



Analisis Kinerja Dan Efisiensi Generator Pada Prototipe Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Dengan Menggunakan Turbin *Darrieus*

Elvanndana Lae Mooy¹, Agus Dwi Santoso², Samsul Huda³

^{1,2,3}Politeknik Pelayaran Surabaya

vanlae2002@gmail.com, agusbp2ipsbv@gmail.com, samsul_huda@polteknik-sbv.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi dan kinerja generator DC pada prototipe pembangkit listrik tenaga arus dengan menggunakan turbin *Darrieus*. Prototipe ini dirancang sebagai salah satu alternatif pemanfaatan energi arus air yang bersifat terbarukan, ramah lingkungan, serta berpotensi diaplikasikan pada daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik. Metode pengujian dilakukan melalui pendekatan uji statis dan dinamis, baik tanpa beban maupun dengan beban berupa lampu DC 12V/7W, guna mengetahui respons generator terhadap variasi putaran (RPM) serta kondisi operasional yang berbeda. Hasil uji dinamis memperlihatkan bahwa generator pertama dengan sudut turbin 90° mampu menghasilkan tegangan maksimum sebesar 9,10 V dengan arus puncak 1,65 A, sedangkan generator kedua hanya mencapai tegangan 3,00 V dan arus 0,88 A. Analisis efisiensi menunjukkan bahwa generator pertama memiliki kinerja lebih optimal dalam menghasilkan daya keluaran dibandingkan generator kedua. Selain itu, dilakukan pengujian kemampuan sistem dalam mengisi baterai 12V 7,5Ah, yang menghasilkan estimasi waktu pengisian selama ±9,49 jam serta waktu pengosongan ±12,86 jam pada beban lampu 7W. Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa sistem pembangkit listrik ini dapat beroperasi secara efisien, stabil pada kondisi ideal, serta relevan untuk pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis arus air. Potensi ini penting bagi keberlanjutan energi di masa depan.

Kata kunci: Analisis, Kinerja, Efisiensi, Generator

1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi peradaban modern, seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, perkembangan teknologi, dan ekspansi infrastruktur di seluruh dunia. Di Indonesia, konsumsi listrik per kapita pada tahun 2020 mencapai 1.089 kWh (Kementerian ESDM, Rida Mulyana, 2021), sebuah angka yang terus meningkat setiap tahunnya. Namun, peningkatan permintaan ini tidak selalu diimbangi oleh kapasitas produksi listrik nasional, sehingga menimbulkan tantangan besar dalam memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Untuk mengatasi hal ini, inovasi dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan (EBT) menjadi solusi strategis, khususnya melalui pemanfaatan energi arus laut sumber energi yang dihasilkan dari gerakan kinetik pasang surut, tiupan angin, perbedaan densitas, dan pergerakan gelombang laut (Muhamad Azhar, 2018; Firman Husain, 2021).

Energi arus laut memiliki keunggulan signifikan dibandingkan sumber energi terbarukan lainnya, karena tidak bergantung pada variabilitas iklim seperti matahari atau angin. Arus laut merupakan massa air yang bergerak secara vertikal maupun horizontal, membentuk pola gerakan yang stabil dan luas, sehingga memberikan potensi energi yang konsisten sepanjang tahun. Selain itu, teknologi pemanfaatan energi arus laut relatif murah dan mudah diaplikasikan, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia yang memiliki garis pantai panjang dan potensi arus laut yang tinggi (I Made Agus Mahardiananta, 2017). Hal ini menjadikan PLTAL (Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut) sebagai kandidat utama dalam diversifikasi bauran energi nasional.

Sistem PLTAL terdiri dari dua komponen utama: turbin dan generator listrik. Turbin berfungsi menangkap energi kinetik dari aliran air laut dan mengubahnya menjadi energi mekanis berupa putaran poros, yang kemudian digunakan untuk memutar generator. Generator, sebagai komponen pengonversi, mengubah energi mekanis tersebut menjadi energi listrik. Kinerja keseluruhan sistem sangat dipengaruhi oleh efisiensi generator, yaitu rasio antara daya output listrik yang dihasilkan dengan energi mekanis yang masuk. Efisiensi yang tinggi menjamin

keandalan sistem, sedangkan efisiensi rendah dapat menyebabkan pemborosan energi dan penurunan output listrik secara signifikan.

Efisiensi generator juga dipengaruhi oleh stabilitas beban listrik yang terhubung ke sistem. Ketika beban berubah-ubah, generator mengalami ketidakstabilan operasional yang dapat menurunkan efisiensinya (Dian Winny A, 2015). Arus listrik yang dihasilkan bergantung pada impedansi beban, sehingga fluktuasi beban harus dikelola dengan baik agar generator tetap bekerja pada titik optimal. Oleh karena itu, analisis rutin terhadap efisiensi generator menjadi penting untuk memastikan kinerja sistem tetap prima. Dalam konteks ini, efisiensi bukan hanya ukuran teknis, tetapi juga indikator kesehatan dan umur pakai peralatan, yang berdampak langsung pada keberlanjutan operasional PLTAL.

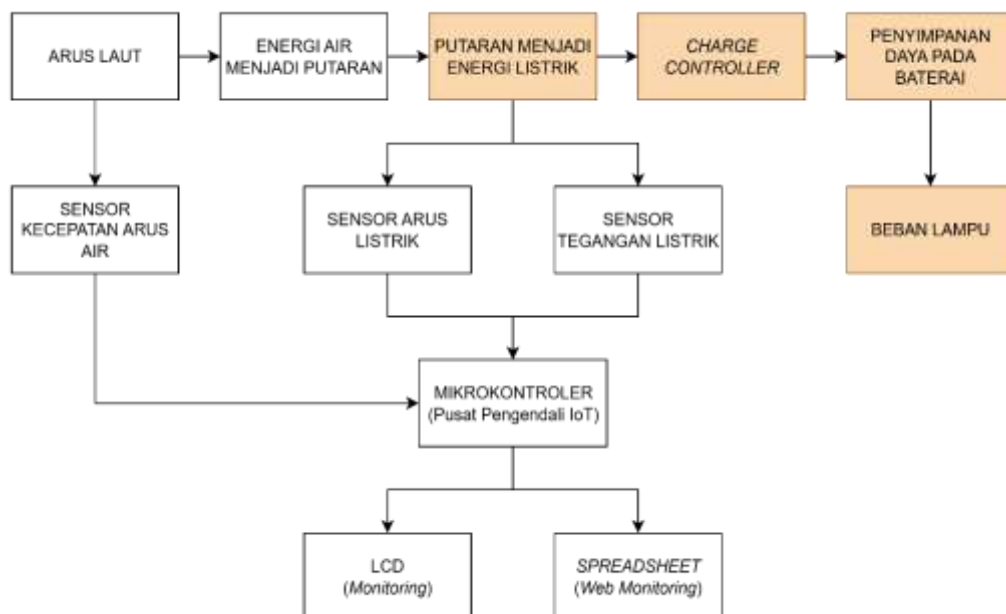
Berdasarkan berbagai studi sebelumnya, pemanfaatan energi arus laut melalui PLTAL menunjukkan potensi besar sebagai solusi energi bersih dan berkelanjutan. Daya masukan generator yang berasal dari turbin yang dikopel langsung menjadikan efisiensi sistem secara keseluruhan sangat bergantung pada kinerja masing-masing komponen. Perbandingan efisiensi antar generator pun menjadi alat evaluasi penting untuk menilai seberapa efektif masing-masing unit dalam mengubah energi mekanis menjadi listrik (Dwi Cahyadi dan Hermawan, 2015). Dengan demikian, pengembangan dan optimasi teknologi PLTAL tidak hanya relevan, tetapi mendesak untuk mendukung ketahanan energi nasional dan pencapaian target netralitas karbon di masa depan.

1. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan rekayasa (engineering research), yaitu merancang, membangun, dan menguji sistem konversi energi arus air menjadi energi listrik berbasis turbin Darrieus yang terintegrasi dengan Internet of Things (IoT) untuk monitoring.

2.1 Perancangan Sistem

Tahap perancangan meliputi integrasi perangkat keras dan perangkat lunak. Komponen utama yang digunakan antara lain turbin Darrieus, generator DC, charge controller, baterai, lampu beban, sensor kecepatan arus, sensor tegangan, sensor arus, mikrokontroler ESP32, LCD, serta Google Spreadsheet untuk pemantauan daring. Rancangan sistem divisualisasikan dalam bentuk blok diagram, flowchart, wiring diagram, dan desain 3D agar hubungan antar komponen lebih jelas. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai hubungan antar komponen tersebut, berikut disajikan blok diagram dari sistem yang telah dirancang:

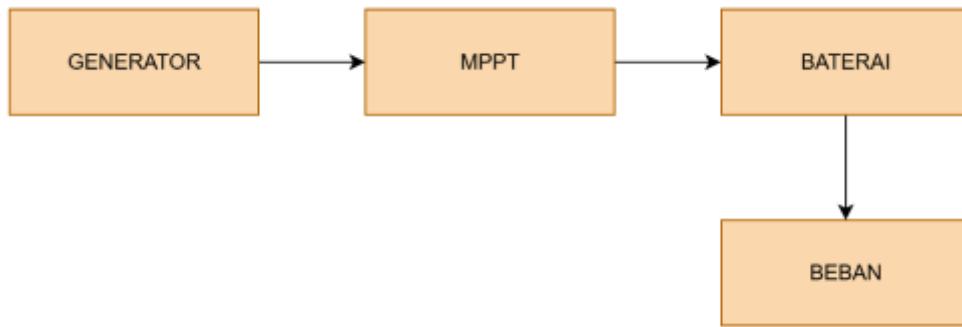


Gambar 1. Blok Diagram Perancangan Sistem

2.2 Perancangan Alat

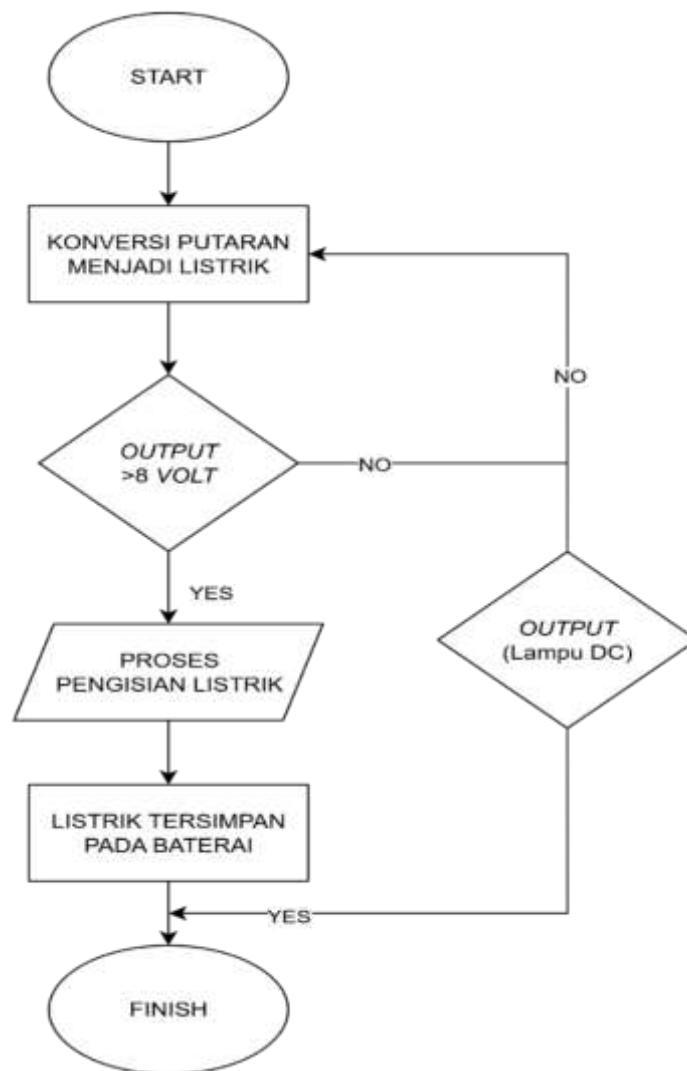
Sistem yang dirancang diwujudkan dalam bentuk prototipe fisik. Generator DC berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, MPPT mengoptimalkan pengisian baterai, baterai sebagai penyimpanan energi, dan lampu DC sebagai beban uji. Mikrokontroler ESP32 diintegrasikan dengan sensor INA219 serta LCD I2C

untuk monitoring lokal, sementara data juga dikirimkan ke Google Spreadsheet sebagai monitoring berbasis web. Berikut ditampilkan blok diagram dari perancangan alat yang telah dikembangkan:



Gambar 2. Blok Diagram Perancangan Alat

Adapun peneliti menyajikan diagram alir (flowchart) proses operasional alat sebagai representasi visual dari urutan tahapan sistem kerja:



Gambar 3. Flowchart Alur Kerja Alat

2.3 Rencana Pengujian

Pengujian dilakukan di Bengkel Politeknik Pelayaran Surabaya. Uji coba dilaksanakan dalam dua tahap:

1. Pengujian Statis, yaitu menguji komponen secara terpisah untuk memastikan kinerja sesuai spesifikasi.
2. Pengujian Dinamis, yaitu menguji sistem secara terintegrasi sebanyak 30 kali untuk memperoleh data tegangan, arus, daya, serta efisiensi generator.

2.4 Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan kinerja sistem terhadap tujuan perancangan. Analisis difokuskan pada efisiensi konversi energi dan reliabilitas sistem monitoring berbasis IoT.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Uji Statis

Uji statis dilakukan sebagai tahap awal untuk memastikan bahwa setiap komponen sistem berfungsi dengan baik sebelum dilakukan pengujian dinamis. Tahap ini meliputi pengujian generator, MPPT, dan baterai dalam kondisi non-operasional atau tanpa beban penuh.

Pengujian Statis Generator

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respons tegangan keluaran generator terhadap kecepatan putaran poros (RPM). Pengujian dilakukan dengan memutar poros generator menggunakan mesin bor (drilling machine) pada berbagai kecepatan, sambil mengukur tegangan yang dihasilkan. Data hasil pengujian disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Statis Generator.

No	RPM	Tegangan (V)
1	1	0.04
2	8	0.34
3	17	0.73
4	26	1.11
5	34	1.46
6	42	1.80
7	54	2.31
8	66	2.82
9	75	3.21
10	84	3.60
11	92	3.95
12	101	4.33
13	112	4.79
14	123	5.27
15	133	5.69
16	144	6.16
17	153	6.55
18	165	7.07
19	174	7.45
20	183	7.84
21	192	8.22
22	200	8.56
23	208	8.90
24	217	9.29
25	228	9.76
26	240	10.27
27	253	10.84
28	267	11.44
29	291	12.47
30	317	13.59

Sumber: Dokumen Pribadi

Dari tabel tersebut terlihat bahwa tegangan output meningkat secara linier seiring dengan peningkatan RPM. Misalnya, pada RPM 100, tegangan mencapai 4.33 V, sedangkan pada RPM 317, tegangan mencapai 13.59 V. Hal ini menunjukkan bahwa generator memiliki respons yang baik terhadap perubahan kecepatan putar, dan dapat dikatakan berfungsi secara normal dalam konversi energi mekanik menjadi listrik.

Pengujian Statis MPPT dan Baterai

Pengujian statis pada MPPT dan baterai dilakukan untuk memastikan komponen-komponen tersebut siap digunakan. MPPT diuji tanpa beban untuk memeriksa konektivitas dan respons terhadap input daya, sedangkan baterai diuji untuk memastikan tegangan nominal dan kondisi internal berada dalam batas aman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua komponen siap digunakan dalam pengujian selanjutnya.

3.2. Uji Dinamis

Uji dinamis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem saat beroperasi secara nyata. Pengujian dibagi menjadi dua bagian: tanpa beban dan dengan beban.

Pengujian Dinamis Generator Pertama Tanpa Beban

Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan generator pertama ke sistem prototipe, dengan sudut blade turbin tetap pada posisi 90° konfigurasi yang diidentifikasi sebagai paling efisien. Tabel 2. menyajikan data hasil pengujian sebanyak 30 kali.

Tabel 2. Data Pengujian Generator Pertama Tanpa Beban

No	RPM	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Out (W)
1	206	7,76	1,66	12,85
2	205	5,97	1,38	8,26
3	207	6,38	1,67	10,69
4	208	6,59	1,67	11,02
5	223	6,85	1,30	8,90
6	202	8,74	1,53	13,33
7	209	6,41	1,70	10,89
8	221	9,16	1,55	14,19
9	220	7,89	1,64	12,93
10	215	5,69	1,38	7,86
11	201	6,34	1,55	9,79
12	215	6,95	1,42	9,89
13	213	6,42	1,52	9,75
14	214	8,21	1,28	10,51
15	224	9,30	1,58	14,69
16	205	5,72	1,40	8,00
17	205	8,32	1,56	12,97
18	222	5,92	1,45	8,56
19	209	8,98	1,46	13,13
20	200	6,41	1,48	9,50
21	217	8,72	1,60	13,96
22	206	6,51	1,51	9,81
23	216	7,85	1,34	10,49
24	212	5,94	1,28	7,60
25	224	7,97	1,51	11,99
26	217	6,86	1,33	9,11
27	220	8,30	1,5	12,42
28	205	6,67	1,30	8,64
29	218	6,20	1,43	8,85
30	220	5,62	1,61	9,08

Sumber: Dokumen Pribadi

Dari data tersebut, rata-rata daya keluaran generator pertama tanpa beban berkisar antara 7.86 W hingga 14.76 W, dengan nilai rata-rata sekitar 11.2 W. Tegangan dan arus bervariasi karena fluktuasi kecepatan putar poros akibat gaya aerodinamis yang tidak konstan. Namun, hasil ini menunjukkan bahwa generator mampu menghasilkan daya listrik secara stabil dalam kondisi dinamis.



Gambar 5. Sudut Blade Turbin 90°



Gambar 6. Pengujian Generator Pertama Tanpa Beban

Pengujian Dinamis Generator Kedua Tanpa Beban

Generator kedua, yang merupakan motor DC brushed dengan spesifikasi lebih rendah (daya nominal 120 W), juga diuji dalam kondisi serupa. Tabel 3. menunjukkan data hasil pengujian.

Tabel 3. Data Pengujian Generator Kedua Tanpa Beban

No	RPM	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Out (W)
1	125	2.80	0.65	1.82
2	98	1.50	0.22	0.33
3	141	2.10	0.47	0.99
4	78	1.80	0.35	0.63
5	109	2.45	0.72	1.76
6	87	1.90	0.66	1.25
7	112	2.75	0.58	1.60
8	132	2.00	0.41	0.82
9	67	1.20	0.29	0.35
10	101	3.00	0.88	2.64

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2808>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

No	RPM	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Out (W)
11	75	1.65	0.42	0.69
12	134	2.90	0.76	2.20
13	58	1.10	0.15	0.17
14	147	2.60	0.81	2.11
15	69	1.35	0.30	0.41
16	95	2.35	0.53	1.25
17	143	2.70	0.66	1.78
18	89	1.95	0.49	0.96
19	120	2.10	0.40	0.84
20	130	2.20	0.57	1.25
21	104	2.85	0.74	2.11
22	53	1.05	0.12	0.13
23	117	2.95	0.81	2.39
24	91	2.00	0.33	0.66
25	83	1.70	0.27	0.46
26	138	2.40	0.68	1.63
27	73	1.25	0.31	0.39
28	122	2.60	0.73	1.90
29	66	1.50	0.36	0.54
30	145	2.75	0.79	2.17

Sumber: Dokumen Pribadi

Daya keluaran generator kedua jauh lebih rendah dibandingkan generator pertama, dengan nilai maksimum hanya 2.17 W. Hal ini menunjukkan bahwa generator kedua kurang efektif dalam mengonversi energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik, kemungkinan karena torsi dan desain rotor yang tidak optimal.

Pengujian Dinamis Dengan Beban



Gambar 7. Pengujian Generator Kedua Tanpa Beban

Sumber : Dokumen Pribadi

Untuk menguji kinerja sistem dalam kondisi nyata, beban berupa lampu DC 12V/7W diberikan pada kedua generator.

Generator Pertama Dengan Beban

Tabel 4. Data Pengujian Generator Pertama Dengan Beban

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Output (W)	Beban Lampu DC	Keterangan
1	8.65	1.56	13.49	12V/7W	Stabil & Terang
2	7.40	1.43	10.58	12V/7W	Stabil & Terang
3	6.90	1.32	9.11	12V/7W	Kurang Stabil

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2808>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Output (W)	Beban Lampu DC	Keterangan
4	8.10	1.48	11.99	12V/7W	Stabil & Terang
5	7.25	1.30	9.43	12V/7W	Kurang Stabil
6	9.10	1.62	14.74	12V/7W	Stabil & Terang
7	8.45	1.57	13.27	12V/7W	Stabil & Terang
8	6.80	1.26	8.57	12V/7W	Kurang Stabil
9	7.90	1.44	11.38	12V/7W	Stabil & Terang
10	5.95	1.30	7.74	12V/7W	Redup
11	6.75	1.29	8.71	12V/7W	Kurang Stabil
12	8.75	1.65	14.44	12V/7W	Stabil & Terang
13	6.10	1.28	7.81	12V/7W	Redup
14	7.60	1.37	10.41	12V/7W	Stabil & Terang
15	8.00	1.50	12.00	12V/7W	Stabil & Terang
16	6.50	1.34	8.71	12V/7W	Kurang Stabil
17	8.20	1.52	12.46	12V/7W	Stabil & Terang
18	7.10	1.33	9.44	12V/7W	Kurang Stabil
19	7.95	1.48	11.76	12V/7W	Stabil & Terang
20	5.85	1.27	7.43	12V/7W	Redup
21	6.95	1.36	9.45	12V/7W	Kurang Stabil
22	9.00	1.64	14.76	12V/7W	Stabil & Terang
23	7.55	1.39	10.50	12V/7W	Stabil & Terang
24	6.30	1.31	8.25	12V/7W	Kurang Stabil
25	8.55	1.58	13.51	12V/7W	Stabil & Terang
26	6.60	1.28	8.45	12V/7W	Kurang Stabil
27	8.30	1.54	12.78	12V/7W	Stabil & Terang
28	6.00	1.25	7.50	12V/7W	Redup
29	7.20	1.35	9.72	12V/7W	Kurang Stabil
30	8.95	1.60	14.32	12V/7W	Stabil & Terang

Sumber: Dokumen Pribadi

Lampu berhasil menyala pada 24 dari 30 pengujian, dengan nyala yang stabil dan terang ketika tegangan > 8 V dan arus > 1.5 A. Ini menunjukkan bahwa generator pertama mampu menyediakan daya cukup untuk menghidupkan beban resistif secara efektif.



Gambar 8. Pengujian Generator Pertama Dengan Lampu DC
 Sumber : Dokumen Pribadi

Generator Kedua Dengan Beban

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian generator kedua dengan beban.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2808>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Tabel 5. Data Pengujian Generator Kedua Dengan Beban

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Output (W)	Beban Lampu DC	Keterangan
1	2.50	0.25	0.63	12V/7W	Tidak Menyala
2	1.80	0.21	0.38	12V/7W	Tidak Menyala
3	2.90	0.30	0.87	12V/7W	Tidak Menyala
4	1.20	0.14	0.17	12V/7W	Tidak Menyala
5	2.00	0.23	0.46	12V/7W	Tidak Menyala
6	2.70	0.28	0.76	12V/7W	Tidak Menyala
7	1.50	0.18	0.27	12V/7W	Tidak Menyala
8	2.10	0.22	0.46	12V/7W	Tidak Menyala
9	1.80	0.19	0.34	12V/7W	Tidak Menyala
10	2.60	0.26	0.68	12V/7W	Tidak Menyala
11	1.10	0.11	0.12	12V/7W	Tidak Menyala
12	2.80	0.30	0.84	12V/7W	Tidak Menyala
13	1.70	0.20	0.34	12V/7W	Tidak Menyala
14	2.40	0.27	0.65	12V/7W	Tidak Menyala
15	2.00	0.19	0.38	12V/7W	Tidak Menyala
16	2.10	0.29	0.61	12V/7W	Tidak Menyala
17	1.30	0.13	0.17	12V/7W	Tidak Menyala
18	2.70	0.28	0.76	12V/7W	Tidak Menyala
19	1.60	0.17	0.27	12V/7W	Tidak Menyala
20	2.30	0.24	0.55	12V/7W	Tidak Menyala
21	2.50	0.30	0.75	12V/7W	Tidak Menyala
22	1.90	0.15	0.29	12V/7W	Tidak Menyala
23	2.60	0.30	0.78	12V/7W	Tidak Menyala
24	2.00	0.20	0.40	12V/7W	Tidak Menyala
25	2.90	0.29	0.84	12V/7W	Tidak Menyala
26	1.10	0.12	0.13	12V/7W	Tidak Menyala
27	1.40	0.16	0.22	12V/7W	Tidak Menyala
28	2.80	0.27	0.76	12V/7W	Tidak Menyala
29	2.20	0.21	0.46	12V/7W	Tidak Menyala
30	2.10	0.25	0.53	12V/7W	Tidak Menyala

Sumber: Dokumen Pribadi



Gambar 9. Pengujian Generator Kedua Dengan Lampu DC



Sumber : Dokumen Pribadi

Semua pengujian menunjukkan lampu tidak menyala, karena daya keluaran maksimal hanya mencapai 0.87 W, jauh di bawah kebutuhan beban (7 W). Hal ini mengindikasikan bahwa generator kedua tidak mampu menghasilkan daya yang cukup untuk menggerakkan beban praktis.

Pengujian Dinamis MPPT dan Baterai

MPPT berhasil mendeteksi input dari generator dan mengirimkan daya ke baterai, seperti terlihat pada Gambar 6. Simbol tenaga surya menyala, menandakan proses pengisian aktif.

Tabel 6. Penyimpanan Baterai

Tegangan	Arus
	

Tabel 4.9 Data Daya Baterai

Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
12,65	0,75	9,48

Sumber: Dokumen Pribadi

Dengan data tersebut, waktu pengisian baterai dihitung menggunakan rumus:

$$T = \frac{E}{V \times I} = \frac{90}{12,65 \times 0,75} = 9,49 \text{ jam}$$

Sementara waktu pengosongan baterai:

$$T = \frac{E}{P} = \frac{90}{7} = 12,86 \text{ jam}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyimpan energi cukup untuk memasok beban selama lebih dari 12 jam, menjadikannya potensial untuk aplikasi off-grid skala kecil.

3.3. Analisis Efisiensi Perbandingan Generator

Efisiensi perbandingan antara generator pertama dan kedua dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = \left(\frac{P_{Out G1}}{P_{Out G2}} \right) \times 100\%$$

Analisis Tanpa Beban

Tabel 10 menunjukkan efisiensi relatif generator pertama terhadap kedua.

Tabel 10. Data Efisiensi Perbandingan Generator Tanpa Beban

No	Pout 1 (W)	Pout 2 (W)	Efisiensi (%)
1	12.85	1.82	14.16
2	8.26	0.33	3.99
3	10.69	0.99	9.26
4	11.02	0.63	5.72
5	8.90	1.76	19.78
6	13.33	1.25	9.38
7	10.89	1.60	14.69
8	14.19	0.82	5.78
9	12.93	0.35	2.71
10	7.86	2.64	33.60
11	9.79	0.69	7.05
12	9.89	2.20	22.25

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2808>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

No	<i>Pout 1 (W)</i>	<i>Pout 2 (W)</i>	Efisiensi (%)
13	9.75	0.17	1.74
14	10.51	2.11	20.08
15	14.69	0.41	2.79
16	8.00	1.25	15.63
17	12.97	1.78	13.72
18	8.56	0.96	11.21
19	13.13	0.84	6.40
20	9.50	1.25	13.16
21	13.96	2.11	15.12
22	9.81	0.13	1.33
23	10.49	2.39	22.78
24	7.60	0.66	8.68
25	11.99	0.46	3.84
26	9.11	1.63	17.89
27	12.42	0.39	3.14
28	8.64	1.90	22.00
29	8.85	0.54	6.10
30	9.08	2.17	23.90

Sumber: Dokumen Pribadi

Efisiensi berkisar 1.33% hingga 33.60%, menunjukkan generator pertama jauh lebih unggul dalam menghasilkan daya.

Analisis Dengan Beban

Tabel 11 menunjukkan nilai efisiensi yang sangat tinggi, bahkan melebihi 100%.

Tabel 11. Data Efisiensi Perbandingan Generator Dengan Beban

No	<i>Pout 1 (W)</i>	<i>Pout 2 (W)</i>	Efisiensi (%)
1	13.49	0.63	2140.48
2	10.58	0.38	2784.21
3	9.11	0.87	1047.13
4	11.99	0.17	7052.94
5	9.43	0.46	2049.13
6	14.74	0.76	1939.47
7	13.27	0.27	4914.81
8	8.57	0.46	1863.04
9	11.38	0.34	3347.06
10	7.74	0.68	1138.24
11	8.71	0.12	7258.33
12	14.44	0.84	1717.14
13	7.81	0.34	2297.06
14	10.41	0.65	1601.54
15	12.00	0.38	3157.89
16	8.71	0.61	1428.69
17	12.46	0.17	7323.53
18	9.44	0.76	1242.11
19	11.76	0.27	4355.56
20	7.43	0.55	1350.91
21	9.45	0.75	1260.00
22	14.76	0.29	5089.66
23	10.50	0.78	1346.15
24	8.25	0.40	2062.50

No	<i>Pout 1 (W)</i>	<i>Pout 2 (W)</i>	Efisiensi (%)
25	13.51	0.84	1608.33
26	8.45	0.13	6500.00
27	12.78	0.22	5818.18
28	7.50	0.76	986.84
29	9.72	0.46	2113.04
30	14.32	0.53	2701.89

Sumber: Dokumen Pribadi

Nilai efisiensi melebihi 100% tidak fisik, karena melanggar hukum konservasi energi. Hal ini disebabkan oleh data daya keluaran generator kedua yang sangat rendah, sehingga perhitungan efisiensi menjadi tidak valid. Faktor lain seperti kesalahan pengukuran arus atau tegangan, serta kehilangan energi dalam sistem transmisi, juga berkontribusi.

3.4. Revisi Produk dan Kajian Produk Akhir

Berdasarkan hasil pengujian, beberapa revisi diperlukan:

- Optimasi sudut blade turbin: Meskipun 90° sudah efisien, eksperimen lanjutan diperlukan untuk mencari sudut optimal.
- Perbaikan sistem transmisi: Rasio gear dan material harus direvisi untuk mengurangi gesekan dan kehilangan daya.
- Pemilihan generator: Generator pertama lebih cocok digunakan karena mampu menghasilkan daya yang cukup untuk beban.
- Penyempurnaan kontrol beban: Sistem pengisian baterai perlu dikontrol agar tidak terjadi overcharge.

Kajian Produk Akhir

Prototipe PLTAL berbasis turbin Darrieus dengan generator DC berhasil menghasilkan energi listrik secara stabil. Generator pertama mampu menghasilkan daya hingga 14.76 W tanpa beban dan mampu menyalakan lampu DC 12V/7W dengan nyala stabil. Sistem penyimpanan energi berfungsi baik, dengan waktu pengisian ± 9.5 jam dan pengosongan ± 12.9 jam. Meskipun generator kedua tidak efektif, hasil ini memberikan wawasan penting untuk pengembangan sistem di masa depan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian statis dan dinamis, sistem pembangkit listrik tenaga arus dengan generator DC menunjukkan kinerja yang baik dalam mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator pertama, yang dihubungkan dengan turbin Darrieus bersudut 90°, terbukti memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan generator kedua, baik dalam kondisi tanpa beban maupun dengan beban. Tegangan dan arus yang dihasilkan meningkat seiring dengan putaran (RPM), menandakan respon yang linier terhadap perubahan kecepatan. Selain itu, dalam uji pengisian, sistem mampu mengisi baterai berkapasitas 90 Wh dalam waktu ± 9.49 jam dan menyuplai beban lampu DC 12V/7W selama ± 12.86 jam. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara stabil dan efisien dalam mendukung beban berdaya rendah hingga menengah. Pengembangan selanjutnya disarankan meliputi pengaturan rasio *gear* untuk meningkatkan kinerja konversi energi, pengujian di lingkungan laut agar data lebih akurat, serta penambahan *MPPT* guna mengoptimalkan pengisian baterai. Selain itu, perlu penggunaan material tahan korosi, perbaikan koneksi energi, dan sistem monitoring berbasis *IoT* untuk pencatatan serta pemantauan *real-time*.

Referensi

1. Muttaqin, S. (2013). Analisa Karakteristik Generator dan Motor DC. Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Diponegoro. https://www.academia.edu/download/52523796/Analisis_Karakteristik_Generator_dan_Motor_DC.pdf. Diakses pada tanggal 1 Januari 2025
2. Padmika, M., Wibawa, I. S., & Trisnawati, N. L. P. (2017). Perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin ventilator sebagai penggerak generator. *Bul. Fis*, 18(2), 68. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/buletinfisika/article/download/34503/20815>. Diakses pada tanggal 29 Januari 2025
3. Priyaningsih, N. (2017). Analisis Efisiensi Generator Pada Wind Turbine. *Jurnal Edukasi Elektro*, 1(2). *Jurnal Edukasi Elektro*, Vol. 1, No. 2, November 2017, ISSN 2548-8260 <https://doi.org/10.21831/jee.v1i2.17420>. Diakses pada tanggal 10 Juli 2025

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i3.2808>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

4. Riansyah, E., Taufani, P. I., & Saputra, Z. (2022, February). ANALISIS DAYA GENERATOR MAGNET PERMANENT DALAM SKALA LAB UNTUK PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT. In *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan* (Vol. 2, No. 01, pp. 168-173). Retrieved from <http://snitt.polman-babel.ac.id/index.php/snitt/article/view/216>. Diakses pada tanggal 21 Julii 2025
5. Sofiah, S., & Irawan, M. D. (2019). Rancang Bangun Pengisian Akumulator Pada Pembangkit Listrik Alternatif Untuk Kebutuhan Listrik Rumah Tangga. *JURNAL SURYA ENERGY*, 3(2), 307-312. <https://doi.org/10.32502/jse.v3i2.1533>. Diakses pada tanggal 14 Juli 2025
6. Orkha, A. B. Rahmawati et al., Analisis Efisiensi Generator DC pada Prototipe PLTB Skala Mikro untuk Pengisian Baterai Ponsel. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, Vol. 6, No. 1, November 2024, eISSN 2716-4063. Diakses pada tanggal 20 Juli 2025
7. Murni, S. S., & Suryanto, A. (2021). Analisis efisiensi daya pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan Homer (Studi kasus PLTMH Parakandowo Kabupaten Pekalongan). *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 1(2). *Jurnal Listrik, Instrumentasi dan Elektronika Terapan*, Vol. 1, No. 2, Desember 2020 <https://doi.org/10.22146/juliet.v1i2.61282>. Diakses pada tanggal 25 Januari 2025
8. Al Amru, N., & Rangkuti, C. (2020). Penggunaan Turbin Angin Darrieus Sebagai Pembangkit Listrik untuk Rumah Sederhana di Desa Pusaka Rakyat, Tarumajaya, Bekasi. *Kocenin Serial Konferensi*, (1), 3-4. <https://publikasi.kocenin.com/index.php/pakar/article/view/44>. Diakses pada tanggal 3 Februari 2025
9. Syam, S., & Kurniati, S. (2022). ANALISIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN TURBIN SAVONIUS. *Jurnal Media Elektro / Vol. IX / No. 1* P-ISSN 2252-6692 | E-ISSN 2715-4963 <https://doi.org/10.31219/osf.io/rejtw>. Diakses pada tanggal 21 Januari 2025
10. Hidayat, M. I., & Hermawan, A. C. (2024). Rancang Bangun Prototipe PLTB Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius-Darrieus Untuk Pengisian Akumulator. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 13(1), 66-72. <https://doi.org/10.26740/jte.v13n1.p66-72>. Diakses pada tanggal 15 Januari 2025
11. Egi, R., & Puteri Islamega, T. (2022). PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT (PLTAL) MENGGUNAKAN TURBIN SUMBU VERTIKAL TIPE DARRIEUS (Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung). repository.polman-babel.ac.id. Diakses pada tanggal 5 Januari 2025
12. Sevilla. (2023). Efisiensi: Pengertian, Konsep, Jenis, Manfaat, dan Tolak Ukurnya. <https://www.gramedia.com/best-seller/efisiensi/>. Diakses pada tanggal 25 Mei 2025
13. Suryadi, A., & Wahid, M. F. (2023). *Optimasi Desain Turbin Darrieus untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Berbasis Simulasi CFD*. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(1), 45-53.
14. Nurhayati, D., & Prasetyo, B. (2021). *Analisis Kinerja Generator DC pada Sistem Pembangkit Listrik Mikro Hidro dengan Beban Variabel*. *Jurnal Teknologi Elektro*, 10(2), 112-120.
15. Rahman, M. I., & Sari, N. P. (2022). *Perancangan dan Pengujian Sistem Penyimpanan Energi Berbasis Baterai untuk PLTAL Skala Mini*. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika*, 1(1), 78-85.