

POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT MENGUNAKAN VERTICAL AXIS TURBINE DI SELAT KEPA, NTT

Catur Sujatmiko, Arif Winarno, Iradiratu Diah Pahmana Karyatanti

Universitas Hang Tuah, Surabaya, Indonesia

*Corresponding Author:
catur.sujatmiko12@gmail.com

Abstract.

Utilization of marine-based renewable energy is a strategic solution to support national energy security, especially in island regions such as East Nusa Tenggara. This study aims to quantitatively examine the potential of ocean current energy in the Kepa Strait, NTT, and to evaluate the feasibility of using Vertical Axis Turbine (VAT) compared to Horizontal Axis Turbine (HAT) as optimal energy conversion technology. The ocean currents in the Kepa Strait are among the waters with quite strong currents. Based on research from the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG), the average current speed in the Kepa Strait is in the range of 0.8 – 8 m/s. By utilizing the current speed and applying the kinetic energy conversion formula, an estimated power potential of ± 35 kW per turbine unit is obtained in a certain configuration. Theoretically, the optimal capacity of a generating system with two VAT units can reach 2x20 kW. The selection of Vertical Axis Turbine is based on its advantages in dealing with changing currents, ease of installation at low depths, and more flexible space requirements compared to Horizontal Axis Turbine which requires orientation towards the current direction and more stable sea depths. VAT is also considered more suitable for narrow sea environments such as the Kepa Strait which has local hydrodynamic challenges. Thus, the research results show that the amount of electrical power generated in the waters of the Kepa Strait, NTT is capable of producing power of around 17,993 W. The use of VAT is a technological choice that is adaptive to local oceanographic conditions and supports the development of renewable energy in the waters of the Kepa Strait, NTT.

Keywords: Ocean current energy, Kepa Strait, vertical axis turbine, horizontal axis turbine, renewable energy.

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang andal dan berkelanjutan merupakan salah satu pilar penting dalam mendukung pembangunan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup masyarakat, khususnya di wilayah kepulauan seperti Nusa Tenggara Timur (NTT). Namun, hingga saat ini, masih terdapat sejumlah daerah terpencil dan pulau-pulau kecil di NTT yang belum sepenuhnya terlayani oleh jaringan listrik nasional. Salah satu solusi yang potensial untuk mengatasi tantangan ini adalah pemanfaatan sumber energi terbarukan yang tersedia secara lokal, seperti energi arus laut.

Selat Kepa, yang terletak di Kabupaten Alor, NTT, memiliki karakteristik perairan dengan arus laut yang relatif kuat dan stabil sepanjang tahun. Kondisi ini menjadikan Selat Kepa sebagai salah satu lokasi yang potensial untuk dikembangkan sebagai sumber pembangkit listrik tenaga arus laut (PLTAL). Berbeda dengan energi surya dan angin yang bersifat intermiten, energi arus laut bersifat kontinyu dan lebih dapat diprediksi, sehingga memberikan keuntungan dalam aspek keandalan pasokan energi.

Dalam pengembangan PLTAL, pemilihan teknologi turbin menjadi faktor kunci yang menentukan efisiensi dan keberlanjutan sistem. Vertical Axis Turbine (VAT) merupakan salah satu jenis turbin yang cocok untuk kondisi arus laut seperti di Selat Kepa, karena mampu menangkap energi dari berbagai arah arus tanpa memerlukan sistem pengarah. Selain itu, desain VAT relatif sederhana, mudah dioperasikan, dan cocok untuk instalasi di perairan dangkal hingga menengah. Dengan keunggulan tersebut, penggunaan vertical axis turbine sangat relevan untuk aplikasi skala kecil hingga menengah di daerah terpencil.

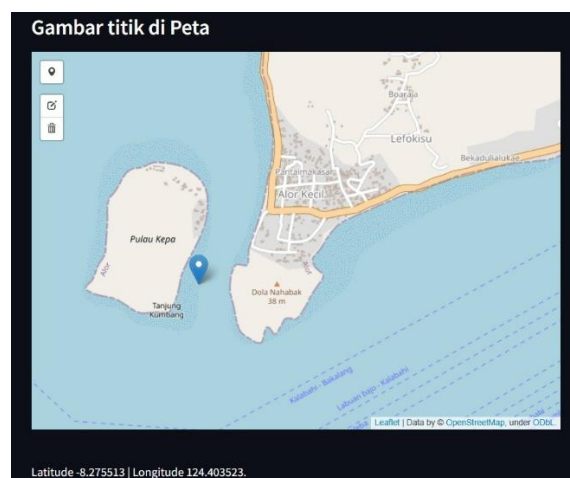
Penelitian dan pemetaan potensi energi arus laut merupakan salah satu upaya penting dalam mengeksplorasi sumber energi non-konvensional dari laut. Inovasi energi non-konvensional dari laut Indonesia dapat menjadikan langkah optimis awal untuk mengembangkan sumber-sumber energi alternatif. Negara Indonesia memiliki potensi wilayah lautan yang cukup besar dan berpotensi sebagai sumber energi alternatif seperti arus laut. Energi arus laut mulai dikembangkan mengingat kondisi geografis laut Indonesia merupakan pertemuan titik arus laut yang kuat dari dua samudera dan beberapa laut lepas yaitu Samudera Hindia, Samudera Pasifik, Laut Cina Selatan Laut Jepang, oleh karena itu sumber energi laut yang dipandang paling berpotensi dan paling banyak dieksplorasi sebagai energi terbarukan (Erwandi, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan sistem pembangkit listrik tenaga arus laut dengan kapasitas 2×20 kW di Selat Kepa, menggunakan teknologi vertical axis turbine. Kapasitas ini dipilih untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat lokal dalam skala desa atau pulau kecil. Perencanaan mencakup studi karakteristik arus laut di lokasi, pemilihan dan desain turbin yang sesuai, sistem transmisi dan distribusi daya, serta analisis teknis dan ekonomi dari sistem pembangkit yang diusulkan.

Dengan adanya perencanaan ini, diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan prototipe pembangkit listrik tenaga arus laut skala kecil yang aplikatif, serta memberikan kontribusi nyata dalam upaya diversifikasi energi dan pemerataan akses listrik di wilayah kepulauan Indonesia.

METODE

Penelitian ini difokuskan pada **Selat Kepa - NTT** yang memiliki potensi besar untuk pengembangan PLTAL. Berdasarkan kajian awal dan kebutuhan wilayah mengenai kecepatan arus laut, kedalaman laut, dan faktor lainnya. Pemilihan lokasi ini berdasarkan analisis awal mengenai keberadaan arus laut yang stabil, serta kedalaman laut yang mendukung pemasangan perangkat PLTAL.



Gambar 1. Lokasi Penelitian Selat Kepa, NTT
(Sumber: Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak)

Teknik Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung dari pihak ketiga atau lembaga tertentu yang telah melakukan pengumpulan data sebelumnya. Dalam penelitian ini, data sekunder digunakan untuk mendukung analisis potensi energi arus laut di lokasi studi, yaitu Selat Kepa, Nusa Tenggara Timur. Sumber data sekunder diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Data sekunder digunakan untuk menentukan data kecepatan arus, arah arus laut, dan data kecepatan angin. Data inilah yang menjadi bahan utama potensi energi arus di Selat Kepa.

Data Kecepatan Arus Laut

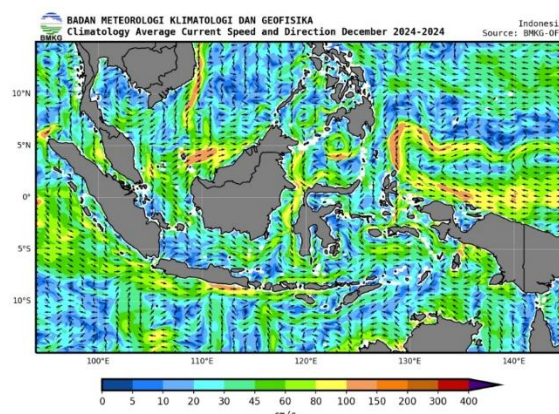
Kecepatan arus laut yang diperlukan untuk pengoperasian turbin merekomendasikan kecepatan arus sekitar **2,0–2,5 m/s** sebagai kondisi yang optimal untuk pembangkit energi arus laut **Fraenkel (2001)**. Kecepatan arus akan dianalisis berdasarkan data arus laut yang terkumpul. Alat yang digunakan untuk mengukur arus laut biasanya memakai *Acoustic Doppler Current Profile* (ADCP).



Gambar 2. Aplikasi ADCP

(Sumber: <https://apriliaerlita.wordpress.com/2021/08/31/adcp-acoustic-doppler-current-profiler/>)

Kecepatan arus pada saat pasang lebih besar dari pada kecepatan arus pada saat surut, karena berdasarkan analisis pasang surut menunjukkan pergerakan volume air saat pasang lebih besar daripada pergerakan volume air saat surut.



Gambar 3. Arus laut Permukaan

Data kecepatan arus laut merupakan salah satu parameter penting dalam menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan oleh turbin arus laut. Data ini diperoleh dari hasil pengukuran dan

pemodelan oleh BMKG. Dalam penelitian ini, digunakan data kecepatan arus laut di Selat Kepa selama 3 jam sekali di Tanggal 8 Juli 2025.

Tabel 1. Kecepatan Arus Laut di Selat Kepa Tanggal 8 Juli 2025

Waktu (UTC)	Kecepatan Arus (m/s)	Arah Arus
08/07/2025 00:00	6,37	Utara
08/07/2025 03:00	8,26	Timur Laut
08/07/2025 06:00	8,51	Timur Laut
08/07/2025 09:00	9,82	Utara
08/07/2025 12:00	4,57	Utara
08/07/2025 15:00	3,05	Timur
08/07/2025 18:00	1,84	Utara
08/07/2025 21:00	7,16	Barat Laut

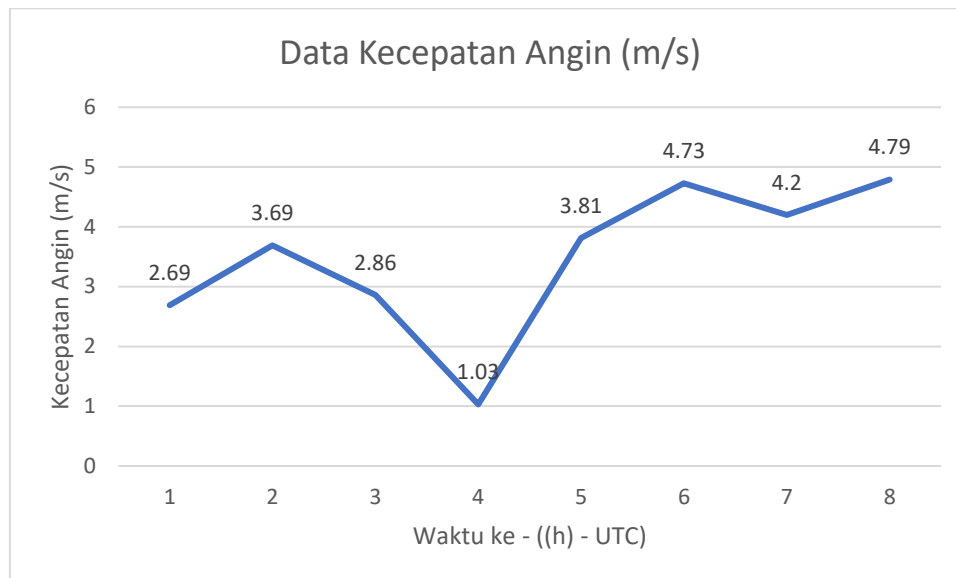
Sumber: BMKG

Data Kecepatan Angin

Data kecepatan angin memiliki fungsi strategis dalam mendukung analisis potensi pembangkit listrik tenaga arus laut di Selat Kepa. Meskipun bukan sumber energi utama seperti arus laut pasang, angin memengaruhi karakteristik arus permukaan, musim operasi, serta perencanaan teknis dan keselamatan sistem pembangkit.

Tabel 2. Kecepatan Angin di Selat Kepa Tanggal 8 Juli 2025

Waktu (UTC)	Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin
08/07/2025 00:00	2,69	Timur Laut
08/07/2025 03:00	3,69	Timur Laut
08/07/2025 06:00	2,86	Selatan
08/07/2025 09:00	1,03	Selatan
08/07/2025 12:00	3,81	Utara
08/07/2025 15:00	4,73	Utara
08/07/2025 18:00	4,2	Utara
08/07/2025 21:00	4,79	Timur Laut



Gambar 4. Grafik Data Kecepatan Angin Selat Kepa, NTT 8 Juli 2025

Grafik diatas menunjukkan untuk satuan kecepatan angi menggunakan *knots*, ada juga yang menggunakan m/s. Jadi telah dijelaskan konversi satuan angin 1 *knots* = 0,5 m/s. Dan dijelaskan pada grafik diatas data kecepatan angin pada waktu pertama pengambilan data dilakukan pukul 09:00 UTC 8 Juli 2025 menampilkan arah kecepatan angin minimum mencapai titik 1,03 m/s dari arah Selatan. Sedangkan arah kecepatan angin maksimum menampilkan pada waktu kedelapan pengambilan data dilakukan pukul 21:00 UTC 8 Juli 2025 dengan nilai mencapai 4,79 m/s dari arah Timur Laut. Dengan menganalisis data kecepatan angin dan mencocokkannya dengan data kecepatan arus laut, dapat diketahui pola musiman yang mempengaruhi potensi energi laut. Pemahaman ini berguna dalam menentukan waktu optimal operasi turbin **dan memperkirakan** output energi tahunan **dari PLTAL**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selat Kepa merupakan wilayah sempit antara Pulau Alor dan Pulau Kepa di Nusa Tenggara Timur yang dikenal memiliki arus laut yang kuat dan stabil hampir sepanjang tahun. Lokasi ini termasuk dalam bagian sistem arus laut global Arus Lintas Indonesia (Arlindo) yang mengalir dari Samudera Pasifik ke Samudera Hindia, menjadikan Selat Kepa sebagai salah satu kawasan dengan potensi energi arus laut yang signifikan di Indonesia. Untuk merancang sistem PLTAL yang efektif, perlu dilakukan pemilihan jenis turbin yang sesuai dengan kondisi oseanografis, teknis, dan lingkungan setempat. Pemilihan ini mempertimbangkan beberapa faktor seperti kecepatan dan arah arus, kecepatan angin, kebutuhan daya, dampak lingkungan, serta aspek instalasi dan pemeliharaan.

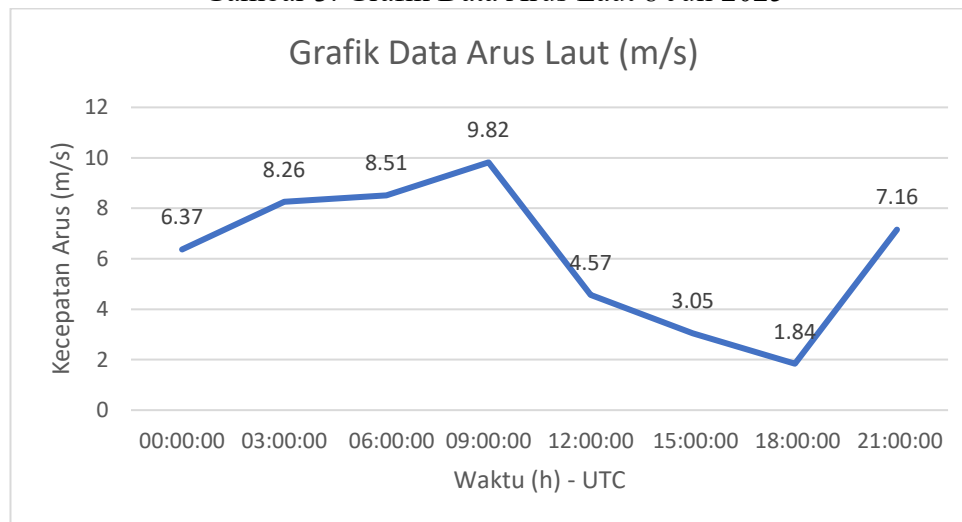
Tabel 1. Data Arus Laut Selat Kepa, NTT

Waktu (UTC)	Kecepatan Angin (m/s)	Arah Angin	Kecepatan Arus (m/s)	Arah Arus
08/07/2025 00:00	2,69	Timur Laut	6,37	Utara
08/07/2025 03:00	3,69	Timur Laut	8,26	Timur Laut
08/07/2025 06:00	2,86	Selatan	8,51	Timur Laut

08/07/2025 09:00	1,03	Selatan	9,82	Utara
08/07/2025 12:00	3,81	Utara	4,57	Utara
08/07/2025 15:00	4,73	Utara	3,05	Timur
08/07/2025 18:00	4,2	Utara	1,84	Utara
08/07/2025 21:00	4,79	Timur Laut	7,16	Barat Laut

Sumber : Stasiun Metereologi Maritim Tanjung Perak Surabaya

Gambar 3. Grafik Data Arus Laut 8 Juli 2025



Berdasarkan data dari BMKG Tanjung Perak, Selat Kepa memiliki ciri-ciri berikut:

- **Kecepatan arus di 8 Juli 2025** dapat mencapai rata-rata 3,5 m/s, data diambil tiap pada 3 jam sekali.
- **Arah arus cenderung stabil** dan dominan mengikuti pola pasang surut harian.
- Arah kecepatan angin sampai dengan 3 m/s atau 5,832 knots. (1 m/s = 1,944 knots)
- Lingkungan laut yang relatif alami, dengan keanekaragaman hayati laut yang tinggi.

Hasil Data Kecepatan Dan Arah Arus Laut

Data kecepatan dan arah arus laut bulan Juli 2025 diperoleh dari **BMKG** melalui Stasiun Meteorologi Maritim Tanjuk Perak Surabaya yang mewakili kondisi hidrodinamika di **Selat Kepa, Nusa Tenggara Timur**. Data ini bersifat sekunder dan mencatat parameter arus laut dengan interval pencatatan setiap 3 jam. Hasil data kecepatan arus laut didapat dalam waktu 16 hari berturut-turut dari 8 Juli 2025 – 24 Juli 2025. Data diperoleh pada satu titik utama di Selat Kepa, NTT.

Berikut adalah data kecepatan arus di Selat Kepa :

1. Location: Selat Kepa
2. Latitude: -8,278766
3. Longitude: 124,381371

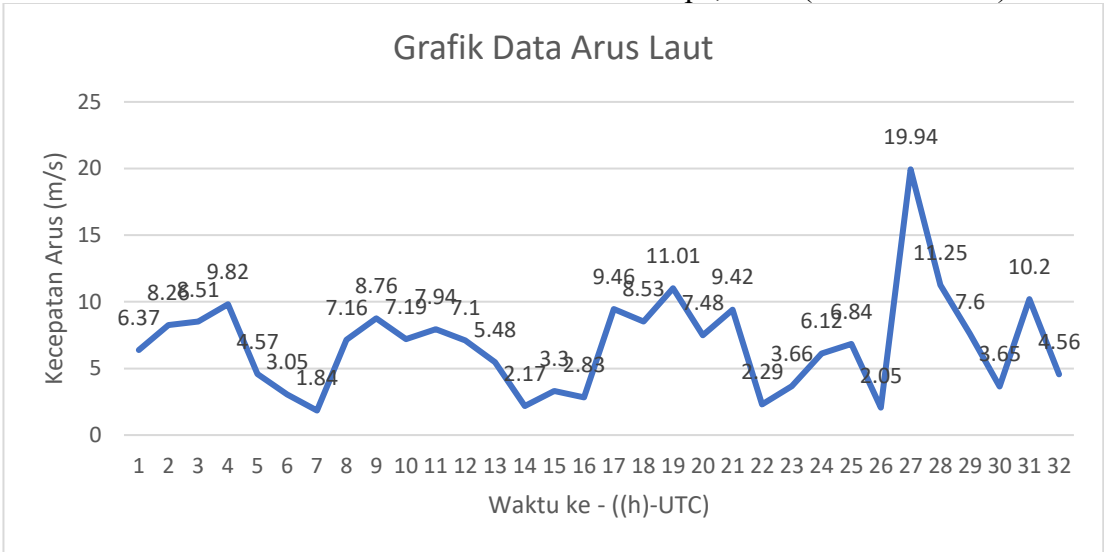
Tabel 2. Data Kecepatan Arus Selat Kepa 8-11 Juli 2025

Waktu	Kecepatan Arus (m/s)	Arah Arus	Arah Arus ($\hat{A}^\circ$)
08/07/2025 00:00	6,37	Utara	340,6
08/07/2025 03:00	8,26	Timur Laut	57,9
08/07/2025 06:00	8,51	Timur Laut	23,4
08/07/2025 09:00	9,82	Utara	8,7
08/07/2025 12:00	4,57	Utara	339,6
08/07/2025 15:00	3,05	Timur	110,6
08/07/2025 18:00	1,84	Utara	349,5
08/07/2025 21:00	7,16	Barat Laut	333,2
09/07/2025 00:00	8,76	Barat Laut	334,3
09/07/2025 03:00	7,19	Timur Laut	56
09/07/2025 06:00	7,94	Tenggara	135,8
09/07/2025 09:00	7,1	Tenggara	157,4
09/07/2025 12:00	5,48	Barat Laut	310,4
09/07/2025 15:00	2,17	Tenggara	118,3
09/07/2025 18:00	3,3	Tenggara	123,3
09/07/2025 21:00	2,83	Utara	346,3
10/07/2025 00:00	9,46	Barat Laut	333,6
10/07/2025 03:00	8,53	Utara	20,6
10/07/2025 06:00	11,01	Timur	103,7
10/07/2025 09:00	7,48	Barat Daya	236,6
10/07/2025 12:00	9,42	Barat Laut	300,6
10/07/2025 15:00	2,29	Barat	285
10/07/2025 18:00	3,66	Tenggara	132,1

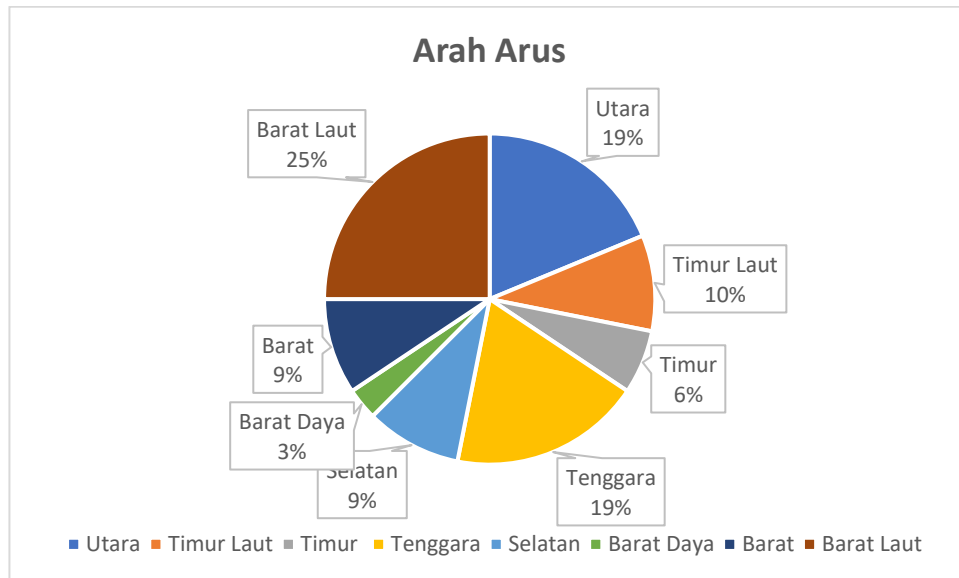
10/07/2025 21:00	6,12	Barat Laut	312,4
11/07/2025 00:00	6,84	Barat Laut	322,7
11/07/2025 03:00	2,05	Selatan	161,4
11/07/2025 06:00	19,94	Selatan	161,2
11/07/2025 09:00	11,25	Barat	254,5
11/07/2025 12:00	7,6	Barat	289,8
11/07/2025 15:00	3,65	Selatan	179,3
11/07/2025 18:00	10,2	Tenggara	142,4
11/07/2025 21:00	4,56	Barat Laut	315,8
Rata-rata	6,825		

Sumber: Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya

Gambar 4. Grafik Data Arus Laut Selat Kepa, NTT (8-11 Juli 2025)



Gambar 5. Bagan Arah Arus 8-11 Juli 2025



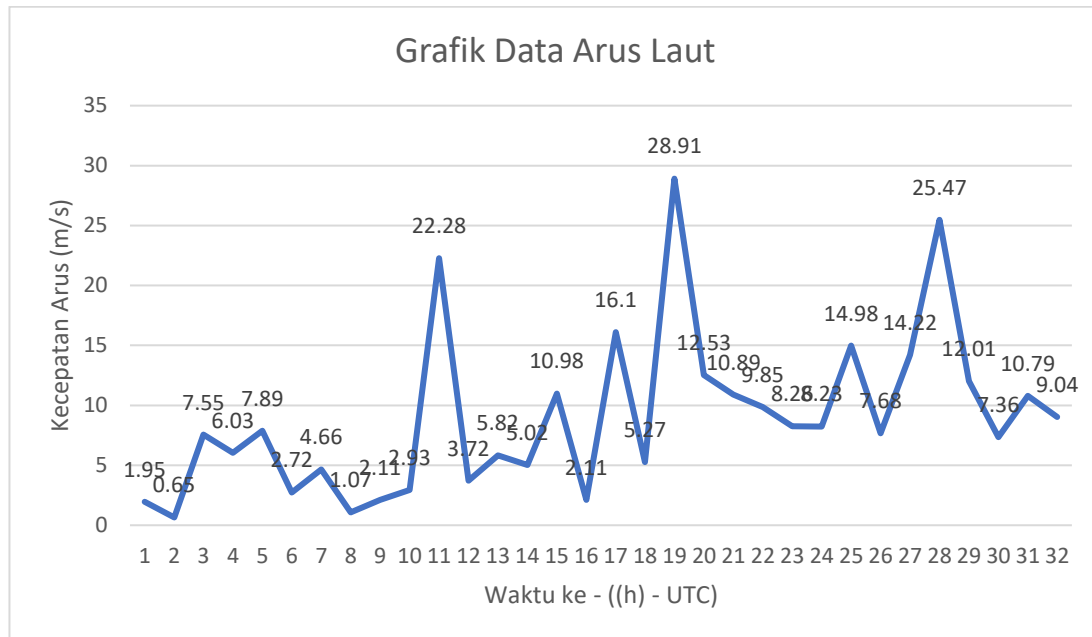
Hasil nilai arah dan kecepatan arus di Selat Kepa, NTT pada 8-11 Juli 2025 menunjukkan arah arus lebih sering bergerak ke arah Barat Laut dan memiliki rata-rata 6,825 m/s. Pola kecepatan dan arah arus laut didapat dari BMKG setiap 3 jam.

Tabel 3. Data Kecepatan Arus Laut (12-15 Juli 2025)

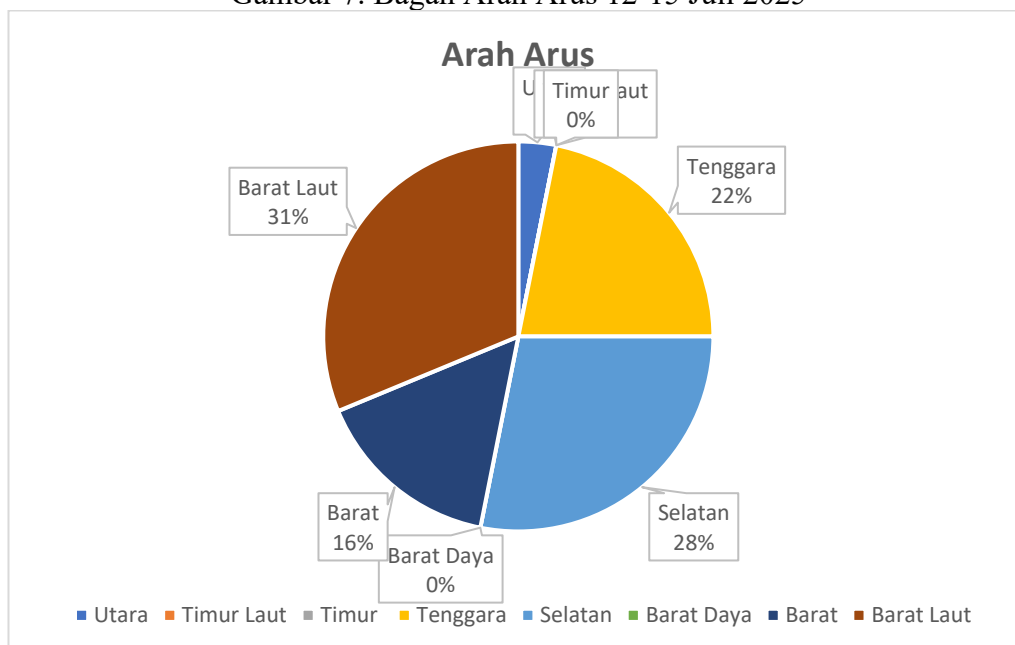
Waktu (UTC)	Kecepatan Arus (m/s)	Arah Arus	Arah Arus ($^{\circ}$)
12/07/2025 00:00	1,95	Tenggara	142,8
12/07/2025 03:00	0,65	Selatan	184,1
12/07/2025 06:00	7,55	Tenggara	148,2
12/07/2025 09:00	6,03	Selatan	191,1
12/07/2025 12:00	7,89	Barat	284,2
12/07/2025 15:00	2,72	Barat	251,4
12/07/2025 18:00	4,66	Tenggara	144,3
12/07/2025 21:00	1,07	Barat Laut	298,2
13/07/2025 00:00	2,11	Barat Laut	321,6
13/07/2025 03:00	2,93	Barat Laut	298
13/07/2025 06:00	22,28	Tenggara	149,2
13/07/2025 09:00	3,72	Selatan	175,4

13/07/2025 12:00	5,82	Barat Laut	318,2
13/07/2025 15:00	5,02	Barat Laut	316,8
13/07/2025 18:00	10,98	Tenggara	149,1
13/07/2025 21:00	2,11	Utara	340,6
14/07/2025 00:00	16,1	Barat Laut	330,4
14/07/2025 03:00	5,27	Barat Laut	333,7
14/07/2025 06:00	28,91	Selatan	159,8
14/07/2025 09:00	12,53	Selatan	186,9
14/07/2025 12:00	10,89	Barat	274,7
14/07/2025 15:00	9,85	Barat	290,3
14/07/2025 18:00	8,26	Selatan	177,6
14/07/2025 21:00	8,23	Selatan	159,6
15/07/2025 00:00	14,98	Barat Laut	320,1
15/07/2025 03:00	7,68	Barat Laut	319,1
15/07/2025 06:00	14,22	Selatan	167,4
15/07/2025 09:00	25,47	Selatan	157,9
15/07/2025 12:00	12,01	Barat	291,9
15/07/2025 15:00	7,36	Barat Laut	326,5
15/07/2025 18:00	10,79	Tenggara	154
15/07/2025 21:00	9,04	Tenggara	140,4
Rata-rata	9,034		

Gambar 6. Grafik Data Arus Laut Selat Kepa, NTT (12-15 Juli 2025)



Gambar 7. Bagan Arah Arus 12-15 Juli 2025



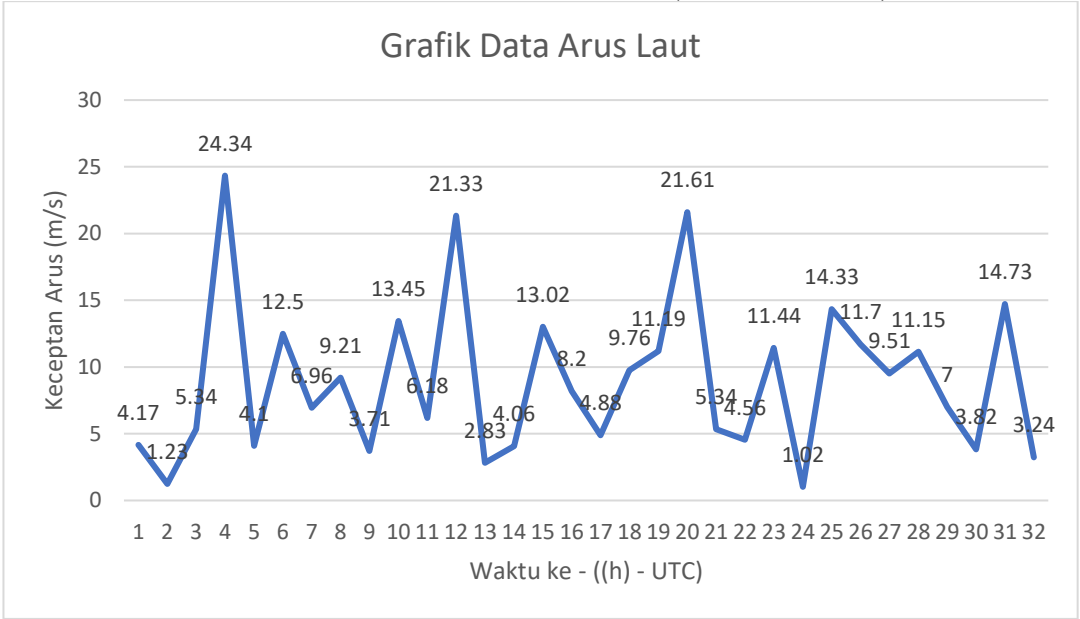
Hasil nilai arah dan kecepatan arus di Selat Kepa, NTT pada 12-15 Juli 2025 menunjukkan arah arus lebih sering bergerak ke arah Barat Laut dan memiliki rata-rata 9,034 m/s. Pola kecepatan dan arah arus laut didapat dari BMKG setiap 3 jam.

Tabel 4. Data Kecepatan Arus Laut (16-19 Juli 2025)

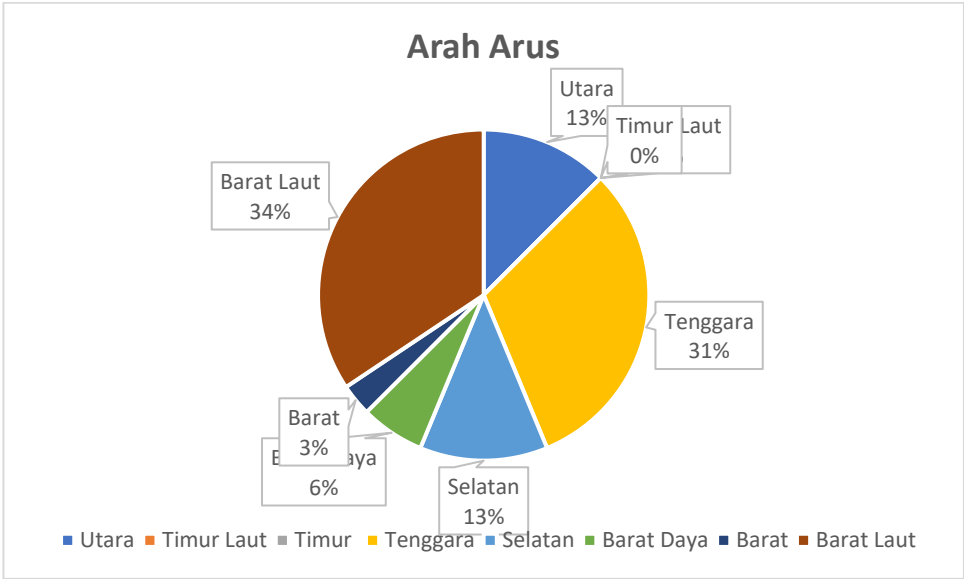
Waktu (UTC)	Kecepatan Arus (m/s)	Arah Arus	Arah Arus (Â°)
16/07/2025 00:00	4,17	Barat Laut	316,2
16/07/2025 03:00	1,23	Barat Daya	243,1
16/07/2025 06:00	5,34	Selatan	183,9
16/07/2025 09:00	24,34	Tenggara	153,1
16/07/2025 12:00	4,1	Selatan	188,2
16/07/2025 15:00	12,5	Barat Laut	332,2
16/07/2025 18:00	6,96	Barat Laut	321,8
16/07/2025 21:00	9,21	Tenggara	146,4
17/07/2025 00:00	3,71	Utara	347,5
17/07/2025 03:00	13,45	Utara	344,4
17/07/2025 06:00	6,18	Selatan	164,3
17/07/2025 09:00	21,33	Tenggara	153,3
17/07/2025 12:00	2,83	Barat	277,5
17/07/2025 15:00	4,06	Utara	341,7
17/07/2025 18:00	13,02	Barat Laut	315,6
17/07/2025 21:00	8,2	Tenggara	155,9
18/07/2025 00:00	4,88	Tenggara	142,2
18/07/2025 03:00	9,76	Barat Laut	330,1
18/07/2025 06:00	11,19	Barat Laut	311,2
18/07/2025 09:00	21,61	Tenggara	154,7
18/07/2025 12:00	5,34	Selatan	184,5
18/07/2025 15:00	4,56	Barat Laut	320,6
18/07/2025 18:00	11,44	Barat Laut	321,7

18/07/2025 21:00	1,02	Barat Daya	235,9
19/07/2025 00:00	14,33	Tenggara	140,7
19/07/2025 03:00	11,7	Utara	356,8
19/07/2025 06:00	9,51	Barat Laut	293
19/07/2025 09:00	11,15	Tenggara	152,4
19/07/2025 12:00	7	Tenggara	150,6
19/07/2025 15:00	3,82	Tenggara	148
19/07/2025 18:00	14,73	Barat Laut	321,8
19/07/2025 21:00	3,24	Barat Laut	304,1
Rata-rata	8,935		

Gambar 8. Grafik Data Arus Laut (16-19 Juli 2025)



Gambar 9. Bagan Arah Arus 16-19 Juli 2025



Hasil nilai arah dan kecepatan arus di Selat Kepa, NTT pada 16-19 Juli 2025 menunjukkan arah arus lebih sering bergerak ke arah Barat Laut dan memiliki rata-rata 8,935 m/s. Pola kecepatan dan arah arus laut didapat dari BMKG setiap 3 jam.

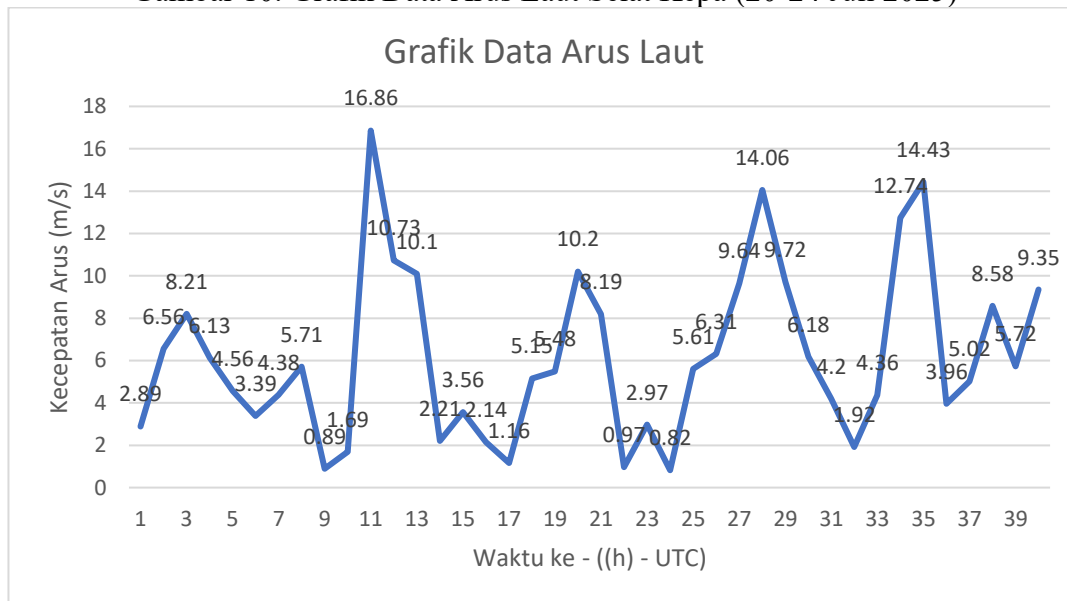
Tabel 5. Data Kecepatan Arus Laut Selat Kepa (20-24 Juli 2025)

Waktu (UTC)	Kecepatan Arus (m/s)	Arah Arus	Arah Arus (°)
20/07/2025 00:00	2,89	Tenggara	115.7
20/07/2025 03:00	6,56	Utara	3.1
20/07/2025 06:00	8,21	Tenggara	141.3
20/07/2025 09:00	6,13	Selatan	183.2
20/07/2025 12:00	4,56	Selatan	182.6
20/07/2025 15:00	3,39	Barat	274.5
20/07/2025 18:00	4,38	Tenggara	131.2
20/07/2025 21:00	5,71	Barat Laut	314.2
21/07/2025 00:00	0,89	Timur	80.9
21/07/2025 03:00	1,69	Tenggara	128.8
21/07/2025 06:00	16,86	Tenggara	151.1
21/07/2025 09:00	10,73	Selatan	184.3

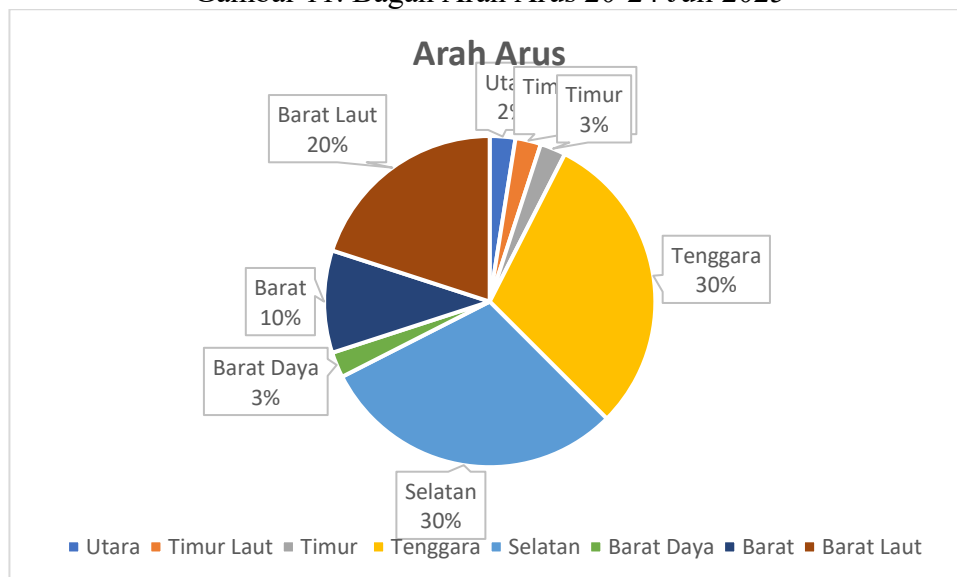
21/07/2025 12:00	10,1	Selatan	158.4
21/07/2025 15:00	2,21	Barat Laut	316.6
21/07/2025 18:00	3,56	Tenggara	152.3
21/07/2025 21:00	2,14	Barat	287.4
22/07/2025 00:00	1,16	Selatan	162.3
22/07/2025 03:00	5,15	Timur Laut	34.7
22/07/2025 06:00	5,48	Tenggara	119.4
22/07/2025 09:00	10,2	Selatan	162.5
22/07/2025 12:00	8,19	Selatan	163.1
22/07/2025 15:00	0,97	Barat	278.3
22/07/2025 18:00	2,97	Barat Laut	302.4
22/07/2025 21:00	0,82	Barat	275.5
23/07/2025 00:00	5,61	Barat Laut	321.7
23/07/2025 03:00	6,31	Tenggara	136.4
23/07/2025 06:00	9,64	Selatan	186.1
23/07/2025 09:00	14,06	Selatan	175.7
23/07/2025 12:00	9,72	Selatan	165.1
23/07/2025 15:00	6,18	Tenggara	153.2
23/07/2025 18:00	4,2	Barat Laut	324.6
23/07/2025 21:00	1,92	Barat Laut	294.8
24/07/2025 00:00	4,36	Barat Laut	312.2
24/07/2025 03:00	12,74	Selatan	158.3
24/07/2025 06:00	14,43	Selatan	159.8
24/07/2025 09:00	3,96	Barat Daya	222.7
24/07/2025 12:00	5,02	Tenggara	151.1

24/07/2025 15:00	8,58	Tenggara	151.1
24/07/2025 18:00	5,72	Tenggara	138.5
24/07/2025 21:00	9,35	Barat Laut	316.8
Rata-rata	6,17		

Gambar 10. Grafik Data Arus Laut Selat Kepa (20-24 Juli 2025)



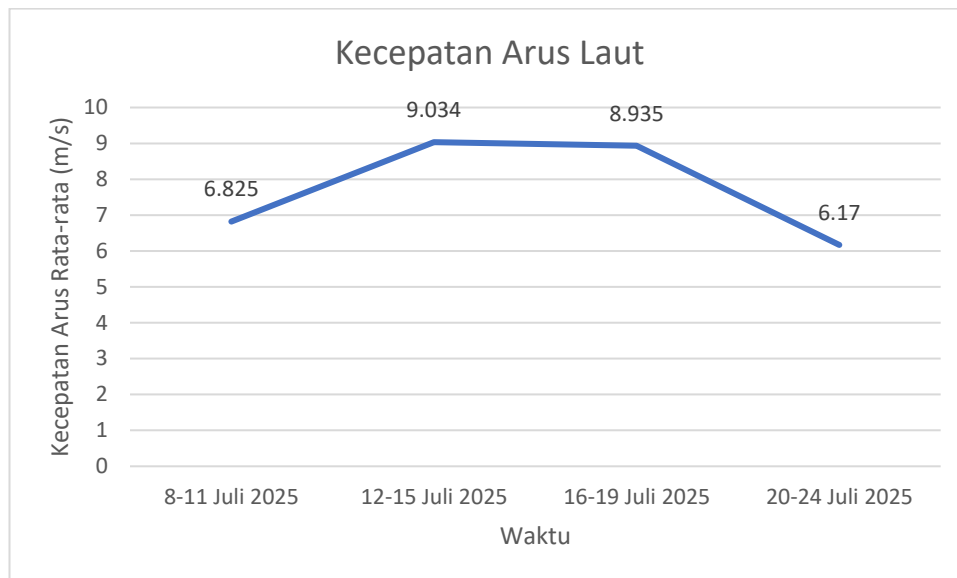
Gambar 11. Bagan Arah Arus 20-24 Juli 2025



Hasil nilai arah dan kecepatan arus di Selat Kepa, NTT pada 20-24 Juli 2025 menunjukkan arah arus lebih sering bergerak ke arah Barat Laut dan memiliki rata-rata 6,17 m/s. Pola kecepatan dan arah arus laut didapat dari BMKG setiap 3 jam.

Kecepatan Arus Laut

Gambar 12. Kecepatan Arus Rata-rata



Tabel 6. Kecepatan Arus Rata-rata

Waktu	Kecepatan Arus Rata-rata (m/s)
8-11 Juli 2025	6,825
12-15 Juli 2025	9,034
16-19 Juli 2025	8,935
20-24 Juli 2025	6,17
Rata-rata	7,741

Dari data rata-rata diatas sudah dipastikan bahwa ada kecepatan minimum dan kecepatan maksimum seperti tabel dibawah ini:

Tabel 7. Statistik Kecepatan Arus Laut Selat Kepa, NTT

Parameter	Nilai
Kecepatan Minimum (m/s)	6,17
Kecepatan Maksimum (m/s)	9,034
Kecepatan Rata-rata (m/s)	7,741
Jumlah Data (jam)	576

Berdasarkan tabel di atas, kecepatan arus laut di Selat Kepa pada 8 Juli 2025 sampai 24 Juli 2025 berada pada kisaran **6,17 – 9,034 m/s**, dengan rata-rata **7,741 m/s**. Nilai rata-rata ini sudah berada dalam kisaran potensial untuk pembangkit listrik tenaga arus laut, yang menurut Fraenkel (2001) efektif pada kecepatan di atas **1,0 m/s** dan optimal pada kisaran **2,0–2,5 m/s**. Dengan hasil penelitian dari BMKG menyampaikan kecepatan maksimum terjadi pada saat air bergerak melalui penyempitan Selat Kepa baik menuju Laut Sawu maupun Laut Banda.

Arah Arus Laut

Arah arus laut di Selat Kepa menunjukkan pola yang konsisten dua arah (bidirectional). Pola bidirectional ini terjadi akibat perbedaan elevasi muka air laut antara Laut Sawu dan Laut Banda yang berganti setiap siklus pasang surut. Fenomena ini sesuai dengan konsep arus pasang surut di selat sempit (*tidal choke flow*), di mana topografi sempit dan dangkal memperkuat kecepatan dan mengarahkan aliran. Dari hasil data penelitian BMKG, untuk rata-rata arah arus bisa dilihat dari tabel dibawah ini:

Tabel 8. Arah Arus 8 – 24 Juli 2025

Waktu	Arah Arus
8-11 Juli 2025	Barat Laut
12-15 Juli 2025	Barat Laut
16-19 Juli 2025	Barat Laut
20-24 Juli 2025	Tenggara dan Selatan
Rata-rata	Barat Laut

Data tabel diatas menunjukkan bahwa dari 8 Juli 2025 sampai dengan 24 Juli 2025 arah arus lebih sering menuju ke Barat Laut.

Analisis Potensi Energi

Potensi daya dihitung menggunakan rumus energi kinetik aliran:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3$$

Keterangan:

P = Daya (watt)

ρ = 1025 kg/m³ (massa jenis air laut)

A = Luas penampang turbin (m²)

V = Kecepatan arus laut (m/s)

Analisis ini akan menggunakan Vertical Axis Turbine tipe Darrieus dengan diameter 3,6 meter dan tinggi 3,6 meter ($A = 12,96 \text{ m}^2$), serta kecepatan arus rata-rata 7,74 m/s:

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1025 \cdot 12,96 \cdot 7,74 = 51.409,08 \text{ Watt}$$

Dengan efisiensi turbin 35%, maka daya efektif per unit:

$$P_{\text{efektif}} = 0,35 \times 51409,08 \approx 17.993,178 \text{ Watt}$$

Jika dirancang 2 unit turbin, maka:

$$P_{\text{total}} = 2 \times 17993,178 = 35.986,356 \text{ W} = 35,986 \text{ kW}$$

Pemilihan dan Desain Vertical Axis Turbine

Pemilihan *Vertical Axis Turbine (VAT)* didasarkan pada karakteristik arus laut di Selat Kepa yang bersifat dua arah (bidirectional) akibat pasang surut. Keunggulan *VAT* dibandingkan *Horizontal Axis Turbine (HAT)*:

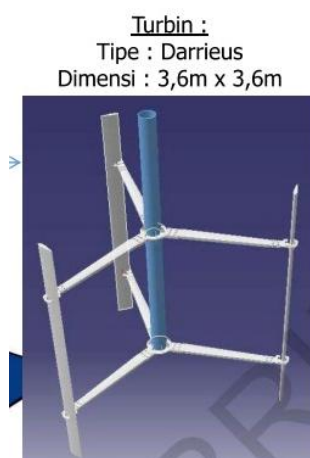
- Mampu menangkap arus dari berbagai arah.
- Struktur lebih sederhana dan cocok untuk daerah dengan arus laut yang sesuai dengan data.
- Cocok digunakan pada perairan dangkal dan sempit seperti Selat Kepa, NTT.

Spesifikasi Turbin Rencana:

Tabel 8. Spesifikasi Turbin Vertikal

Parameter	Nilai
Tipe Turbin	Darrieus
Diameter Rotor	3,6 meter
Tinggi Rotor	3,6 meter
Efisiensi Mekanis	35%
Kecepatan Minimum Arus	0,8 m/s
Kapasitas per Unit	20 kW

Gambar 7. Desain *Vertical Axis Turbine* (Sumber: PLN Puslitbang)



Estimasi Produksi Energi Tahunan

Dengan daya total efektif 35,986 kW dan faktor kapasitas 0,9 (mengakomodasi fluktuasi arus, efisiensi sistem, dan downtime), maka estimasi produksi energi tahunan:

$$E_{\text{tahunan}} = 35,986 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0,9 = 283.713,624 \text{ kWh/tahun}$$

Berdasarkan hasil analisis, turbin poros vertikal sangat cocok digunakan di Selat Kepa karena kondisi arus pasang surut yang berubah arah. Potensi daya per unit memang relatif kecil, tetapi jika dikembangkan dalam skala modular, maka pembangkit dapat memberikan suplai energi yang signifikan dan berkelanjutan.

Keunggulan utama sistem ini adalah:

- Mudah dikembangkan secara bertahap (modular).
- Dampak lingkungan minimal.
- Cocok untuk daerah kepulauan, selat yang sempit dan pesisir terpencil.

Namun terdapat tantangan teknis seperti:

- Korosi peralatan akibat lingkungan laut.
- Biaya investasi awal relatif tinggi.
- Perlu sistem pemantauan dan pemeliharaan berkala.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan tujuan dan bahasan penelitian adalah :

1. Berdasarkan karakteristik arus laut yang bersifat dua arah (bidirectional) dan lokasi perairan yang sempit serta tidak terlalu dalam, maka **turbin poros vertikal** dipilih karena tidak memerlukan sistem pengarah. Selain itu, **desainnya sederhana, stabil, dan efisien untuk kecepatan arus sedang hingga tinggi**. Dengan efisiensi konversi rata-rata sekitar **35%**, turbin jenis ini mampu memberikan kinerja optimal untuk lokasi seperti Selat Kepa.
2. Dengan desain dua unit turbin berkapasitas masing-masing 20 kW, sistem ini diperkirakan mampu menghasilkan energi listrik sekitar 126.094,944 per tahun. Daya ini cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah kepulauan, selat yang sempit dan pesisir terpencil, serta fasilitas publik seperti lampu jalan, pompa air, atau pusat layanan kesehatan di pulau kecil.

Saran dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Disarankan agar rancangan turbin arus laut, khususnya jenis poros vertikal yang digunakan, dianalisis lebih lanjut menggunakan simulasi CFD. Dengan pendekatan ini, pola aliran, tekanan, gaya torsi, dan efisiensi konversi energi dapat diketahui secara lebih akurat, sehingga desain turbin dapat disesuaikan dengan karakteristik arus laut setempat untuk menghasilkan daya maksimum. Dukungan dari pemerintah daerah dan pusat perlu dioptimalkan, baik dalam bentuk insentif, kemudahan perizinan, maupun bantuan pembiayaan, agar proyek dapat berjalan secara berkelanjutan.
2. Karena kedalaman Selat Kepa berada pada kisaran 20-35 meter, maka struktur penopang harus dirancang berdasarkan data geoteknik dasar laut. Bila dipilih sistem fixed-bottom, diperlukan perhitungan beban hidrodinamis dan kestabilan fondasi. Jika menggunakan

platform terapung, sistem tambatannya harus mampu meredam gerakan akibat gelombang dan arus.

3. Mengingat energi arus laut bersifat fluktuatif, integrasi sistem dengan baterai lithium-ion atau bank baterai berbasis VRLA akan meningkatkan keandalan suplai listrik. Penyimpanan ini juga penting jika PLTAL akan melayani beban puncak malam hari saat kebutuhan meningkat.

REFERENSI

- A Mauladani, M. S. (2023). Pemanfaatan Arus Laut di Pantai Ampenan Provinsi NTB sebagai Energi Alternatif menggunakan Oscillating Water Column. *Jurnal Energy*, 1.
- Abrori*, H. F. (2024, november 6). PRESERVASI PREVENTIF BAHAN PUSTAKA PETA DI PERPUSTAKAAN PUSAT SURVEI GEOLOGI. p. 1.
- Barbari'c, M. (2020, september 2). Investigation of the Possibilities to Improve Hydrodynamic Performances of Micro-Hydrokinetic Turbines. p. 2.
- Darma, B. (2021). Statistika penelitian menggunakan SPSS (Uji validitas, uji reliabilitas, regresi linier sederhana, regresi linier berganda, uji t, uji F, R2).
- EBTKE., D. J. (n.d.). Potensi Energi Laut Indonesia.
- Fadlillah, A. A., Sanjaya, K. V., Arkananta, M. Z., & Darmawan, Y. (2022). Potensi Panas Laut Sebagai Energi Baru Terbarukan Di Perairan Kepulauan Nusa Tenggara Timur Dengan Metode Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC). *JEBT Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, Vol. 5, No. 1.
- MENGUNAKAN TEKNOLOGI GIS. *Jurnal GRADASI TEKNIK SIPIL*, 01, 47.
- H. Syahputra, I. B. (2021). Kajian Potensi Arus Laut Sebagai Energi Pembangkit Listrik Di Selat Larantuka, Flores Timur, Nusa Tenggara Timur. 3.
- Indrayanti, E. (2021, Mei 30). Identifikasi Arus Pasang Surut di Perairan Kemujan, Karimunjawa Berdasarkan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 5.
- Jati, S. A. (2024). Dinamika Hukum Dalam Pengembangan Energi Baru Terbarukan Di Indonesia : Tinjauan Terhadap Aspek Regulasi dan Implementasinya Dalam Pembangunan Infrastruktur Energi Berkelanjutan. *Jurnal Legal Reasoning*, Vol. 6, No. 2.
- Overview Penyediaan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Air Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). (2021). *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2.
- Pembangunan Sumberdaya Energi Non-Konvensional Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Kecamatan Kontunaga Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara. (2024, Oktober). 1, 1.
- Richardo Barry Astro, Y. D. (2020). Potensi Energi Air Sebagai Sumber Listrik Ramah Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 4, 125.
- ROSYADI, F. (2021). Analisa Kekuatan Deck Kapal Pembangkit Listrik Kapasitas 60 MW.
- Saputro, V. E. (2023, Oktober 20). Pemanfaatan Arus Laut di Pantai Ampenan Provinsi NTB sebagai Energi Alternatif menggunakan Oscillating Water Column. p. 1.
- Warpindyasmoro, H. S., Kantonno, E. R., & Limanto, J. (2024). Potensi Energi Gelombang Laut Di Laut Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Teknik Elektro*, Vol. 17, No. 1.
- Dindin Nasrudin, Agus Setiawan, Dr.Rahmat Fadhli, Ed.M. (2024). *Pendidikan Energi – Halaman 105*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2020). Potensi Energi Laut Indonesia. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- International Energy Agency (IEA). (2021). Renewable Energy for Off-Grid Applications in Remote Areas. Paris: IEA.
- (Pembangunan Sumberdaya Energi Non-Konvensional Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Kecamatan Kontunaga Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara, 2024)

- (Overview Penyediaan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Air Berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), 2021)
- (R Egi, PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT(PLTAL) MENGGUNAKAN TURBIN SUMBU VERTIKAL, 2022)
- (Jahirwan Ut. Jasron1, AnalisaPotensi Gelombang Laut sebagaiSumber Energi Terbarukan Menggunakan Perangkat Oscillating Water Column (OWC) Di Wilayah Perairan Laut Timor, 2022)
- (Cameron Gerrie, 2023) (Cameron Gerrie, 3D CFD Modelling of Performance of a Vertical Axis Turbine, 2023)