

Perancangan Vertical Axis Twin Turbine Pada Pembangkit Listrik Arus Laut Di Suramadu

Andi Makkulau^{1*}; Samsurizal¹; Miftahul Fikri¹; Chesya Rusiana¹

1. Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan Institut Teknologi PLN,
Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

**Email: andi.mk@itpln.ac.id*

Received: 30 Mei 2022 | Accepted: 17 Juni 2022 | Published: 01 Januari 2023

ABSTRACT

Renewable energy sources are environmentally friendly energy sources that do not pollute the environment and do not contribute to climate change and global warming as in other traditional sources. Ocean currents are the movement of seawater masses from one place to another either vertically (upward motion) or horizontally (sideways movement) towards equilibrium, or the very wide movement of water that occurs throughout the world's oceans. In this study using experimental research where the maximum ocean current speed results in pile 56 were only 1.28 m/s, the turbine will need a greater speed to beat the initial torque of the 5 kW generator. The results of the 12-day test showed that the speed of the ocean current at Suramadu Bridge pile 56 ranged from 0 - 70 cm/s and only 1 week with a maximum ocean current speed, which was 128 cm/s. When using a 5 kW generator, it is likely that the generator will rotate and generate electric current for only a week. Beyond that the generator does not rotate because the speed of the ocean current is low. Therefore, the condition that the initial torque is obviously smaller than 10 kW in the twin turbines installed 3 generators each are 3.5 kW so that the turbine is still able to rotate at low current speeds such as the speed of ocean currents in Suramadu and generally Indonesian waters.

Keywords: Ocean current, generator, turbine, vertical axis twin turbine, suramadu bridge

ABSTRAK

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain. Arus laut adalah pergerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping) menuju kesetimbangan, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia. Pada penelitian ini menggunakan penelitian experimental dimana didapatkan hasil kecepatan arus laut maksimal di pile 56 hanya 1,28 m/s, maka turbin akan butuh kecepatan yang lebih besar untuk mengalahkan torsi awal generator 5 kW. Hasil pengujian selama 12 hari menunjukkan bahwa kecepatan arus laut di Jembatan Suramadu pile 56 berkisar dari 0 - 70 cm/s dan hanya 1 minggu dengan kecepatan arus laut maksimal, yaitu 128 cm/s. Bila menggunakan generator 5 kW, kemungkinan generator akan berputar dan menghasilkan arus listrik hanya selama seminggu saja. Di luar itu generator tidak berputar karena kecepatan arus lautnya rendah. Oleh karena itu kondisi yang torsi awalnya jelas lebih kecil dari 10 kW pada turbin kembar dipasang 3 buah generator masing-masing 3,5 kW sehingga turbin masih mampu berputar pada kecepatan arus yang rendah seperti kecepatan arus laut di Suramadu dan umumnya perairan Indonesia.

Kata kunci: Arus laut, generator, turbin, vertical axis twin turbine, jembatan suramadu

1. PENDAHULUAN

Konsep energi terbarukan menjadi menonjol pada tahun 1970-an sebagai upaya untuk menyeimbangkan pengembangan bahan bakar nuklir dan fosil. Definisi yang paling umum adalah sumber energi yang dapat diperoleh kembali secara alami dan cepat serta prosesnya berkelanjutan. Energi terbarukan didefinisikan sebagai energi yang dapat diperoleh kembali (renewable), seperti sinar matahari dan angin.

Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain. Ini adalah alasan utama mengapa energi terbarukan sangat terkait dengan masalah lingkungan dan ekologi di mata banyak orang, dan berbagai macam energi terbarukan telah diteliti seperti tenaga surya [1]–[6] sangat baik untuk dikembangkan.

Penelitian mengenai energi laut ini juga sudah banyak dikembangkan [7][8], Arus laut (*sea current*) adalah pergerakan massa air laut dari satu tempat ke tempat lain baik secara vertikal (gerak ke atas) maupun secara horizontal (gerakan ke samping) menuju kesetimbangan, atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia[9]. Gerakan yang terjadi merupakan hasil resultan dari berbagai macam gaya yang bekerja pada permukaan, kolom, dan dasar perairan. Hasil dari gerakan massa air ini adalah vektor yang mempunyai besaran kecepatan dan arah[10].

Arus laut dibagi menjadi dua bagian, arus suhu tinggi dan arus suhu rendah, berdasarkan suhu. Arus suhu tinggi, yaitu ketika suhu arus lebih tinggi dari suhu air laut di mana itu terjadi, atau ketika arus bergerak dari garis lintang rendah (daerah suhu tinggi) ke garis lintang tinggi (daerah rendah). Selama aliran dingin, yaitu ketika suhu aliran lebih rendah dari suhu air laut, terjadi aliran atau aliran bergerak dari daerah dingin ke daerah panas. Oleh karena itu, istilah panas dan dingin memiliki arti yang relatif. Arus dingin dapat terjadi di beberapa tempat, sehingga lebih panas daripada arus panas di tempat lain [9] [11].

Berdasarkan letaknya arus laut dibagi menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Aliran permukaan laut (surface sirkulasi) Penyebab utama aliran ini adalah angin yang bertiup melintasi berbagai zona garis lintang di permukaan bumi. Saat angin melintasi permukaan laut, massa air laut dikompresi sesuai dengan arah angin.
2. Aliran kedalaman laut (deep water cycle) Faktor utama yang mengontrol pergerakan massa laut di kedalaman laut adalah densitas air laut. Perbedaan densitas antara dua massa air laut yang berdekatan menyebabkan pergerakan vertikal air laut, menciptakan massa air dalam yang densitasnya disebabkan oleh perbedaan suhu air laut dan kandungan garam. Migrasi massa air laut dalam ini dikenal sebagai sirkulasi termohalin. Sirkulasi termohalin adalah gerakan curah air yang dihasilkan oleh perbedaan densitas yang dikendalikan oleh perubahan suhu (panas).
2. Suramadu adalah daerah perbatasan selat Madura antara Pulau Jawa (Surabaya) dan Pulau Madura (Bangkalan, tepatnya timur kamal). Suramadu disebut juga Surabaya Madura, nama ini digunakan untuk jembatan penyebrangan yang ada di Suramadu yaitu Jembatan Suramadu.

Jembatan Suramadu adalah jembatan yang melintasi Selat Madura, jembatan ini merupakan jembatan terpanjang di Indonesia saat ini. Jembatan suramadu terdiri dari tiga

bagian yaitu Jalan Layang (*causeway*), Jembatan Penghubung (*approach bridge*) dan Jembatan Utama (*main bridge*). Pada dasarnya jembatan suramadu merupakan gabungan dari 3 bagian jembatan dengan panjang keseluruhan sepanjang 5.438 meter dengan lebar kurang lebih 30 meter. Pembangunan jembatan ini ditujukan untuk mempercepat pembangunan di Pulau Madura. Titik koordinat Jembatan Suramadu pada nomor alternatif ke-3 terletak di 7011'3" LU dan 112046'48" BT. Jika titik awal center jembatan di sisi Surabaya terletak pada koordinat 7012'28,72" LS dan 112046'40,47" BT dan titik awal disisi Madura terletak pada koordinat 7009'31,82" LS dan 112046'52,10" BT.

Pada tulisan ini akan dilakukan penelitian dalam pengukuran arus laut untuk mengidentifikasi dan merancang detail pembangkit listrik tenaga arus laut 10 kW yang berlokasi di bawah Jembatan Suramadu.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Jembatan Suramadu

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental [12] dimana peneliti melakukan studi literatur dan melakukan observasi berupa pengamatan langsung di lapangan dan melakukan pengujian secara berkala.

2.1. Bagian – bagian dari Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL)

1. Sistem kelistrikan Turbin:

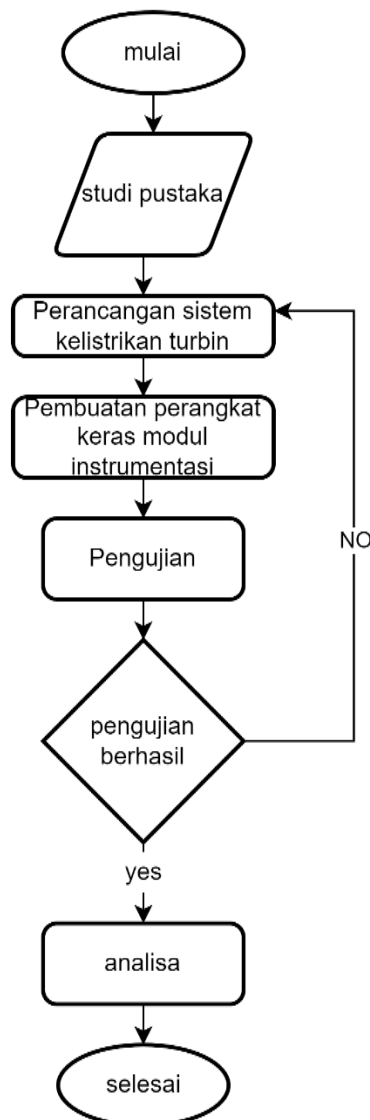
- a. Generator, digunakan sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik.
- b. *Controller/rectifier*, digunakan sebagai pengkondisi tegangan untuk dapat digunakan sesuai kebutuhan.
- c. *Dump Load*, digunakan sebagai alat pengaman sistem untuk membuang kelebihan daya yang diproduksi.
- d. Inverter, digunakan mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak – balik.
- e. Baterai, digunakan untuk menyimpan daya listrik yang dihasilkan turbin.
- f. Beban, digunakan sebagai alat yang akan disuplai oleh daya yang dihasilkan turbin.

2. Modul instrumentasi

- Sistem sensor (sensor putaran, sensor arus listrik, dan sensor tegangan listrik).
- Sistem perekaman data (data logging), melakukan penyimpanan data dengan kerapatan data tiap 8 detik. Penyimpanan data menggunakan *Flash Disk*.
- Sistem telemetri untuk pengiriman data melalui SMS menggunakan jaringan GSM. Menggunakan modul GSM dan *SIM card*.

3. Tahapan perancangan kegiatan penelitian PLTAL

Pada bagian ini akan disajikan tahapan dari perancangan kegiatan penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Tahapan Perancangan

1) Perancangan sistem kelistrikan turbin

Tahapan ini dimulai dengan merancang sistem kelistrikan pada turbin untuk dapat menghasilkan energi listrik.

2) Pembuatan perangkat keras modul instrumentasi

Tahap ini dilakukan perancang perangkat keras untuk mencatat serta menyimpan data parameter kinerja turbin. Serta merancang sistem transmisi data untuk mengirimkan data tersebut ke operator lain.

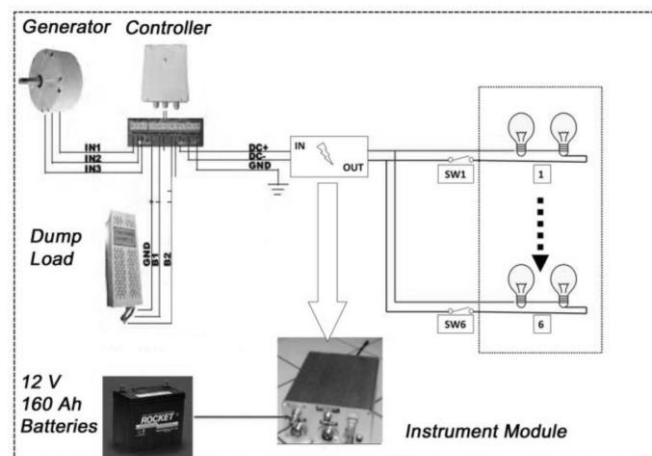
3) Pengujian

Digunakan untuk mengetahui kinerja dan efisiensi turbin, dilakukan pengujian dan pengamatan skala lapangan. Pertimbangan dalam pemilihan lokasi ini ialah mudahnya akses untuk uji coba dan keamanan terhadap perangkat turbin yang diujicobakan.

4. Sistem Kelistrikan

Pengembangan teknologi ekstraksi energi arus laut dilakukan dengan mengubah energi kinetik arus laut menjadi energi rotasi dan energi listrik. Modul instrumentasi dipasang pada turbin dan digunakan untuk mengukur, merekam, dan mengirim data yang dihasilkan oleh generator ke operator turbin. Modul instrumentasi ini mengukur dan mencatat beberapa parameter. Putaran turbin (dalam rpm)

- Tegangan generator (volt)
- Arus generator (ampere)
- Tegangan baterai (volt)
- Waktu



Gambar 3. Sistem Kelistrikan Turbin

5. Prinsip Kerja Turbin PLTAL

Prinsip operasi ini menyebabkan arus laut untuk menggerakkan turbin. Putaran turbin ini menghasilkan generator yang menghasilkan arus dan tegangan bolak-balik (AC). Arus dan tegangan AC ini kemudian diinput ke controller. Di dalam pengontrol ini terdapat rangkaian penyearah yang membantu mengubah arus dan tegangan AC menjadi arus dan tegangan DC.

Hal ini terjadi karena sistem kontrol pengontrol mudah ditangani dalam posisi DC. Kontroler ini mengatur perubahan daya yang dihasilkan oleh generator. Ketika kelebihan beban, kelebihan energi dibuang ke dump load. Setelah melewati controller, energi listrik dialirkan ke inverter. Dalam inverter ini, daya DC diubah oleh pengontrol menjadi daya AC standar (220V 50Hz) dan dikirim ke pelanggan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

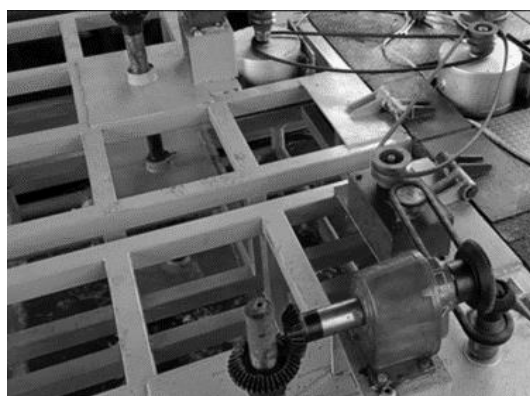
3.1. Pengujian Vertical Axis Twin Turbine Pltal Di Suramadu

Pengujian bertujuan untuk mengetahui gerak mekanik turbin; sistem kelistrikan melalui beban langsung dan inverter; sistem transmisi dengan generator; serta pengamatan komponen dan struktur PLTAL. Pada pengujian gerak mekanik, pada saat diturunkan dalam perairan, bilah turbin mulai berputar lambat ketika digerakkan oleh arus laut yang melewatinya. Hal ini terjadi karena kecepatan arus rendah pada saat diturunkan sehingga gaya/momen residual yang bekerjamasih besar. Gaya tersebut semakin hilang dengan semakin cepatnya bilah turbin berputar. Saat kecepatan arus laut berkurang, kecepatan putaran bilah turbin juga makin lama berkurang. Pada kecepatan arus laut di bawah kecepatan *cut-in speed*-nya, turbin berhenti berputar.

Pada pengujian sistem transmisi, dilakukan pengamatan putaran poros dari turbin sampai ke generator dengan memperhatikan bukan hanya putaran bilah saja yang ditransmisikan tetapi juga momen puntir (*torque*) yang dipindahkan dari satu bagian ke bagian lain, mulai dari bilah turbin sampai dengan generator. Dengan memperhatikan sistem transmisi dari sambungan siku (poros turbin dan *bevel gear*) dan sambungan lurus (*bevel gear*, *gear box* dan generator), sistem transmisi turbin dapat bekerja dengan baik dengan mentransmisikan putaran turbin yang dinaikkan putarannya sebesar 22 kali untuk sampai ke generator.

Uji sistem kelistrikan merupakan kelanjutan dari uji sistem mekanik. Uji sistem kelistrikan dapat dilakukan jika uji sistem mekanik berupa uji sistem gerak turbin dan uji sistem transmisi dapat berlangsung dengan baik. Tujuan uji ini adalah untuk mengetahui besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin yang disebabkan aliran arus laut dan untuk mengetahui konsistensi asumsi efisiensi turbin yang besarnya 30% tersebut. Pengujian dengan beban langsung dilakukan dengan memberikan beban berupa lampu bohlam 600 watt pada saat kecepatan 0,7-1,0 m/s.

Untuk pengujian kelistrikan melalui inverter, daya listrik yang dihasilkan fluktuatif naik turun mengikuti pola aliran kecepatan arus laut dan distandarkan sesuai standar PLN dengan tegangan 220 Volt dan frekuensi tegangan AC 50 Hz. Di dalam inverter terdapat panel display digital yang menginformasikan data-data tegangan ke aki dan data tegangan yang dikeluarkan oleh inverter ke beban. Hasil pengujian menunjukkan bahwa telah berhasil dilakukan penyalaan beban listrik yang dihasilkan oleh accu yang diisi daya listrik oleh inverter yang bekerja karena adanya daya listrik yang dihasilkan oleh turbin.



Gambar 4. Gabungan Generator

3.2. Penggunaan Alat – Alat pengujian PLTAL di Suramadu

Dalam hal ini penggunaan alat-alat pengujian pada Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) Di Suramadu tidaklah jauh berbeda dalam menggunakan alat-alat uji di lapangan maupun dalam masa percobaan. Pengukuran arus laut secara insitu dapat dilakukan dengan dua metode, yakni metode *Lagrangian* dan *Euler*. Metode Lagrangian adalah suatu cara mengukur aliran massa air dengan melepas benda apung ke laut, kemudian mengikuti gerakan aliran massa air laut. Cara lain mengukur arus insitu adalah dengan metode Euler. Pengukuran arus yang dilakukan pada satu titik tetap pada kurun waktu tertentu. Cara ini biasanya menggunakan alat yang disebut *Current Meter*.



Gambar 5. Alat Current meter flowwatch tipe FL-03

Dalam penelitian ini kami melakukan dengan metode pengukuran langsung dengan menggunakan alat – alat ukur seperti *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP), Echosounder, Anemometer, dan Turbin Darrieus.

1. Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

Prinsip kerja ADCP berdasarkan perkiraan kecepatan baik secara horizontal maupun vertikal menggunakan efek Doppler untuk menghitung kecepatan radial relatif, antara instrumen (alat) dan hamburan di laut. Profil dasar laut dihasilkan dari kisaran yang didapat. Pada akhirnya, kecepatan relatif, dan parameter lainnya dikumpulkan diatas kapal menggunakan *Data Acquisition System* (DAS) yang juga secara optional merekam informasi navigasi, yang diproduksi oleh GPS.

Di tiap ujung kerangka ini diikat tali yang terikat pada batu gunung untuk tetap menjaga posisi alat pada tempatnya. Di atas kerangka dikaitkan dengan beberapa pelampung untuk mengidentifikasikan posisi alat di laut. Sehingga alat ini dapat dengan mudah dipantau dari permukaan laut.



Gambar 6. Acoustic Doppler Current Profiler

2. Echosounder

Echosounder atau gema daya adalah suatu alat untuk mengukur kedalaman air dengan mengirimkan tekanan gelombang ke dasar air dan dicatat waktunya sampai gema kembali dari dasar air. Echosounder merupakan perangkat yang menggunakan teknologi sonar untuk pengukuran bawah air fisik dan biologis. Alat ini dilengkapi dengan proyektor untuk menghasilkan gelombang akustik yang akan dimasukkan ke dalam air laut.

Alat ini mempunyai prinsip memancarkan bunyi dan kemudian bunyi pantulannya ditangkap kembali untuk mengetahui keberadaan benda – benda di bawah air. Penggunaan ini didasarkan pada hukum fisika tentang perambatan dan pemantulan bunyi dalam air.



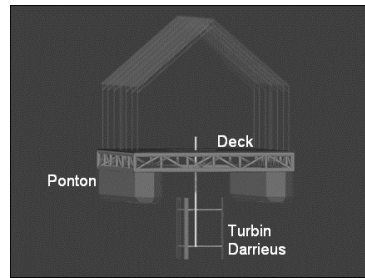
Gambar 7. Satu set Echosounder dan Anemometer

3. Anemometer

Anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan angin, temperatur/suhu, kelembapan udara, dan intensitas cahaya. Anemometer yang kami gunakan yaitu anemometer mini manual tipe LM 8000. Anemometer ini memiliki dua kepala, kepala pertama memiliki kincir di dalamnya hal ini berfungsi untuk mengukur kecepatan angin. Dalam pengaturan untuk mengukur kecepatan angin terdapat 5 satuan yaitu dalam M/S, knot, FPM, mph, dan Km/h. Dalam pengukuran kecepatan angin ini menggunakan satuan M/S. Dalam pengukuran dengan alat anemometer selalu terlihat temperatur titik pengukuran dan dapat diatur satuannya dalam °C atau °F.

4. Turbin Darrieus

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin sederhana memiliki satu bagian yang bergerak, “*assembly rotor-blade*”. Fluida yang bergerak menjadikan baling-baling berputar dan menghasilkan energi untuk menggerakkan rotor. Maka turbin yang digunakan di Suramadu adalah turbin kembar sumbu vertikal (*vertical axis twin turbine*) tipe darrieus telah di buat. Sebelum turbin diujicobakan di lapangan banyak tahapan – tahapan yang harus dilalui di *towing tank* laboratorium hidrodinamika seperti dari segi kondisi dan potensi lokasi yang dituju, perhitungan dalam perumusan, pendesainan, pengujian maksimal di laboratorium dan berbagai hal lainnya. Prototipe yang diuji untuk mendapatkan kelayakkan dalam uji coba energi arus laut ini.



Gambar 8. Konsep perancangan Turbin Darrieus PLTAL



Gambar 9. kerja turbin di Suramadu

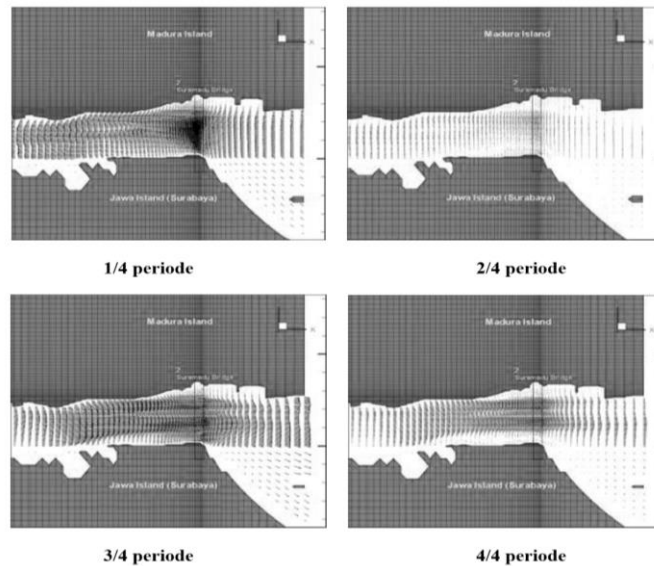
Prototipe ini merupakan jenis turbin tipe darrieus menggunakan gaya angkat (*lift*) 3 buah bilah untuk menghasilkan output daya sebesar 10 kW (*single turbine @5 kW*) pada kecepatan arus laut 2,0 m/s (*peak*). Tetapi perairan di Indonesia memiliki kecepatan kurang dari 1,5 m/s, maka prototipe ini didesain mampu bekerja pada kecepatan rendah dimana turbin mampu berputar (*cut in speed*) pada kecepatan 0,6 m/s. Untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan, putaran bilah kedua turbine kembar tersebut dibuat berlawanan (*contra-rotating*).

Turbin yang ditempatkan dibawah Jembatan Suramadu pile 56 dilakukan uji kinerjanya selama 25 hari. Pengujian lapangan melihat terjadi pertumbuhan biota laut/teritip (*marine growth/marine biofouling*) yang menempel pada bilah turbin dan *radial arms* yang akan mengganggu performansi dan efisiensi dari turbin.



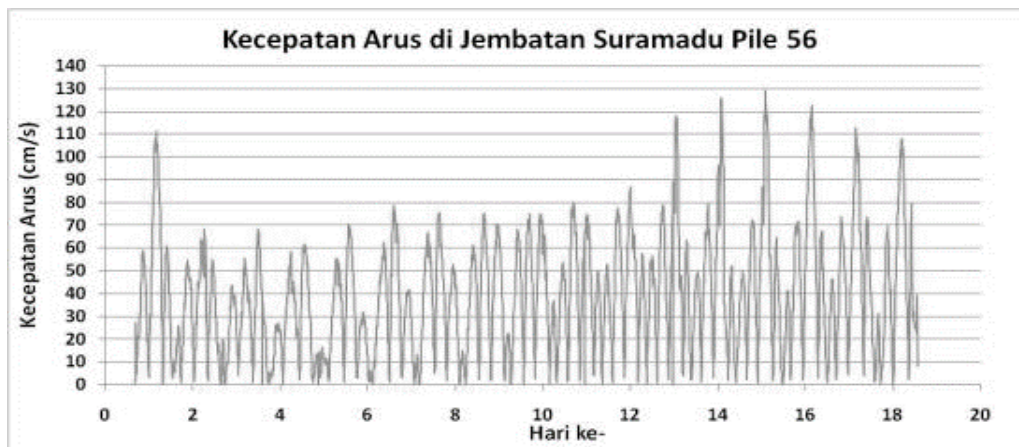
Gambar 10. Turbin yang mengalami pertumbuhan biota laut

Letak titik potensi di suramadu ditelusuri pada gambar periode di bawah ini menggunakan matlab.



Gambar 11. Garis periode menggunakan matlab

Inilah hasil kurva kecepatan arus di pile 56 yang didapatkan dari daerah suramadu setelah diamati. Kecepatan maksimal arus adalah 1,28 m/s atau 128 cm/s pada hari ke-15.



Gambar 12. Kurva kecepatan Arus di Jembatan Suramadu Pile 56

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Mengingat kecepatan arus laut maksimal di pile 56 hanya 1,28 m/s maka turbin akan butuh kecepatan yang lebih besar untuk mengalahkan torsi awal generator 5 kW. Hasil pengujian selama 12 hari menunjukkan bahwa kecepatan arus laut di Jembatan Suramadu pile 56 berkisar dari 0 - 70 cm/s dan hanya 1 minggu dengan kecepatan arus laut maksimal, yaitu 128 cm/s. Bila menggunakan generator 5 kW, kemungkinan generator akan berputar dan menghasilkan arus listrik hanya selama seminggu saja. Di luar itu generator tidak berputar karena kecepatan arus lautnya rendah. Oleh karena itu kondisi yang torsi awalnya jelas lebih kecil dari 10 kW pada turbin kembar dipasang 3 buah generator masing - masing 3,5 kW sehingga turbin masih mampu berputar pada kecepatan arus yang rendah seperti kecepatan arus laut di Suramadu dan umumnya perairan Indonesia.

Saran dari penelitian ini agar selanjutnya dapat diteliti mengenai turbin yang cocok agar dapat digunakan untuk perkembangan penelitian mengenai arus laut yang ada di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Akhir kata penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Institut Teknologi PLN melalui LPPM yang telah mendanai dan memberi dukungan moril serta membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel ini, dan kami ucapkan terima kasih kepada para peneliti dari BPPT Laboratorium Hidrodinamika Indonesia dan P3TKP Balitbang. Kementerian Kelautan dan Perikanan atas diberikan kesempatan dalam melakukan penelitian ini secara Bersama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Makkulau, S. Samsurizal, and S. Kevin, (2020) "Karakteristik Temperatur Pada Permukaan Sel Surya Polycrystalline Terhadap Efektifitas Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Ilm. Sutet*, vol. 10, no. 2, pp. 69–78, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/sutet/article/view/1291>.
- [2] Samsurizal, Afrianda and A. Makkulau, (2022), "Optimizing the Potential of Solar Energy PT PJB UP Muara Karang Rooftop Area Using HelioScope," vol. 14, no. 1, pp. 1–6, <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/49910>
- [3] Samsurizal, S., Christiono, C., and Makkulau, A. (2019), Evaluasi Sudut Kemiringan Terhadap Pengaruh Irradiance Pada Array Photovoltaic Jenis Monocrystalline. *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer*, vol.8, no.1, 28-34.
- [4] A. Makkulau, Samsurizal, and M. Fikri, (2021), "Pengaruh Intensitas Matahari Terhadap Karakteristik Sel Surya Jenis Polycrystalline Menggunakan Regresi Linear," vol. 10, no. 1, pp. 69–76, [Online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/kilat/article/view/994>.
- [5] S. Samsurizal, A. Makkulau, and C. Christiono, (2019) "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Arus Keluaran Pada Photovoltaic Dengan Menggunakan Regretion Quadratic Method," *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 137–144, doi: 10.33322/energi.v10i2.286.
- [6] A. Makkulau, Christiono, and Samsurizal, (2019), "Characteristics of Temperature Changes Measurement on Photovoltaic Surfaces Against Quality of Output Current on Solar Power Plants," *2019 Int. Conf. Technol. Policies Electr. Power Energy, TPEPE 2019*, pp. 20–23, doi: 10.1109/IEEECONF48524.2019.9102630.
- [7] W. Wijayanto, (2012) "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kecepatan Turbin Generator Pada Miniplant Mikrohidro Skala Laboratorium di Workshop Instrumentasi," Institut Teknologi Sepuluh November.
- [8] A. L. Gani Ilahude, A; Gordon, (1992), "Thermocline stratification within the Indonesian Seas," *J. Geophys. Res. Ocean.*, vol. 101, no. C5, pp. 12401–12409, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1029/95JC03798>.
- [9] S. Supangat, Agus .(2003), *Pengantar Oseanografi*. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non-Hayati Badan Riset Kelautan dan Perikanan Departemen Kelautan dan Perikanan,
- [10] G. E. Bearman, (1994), *Waves, Tides and Shallow-Water Processes*. England: Open

University, 1994.

- [11] G. Bearman, (1995), *Sea Water: Its Composition, Properties and Behaviour*. England: The Open University, England.
- [12] Sugiyono, (2017), *Research Method Quantitative & Qualitative and R&D*. Bandung: PT Alfabet.