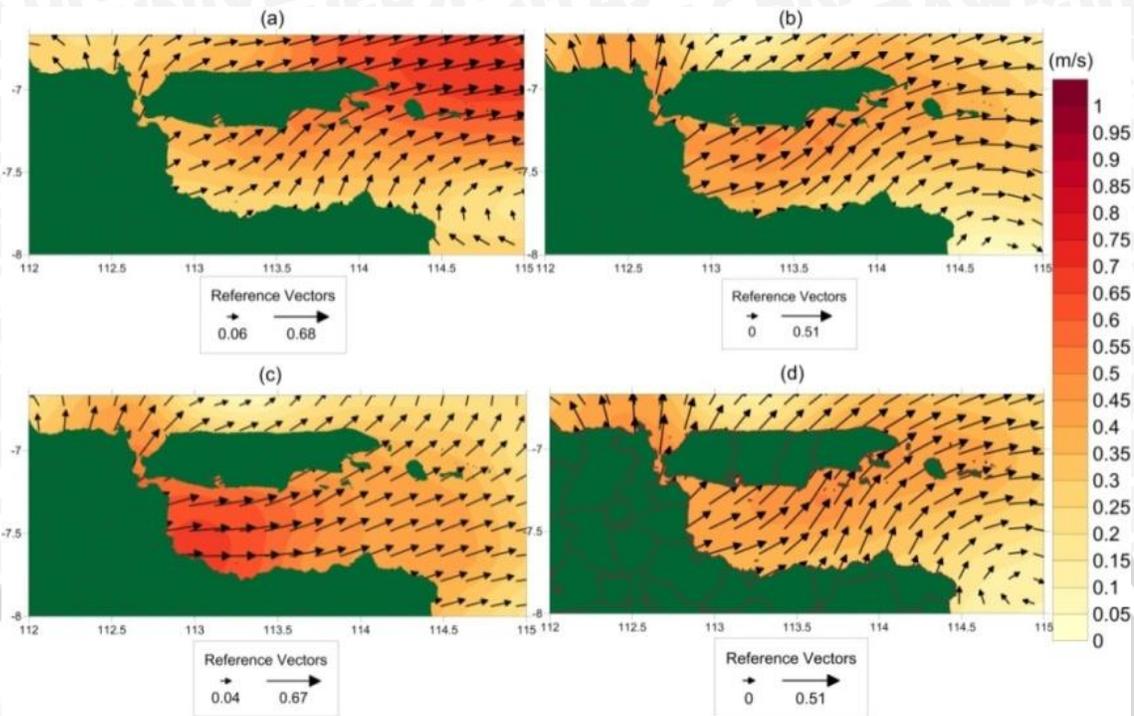
Perairan Selat Madura memiliki potensi energi laut yang cukup besar untuk dimanfaatkan, khususnya energi kinetik arus laut. Menurut Nurhayati (2006), Salah satu daerah yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat pengembangan energi *non-konvensional* dari laut adalah selat. Selat merupakan suatu wilayah perairan yang mengalami penyempitan, selat terletak di antara dua permukaan daratan, dan menghubungkan dua bagian perairan yang lebih besar. Adanya perbedaan tekanan antara ujung-ujung perairan selat menyebabkan arus pada daerah perairan selat menjadi lebih kuat.

4.1.2 Pola Pergerakan Arus OSCAR

Hasil pengolahan data arus yang bersumber dari data OSCAR menggunakan *Software Surfer* dianalisis berdasarkan musim dan tahun.

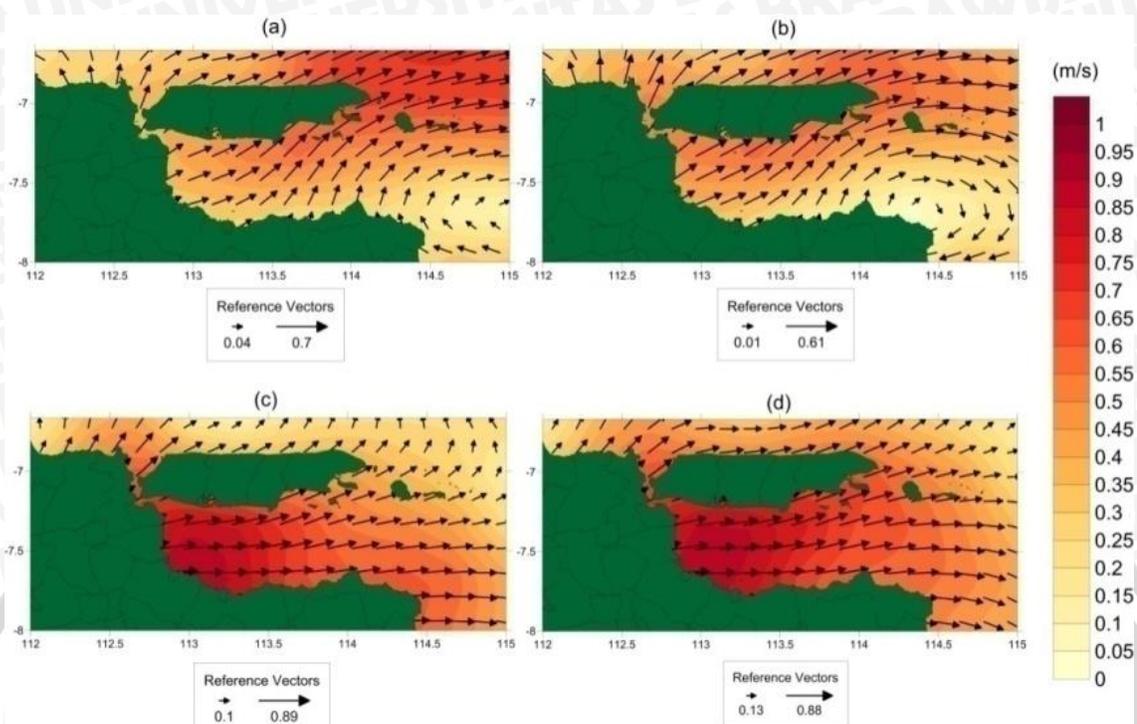
4.1.2.1 Pola Pergerakan Arus OSCAR Berdasarkan Musim

Pola pergerakan arus di Selat Madura, menunjukkan bahwa keseluruhan Musim tahun 2005 terjadi pergerakan arus yang mendominasi dari arah pulau Jawa atau bagian barat selat. Bila dilihat dari bagian barat, pergerakan arus dibagi menjadi dua arah, yaitu arus yang menuju utara di bagian barat laut selat, dan arus yang menuju yang bagian timur laut selat. Arus yang menuju utara, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut, utara, dan timur laut, sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat dan Peralihan 2 akan bergabung dengan arus dari arah tenggara, sebagian besar arus tetap diteruskan ke arah timur dan timur laut pada Musim Timur, dan akan dibelokkan lagi menuju tenggara pada Musim Peralihan 2. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 6.



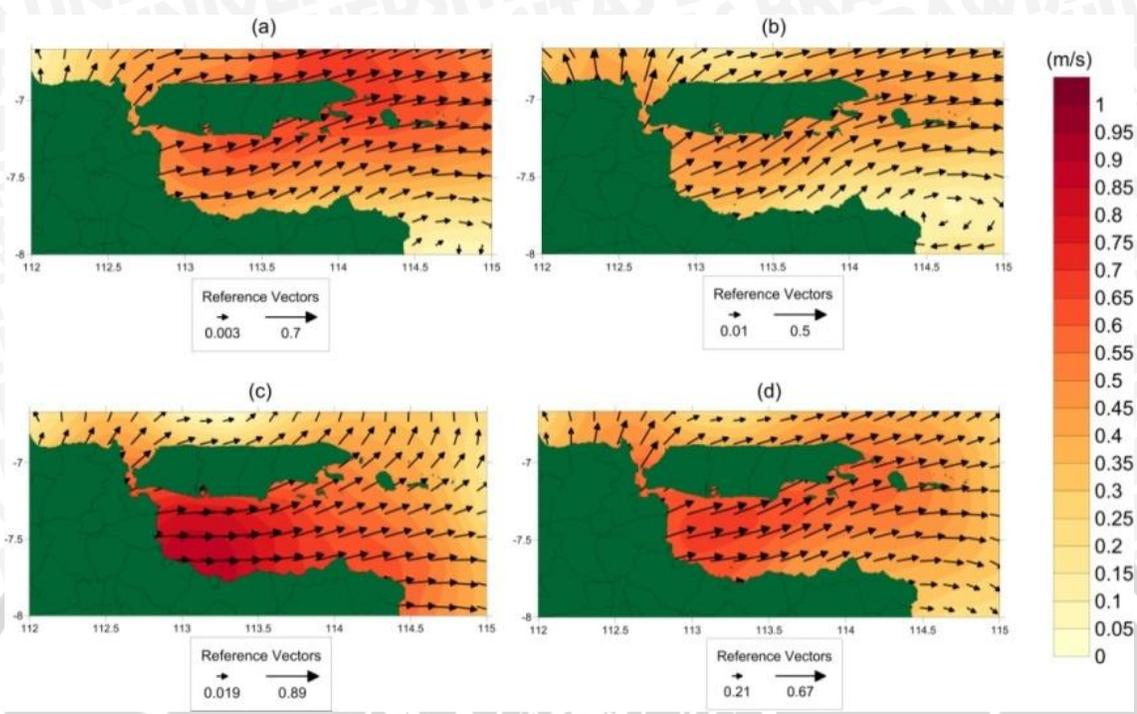
Gambar 6 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2005 (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2006, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat akan bergabung dengan arus dari arah tenggara, sebagian besar arus tetap diteruskan ke arah timur dan timur laut, dan akan dibelokkan lagi menuju tenggara lalu ke selatan pada Peralihan 1, dan barat daya. Pada Musim Timur dan Peralihan 2, tidak ada penggabungan arus dari arah tenggara, arus tetap diturkan ke arah timur dan sebagian ada yang dibelokkan ke arah utara dan tenggara. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 7.



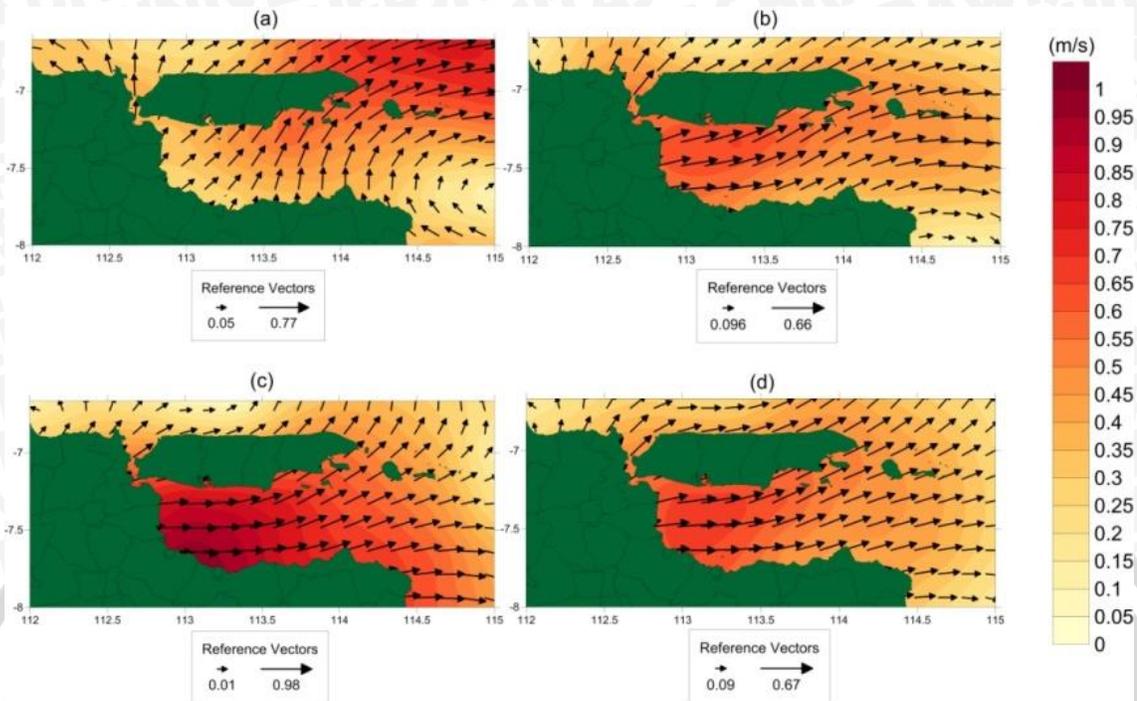
Gambar 7 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2006. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2007, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut, utara, dan timur laut (Kecuali Peralihan 2 hanya menuju timur laut), sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat akan bergabung dengan arus dari arah tenggara, sebagian besar arus tetap diteruskan ke arah timur dan timur laut, dan akan dibelokkan lagi menuju tenggara lalu ke selatan pada Peralihan 1, dan barat daya. Pada Musim Timur dan Peralihan 2, tidak ada penggabungan arus dari arah tenggara, arus tetap diteruskan ke arah timur dan sebagian ada yang dibelokkan ke arah utara, timur laut, dan tenggara. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 8.



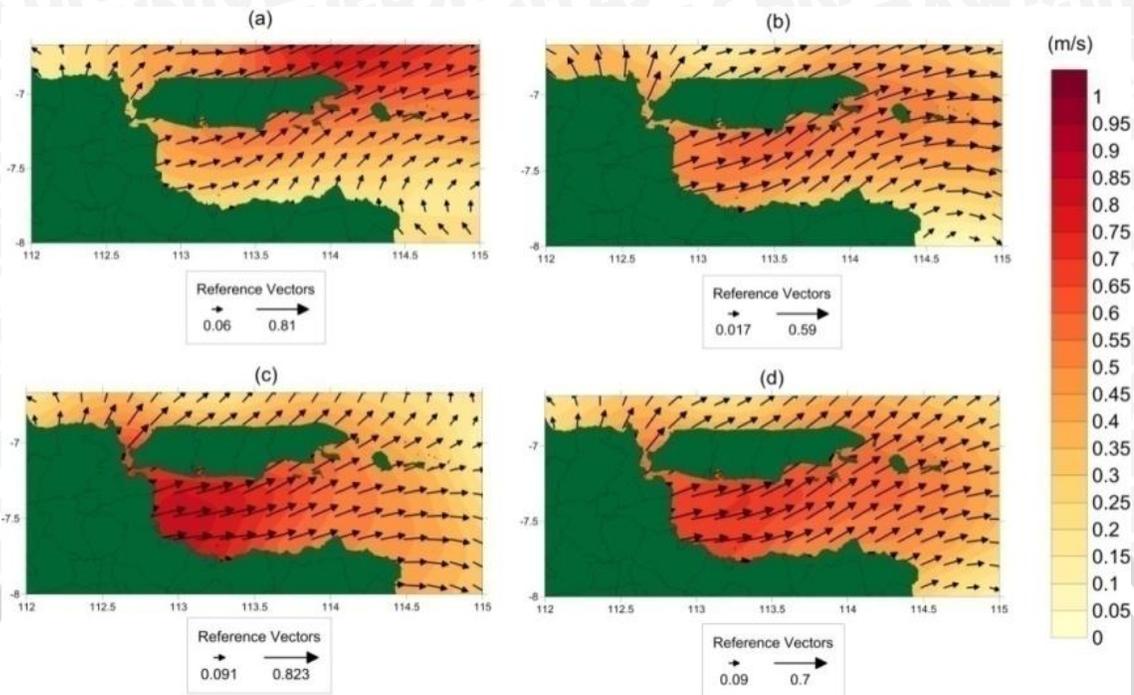
Gambar 8 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2007. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2008, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat akan bergabung dengan arus dari arah tenggara. Pada Musim Timur dan Peralihan 2, tidak ada penggabungan arus dari arah tenggara, arus tetap diteruskan ke arah timur dan sebagian ada yang dibelokkan ke arah utara, timur laut, dan dibelokkan lagi ke arah tenggara pada Peralihan 1. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 9.



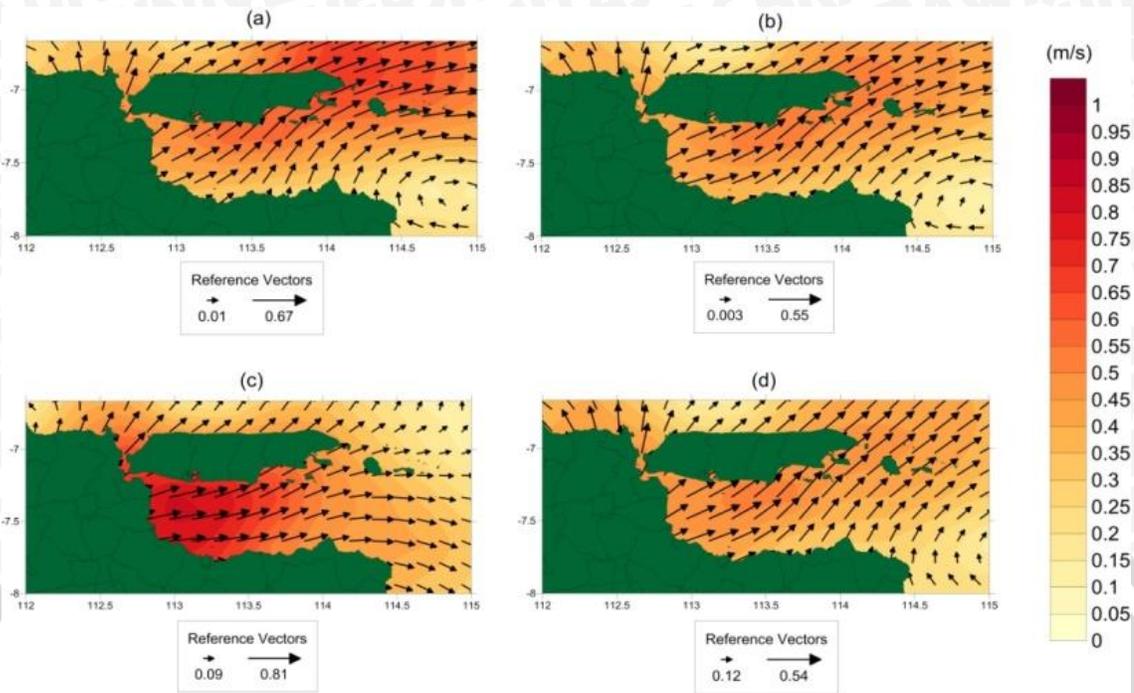
Gambar 9 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2008. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2009, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat akan bergabung dengan arus dari arah tenggara. Pada Musim Timur, Peralihan1, dan Peralihan 2, tidak ada penggabungan arus dari arah tenggara, arus tetap diteruskan ke arah timur dan sebagian ada yang dibelokkan timur laut, dan tenggara. Untuk Musim Timur arus yang menuju timur laut sebagian cenderung ke utara. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 10.



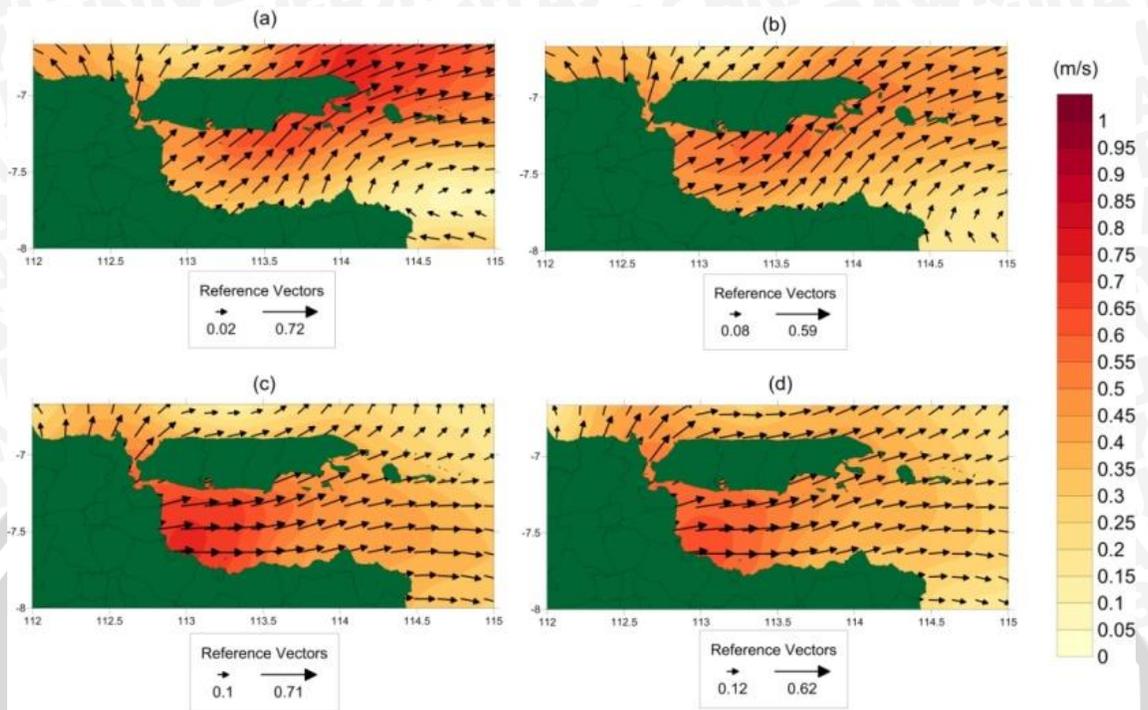
Gambar 10 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2009.
 (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2010, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat dan Peralihan 1 akan bergabung dengan arus dari arah tenggara. Pada Peralihan 2 tidak ada penggabungan arus dari arah tenggara dan terus ke arah timur laut, sedangkan pada Musim Barat dan Peralihan 1, sebagian ada yang dibelokkan ke arah utara, timur laut, dan dibelokkan lagi ke arah tenggara, selatan, lalu ke barat daya kembali ke timur laut. Untuk Musim Timur tidak ada penggabungan dan sebagian dibelokkan ke arah tenggara saja. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 11.



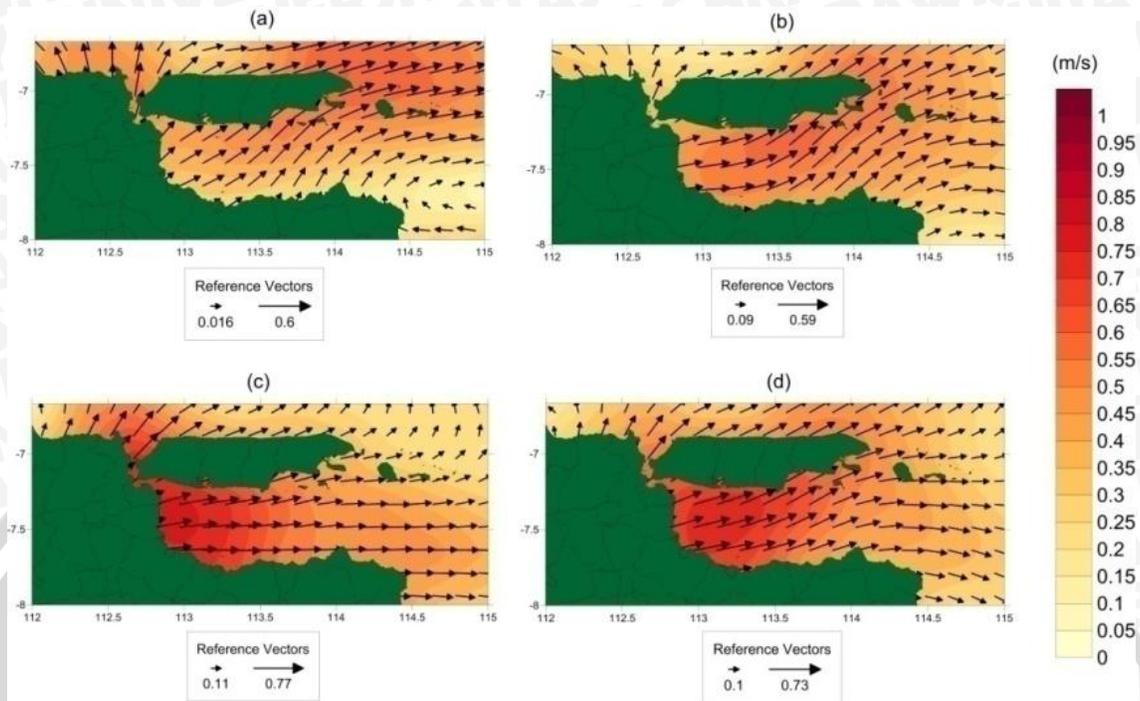
Gambar 11 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2010. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2011, arus yang menuju utara mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut, utara, dan timur laut, sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat dan Peralihan 1 akan bergabung dengan arus dari arah tenggara. Pada Musim Timur dan Peralihan 2, tidak ada penggabungan arus dari arah tenggara, arus tetap diteruskan ke arah timur laut dan tenggara. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 12.



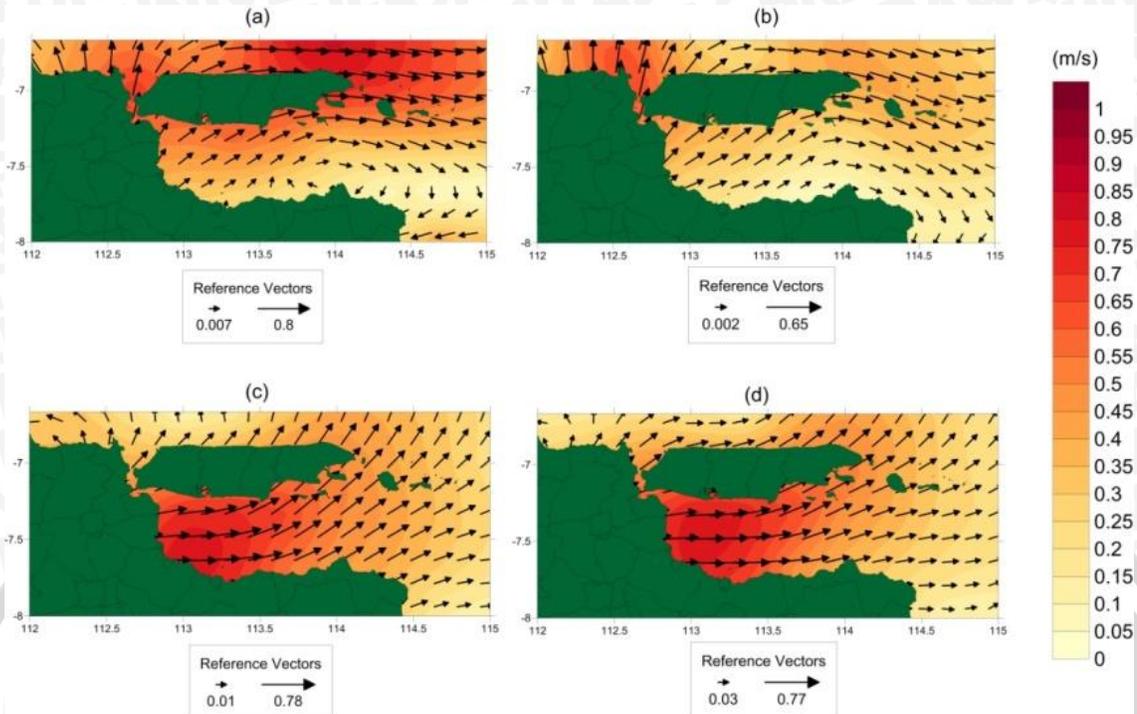
Gambar 12 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2011. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2012, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut, utara, dan timur laut. Sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat akan bergabung dengan arus dari arah tenggara. Pada musim lainnya tidak ada penggabungan. Khusus Musim Timur dan Arus lebih condong ke arah timur dan sebagian ke timur laut dan sebagian diblokkan ke arah tenggara pada Peralihan 2. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 13.



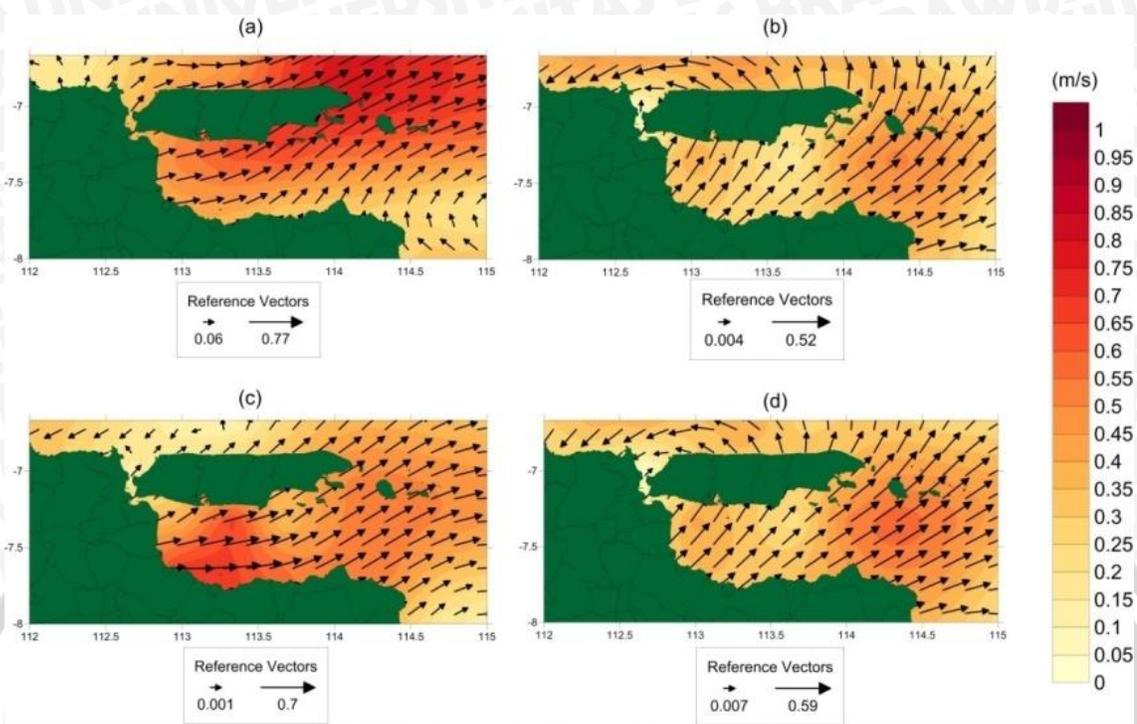
Gambar 13 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2012.
 (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2013, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut, utara, dan timur laut (Kecuali Musim Timur hanya menuju timur laut). Sedangkan arus yang menuju timur laut pada Musim Barat dan Peralihan 1 cenderung menuju tenggara dan dibelokkan ke arah selatan lalu ke barat daya. Pada Musim Timur dan Peralihan 2, arus tetap menuju ke timur laut dan sebagian ke arah timur. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 14.



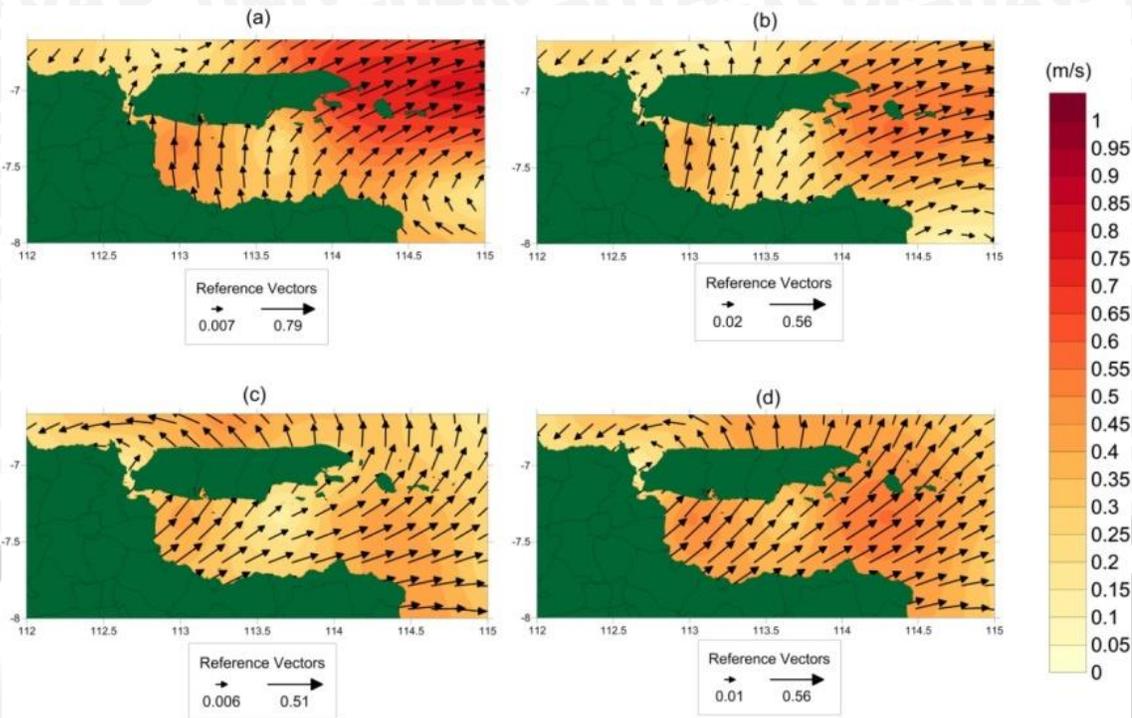
Gambar 14 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2013. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

Pada tahun 2014, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya. Pada musim Barat arus yang menuju utara, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut dan timur laut. Pada Musim lainnya berbelok menuju barat laut dan berbelok lagi ke barat daya. Sedangkan arus yang menuju timur laut sebagian cenderung kearah utara pada Perlihan 1. Untuk Musim Barat ada penggabungan arus dari arah tenggara. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2014. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

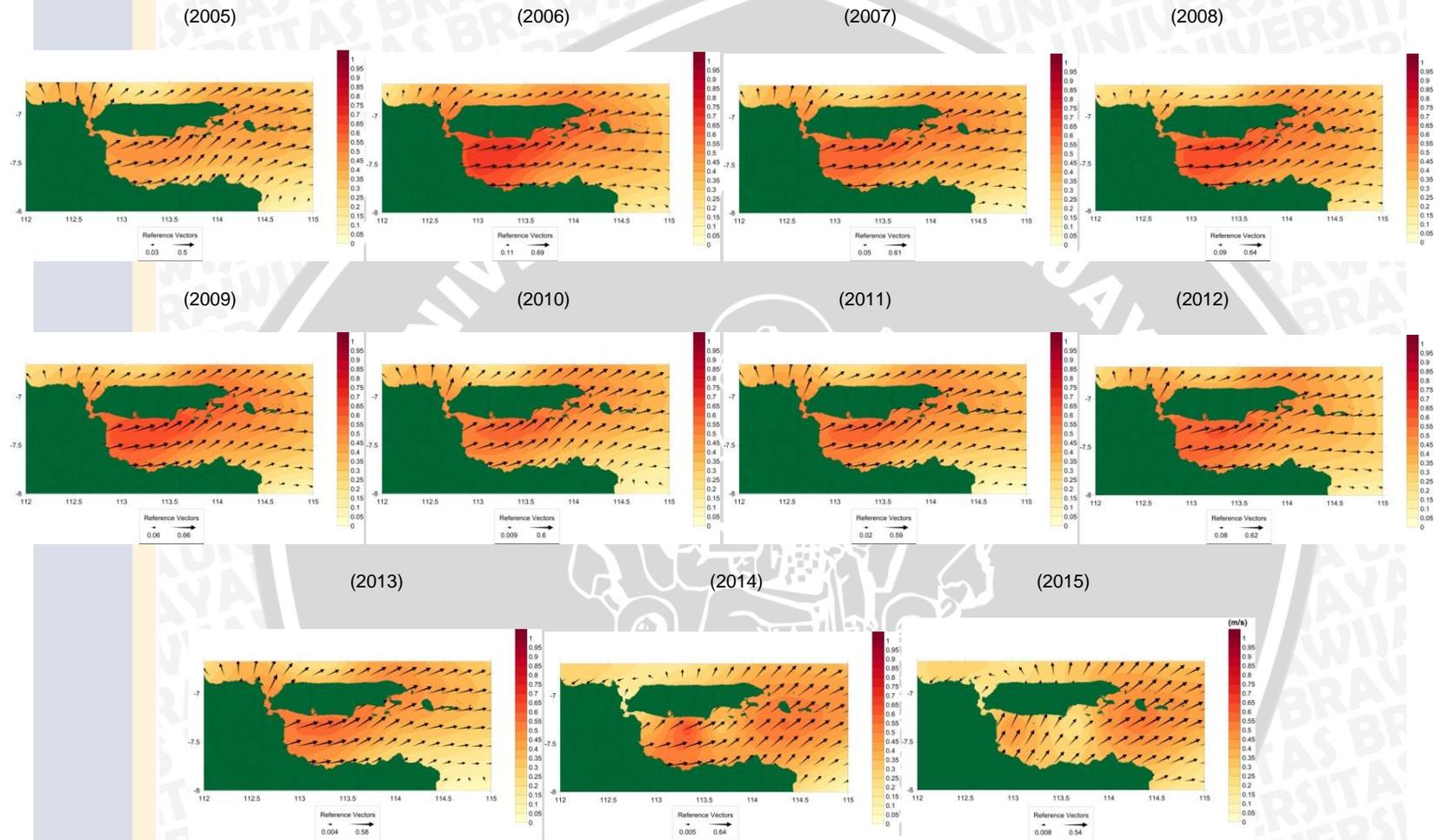
Pada tahun 2015, arus yang menuju utara, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut dan berbelok lagi ke barat daya. Sedangkan arus yang menuju timur laut sebagian dibelokkan ke arah timur pada Musim Timur dan Perlahan 2 dan dibelokkan lagi ke arah tenggara pada Perlahan 1. Untuk Musim Barat ada penggabungan arus dari arah tenggara. Pola pergerakan arus dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Pola Pergerakan Arus Selat Madura Berdasarkan Musim Tahun 2015. (a) Musim Barat, (b) Musim Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Musim Peralihan 2

4.1.2.2 Pola Pergerakan Arus Tahunan

Peta pola pergerakan arus tahunan dibuat berdasarkan hasil nilai rata-rata kecepatan dan arah per tahun mulai. Arah arus di Selat Madura dominan bergerak dari barat daya menuju timur laut. Secara umum, arus dominan menuju timur dan tenggara. Peta pergerakan arus sebagai selama 11 tahun mulai dari Tahun 2005 sampai 2015 pada Gambar 17.



Gambar 17 Pola Pergerakan Arus di Selat Madura per Tahun dari Tahun 2005 sampai 2015

Berdasarkan Gambar 17, pola pergerakan arus di Selat Madura, menunjukkan bahwa pada tahun 2005 terjadi pergerakan arus yang mendominasi dari arah pulau Jawa atau bagian barat di selat. Bila dilihat dari arah bagian barat, pergerakan arus dibagi menjadi dua arah, yaitu arus yang menuju utara di bagian barat laut selat, dan arus yang menuju yang menuju bagian timur laut selat. Arus yang menuju utara, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut dan timur laut. Sedangkan arus yang menuju timur laut tetap diteruskan menuju timur laut. Untuk tahun 2006 sampai 2009, ada yang pembelokan lagi ke arah timur dan tenggara.

Pada tahun 2010, arus yang menuju utara sama seperti tahun sebelumnya, Sedangkan arus yang menuju timur laut pada pertengahan ada penggabungan dengan arus dari arah tenggara kemudian sama-sama diteruskan menuju timur laut dan sebagian dibelokkan ke arah timur. Untuk tahun 2011 dan 2012 tidak ada penggabungan, arus diteruskan menuju timur laut dan sebagian dibelokkan ke arah timur.

Pada tahun 2013, arus yang menuju utara, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut dan berbelok lagi ke barat daya. Sedangkan arus yang menuju timur laut pada pertengahan akan bergabung dengan arus dari arah tenggara dan sebagian dibelokkan menuju arah timur. Untuk tahun 2014 dan 2015, arus yang menuju utara, hanya akan berbelok balik ke arah barat daya dan arus yang menuju timur laut diteruskan menuju timur laut. Secara umum, Pola pergerakan arus sepanjang tahun 2005 sampai 2015 dominan menuju Timur Laut.

4.1.2.3 Pola Kecepatan Arus Hasil Observasi (*In-situ*)

Kecepatan arus di Pantai Camplong Sampang Madura berkisar antara 0,56 sampai 1,01 m/s. Setelah satuan koordinat dikonversikan dalam satuan desimal dan

didapatkan kecepatan rata-rata, selanjutnya dibuat kontur pola serta arah kecepatan arus di Pantai Camplong berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2 Data Arus Perairan Camplong Madura

No	Longitude	Latitude	Arah (°)	Kecepatan (m/s)
1	113.323	-7.2293	100	0,69
2	113.323	-7.226	115	0,67
3	113.318	-7.22	90	0,58
4	113.332	-7.2299	123	0,78
5	113.327	-7.2269	100	0,89
6	113.317	-7.2269	98	1,01
7	113.332	-7.2257	135	0,97
8	113.32	-7.2289	125	0,77
9	113.321	-7.2244	86	0,56
10	113.319	-7.2238	75	0,67
11	113.321	-7.2238	70	0,71
12	113.325	-7.2241	70	0,70

Sedangkan Pola arus (*in situ*) dan overlay pergerakannya ditampilkan pada Gambar

18.



Gambar 18 Overlay Pola Pergerakan Arus

4.1.2.4 Analisis Statistik Data Arus Permukaan

Analisis statistik dilakukan menggunakan uji t berpasangan. Data Analisis ini menggunakan data sekunder dari Situs OSCAR dan pengukuran di Pantai Camplong tanggal 13 Agustus 2015 yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Pengukuran Arus untuk Verifikasi Lapangan

NO	X	Y	Kecepatan Arus dari Data OSCAR (m/s)	Kecepatan Arus Hasil Pengukuran Lapangan (m/s)
1	113.3228	-7.229312	0.383	0.689
2	113.3228	-7.225959	0.384	0.667
3	113.3177	-7.220045	0.388	0.578
4	113.3323	-7.229844	0.379	0.778
5	113.3272	-7.226917	0.382	0.889
6	113.3174	-7.226864	0.386	1.011
7	113.3316	-7.225746	0.380	0.967
8	113.3204	-7.228886	0.384	0.767
9	113.3211	-7.224362	0.385	0.556
10	113.3191	-7.223777	0.386	0.667
11	113.321	-7.223777	0.386	0.711
12	113.3247	-7.224096	0.384	0.700
Rata-Rata			0.384	0.748

Uji T dilakukan, karena kedua data berbeda variasinya. Hipotesis untuk uji t antara lain:

- H_0 = Tidak ada perbedaan data kecepatan arus dari Oscar dan lapang
- H_1 = Ada perbedaan data kecepatan arus dari Oscar dan lapang

Pengujian uji t untuk mengambil hipotesis sebagai berikut:

- Jika p value lebih kecil dari alfa 5% atau dengan melihat $|t$ hitung $> t$ tabel maka keputusannya Tolak H_0 .
- Jika p value lebih besar dari alfa 5% atau dengan melihat $|t$ hitung $< t$ tabel maka keputusannya Terima H_0 .

Hasil perhitungan Uji T menggunakan *Microsoft Excel* ditampilkan pada

Tabel 4.

Tabel 4 Nilai Uji T data kecepatan arus Oscar dan lapang

	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
<i>Mean</i>	0.384049	0.748148
<i>Variance</i>	7.41E-06	0.020412
<i>Observations</i>	12	12
<i>Pearson Correlation</i>	-0.43613	
<i>Hypothesized Mean Difference</i>	0	
<i>Df</i>	11	
<i>t Stat</i>	-8.75419	
<i>P(T<=t) one-tail</i>	000000,137	
<i>t Critical one-tail</i>	1.795885	
<i>P(T<=t) two-tail</i>	0,00000275	
<i>t Critical two-tail</i>	2.200985	

Hasil uji t berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai *p-value* $P(T \leq t)$ *one-tail* < 0.05 , dan *t stat* $>$ dari *t* tabel, maka tolak H_0 yang berarti bahwa kedua data arus dari Situs OSCAR dan observasi lapangan ada perbedaan nyata. Hal ini dibuktikan dengan nilai *mean* antara data OSCAR dan lapang masing-masing sebesar 0.38 dan 0.75. Data arus lapang hampir 2 kali lebih besar dari data Oscar.

4.1.3 Konversi Daya

Turbin yang digunakan untuk simulasi konversi arus laut sebagai pembangkit listrik adalah Turbin Darrieus. Hal ini dikarenakan Turbin Darrieus pernah diujicobakan di Indonesia dan mulai dikembangkan pada Tahun 2007 di Selat Larantuka, Flores. Pada Tahun 2015 uji coba dilakukan di bawah Jembatan Suramadu sebagai sumber penerangan jembatan. Menurut Daryanto (2007) Turbin Darrieus merupakan turbin dengan sumbu vertikal. Kelebihannya adalah

kemampuan berputar pada kecepatan angin yang rendah karena memiliki torsi yang tinggi, tidak bising, dan bisa menerima sumber gerak dari segala arah.

Setelah mengetahui rumus untuk perhitungan konversi, daya keluaran yang dihasilkan dapat dihitung. Nilai alat dapat dilihat pada Tabel 5.

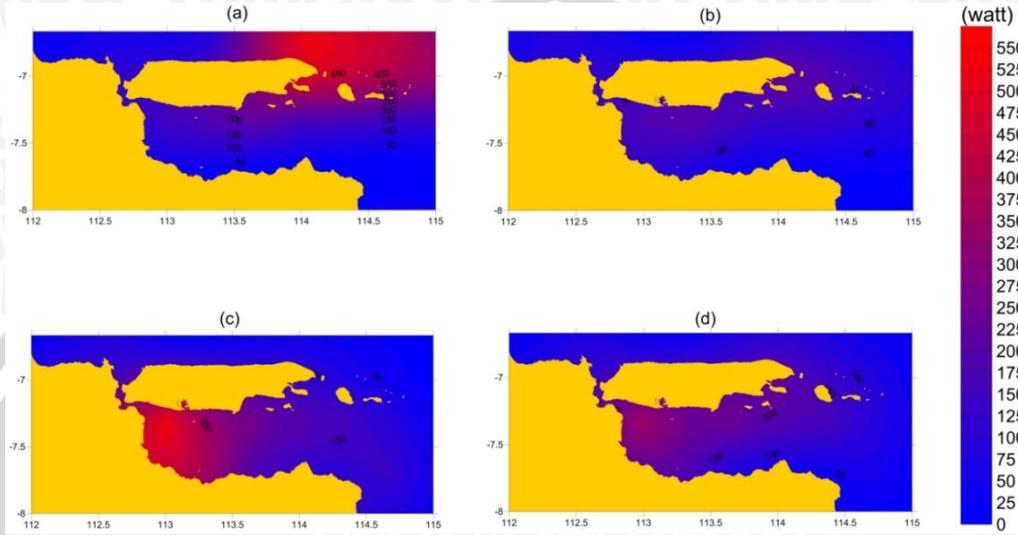
Tabel 5 Nilai Faktor Terhadap Output Daya

Faktor Output Power	Nilai		Satuan
	Tipe H	Tipe V	
Panjang/Tinggi (S)	2,5	1,12	m
Lebar (D)	3,6	2	
Kemiringan	-	1,5	
Luas Penampang (A)	9	1,12	
Effisiensi (eff)	0,33	0,35	-
Massa jenis (ρ)	1025	1025	Kg/m ³

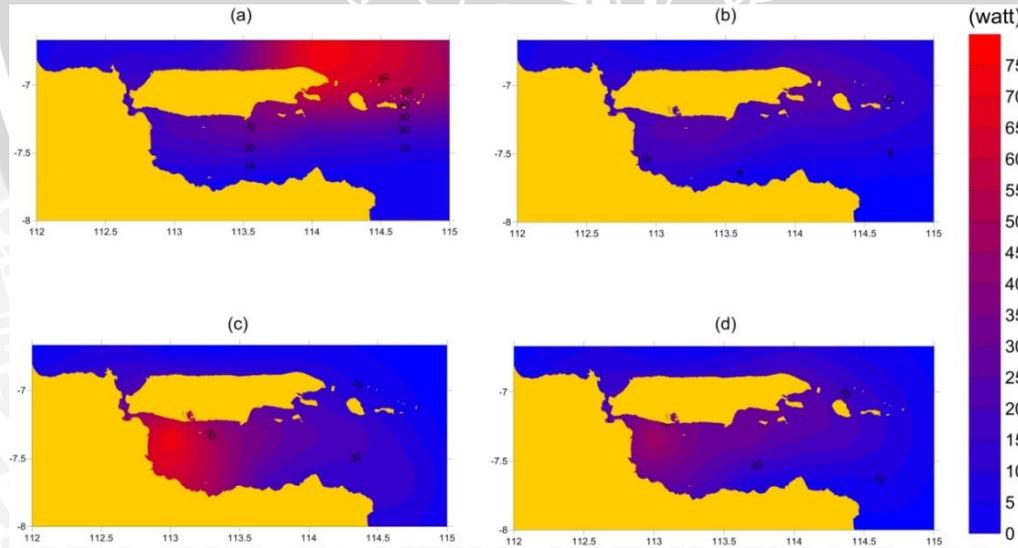
Nilai luas penampang (A) diperoleh dari dimensi turbin yang digunakan. Nilai luas penampang turbin diperoleh dari nilai diameter (D) dikalikan dengan tinggi turbin (S) yang digunakan pada alat PLTAL. Efisiensi turbin mekanik adalah 0,33 untuk Turbin Darrieus tipe H dan 0,35 Tipe V. Nilai ini diambil berdasarkan hasil uji coba turbin yang pernah dikembangkan di Indonesia. Karena kecepatan saat tercepat dalam arah vertikal dekat permukaan sehingga turbin harus dipasang dekat dengan permukaan. Massa jenis (ρ) pada kasus ini ada massa jenis air laut yaitu 1025 kg/m³. Berdasarkan data diatas, maka dapat diketahui kisaran output daya yang dihasilkan. Besar kisaran output daya disajikan berdasarkan musim dan tahun.

4.1.3.1 Berdasarkan Musim

Output daya yang dihasilkan berdasarkan musim selama 11 tahun disajikan pada Gambar 19 dan 20.



Gambar 19 Potensi Output Daya selama 11 tahun Berdasarkan Musim Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H. (a) Musim Barat, (b) Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Peralihan 2

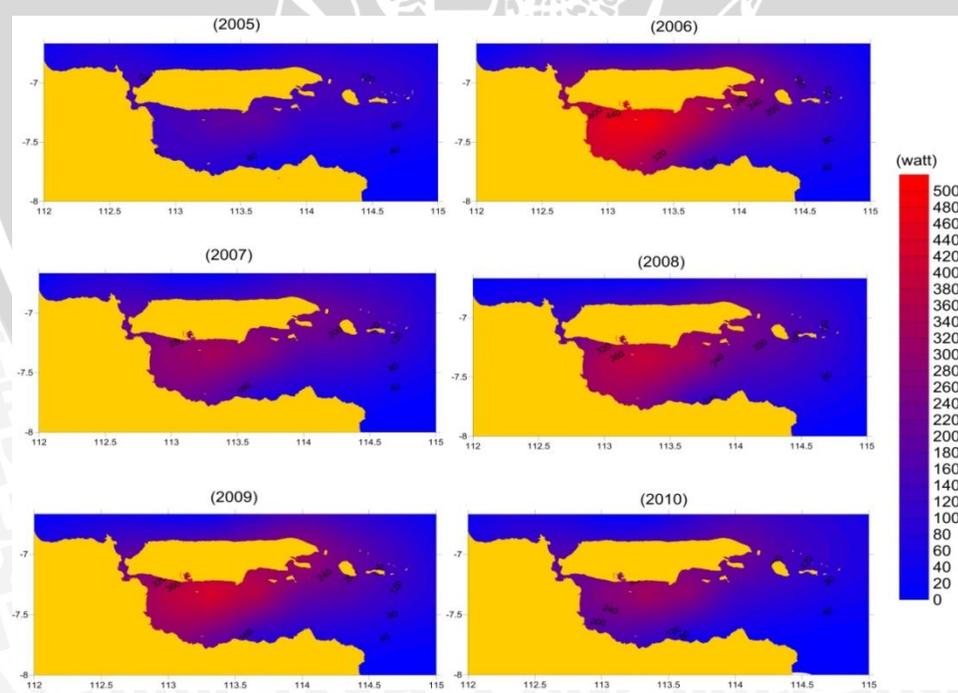


Gambar 20 Potensi Output Daya selama 11 tahun Berdasarkan Musim Menggunakan Turbin Darrieus Tipe V. (a) Musim Barat, (b) Peralihan 1, (c) Musim Timur, (d) Peralihan 2

Berdasarkan Gambar 19 dan 20, pada Musim Barat output daya yang dihasilkan oleh turbin Darrieus tipe H dan tipe V masing-masing 550 watt dan 75 watt. Pada Musim Peralihan 1 output daya yang dihasilkan oleh turbin Darrieus tipe H dan tipe V masing-masing 220 watt dan 32 watt dengan potensi dominan di perairan Selatan Sampang dan perairan Sumenep. Pada Musim Timur dan Perlihan 2 potensi dominan berada di Perairan Selatan Bangkalan atau Timur Sidoarjo. Output daya yang dihasilkan oleh turbin Darrieus tipe H dan tipe V pada Musim Timur masing-masing 540 watt dan 80. Pada Musim Peralihan 2 output daya yang dihasilkan oleh turbin Darrieus tipe H dan tipe V masing-masing 360 watt dan 52 watt.

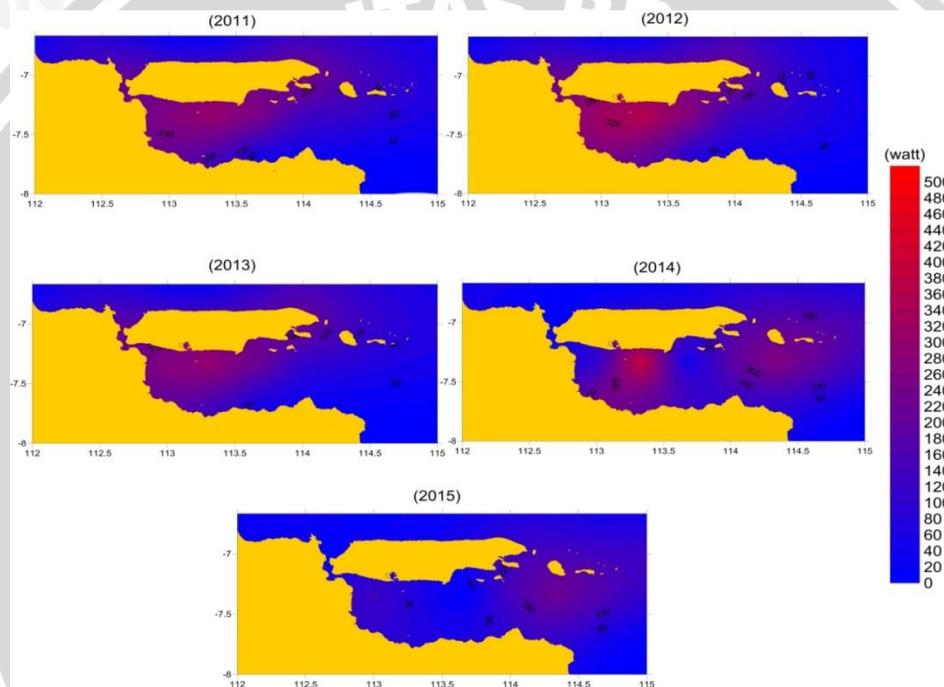
4.1.3.2 Berdasarkan Tahun

Kisaran output daya yang dihasilkan berdasarkan tahun menggunakan Turbin Darrieus Tipe H disajikan pada Gambar 21 dan 22.



Gambar 21 Potensi Output Daya Tahun 2005-2010 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H

Berdasarkan Gambar 21, Selama Tahun 2005-2010 potensi output daya yang dihasilkan menggunakan Turbin Darrieus Tipe H menunjukkan kecepatan yang bervariasi. Pada Tahun 2005 potensi output daya maksimal sebesar 200 watt berada di sisi selatan Kabupaten Pemekasan. Selama tahun 2006-2010 output daya maksimal berada di Perairan Sampang dengan output daya maksimal masing-masing sebesar 500 watt, 350 watt, 408 watt, 432, dan 336.

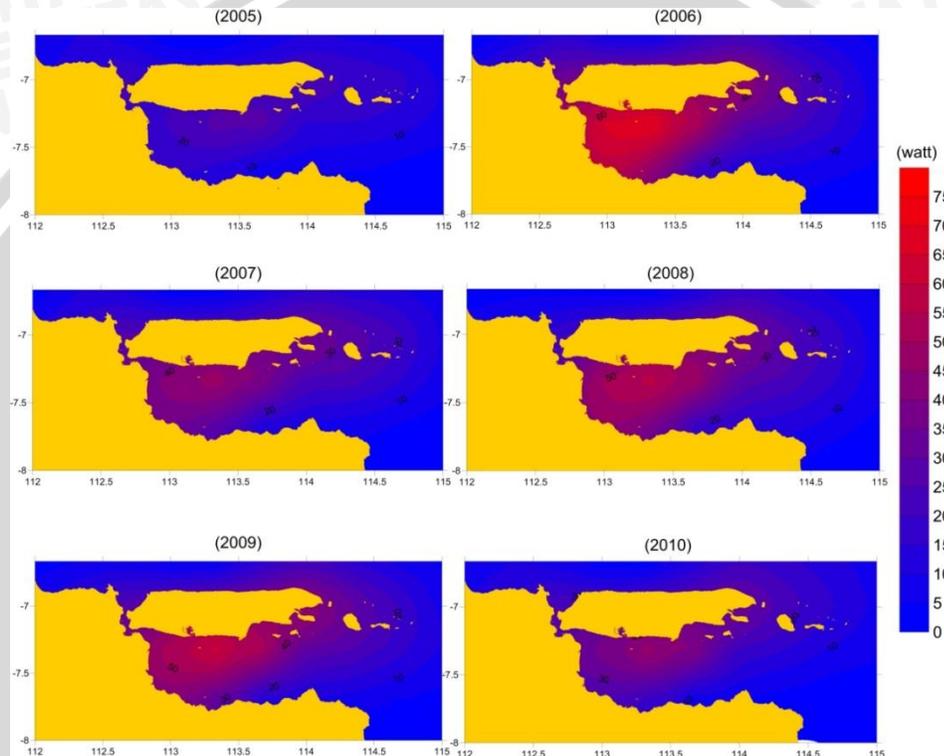


Gambar 22 Potensi Output Daya Tahun 2011-2015 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H

Berdasarkan Gambar 22, selama Tahun 2011-2013 output daya maksimal juga berada sebelah selatan Kabupaten Sampang, dengan output daya maksimal masing-masing sebesar 312 watt, 375 watt, dan 298 watt. Pada Tahun 2014 output daya berada pada sisi utara selat tepatnya sebelah selatan Kabupaten Sampang dengan output daya maksimal sebesar 408 watt. Pada Tahun 2015 output data

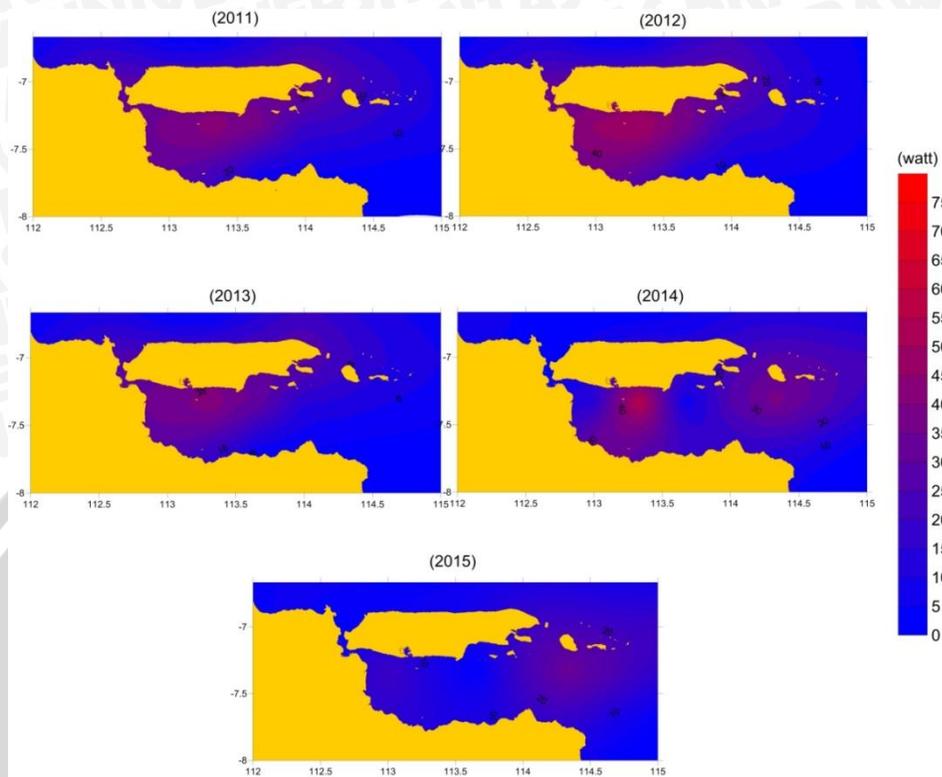
maksimal berada pada sisi timur selat tepatnya sebelah selatan Kabupaten Sumenep dengan output daya sebesar Output 230.

Kisaran output daya yang dihasilkan berdasarkan tahun menggunakan Turbin Darrieus Tipe V disajikan pada Gambar 23 dan 24.



Gambar 23 Potensi Output Daya Tahun 2005-2010 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe V

Berdasarkan Gambar 23, Selama Tahun 2005-2010 potensi output daya yang dihasilkan menggunakan Turbin Darrieus Tipe V juga memiliki kecepatan yang bervariasi. Pada Tahun 2005 potensi output daya maksimal sebesar 28 watt berada di sebelah selatan Kabupaten Pamekasan. Selama tahun 2006-2010 output daya maksimal berada sisi utara selat tepatnya sebelah selatan Kabupaten Sampang dengan output daya maksimal masing-masing sebesar 75 watt, 50 watt, 57 watt, 63 watt, dan 50 watt.

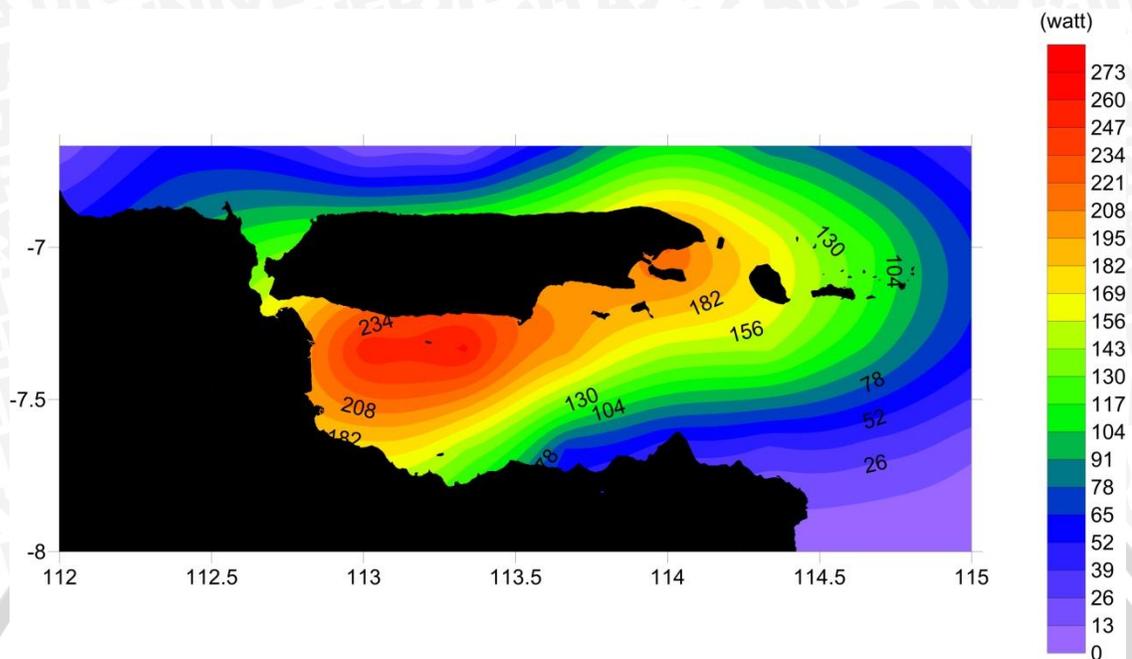


Gambar 24 Potensi Output Daya Tahun 2011-2016 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe V

Berdasarkan Gambar 24, selama Tahun 2011-2013 output daya maksimal juga berada sebelah selatan Kabupaten Sampang, dengan output daya masing-masing sebesar 44 watt, 52 watt, dan 42 watt. Pada Tahun 2014 dan 2015 output daya maksimal masing-masing berada di sebelah Selatan Kabupaten Sampang dan Sumenep yakni sebesar 57 watt dan 32 watt.

4.1.4 Kesesuaian Kawasan Berdasarkan Arus OSCAR

Kesesuaian wilayah untuk lokasi pemasangan PLTAL di Selat Madura dipertimbangkan berdasarkan rata-rata kecepatan arus selama 11 tahun mulai tahun 2005 sampai 2015 menggunakan Turbin Darrieus Tipe H sebagai alat konversi yang lebih potensial. Pada Gambar 25 disajikan Output daya PLTAL.



Gambar 25 Potensi Output Daya Tahun 2005-2015 Menggunakan Turbin Darrieus Tipe H

Berdasarkan Gambar 25 dapat dilihat bahwa selama 11 tahun mulai dari 2005 sampai 2015 output daya tertinggi berada pada perairan wilayah Sampang lalu disusul oleh selatan Kabupaten Bangkalan atau timur Sidoarjo. Wilayah lain yang berpotensi yaitu sisi timur, tenggara, dan selatan pulau Madura hingga sebelah utara Kabupaten Pasuruan dimana kisaran output daya yang dihasilkan mencapai 273 watt menggunakan Turbin Darrieus Tipe H. Jadi bagian utara Selat Madura merupakan wilayah pertimbangan untuk dilakukan analisis kesesuaian lebih lanjut sebagai lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL).

4.2 Pembahasan

Kecepatan arus paling besar mendominasi saat Musim Barat dan Musim Timur. Sebaliknya, pada Peralihan 1 dan Peralihan 2, arus yang mengalir tidak begitu besar. Menurut Sugianto (2007), pada Musim Barat angin bertiup dari sebelah barat daya Samudera Hindia dan bersifat basah sehingga secara umum terjadi

musim penghujan. Selain karena pasut pembentukan pola arus juga disebabkan oleh bentuk topografi, densitas, dan kecepatan angin, sedangkan arah arus di Selat Madura dominan bergerak dari sisi barat daya menuju ke sisi timur laut. Secara umum, arus dominan menuju timur dan tenggara. Hal ini didukung dengan pernyataan Hadi dan Radjawane (2009) dalam Fajar *et al.* (2014), bahwa kecepatan arus tertinggi pada perairan Selat Madura didominasi dengan pola arah barat daya menuju tenggara dengan kecepatan yang optimal. Karakteristik dan tipe arus di Selat Madura merupakan arus pasang surut yang dibangkitkan oleh pasang surut sebagai hasil dari interaksi bumi dan bulan, membuat periode kecepatan arus pasang surut mengikuti periode pasang surut yang membangkitkannya, pasang surut pada daerah selat khususnya Selat Madura memiliki pola hidrolis.

Perbedaan nyata antara nilai arus dari kedua sumber yakni data arus dari Situs OSCAR dan observasi lapangan disebabkan banyak faktor. Salah satu diantaranya adalah tanggal pengampilan arus saat observasi hanya dilakukan sehari yaitu pada Fase Bulan Purnama. Tipe arus yang mendominasi di Selat Madura adalah tipe Arus Pasang Surut. Menurut Fajar *et al.* (2014), potensi rapat daya di Selat Madura terbagi menjadi 4 kondisi elevasi air dan 2 fase kondisi pasut dimana kecepatan arus tertinggi terjadi saat fase purnama dan bulan baru. Perbedaan nilai permodelan dan verifikasi masih sangat besar. Namun masih dalam batas diperbolehkan karena nilai verifikasi arus tidak melebihi setengah (50%) dari data Arus OSCAR. Perhitungan data arus dari Situs OSCAR yang diunduh merupakan kecepatan arus dalam interval 5 harian. Dimana data arus yang direkam Satelit Altimetri ini adalah data Arus Geostropik. Hal ini didukung dengan pernyataan Marpaung dan Prayogo (2014), bahwa kecepatan dan arah arus geostropik dapat dihitung dari dua komponen utama u dan v sebagai hasil dari resultan. Selain itu

dinamika dan topografi perairan juga menjadi pertimbangan khususnya untuk di wilayah pesisir dalam skala sempit seperti selat. Sehingga untuk mengoptimalkan akurasi data, maka diperlukan pengambilan arus lapang yang lebih lama yang bersifat representatif untuk keseluruhan Selat Madura.

Berdasarkan musim, output daya tertinggi selama 11 tahun terjadi pada Musim Barat di sisi timur laut Selat Madura tepatnya sebelah timur Kabupaten Sumenep, sedangkan output daya terendah terjadi pada Peralihan 1 di sisi utara tepatnya di bagian selatan Kabupaten Bangkalan atau sisi timur Kabupaten Sidoarjo. Jika dilihat berdasarkan tahun, output daya yang dihasilkan bervariasi. Namun, secara umum pola persebaran potensinya sebagai PLTAL adalah sama. Pada tahun 2005 potensi output daya maksimal berada di sisi utara Selat Madura, tepatnya bagian selatan Kabupaten Pamekasan. Selama Tahun 2006-2013, output daya maksimal berada di selatan Kabupaten Sampang. Sedangkan pada Tahun 2014 dan 2015 output daya berada di dua wilayah potensial yaitu sisi utara dan timur laut Selat Madura, tepatnya bagian selatan Kabupaten Sampang dan Sumenep. Potensi output daya maksimal terjadi pada Tahun 2006. Perbedaan persebaran potensi output daya pada Tahun 2014 dan 2015 disebabkan masih kurangnya data vektor arus dari situs OSCAR sebagai bahan untuk dilakukannya simulasi permodelan pergerakan arus. Menurut Sugianto *et al.* (2007), pengamatan arus dalam skala musiman perlu memperhatikan faktor-faktor seperti salinitas, suhu, dan arah arus yang sangat bergantung pada keadaan musim dalam cakupan wilayah yang luas.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian tentang Studi Potensi Arus Laut sebagai Pembangkit Listrik di Selat Madura adalah sebagai berikut:

1. Arah pergerakan arus di Selat Madura secara umum mendominasi dari arah barat daya menuju timur. Bila dilihat dari arah bagian barat, pergerakan arus dibagi menjadi dua arah, yaitu arus yang menuju utara di bagian barat laut selat, dan arus yang menuju yang menuju bagian timur laut selat. Arus yang menuju utara, mengalami penyempitan dan berbelok menuju barat laut dan timur laut.
2. Berdasarkan musim, potensi output daya tertinggi selama 11 tahun terjadi pada Musim Barat di perairan timur laut Sumenep. Sedangkan potensi output daya terendah terjadi pada musim Peralihan 1 di perairan selatan Bangkalan atau perairan timur Sidoarjo. Rata-rata output daya sepanjang 11 tahun berada pada utara Selat Madura tepatnya selatan wilayah Sampang. Dimana kisaran output daya yang dihasilkan bisa mencapai 273 watt menggunakan Turbin Darrieus Tipe H.
3. Sepanjang sisi utara Selat Madura merupakan wilayah yang menjadi pertimbangan untuk dilakukan analisis kesesuaian lebih lanjut sebagai lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL).

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan verifikasi ulang untuk hasil data arus hasil pengolahan di setiap musim
2. Analisis lebih lanjut dengan skala lokal untuk lokasi pemasangan PLTAL
3. Jika perlu, dibuat desain atau model mula-mula PLTAL serta dilakukan pengujian langsung untuk menentukan nilai efisiensinya
4. Penggunaan metode lain atau sumber data dengan akurasi yang lebih tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Azis, Asruldin. Studi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Arus Laut di Selat Alas Kabupaten Lombok, NTB. Jurusan Teknik Elektro-FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya
- BPPH. 2014. Energi Arus Laut. BAB I-III. 34 hlm.
- Daryanto, Y. 2007. Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Balai PPTAGG-UPT-LAGG
- Desigmap. Administrasi Provinsi Jawa Timur. <https://petatematikindo.com>. Diakses pada tanggal 9 Januari 2016
- Docslide. 2015. Arus Laut. <http://dokumen.tips/documents/arus-laut.html>. Diakses pada tanggal 9 Januari 2016
- Erwandi, A. Kasharjanto, P. Sasoko, Rina, B. Wijanarko, E. Marta, D. Rahuna. 2011. Vertical Axis Marine Current Turbine Development in Indonesian Hydrodynamic Laboratory-Surabaya for Tidal Power Plant. International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE SEAM). Solo
- ESR. 2016. Ocean Surface Current Analyses Real-time. <https://www.esr.org>. Diakses pada tanggal 9 Januari 2016
- Fajar, Purwanto, dan Elis Indrayanti. 2014. Kajian Potensi Arus Laut sebagai Energi Alternatif Pembangkit Listrik di Perairan Sekitar Jembatan Suramadu Selat Madura. Jurnal Oseanografi. Vol. 3 (3): 294-303
- Hadi, S. dan I. M. Radjawane. 2009. Diktat Kuliah Arus. Institut Teknologi Bandung: BandungIlahude A.G., 1999. Pengantar ke Oseanologi Fisika. LIPI. 240 hlm.
- Ilahude, A.G. 1999. Pengantar ke Oseanografi Fisika. LIPI. 240 hlm.
- LIPI. 2015. Sumber Energi Arus: Alternatif Pengganti BBM, Ramah Lingkungan, dan Terbarukan. <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1125749769&4>. Diakses pada tanggal 26 Februari 2015.
- Ludji, Joy Ferdinand, Verdy A. Koehuan, dan Nurhayati. Analisis Efisiensi Sistem Osilator Kolom Air sebagai Pembangkit Daya Tenaga Gelombang Laut. *Lontar*. Vol 1 (2): 22-25
- Marpaung, Sartono dan Prayogo, Teguh. 2014. Analisis Arus Geostropik Permukaan Laut Berdasarkan Data Satelit Altimetri. Seminar Nasional Penginderaan Jauh. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh – Lapan.

- Martono. 2009. Karakteristik dan Variabilitas Bulanan Angin Permukaan di Perairan Samudera Hindia. *Makara Sains* Vol. 13 No. 2, hal 157-162.
- Nurhayati 2006 Nurhayati. 2006. Distribusi Vertikal Suhu, Salinitas dan Arus Di Perairan Morotai, Maluku Utara. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta
- Palaguna, Dyas. 2016. Gerakan Air Laut. <https://www.academia.edu>. Diakses pada tanggal 9 Januari 2016
- Podaac. 2015. OSCAR Third Degree Resolution Ocean Surface Currents. <https://podaac.jpl.nasa.gov>. Diakses pada tanggal 9 Januari 2015.
- Sudargana, dan R. Gurus Kis Yuniarso. 2012. Analisa Perancangan Turbin Darrieus pada Hydrofoil NACA 0015 dari Karakteristik CL dan CD pada Variasi Sudut Serang Menggunakan Regresi Linier pada Matlab. *Rotasi*. Vol. 14 (1): 21-28
- Sverdrup, H.U., Johnson, M.W. and Fleming, R.H., 1961. *The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice-Hall, INC. Englewood Cliffs, N.J. 1087 pp
- Sugianto, Deni Nugroho dan ADS, Agus. 2007. Studi Sirkulasi Arus Laut di Perairan Pantai Provinsi Sumatera Barat. *Ilmu Kelautan*. Vol. 12 (2):79-92
- Trimulyono, Andi dan Berlian Arswendo A. 2012. Perancangan Turbin ArusLaut Untuk Daerah Pesisir Pantai Tipe Kobold Dengan Bilah Hlift Dan Naca 1108 Yang Dimodifikasi Dengan Computational Fluid Dynamic (CFD). *Kapal*. 9: 3-148.
- Wibisono, M.S. 2011. *Pengantar Ilmu Kelautan*. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Widyastuti, Rahma, Handoko, Eko Yuli, dan Suntoyo. 2009. Permodelan Pola Arus Laut Permukaan di Perairan Indonesia Menggunakan Data Satelit Altrimetri Jason-1. *Teknik Kelautan*, Fakultas Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Wind & Wet, 2015. Experimental Vertical Axis Wind Turbines (VAWT). [http:// www.windandwet.com](http://www.windandwet.com). Diakses pada tanggal 9 Januari 2016.

LAMPIRAN

1. Lampiran 1 Dokumentasi Observasi Lapang



(Kondisi Perairan Camplong Lepas Pantai)



(Kondisi Pantai Camplong Saat Surut)

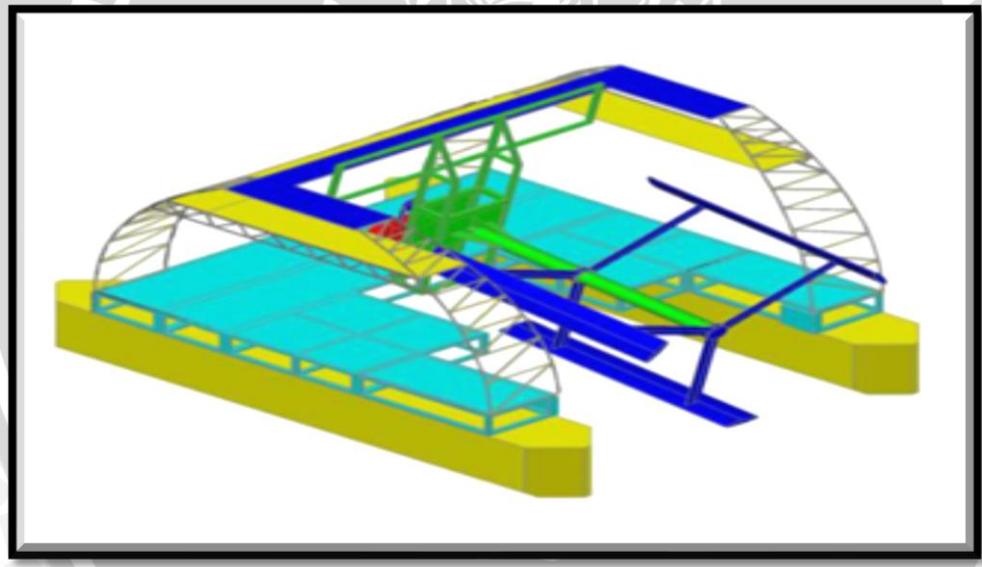


(Alat dan Bahan)

2. Lampiran 2 Turbin Darrieus



(Rotor Turbin Darrieus)



(Ilustrasi Turbin Darrieus)

3. Lampiran 3 Pengukuran Parameter di Lapangan



(Pengukuran Kedalaman)



(Pengukuran Salinitas)



(Monitoring nilai suhu dan kedalaman)



(Dokumentasi parameter perairan)



(Team Project PLTAL)