

OPTIMASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT MENGGUNAKAN SISTEM TURBIN SAVONIUS TERMODIFIKASI

Halida Rahmi L. , Budi Dharmala S., Almas Gediana, Agus Yusup dan Wenty Septria*
Jurusan Fisika, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno 61 Purwokerto 53123
*Korespondensi Penulis, Email: halidarahmi@gmail.com

Abstract

Difficulty of access to service and installation of the electrical network in the area around a coast becomes a factor causing uneven distribution of power network. Therefore, a new prototype of Sea Flow Power Plant was prepared using a modified Savonius turbine. The modified Savonius turbine is a vertical wind turbine, which is modified into a horizontal turbine and made two pairs of turbines in different directions. Advantage of this turbine can optimally capture the come and back flows. Preparing prototype of the turbine is conducted after collecting data of the sea flow velocity surrounding Teluk Penyus - Cilacap, that is followed by manufacturing a modified Savonius turbine and prototype of PLTAL. Performance test reveals that the prototype can generate $P = 0,3$ Watt, the velocity of turbine rotation $\omega = 44.42$ rad/s, the turbine torque $M = 0,0064$ Nm and the diameter of turbine $d = 0,32$ m. The sea flow velocity is often naturally changed leading to the turbine rotation change. It is found that the power and the turbine rotation increase with increasing the sea flow velocity. At the sea flow velocity of 1,5 m/s, the prototype of PLTAL has good performance and very potential as a source of alternative electrical energy in the future.

Keywords: *Savonius turbine, sea flow, electrical energy, power plant.*

Abstrak

Sulitnya akses pelayanan dan pemasangan jaringan listrik di daerah sekitar pesisir pantai menjadi faktor penyebab tidak meratanya sebaran jaringan listrik. Oleh karena itu rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) menggunakan turbin savonius termodifikasi ini dibuat. Turbin savonius termodifikasi merupakan turbin angin vertikal yang dimodifikasi menjadi turbin horizontal dan dibuat dua pasang turbin dengan arah yang berbeda. Keunggulan dari turbin ini adalah dapat menangkap arus datang dan balik secara optimal. Tahap awal pembuatan rancang bangun ini dilakukan pengumpulan data kecepatan arus laut di pantai Teluk Penyus-Kabupaten Cilacap, selanjutnya pembuatan turbin savonius termodifikasi, pembuatan rancang bangun PLTAL, dan pengujian rancang bangun. Berdasarkan hasil uji prototype PLTAL menggunakan turbin savonius termodifikasi, mendapatkan nilai daya $P = 0,3$ Watt, dengan kecepatan putaran turbin $\omega = 44,42$ rad/s, momen gaya turbin $M = 0,0064$ Nm dan ukuran diameter turbin $d = 0.32$ m. Kecepatan arus pada beberapa waktu sering berbeda-beda, sehingga putaran turbin persatuan waktupun akan berbeda-beda pula. Semakin besar kecepatan arus laut, semakin besar pula kecepatan turbin untuk berputar, dan daya yang didapat semakin besar. Pada kecepatan arus minimum 1,5 m/s rancang bangun PLTAL ini memiliki performa yang baik dan sangat berpotensi diterapkan sebagai sumber energi listrik pesisir pantai di kemudian hari.

Kata Kunci: *energi, arus laut, pembangkit listrik, turbin Savonius.*

Pendahuluan

Sulitnya akses pelayanan dan pemasangan jaringan listrik di daerah sekitar pesisir pantai menjadi faktor penyebab tidak meratanya sebaran jaringan listrik, sehingga perlu mendapat perhatian lebih dalam menghadapi permasalahan tersebut. Di samping itu Indonesia dengan total luas lautan hampir 8 juta km² berusaha untuk meningkatkan inventarisasi sumberdaya non hayati dimana salah satunya berupa potensi energi arus laut [1]. Energi arus laut sebagai energi terbarukan adalah energi yang cukup potensial di wilayah pesisir terutama pulau-pulau kecil [2], akan tetapi pemanfaatan arus laut di wilayah pesisir pantai masih kurang optimum. Salah satu kendala pada pemanfaatan energi arus laut untuk menghasilkan listrik adalah dibutuhkannya alat konversi arus menjadi energi listrik. Turbin Savonius adalah salah satu jenis turbin angin yang dipasang secara vertikal yang cocok diaplikasikan di daerah yang memiliki kecepatan angin rendah sekalipun serta digunakan untuk mengkonversi energi yang berasal dari dorongan angin menjadi energi listrik. Berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) kecepatan rata-rata angin di Indonesia berkisar 3,5 – 7 m/s [3]. Pada penelitian yang telah dilakukan turbin savonius dapat menangkap daya pada kecepatan angin 3,8 m/s dengan daya yang dihasilkan (P) adalah 1,30 mW, tegangan 309 mV, pada massa turbin 0,79 kg [4].

Arus laut merupakan gerakan horizontal massa air laut, sehingga arus laut memiliki energi kinetik yang dapat digunakan sebagai tenaga penggerak rotor atau turbin pembangkit listrik [1]. Untuk itu, dalam inovasi yang dikembangkan, turbin angin savonius yang biasanya digunakan sebagai alat konversi angin pada sumbu putar dengan arah vertikal dimodifikasi menjadi sumbu horizontal, juga dibuat dua sudu depan dan dua sudu belakang dengan arah putaran yang berbeda. Yang berfungsi untuk menangkap

arus datang dan arus balik. Pengembangan turbin savonius termodifikasi untuk menjadi pembangkit listrik tenaga arus laut dapat dilakukan dengan memadukan beberapa konsep pembuatan pembangkit listrik yang sudah ada sebelumnya, seperti pembangkit listrik tenaga angin (PLT-Angin) dengan memanfaatkan turbin savonius [5].

Sistem penyimpanan energi listrik dilakukan dengan prinsip penyimpanan energi pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) [6] (Erviana, 2011). Selain itu, juga dapat memanfaatkan konsep pengisian baterai kering atau baterai basah (accumulator) [7]. Prinsip kerja PLTAL tersebut bekerja dengan memanfaatkan putaran turbin untuk memutar kumparan dalam generator listrik sehingga terjadi perubahan fluk magnetik yang dapat menghasilkan arus listrik. Keberhasilan kegiatan ini, akan memberikan sebuah solusi dalam pemenuhan pasokan listrik di daerah pesisir, khususnya bagi wilayah yang daya dukung energi listrik tidak memadai di masa yang akan datang.

Metode

Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Pembuatan alat ini dihitung dimulai sejak bulan April, yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jenderal Soedirman, dan di salah satu bengkel yang berada di Purwokerto. Selanjutnya pengujian dilakukan di pesisir pantai selatan sekitar Kabupaten Cilacap.

Alat dan Bahan Pelaksanaan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: kerangka PLTAL, turbin savonius, dinamo, lampu LED, kabel, aki, besi penyangga, *geer*, roda gila, dan volt meter. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu besi untuk pembuatan rancang bangun.

Prosedur Pelaksanaan

Rancang bangun turbin Savonius dilaksanakan selama lima bulan dengan tujuan utama menghasilkan *rancang bangun* PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut) dengan memanfaatkan turbin savonius termodifikasi. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka dibuat empat tahapan utama dalam pelaksanaan kegiatan ini, yaitu: kajian teoritik mengenai turbin savonius termodifikasi sebagai PLTAL, pembuatan turbin savonius termodifikasi, pembuatan rancang bangun PLTAL, dan pengujian rancang bangun.

Pada tahap awal dilakukan pengumpulan kecepatan arus (v) di beberapa tempat di pantai selatan sekitar Kabupaten Banyumas. Data-data kecepatan arus yang diperoleh dari tahapan ini akan dikelompokkan ke dalam beberapa kriteria. Kriteria tersebut akan digunakan sebagai dasar untuk menguji kecepatan putaran turbin savonius. Setelah data-data kecepatan arus diketahui dalam beberapa kriteria, maka dilanjutkan pembuatan turbin savonius yang dibuat horizontal dengan memiliki jumlah empat sudu. Tahap selanjutnya adalah pembuatan rancang bangun PLTAL menggunakan turbin savonius termodifikasi. Pada tahapan ini dilakukan pemilihan instrumen yang sesuai dengan kemampuan turbin untuk memutar sistem konverter. Adapun instrumen yang dimaksud adalah generator frekuensi sedang untuk menghasilkan arus listrik, stabilizer atau control elektronik untuk menstabilkan arus listrik, dan accu untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan.

Pada tahap akhir dilakukan pengujian kinerja PLTAL menggunakan turbin savonius termodifikasi. Permukaan laut di tepi pantai cenderung tidak datar, membentuk sudut. Posisi penempatan alat pada saat pengujian sangat berpengaruh terhadap putaran turbin. Sehingga posisi pemasangan turbin diberikan kemiringan sesuai pesisir tempat alat ditempatkan. Hal

tersebut agar turbin berputar secara optimal.

Hasil dan Pembahasan

Kajian teoritik turbin savonius sebagai PLTAL

Efisiensi putaran turbin dalam menangkap arus datang dan arus balik di laut untuk dikonversi menjadi energi listrik yakni dengan menggunakan sistem gayuhan sepeda, sehingga perlu dilakukan kajian teoritik yang tepat tentang konversi arus laut menjadi energi listrik. Penyelesaian tersebut dilakukan dengan menggunakan persamaan untuk mendapatkan daya listrik yang berhubungan dengan kecepatan putaran dan momen turbin. Maka :

$$P = M \times \omega \quad (1)$$

dimana P merupakan daya yang dihasilkan oleh turbin (watt), M merupakan momen gaya pada turbin (N.m), sedangkan ω = kecepatan sudut (rad/s). Persamaan diatas menunjukkan bahwa besarnya daya (P) berbanding lurus dengan putaran (ω) pada turbin. Untuk mengetahui putaran pada turbin dapat dihitung dengan menghitung jumlah putaran pada satuan rad dibagi dengan waktu berputarnya (T) :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

Daya yang dihasilkan oleh turbin juga berbanding lurus dengan momen pada turbin dimana M dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$M = F \times r \quad (3)$$

dengan

$$F = \rho \times A \times v^2 \quad (4)$$

Dimana F merupakan gaya arus laut (N), ρ merupakan massa jenis air laut (kg/m^3), dan A merupakan luas turbin (m^2), sedangkan v adalah kecepatan arus laut (m/s). Dengan menggunakan persamaan 3.1-3.4, maka besar energi listrik yang dikonversi dari arus laut menggunakan turbin savonius termodifikasi dapat ditentukan.

Selanjutnya kajian teoritik tentang pasang surut air laut juga tidak terlepas dari

kajian Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut. Pasang surut air laut sangat berpengaruh terhadap besar dan kecilnya tenaga arus laut. Maka perlu diketahui terlebih dahulu kondisi laut, termasuk kondisi pasang surut air laut pada saat akan dilakukan pengujian. Agar pengujian dapat dilakukan secara efisien.

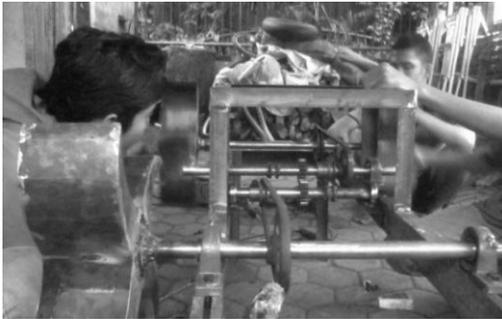
Tabel 1. Pasang surut air laut bulan Juni 2015

[0 aktifitas rendah] , [🌞🌙 aktifitas medium] , [🌞🌙🌞🌙 aktifitas tinggi] , [🌞🌙🌞🌙🌞🌙 aktifitas sangat tinggi]

HARI			PASANG SURUT AIR LAUT					KOEFSIEN	AKTIFITAS SOLUNAR
			PASANG 1	PASANG 2	PASANG 3	PASANG 4			
1			4:10 ▼ (0.3m)	11:10 ▲ (1.6m)	16:10 ▼ (1.3m)	21:45 ▲ (1.8m)	82	🌞🌙🌞	
2			4:50 ▼ (0.2m)	11:50 ▲ (1.7m)	16:50 ▼ (1.3m)	22:20 ▲ (1.8m)	86	🌞🌙🌞🌙	
3			5:25 ▼ (0m)	12:30 ▲ (1.7m)	17:30 ▼ (1.3m)	22:55 ▲ (1.8m)	87	🌞🌙🌞🌙	
4			6:00 ▼ (0m)	13:10 ▲ (1.7m)	18:10 ▼ (1.3m)	23:35 ▲ (2m)	86	🌞🌙🌞🌙	
5			6:40 ▼ (0m)	13:50 ▲ (1.7m)	18:50 ▼ (1.3m)		83	🌞🌙🌞	
6			0:10 ▲ (1.8m)	7:20 ▼ (0m)	14:30 ▲ (1.7m)	19:35 ▼ (1.3m)	77	🌞🌙🌞	
7			0:55 ▲ (1.8m)	8:00 ▼ (0.2m)	15:10 ▲ (1.7m)	20:25 ▼ (1.3m)	71	🌞🌙🌞	
8			1:45 ▲ (1.7m)	8:45 ▼ (0.3m)	15:55 ▲ (1.7m)	21:20 ▼ (1.3m)	66	🌞🌙🌞🌙	
9			2:40 ▲ (1.7m)	9:35 ▼ (0.7m)	16:35 ▲ (1.7m)	22:35 ▼ (1.2m)	63	🌞🌙🌞🌙	
10			4:00 ▲ (1.6m)	10:30 ▼ (0.8m)	17:25 ▲ (1.7m)		63	🌞🌙🌞	
11			0:05 ▼ (1m)	5:45 ▲ (1.4m)	11:40 ▼ (1m)	18:15 ▲ (1.7m)	67	🌞🌙🌞🌙	
12			1:20 ▼ (0.8m)	7:45 ▲ (1.4m)	12:50 ▼ (1.2m)	19:05 ▲ (1.7m)	73	🌞🌙🌞🌙	
13			2:20 ▼ (0.5m)	9:10 ▲ (1.6m)	13:55 ▼ (1.3m)	19:55 ▲ (1.8m)	80	🌞🌙🌞🌙	
14			3:10 ▼ (0.3m)	10:15 ▲ (1.6m)	14:55 ▼ (1.3m)	20:45 ▲ (1.8m)	85	🌞🌙🌞🌙	
15			3:55 ▼ (0.2m)	11:05 ▲ (1.7m)	15:45 ▼ (1.5m)	21:30 ▲ (2m)	88	🌞🌙🌞🌙	
16			4:40 ▼ (0m)	11:50 ▲ (1.7m)	16:35 ▼ (1.5m)	22:10 ▲ (2m)	88	🌞🌙🌞🌙	
17			5:20 ▼ (0m)	12:25 ▲ (1.7m)	17:15 ▼ (1.5m)	22:50 ▲ (2m)	86	🌞🌙🌞🌙	
18			6:00 ▼ (0m)	13:05 ▲ (1.7m)	18:00 ▼ (1.5m)	23:30 ▲ (2m)	82	🌞🌙🌞🌙	
19			6:40 ▼ (0.2m)	13:40 ▲ (1.7m)	18:35 ▼ (1.3m)		75	🌞🌙🌞🌙	
20			0:05 ▲ (2m)	7:15 ▼ (0.2m)	14:10 ▲ (1.7m)	19:15 ▼ (1.3m)	68	🌞🌙🌞	

Pembuatan Rancang bangun

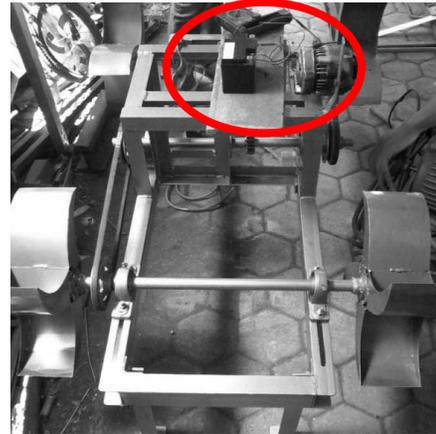
Rancangan rancang bangun turbin savonius termodifikasi ini dilakukan di bengkel yang berada di Karanglewas. Dilakukan selama sekitar 4 minggu, 5 hari sekali kami selalu berdiskusi dengan tukang, agar terjadi kesefahaman dalam pembuatan rancang bangun.



Gambar 1. Diskusi terkait roda pada Rancang bangun

Pengujian Dinamo

Perlu dilakukan uji dinamo terlebih dahulu menggunakan volt meter untuk mendapatkan hubungan antara putaran turbin dengan besarnya tegangan yang didapat. Agar tidak terjadi *konsleting*, dinamo dan aki ini membutuhkan pelindung yang anti air, karena pada saat pengujian rancang bangun akan terendam air.



Gambar 2. Pengujian Dinamo

Pengujian Kecepatan Putaran Turbin

Pengujian putaran turbin dilakukan di salah satu sungai yang ada di Purwokerto. Dari hasil pengujian, didapatkan jumlah putaran turbin selama 1 menit, yakni konstan 27 putaran.

Tabel 2. Pengujian putaran turbin di sungai

No	Waktu (s)	Jumlah Putaran (rad)
1	60	27
2	60	27
3	60	27
Rerata	60	27

Dari data pengamatan yang didapat, dengan menggunakan persamaan (2) mendapatkan nilai kecepatan sudut $\omega = 162$ rad/s.

Pengujian rancang bangun di laut

Tabel 3. Pengujian putaran turbin di laut

Jumlah Putaran Turbin Depan	Jumlah Putaran Turbin Belakang	Waktu (detik)
9	11	60
8	12	57
8	11	60
10	11	120
13	15	120
15	12	120
28	17	180
20	21	184
22	24	181
14,77	14,88	120.2

Dengan menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6) mendapatkan besar $\omega = 44,42$ rad/s. Menurut hasil penelitian Pradana dkk pada tahun 2013, bahwa turbin savonius dapat menangkap daya pada kecepatan angin 3,8 m/s dengan daya yang dihasilkan (P) adalah 1,30 mW, tegangan 309 mV, pada massa turbin 0,79 kg. Pada pengujian rancang bangun PLTAL yang kami lakukan didapatkan besar Daya (P) yang dihasilkan adalah sebesar 0,3 Watt pada kecepatan arus laut 1,5 m/s.

Dari hasil pengujian yang didapat, nilai daya yang dihasilkan lebih besar daripada referensi. Akan tetapi menurut teori diatas, putaran turbin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Maka turbin savonius termodifikasi sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai referensi aplikasi teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL). Yang kemudian dapat menjadi solusi pasokan energi listrik pesisir pantai di kemudian hari.

Kesimpulan

Telah berhasil dibuat sebuah rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut menggunakan sistem turbin savonius termodifikasi dan mendapatkan nilai daya (P) = 0,3 Watt, dengan kecepatan arus laut rendah sebesar 1,5 m/s, kecepatan putaran turbin $\omega = 44,42$ rad/s, momen gaya turbin (M) = 0,0064 Nm dan ukuran diameter turbin (d) = 0,32 m. Penggunaan turbin Savonius sebagai pembangkit listrik tenaga air terbukti lebih efektif dan menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaannya pada pembangkit listrik tenaga angin yang hanya mendapat P = 1,3 mW, pada kecepatan angin rendah 3,8 m/s. Kecepatan arus pada beberapa waktu sering berbeda-beda, sehingga putaran turbin persatuan waktupun akan berbeda-beda pula. Semakin besar kecepatan arus laut, semakin besar pula kecepatan turbin untuk berputar, dan daya yang didapat semakin besar. Dari hasil yang didapat, menunjukkan bahwa rancang bangun ini sangat berpotensi dijadikan referensi teknologi PLTAL yang dapat diterapkan sebagai sumber energi listrik pesisir pantai di kemudian hari.

Daftar Pustaka

- [1] Yuningsih, A., Masduki, A. Energi Laut untuk Pembangkit Tenaga Listrik di Kawasan Pesisir Flores Timur, NTT. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 3, No. 1, (2011) 13-25.
- [2] Erwandi. Sumber Energi Arus: Alternatif Pengganti BBM, Ramah Lingkungan, dan Terbarukan. Laboratorium Hidrodinamika Indonesia, BPP Teknologi. (2006).
- [3] LAPAN. 2005. Data Kecepatan Angin di Pulau Jawa. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- [4] Pradana, A, J., Nugroho, G., Musyafa, A. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Variasi Profil Kurva Blade untuk Memperoleh Daya Maksimum. *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 7, No. 7, (2013) 1-6.
- [5] Rusnoto, & Shofani, L. Pengaruh Susunan Sudut Turbin Angin Savonius Terhadap Karakteristik Daya Turbin. *Jurnal ilmiah*. (2009).
- [6] Erviana, M., Windarto, J. Proses Penyimpanan Energi Pada Plts 1000 Wp Siting Ground Teknik Elektro-Undip. Makalah Seminar Kerja Praktek. (2011).
- [7] Puspitoningrum, J. Komparasi Kekuatan Penyimpanan Energi Listrik Pada Akumulator Kering Dan Basah Pada Tegangan 12 Volt. *Jurnal ilmiah*. (2006).

