

KAJIAN PEMANFAATAN ENERGI ARUS LAUT DI INDONESIA

Study on the Implementation Of Marine Current Energy In Indonesia

Afian Kasharjanto¹, Daif Rahuna¹ dan Rina¹

¹Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT, Surabaya

Email: afian.kasharjanto@gmail.com

Diterima: 4 September 2017; Direvisi: 7 November 2017; Disetujui: 26 Desember 2017

Abstrak

Di Indonesia, masih belum banyak para peneliti yang melaksanakan penelitian tentang energi terbarukan arus laut. Padahal sebagai negara kepulauan yang memiliki potensi energi dari laut sangat melimpah, kegiatan penelitian ini harus segera dilaksanakan lebih serius lagi. Dalam hal tersebut, pemerintah telah mengeluarkan sejumlah kebijakan untuk mempermudah dan merangsang minat para peneliti agar tertarik melakukan penelitian. Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT (BTH-BPPT) telah melaksanakan sejumlah kajian mulai dari pemetaan numerik potensi energi arus laut sampai uji coba turbin di laut sejak tahun 2006. Terakhir tahun 2017, telah dilaksanakan uji kinerja turbin poros ganda di Jembatan Suramadu. Setelah itu penelitian dihentikan karena masalah prioritas dana penelitian untuk kegiatan yang lain. Metode pengujian adalah melalui uji kinerja turbin di laut kemudian dilakukan pengamatan besaran putaran rotor serta daya listrik yang dihasilkan sebagai fungsi dari kecepatan dan arah arus laut. Meskipun secara keseluruhan belum berhasil secara maksimal, tetapi setidaknya hasil penelitian dapat dijadikan sebagai referensi bagi pelaksanaan penelitian di Indonesia. Hasil penelitian ini telah mendapatkan dua buah sertifikat Hak Paten. Tulisan ini hanya sebagai informasi dan referensi tambahan bagi pengembangan penelitian di Indonesia.

Kata kunci: energi terbarukan, turbin arus laut, Jembatan Suramadu

Abstract

It is still not have been widely researched by institutions which are conducting researchs related on renewable energy (marine current) in Indonesia. But as an archipelago country with potential energy from the sea that are very abundant, it should be done more seriously. Government has issued numbers of policy by making it easier and more attracted the interest of individuals/institution to conduct research activity. In contribution to that spirit, Balai Teknologi Hidrodinamika BPPT (BTH-BPPT) has initiated research activities in marine current development through marine current energy implementation since 2006. Finally, in 2017 has been conducted final performance test of serial testing of twin turbine. After that, research was postponed because BPPT should divert to another topic. Suramadu Bridge is chosen to be the site of testing because it is close to BPPT's workshop and save operational cost. The full scale's performance test activities was carried by observing rotor rotation and electricity output as function of current speed and direction. Although it is not fully succeeded, but the research is expected can be used as a reference for other research's activities in Indonesia.

Research has been produced two Property Right certificates. This paper is just as information and added reference to be used for other research activity in marine current energy's development in Indonesia.

Keywords: *renewable energy, marine current turbine, suramadu bridge*

PENDAHULUAN

Populasi penduduk Indonesia yang sangat pesat, menjadi faktor meningkatnya konsumsi energi. Hal ini jelas bertolak belakang dengan jumlah energi yang tersedia, sehingga sangat diperlukan solusi cepat dan tepat untuk mengatasinya. "Semua butuh listrik. Jika energi laut dimanfaatkan, pasti akan sangat membantu, menurut Mukhtasor (Dadang, 2011). Untuk mendukung percepatan pemanfaatan potensi sumber energi tersebut (arus laut), pemerintah melalui Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) telah membuat program kebijakan dan produk-produk hukum untuk memfasilitasi para peneliti, industri dan perguruan tinggi lebih semangat dalam melakukan penelitian. ESDM misalnya, telah mengusulkan sebuah *roadmap* pembangunan di bidang pembangunan energi di Indonesia. Pembuatan *roadmap* tersebut didasarkan pada kebijakan pemerintah melalui Undang Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, dan RPJMN 2015-2019. Juga telah disusun RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) sesuai Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 yang bertujuan untuk mewujudkan kemandirian energi serta mewujudkan ketahanan energi nasional. Potensi Indonesia sangat besar di bidang pengembangan energi dari laut, karena secara geografis, di Indonesia banyak sekali selat-selat dengan potensi kecepatan arus sekitar 2.0 meter/detik atau lebih. Kecepatan ini sudah cukup memadai untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik sehingga harapan agar Indonesia memiliki kemampuan ketahanan energi melalui kontribusi dari sumber energi laut dapat terealisasi.

Tipe turbin dibagi dua, yaitu turbin *horizontal axis* dan turbin *vertical axis*. Turbin *horizontal axis* berputar terhadap sumbu horisontalnya. Sementara *vertical axis turbine* dibagi menjadi tiga jenis turbin yaitu, *savonius turbine*, *darrieus turbine* dan *h-rotor turbine*. Ketiga jenis turbin itu dibedakan berdasarkan jenis *blade*-nya (Rivantoro dan Arief, 2015). Tipe turbin yang sesuai untuk perairan Indonesia adalah

sistem terapung poros vertical tipe Darrieus seperti yang digunakan oleh BPPT. Kelebihan tipe ini adalah tidak tergantung arah aliran (karena bentuk simetri) serta mampu beroperasi pada *head* dan kecepatan arus rendah (El-Sayed, dkk., 1995).

Keuntungan energi arus laut selain bersifat ramah lingkungan juga mempunyai intensitas energi kinetik yang besar. Karena kerapatan air laut 830 kali lipat dibandingkan dengan udara sehingga daun turbin arus laut akan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan daun turbin angin. Turbin arus laut juga tidak memerlukan rancangan struktur dengan kekuatan berlebihan seperti halnya turbin angin yang dirancang dengan memperhitungkan adanya angin topan karena kondisi fisik pada kedalaman tertentu cenderung tenang dan dapat diperkirakan (Erwandi, 2005).

Dalam skala internasional, penelitian pengembangan energi laut sudah lama dilakukan bahkan sudah di manfaatkan khususnya di beberapa negara maju, seperti Inggris, Jepang, Korea, Amerika, Perancis dan lain-lain. Tetapi di Indonesia belum banyak yang melakukan penelitian apalagi sampai ke tingkat uji prototipe. Hal ini yang menyebabkan perkembangan penelitian energi arus laut di Indonesia masih jauh ketinggalan dibandingkan dengan negara-negara lain, padahal Indonesia adalah negara maritim dengan banyak selat yang memiliki potensi sumber energi dari laut sangat besar. Dengan potensi 13466 pulau besar dan kecil, luas wilayah 9.8 juta km² (81% adalah laut), panjang garis pantai 99093 km seharusnya sumber-sumber energi berbasis dari laut dapat dimanfaatkan untuk kemakmuran dan kemandirian bangsa.

TINJAUAN PUSTAKA

Arus laut (*sea current*) adalah gerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horisontal (gerakan ke samping). Contoh gerakan itu salah satunya adalah gaya Coriolis, yaitu gaya yang membelok arah arus dari tenaga rotasi bumi. Pembelokan itu akan mengarah ke kanan di belahan bumi utara dan manganarah ke kiri di belahan bumi selatan. Gaya ini

yang mengakibatkan adanya aliran Gyre yang searah jarum jam (ke kanan) pada belahan bumi utara dan berlawanan dengan arah jarum jam di belahan bumi selatan. Perubahan arah arus dari pengaruh angin ke pengaruh gaya Coriolis dikenal dengan spiral Ekman (Surinati, 2011).

Daya keluaran dari pembangkit listrik arus laut dapat diperoleh melalui persamaan berikut (Azis, 2010):

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \quad (1)$$

dengan:

P = daya output (watt)

ρ = berat jenis air (1025 kg/m³)

A = luas permukaan turbin (m²)

V = kecepatan arus (m/s)

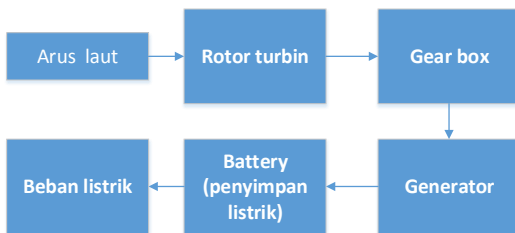
Dengan mempertimbangkan bahwa pembangkit energi arus laut memiliki *losses* di turbin, maka persamaan daya keluaran pembangkit menjadi:

$$P = C_p \times 0.5 \times \rho \times A \times V^3 \quad (2)$$

dengan:

CP = konstanta performa turbin

Teknologi arus laut adalah teknologi yang sederhana dan *applicable* bagi semua orang. Siapapun yang tertarik untuk mengembangkan dapat melakukannya. Prinsip dasar kerja turbin arus laut adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Sistem kerja turbin

Gambar 1 menunjukkan mekanisme kerja turbin secara global. Rotor turbin berputar karena gaya dari arus laut menuju bilah turbin. Putaran ini oleh *gear box* akan dipercepat dengan perbandingan tertentu sesuai dengan putaran minimum yang dibutuhkan generator berputar. Listrik dari generator kemudian disimpan dalam *battery* untuk disalurkan ke beban (lampu penerangan, peralatan listrik lainnya). *Battery (accu)* juga berfungsi sebagai penyimpanan daya listrik yang akan dimanfaatkan apabila tidak ada arus laut (rotor tidak berputar).

Generator merupakan peralatan utama yang akan merubah energi mekanis putaran rotor menjadi energi listrik. Selanjutnya untuk menstabilkan daya listrik generator yang masih yang naik turun mengikuti naik turunnya kecepatan arus laut maka *output* listrik AC (*alternating current*) tiga fase diubah menjadi arus DC (*direct current*). Arus DC diubah kembali menjadi AC stabil bertegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz melalui inverter kapasitas 2 kW. Besar kecilnya luaran daya listrik tergantung pada kecepatan arus laut yang dihasilkan untuk dapat memutar bilah turbin (dengan ukuran tertentu sesuai perencanaan) serta kapasitas daya generator. Semakin besar kapasitas daya generator yang dipasang, semakin besar pula daya listrik yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Kegiatan yang dilakukan adalah hasil dari serangkaian kegiatan yang panjang sejak tahun 2006 melalui pengujian secara langsung turbin arus laut skala 1:1. Alasan bagi tim peneliti BTH-BPPT menetapkan penggunaan turbin skala kecil atau menengah sebagai pilihan yang diteliti adalah karena kapasitas yang dianggap ideal di Indonesia bukan turbin skala besar (> 1 MW) karena kondisi perairan di Indonesia tidak terlalu dalam. Disamping itu juga karena:

1. Sebaran penduduk Indonesia di pulau-pulau kecil cenderung tidak merata (dalam jumlah sedikit tetapi menyebar).
2. Sifat kebanyakan kecepatan arus laut rata-rata kecepatan menengah (sekitar 2 meter/detik), meskipun ada beberapa yang di atas kecepatan tersebut.
3. Infrastruktur daerah untuk perakitan turbin minim sehingga sulit untuk turbin skala besar.
4. Fasilitas alat pendukung (*crane, barge, berth*, dll.) di daerah sangat minim.
5. Industri pendukung di daerah tidak ada/sedikit.
6. Standarisasi dan regulasi energi arus laut belum ada.
7. Sertifikasi untuk alat, personil, maupun prosedur belum ada.

Kegiatan penelitian dimulai dengan:

- Pemetaan secara numerik potensi arus laut di seluruh selat-selat di Indonesia yang dapat di manfaatkan menjadi listrik.
- Pengujian di lakukan di BTH-BPPT.
- Pengujian skala prototipe di laut (skala 2 kW

sampai 10 kW melalui pembuatan turbin skala 1:1.
- Lokasi yang digunakan adalah Selat Flores-NTT dan Selat Madura (dibawah Jembatan Suramadu).

Data kerja turbin yang dihasilkan adalah berdasarkan pencatatan data:

- Kecepatan arus laut
- Arah arus laut
- Putaran generator
- Luaran daya listrik

HASIL KEGIATAN

Kegiatan Penelitian dan Pengembangan Turbin Arus Laut di BTH-BPPT

Peranan BTH-BPPT dalam kegiatan pengembangan penelitian energi arus laut di Indonesia sangat besar. Sejak tahun 2006 para perekayasa BTH-BPPT telah memulai kegiatan penelitian ini. Disamping arus laut, BPPT juga telah melakukan beberapa pengujian energi terbarukan yang dihasilkan dari laut (turbin gelombang, turbin angin dari laut (FWT), *wave dragon*, *Oscillating Water Column* (OWC)).

Fasilitas yang ada di BTH-BPPT antara lain:

1. Memiliki laboratorium hidrodinamika yang satu-satunya ada di Indonesia dengan fasilitas selain untuk uji model kapal dan bangunan laut, juga dapat dimanfaatkan untuk uji model turbin arus laut.
2. Mempunyai SDM yang telah lama terlibat pelaksanaan penelitian arus laut.
3. Telah melakukan uji model dan uji prototipe di sejumlah wilayah laut Indonesia Timur dan telah mendapatkan sertifikat HAKI.

Dengan pengalaman tersebut, seharusnya kita sudah siap untuk beralih ke tahap pemanfaatan/komersialisasi hasil listrik dengan melakukan kerjasama dengan mitra swasta. Perkembangan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 tersebut mempresentasikan proses perkembangan penelitian turbin arus laut yang dimulai dari konsep desain awal tahun 2006-2008 dimana pada saat itu dilakukan perhitungan desain secara numerik dan dilakukan pula pemetaan lokasi kandidat (Selat Larantuka-Flores NTT) sebagai tempat uji coba turbin arus laut, serta pembuatan desain dan manufaktur model uji turbin skala laboratorium untuk pengujian di kolam uji. Pada tahun 2009 sampai dengan 2016 dilakukan pembuatan desain dan manufaktur prototipe turbin arus laut beserta pengembangan modifikasi dan

uji sebenarnya di laut, pengujian dilakukan di Selat Flores (Larantuka) dan Selat Madura (dibawah kaki Jembatan Suramadu).



Turbin Arus Laut Generasi ke-I Kapasitas 2 kW

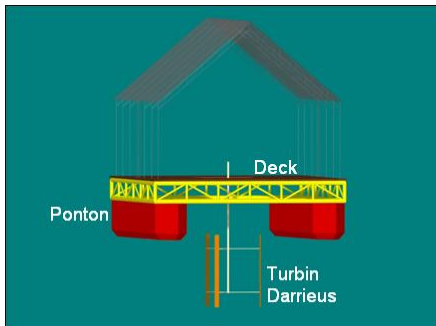
Turbin Arus Laut Generasi ke-I adalah prototipe yang pertama kali di buat pada tahun 2008 dengan kapasitas turbin 2 kW dan telah di uji cobakan di Selat Flores-NTT. Meskipun masih terdapat bayak kekurangan dikarenakan prototipe tersebut merupakan pengalaman pertama kali di buat, tetapi data hasil uji coba di laut sangat bermanfaat untuk di gunakan sebagai masukan dalam desain turbin tahap berikutnya. Desainnya sangat sederhana. Dimensi rotor turbin didasarkan pada data hasil desain numerik dan data hasil uji coba model di kolam uji Towing Tank – Balai Teknologi Hidrodinamika. Hampir seluruh komponen dalam pembuatan prototipe tersebut adalah komponen dalam negeri, hanya generator dan *inverter* yang dibeli dari luar negeri. PLTAL yang dikembangkan BTH-BPPT didesain untuk arus laut rendah tapi menghasilkan arus listrik tinggi (Erwandi, 2010).

Adapun data-data prototipe turbin yang diuji coba adalah sebagai berikut:

Type	: Darrieus
Jumlah bilah	: 3 buah
Diameter turbin	: 2.0 m
Panjang bilah	: 2.0 m
Lebar bilah (C_l)	: 0.18m
Ponton	: 8 x 6 meter
Efisiensi terukur	: 35%,
Generator	: 3.5 kW
Putaran generator	: 250 rpm
Sistem operasional	: Naik-turun (vertikal)

Gambar 3 mempresentasikan desain dari pembangkit listrik tenaga arus laut dengan sistem apung generasi pertama. Terdapat dua buah ponton yang berfungsi sebagai pengapung, kemudian kedua ponton

dihubungkan dengan konstruksi *cremona* yang sisi atasnya adalah geladak berfungsi untuk tempat penyimpanan peralatan mekanik dan sistem kelistrikan.



Gambar 3. Prototipe turbin kapasitas 2 kW Generasi ke-I



Gambar 4. Uji prototipe turbin arus laut 2 kW di Selat Flores

Gambar 4 mempresentasikan saat uji coba turbin ditengah laut. Turbin berhasil berputar sehingga gaya tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik, saat uji coba pembangkit listrik tenaga arus laut mampu menghasilkan listrik dengan fluktuasi antara 900–2000 Watt.

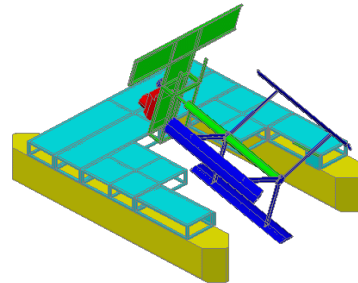
Dalam uji coba pertama memang jauh dari kesempurnaan, beberapa kendala yang terjadi disaat uji coba berlangsung antara lain adalah patahnya lengan poros (*radial arms*) pada sambungan las dan turbin sempat terseret arus sampai 200 meter akibat kecepatan arus yang besar dan pada saat itu kapasitas jangkar tidak mampu menahan gaya arus yang terjadi.

Turbin Arus Laut Generasi ke-II Kapasitas 10 kW

Desain ulang dilakukan untuk memperbaiki kinerja turbin arus laut generasi pertama dengan melakukan kajian kekuatan beberapa struktur dari turbin. Melalui kerjasama penelitian antara BPPT dengan Pemerintah Daerah Kabupaten Flores Timur. Kegiatan dilanjutkan lagi dengan desain dan pengujian prototipe kapasitas yang lebih besar, yaitu 10 kW.

Perbaikan desain yang dilakukan antara lain:

- Perbaikan bentuk desain sistem poros dan bangunan atas menjadi sistem jungkit.
- Penambahan pemberat tali tambat (sistem *mooring*) sehingga turbin tidak terseret arus.
- Menambah jumlah generator menjadi tiga buah, masing-masing kapasitas 3.5 kW.



Gambar 5. Desain turbin kapasitas 10 kW sistem jungkit

Gambar 5 adalah desain turbin pembangkit listrik arus laut generasi kedua, dimana data turbin kapasitas 10 kW adalah sebagai berikut:

Ponton	: 8 x 6 Meter
Bilah turbin (<i>blade</i>)	: 2.5 x 0.25 meter
Panjang lengan	: 1.8 meter
Jumlah lengan	: 6 buah
Generator	: 3 x 3500 watt
Sistem operasional	: Jungkit



Gambar 6. Lampu berhasil menyala pada malam hari (Turbin 10 kW)

Gambar 6 menunjukkan uji coba pada malam hari. Pada saat itu listrik sudah menyala dan dapat digunakan sebagai penerangan sekitar turbin. Tetapi karena gaya *axial* dari arus laut yang tidak stabil, menyebabkan beban gaya dinamis arus laut yang kadang besar kadang kecil (*torsional vibration*). Gaya ini menyebabkan sambungan pada *flange* penghubung poros atas dan poros bawah lepas sehingga rotor tidak dapat berputar. Uji coba berhenti dan turbin di bawah

ke Surabaya untuk perbaikan dan analisa penyebab kegagalan uji coba. Pada Gambar 7 memperlihatkan poros yang terlepas saat uji coba berlangsung.



Gambar 7. Sambungan poros lepas

Turbin Arus Laut Generasi ke-III Kapasitas 10 kW

Mulai tahun 2012, kegiatan BPPT telah beralih ke tahap pengujian di bawah Jembatan Suramadu. Pertimbangan awalnya adalah jika terjadi kegagalan pengujian atau perlu penggantian *spare part*, akan mudah didapat karena dekat lokasi Surabaya.

Sebenarnya ada beberapa perbedaan antara pengujian di Selat Madura dengan Selat Flores, antara lain kondisi arus yang terjadi di Selat Madura tidak sekencang arus di Selat Flores. Kecepatan berkisar antara 1.2 m/s sampai dengan 2.0 m/s, kondisi laut bergelombang dengan tinggi gelombang yang bisa mencapai 1 meter dengan rata-rata tinggi gelombang setiap hari 0.5 meter.

Berdasarkan pada data tersebut selanjutnya dilakukan modifikasi bentuk turbin. Desain turbin ditujukan untuk mampu untuk mengkonversi energi kinetik dari arus sekaligus juga mampu untuk mengkonversi energi potensial yang tersimpan dalam energi gelombang. Desain turbin dilakukan dengan menrubah sudut bilah turbin sehingga turbin mampu untuk menyerap atau mengkonversi energi potensial dari gelombang. Sudut bilah akan di variasi, dengan tujuan agar diketahui pada sudut berapa turbin paling efektif dalam menyerap energi arus dan energi gelombang

Prototipe turbin kapasitas 10 kW dengan variasi sudut yang diuji coba di Selat Madura antara lain:

1. Bilah dengan sudut 0°
2. Bilah turbin dengan sudut 45°
3. Bilah turbin dengan sudut 60°

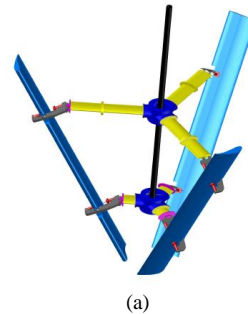
Tujuan desain tipe V adalah di samping untuk menyerap eneri dari arus laut, turbin juga mampu menyerap energi dari gelombang (*teknologi hybrid*) sebagai solusi atas kecepatan arus laut di kawasan

Jembatan Surabadu yang tidak terlalu besar (dikhawatirkan rotor turbin tidak berputar).

Spesifikasi turbin generasi ketiga adalah sebagai berikut:

- Sistem turbin : Terapung
- Ponton (2 buah) : 8 x 6 Meter
- Jumlah bilah : 3 buah
- *Foil type of blade* : NACA 018
- *Turbine top diameter* : 3.60 meter
- Generator : 3500 watt
- Sistem operasional : Jungkit

Gambar 8 memperlihatkan desain turbin arus laut generasi ketiga dengan sudut bilah yang bisa diubah. Penggantian sudut dilakukan dengan mengganti panjang dari *radial arm*, dimana pada setiap *radial arm* bagian atas dan bagian bawah telah didesain sedemikian rupa untuk memudahkan penggantian sudut pada bilah turbin.



(a)



(b)

Gambar 8. Desain turbin variasi sudut 45° kondisi saat pemasangan di laut

Pada Gambar 8 (b) memperlihatkan meskipun pada posisi masih miring/belum tegak 90° , rotor sudah dalam kondisi mulai berputar yang artinya kinerja turbin sangat baik karena sudah berputar meskipun rotor belum sepenuhnya tercelup air (*self starting*).

Twin Turbin Arus Laut Generasi ke-IV Poros Ganda (*Twin Hull*) Kapasitas 10 kW

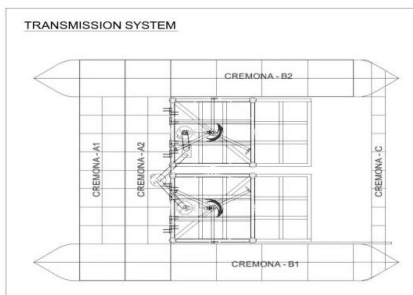
Kegiatan ini merupakan hasil kerjasama dengan tim peneliti dari Balitbang Kelautan dan

Perikanan–KKP (Kasharjanto, dkk., 2017). Penetapan lokasi uji coba turbin di Jembatan Suramadu, karena:

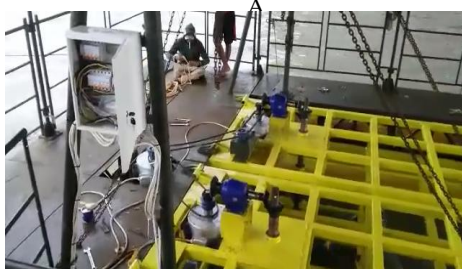
1. Jembatan Suramadu adalah jembatan terpanjang dan menjadi ikon di Indonesia.
2. Dekat lokasi kegiatan sehingga dapat menghemat biaya operasional selama proses uji coba berlangsung.
3. Meskipun kecepatan arus laut tidak terlalu besar jika di banding dengan kawasan Indonesia Timur, tetapi sudah cukup memadai untuk bisa menggerakkan rotor turbin berputar.
4. Aman dan nyaman, karena tempat kegiatan berada pada pos pantauan keamanan TNI-AL.

Ukuran Turbin Generasi ke-IV:

- Panjang : 8.0 meter
- Lebar : 6.0 meter
- Tinggi : 1.0 meter
- Sarat : 0.5 meter
- Displacement : 8000 kilogram
- Jumlah rotor : 2 buah
- Bilah Turbin : 2.183 x 0.186 meter
(3 buah / rotor)



Gambar 9. Desain Turbin Generasi ke-IV (rotor ganda)



Gambar 10. Posisi peletakan turbin di laut

Paramater yang di ukur/diamati adalah:

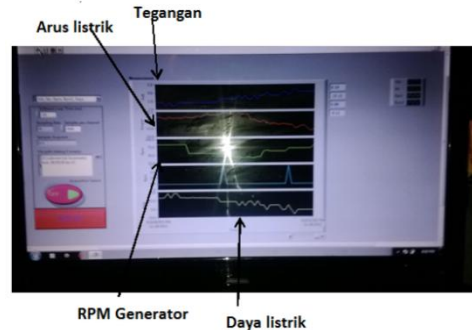
1. Arah dan kecepatan arus laut setiap jarak satu jam sekali selama dua puluh empat jam terus menerus.
2. Mengukur putaran rotor turbin (RPM).
3. Mengukur putaran generator.

4. Mengukur tegangan (V), voltase (Volt), arus listrik (A) yang dihasilkan inverter sebagai fungsi dari putaran generator.

Untuk Turbin Generasi ke-IV karena menggunakan 3 (tiga) buah generator 3500 Watt, maka inverter yang digunakan juga sebanyak 3 (tiga) buah, masing-masing untuk mengukur data 1 (satu) generator.



Gambar 11. Inverter listrik



Gambar 12. Display data hasil pengujian

Inverter berfungsi mengubah arus listrik dari generator menjadi arus AC. Ada 3 (tiga) buah inverter yang masing-masing dihubungkan pada 1 (satu) generator (3500 Watt). Dari alat ini, kita dapat mengetahui secara visual luaran tegangan (V) dan arus listrik per satuan waktu (I).

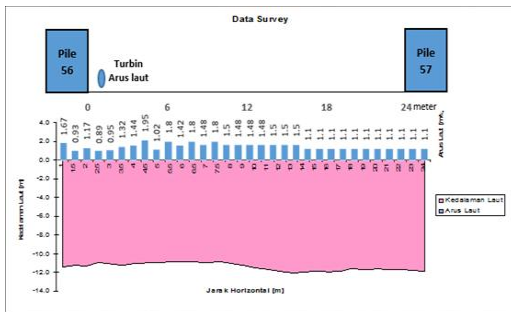
Selanjutnya semua data hasil pengujian di ukur secara *realtime* dan dihubungkan ke laptop seperti Gambar 12.

PEMBAHASAN

Dari beberapa kali proses pengujian, dapat diketahui hasil pengujian dari masing-masing tipe

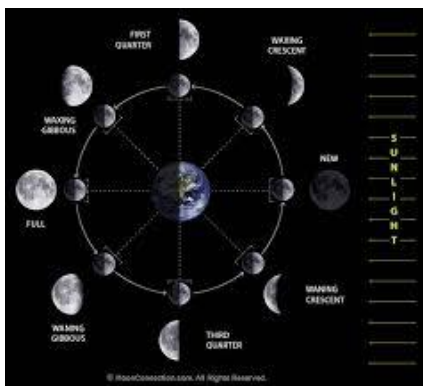
turbin. Lokasi yang digunakan untuk pengujian adalah sama, yaitu dibawah Jembatan Suramadu kecuali untuk dua pengujian tahap awal yang masih di uji di Selat Flores, tahun 2010 - 2011.

Kondisi kedalaman laut yang ada di sekitar Jembatan Suramadu (sebagai lokasi pengujian turbin) berdasarkan hasil survei pengukuran tim BTH adalah sebagai berikut:



Gambar 13. Data kedalaman perairan dan kecepatan arus laut di Jembatan Suramadu

Pengukuran dilakukan oleh tim perekayasa BTH pada daerah diantara *pile* nomor 56 dan 57 Jembatan Suramadu dengan jarak antar *pile* 24 meter. Antar *pile* dihubungkan dengan tali yang telah diberi tanda pada setiap jarak satu meter. Alat pengukuran yang digunakan adalah *current meter* (kecepatan arus) dan senter kedalaman. Tim menyeberang dengan menggunakan Perahu dan pada setiap jarak tertentu diukur besarnya kecepatan arus laut dan kedalaman perairan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan arus laut terukur hanya sebesar 1.95 meter/detik pada posisi sekitar 4.5 meter dari *pile* 56 (lokasi dimana turbin dipasang).



Gambar 14. Siklus posisi bulan terhadap bumi

Pada proses pengujian, pengukuran dan pengamatan dilakukan secara langsung setiap hari

dimana arus laut yang di ukur adalah arus akibat dari kondisi pasang surut pengaruh gaya gravitasi dari hubungan antara bumi, bulan dan matahari.

Sama seperti di Jembatan Suramadu, pengujian di Selat Flores juga dilakukan melalui pengamatan langsung kinerja turbin. Saat pengalaman awal desain turbin (skala 2 kW), tim dari BTH belum mengetahui detail kondisi lingkungan perairan Selat Flores serta perencanaan yang kurang matang sehingga menyebabkan banyak sekali kendala yang dihadapi. Jangkar yang dibeli dari pasaran hanya cocok untuk kecepatan arus rendah dan kapasitasnya kurang besar untuk ukuran arus laut dengan kecepatan diatas 3-4 meter/detik serta konstruksi sambungan kepala jangkar dan batang jangkar yang hanya di las sederhana menyebabkan sambungan tersebut lepas dan ponton terhanyut oleh arus deras.

Perbaikan dilakukan dengan menyempurnakan desain turbin menjadi sistem jungkit dilakukan pada tahap berikutnya. Kelebihan sistem jungkit adalah momen gaya yang dibutuhkan untuk mengangkat rotor turbin menjadi lebih ringan. Berat jangkar diperbesar menjadi 250 kg dengan tipe plat cor. Desain daya luaran listrik turbin di perbesar menjadi 10 kW dengan menambah jumlah generator menjadi 2x5000 Watt.

Dari perhitungan daya listrik yang dihasilkan (sesuai dengan Persamaan 1) dapat kita ketahui besaran daya operasional turbin berdasarkan data hasil pengukuran kecepatan arus laut, putaran turbin dan putaran generator. Tabel di bawah ini menunjukkan besarnya daya yang dihasilkan oleh masing-masing turbin.

Tabel 1. Listrik yang dihasilkan pada tiap tahapan proses pengujian turbin arus laut

No	Tipe poros	Lokasi uji coba	Daya listrik (Watt)
1	2 kW, vertikal	Selat Flores	2 kW, arus 1.4 m/dtk
2.	10 Kw, sistem jungkit	Selat Flores	Belum sempat menghasilkan listrik
3.	10 kW, sudut rotor 45 ⁰	Suramadu	2.328 kW efisiensi. 39%, arus 2 m/dtk
4.	10 kW, rotor 60 ⁰	Suramadu	1.645 kW efisiensi. 39% Arus 2 m/dtk
5.	10 kW, twin turbine	Suramadu	3.1 kW efisiensi 43 % arus 2 m/dtk

Dari Tabel 1 di atas dapat diketahui bahwa pada dasarnya proses penelitian pengembangan turbin arus laut pada tiap tahapan telah mengalami kemajuan.

Hasil luaran daya listrik pada setiap tahap pengujian tidak sesuai dengan yang perhitungan perencanaan karena:

1. Belum mempertimbangkan besaran gaya gesek antar material turbin. sehingga luaran daya listrik lebih kecil dari perencanaan, tetapi dari setiap tahap pengujian telah terjadi peningkatan luaran daya listrik dikarenakan telah dilakukan perbaikan dalam pemilihan material komponen dan sistem transmisi.
2. Pada Tabel 1 nomor 2, tidak dapat menghasilkan luaran daya listrik dikarenakan telah terjadi kerusakan poros turbin pada tahap awal pengujian akibat tidak mampu menahan gaya arus laut "poros patah" sehingga daya listrik tidak terukur.
3. Selama proses pengujian di lokasi Jembatan Suramadu, terjadi peningkatan kinerja turbin akibat dari proses perbaikan material dan sistem transmisi mekanik, tetapi hasil luaran daya belum optimal dikarenakan kecepatan arus laut di lokasi Jembatan Suramadu relatif kecil.

KESIMPULAN

Dari beberapa pengalaman proses uji coba turbin yang telah dilakukan mulai dari tahun 2009 sampai dengan kegiatan terakhir tahun 2016, dapat diambil beberapa pelajaran yang sangat berharga sebagai berikut:

1. Hasil-hasil pengujian dapat memberikan data-data sebagai masukan yang bermanfaat bagi kegiatan lembaga lain yang melakukan penelitian arus laut pada tahap-tahap berikutnya.
2. Dari beberapa proses pengujian, desain serta pemilihan bahan dan sistem transmisi mekanik sangat menentukan besar/kecilnya kerugian daya (*losses*) daya listrik yang dihasilkan. Sebagai contoh, turbin sudah di desain untuk luaran 10 kW, tetapi jika gaya gesek komponen transmisi besar, maka luaran daya listrik tidak akan mencapai 10 kW. Dari pengalaman beberapa uji coba hanya mampu menghasilkan efisiensi di bawah 0.5.
3. Turbin tipe sudut V adalah di desain untuk dapat "menyerap" gaya gabungan antara gaya dari arus laut dengan gaya gelombang (*hybrid*), tetapi ternyata hasilnya tidak dapat optimal apabila difokuskan untuk menerima gaya dari arus laut

saja.

4. Untuk turbin tipe rotor ganda (*twin rotor*), meskipun terdiri dari dua rotor yang sama-sama berputar, tetapi karena ukuran luasan rotor menjadi lebih kecil dibanding *single rotor*, maka akan semakin banyak pula resiko gaya gesek (*friction force*) antar komponen transmisi yang dapat mengurangi efisiensi, sehingga daya listrik yang dihasilkan menjadi lebih kecil dibanding *single rotor*.
5. Formasi sudut rotor yang paling baik adalah formasi sudut tegak (0 derajat).

DAFTAR PUSTAKA

- El-Sayed, A. F. A. A., Hirsch, C. dan Derdelinckx, R. (1995). Dynamic of Vertical Axis Wind Turbines (Darrieus Type). *International Journal of Rotating Machinery*, Vol. 2 (21): 33-41.
- Azis, Asruldin. (2010). *Studi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Arus Laut di Selat Alas Kabupaten Lombok, NTT*. Diakses pada 2 Agustus 2017. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-10413-Paper.pdf>.
- Dadang. (2011). *Manfaat Laut sebagai Sumber Energi Alternatif*. Diakses pada 2 Agustus 2017. <https://www.its.ac.id/news/2011/12/13/manfaat-kan-laut-sebagai-sumber-energi-alternatif>.
- Erwandi. (2005). *Sumber energi energi arus: Alternatif pengganti BBM, ramah lingkungan dan terbarukan*. Diakses pada 2 Agustus 2017. <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?cetartik-el&1125749769>.
- Erwandi. (2010). *Mengubah Arus Laut Menjadi Listrik*. Diakses pada 2 Agustus 2017. <https://www.bppt.go.id/teknologi-informasi-energi-dan-material/577-mengubah-arus-laut-menjadi-listrik>.
- Rivantoro, F. dan Arief, Irfan Syarif. (2015). Studi Pemilihan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 4 (2): B-114 – B-118.
- Kasharjanto, A., Rahuna, D. dan Aditya, R. B. (2017). Uji Kinerja Turbin Pembangkit Listrik Arus Laut Lambung Ganda 10 Kilowatt di Jembatan Suramadu. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*, Vol. 14 (3): 79-86.
- Surinati, Dewi. (2011). Energi Arus Laut. *Oseana*, Vol. XXXVI (1): 13-25.

Halaman kosong