

Analisis Ketercukupan Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Angin dan Surya) Pantai Baru

Muhamad Roy Ananda Saputra*, Noor Hudallah

Jurusan Teknik Elektro – Universitas Negeri Semarang
Semarang, Indonesia

*mroyanans@gmail.com

Abstract – Attention to the development of renewable energy is increasing due to worsening environmental pollution and problems lack of energy. One of the renewable energy developments in Indonesia has the Pantai Baru PLTH located in Poncosari Village, Srandakan, Bantul. Generally, power plants that use energy sources Renewable energy has the disadvantage that it is very dependent on natural conditions. Matter The same thing happened to the Pantai Baru PLTH. In addition, it is also necessary to know whether the power consumed is able to meet the needs of the existing load. This research is a descriptive research approach quantitative. According to Walliman (2011: 10), descriptive research is research that relies on observation activities with the aim to collecting data. The data collected is in the form of voltage, current, and power from the Pantai Baru PLTH. The data collection process was carried out for three day with the aim to get variations in environmental conditions and loads. These data will then be compared with the simulation results via homer app. The results of the research that has been done are on the first day of the power produced PLTH Pantai Baru of 74,204.05 W with an efficiency of 52.07%. Day the second is 55,393.45 W with an efficiency of 38.87%. The third day of 40,250.47 W with an efficiency of 28.25%. Meanwhile, the simulation results of the first day of 80,656.88 W, the second day of 67,228.42 W, and the third day of 61646.48W.

Abstrak – Perhatian akan pengembangan energi terbarukan semakin meningkat dikarenakan polusi lingkungan yang semakin memburuk serta masalah kekurangan energi. Salah satu pengembangan energi terbarukan yang ada di Indonesia adalah PLTH Pantai Baru yang terletak di Desa Poncosari, Srandakan, Bantul. Umumnya, pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan memiliki kelemahan yaitu sangat bergantung pada kondisi alam. Hal yang sama pun terjadi pada PLTH Pantai Baru. Selain itu, juga perlu diketahui apakah daya yang dibangkitkan mampu memenuhi kebutuhan beban yang ada. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Menurut Walliman (2011: 10), penelitian deskriptif merupakan penelitian yang bergantung pada kegiatan observasi dengan tujuan untuk mengumpulkan data. Data-data yang dikumpulkan berupa data tegangan, arus, dan daya dari PLTH Pantai Baru. Proses pengumpulan data dilakukan selama tiga hari dengan tujuan untuk mendapatkan variasi kondisi lingkungan dan beban. Data-data tersebut kemudian akan dibandingkan dengan hasil simulasi melalui aplikasi Homer. Hasil penelitian yang telah dilakukan yaitu pada hari pertama daya yang dihasilkan PLTH Pantai Baru sebesar 74.204,05 W dengan efisiensi 52,07%. Hari kedua sebesar 55.393,45 W dengan efisiensi 38,87%. Hari ketiga sebesar 40.250,47 W dengan efisiensi 28,25%. Sementara itu, hasil simulasi hari pertama sebesar 80.656,88 W, hari kedua sebesar 67.228,42 W, dan hari ketiga sebesar 61.646,48 W.

Kata Kunci – PLTH; arus; tegangan; daya; Homer.

I. PENDAHULUAN

DEWASA ini, listrik telah menjadi salah satu kebutuhan primer yang tak lepas dari kehidupan sehari-hari manusia. Sebagai contoh, berbagai bidang seperti pendidikan, ekonomi, kesehatan dan masih banyak bidang lain yang sangat bergantung dengan energi listrik, sehingga kebutuhan akan energi listrik pun semakin meningkat. Hal tersebut sejalan dengan pendapat Adam [1] yang berpendapat bahwa seiring me-

ingkatnya laju pertumbuhan penduduk, maka semakin tinggi pula kebutuhan akan energi listrik. Seperti yang telah diketahui bahwa suplai energi listrik saat ini sebagian besar masih mengandalkan bahan bakar fosil. Namun, pemanfaatan bahan bakar fosil menyebabkan pemanasan global yang semakin memburuk [2]. Selain itu, bahan bakar fosil juga akan habis suatu saat, sehingga diperlukan sumber energi terbarukan yang akan dapat menggantikan bahan bakar fosil. Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian akan pengembangan sumber energi terbarukan semakin meningkat dikarenakan polusi lingkungan yang semakin memburuk serta masalah kekurangan energi [3].

Naskah diterima 13-09-2023, revisi 10-03-2024, terbit online 29-03-2024. Emitor merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

Sumber energi terbarukan dapat diperoleh dari alam, digunakan, dan didaur ulang kembali. Sumber energi terbarukan merupakan sumber energi alternatif yang paling menjanjikan karena tak terbatas dan bersih [4]. Ada banyak sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan seperti angin, surya, biomassa, hidro baik kecil dan besar, dan geothermal yang dapat menyediakan energi secara terus menerus dengan biaya energi yang efektif [5]. Di Indonesia, telah ada pembangkit listrik yang memanfaatkan energi terbarukan seperti PLTS di Desa Wineru, Kabupaten Minahasa Utara, PLTA di Waduk Cirata, PLTB Sidrap di Kabupaten Sindereng Rappang, dan lain lain.

Berbagai studi telah mengeksplorasi analisis ketercukupan daya listrik pada pembangkit listrik tenaga hibrida [6, 7]. Hibridisasi, yang ditujukan utamanya untuk mengatasi masalah intermittensi dan memastikan perencanaan produksi yang optimal, telah menjadi fokus utama dalam penelitian mereka. Terlebih lagi, penelitian oleh Muralikrishna [8] menekankan pentingnya menggunakan sistem tenaga angin untuk meningkatkan kelayakan ekonomi serta analisis teknis bagi energi terbarukan hibrida, terutama dalam konteks elektrifikasi pedesaan. Sementara itu, Mondal [9] mengeksplorasi kemungkinan ekspansi sistem daya yang ada menjadi sistem daya hibrida, bertujuan untuk optimasi sistem dalam generasi daya terdesentralisasi. Dalam era digital yang terus berkembang ini, kebutuhan akan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan menjadi semakin penting. Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid, dengan menggabungkan sumber energi terbarukan seperti angin dan matahari, menawarkan solusi menjanjikan untuk memenuhi tuntutan energi yang terus meningkat. Namun, tantangan terbesar terletak pada analisis ketercukupan daya yang dihasilkan, untuk memastikan bahwa pembangkit ini dapat memenuhi kebutuhan energi, terutama di fasilitas-fasilitas kritis seperti pusat data yang menyimpan informasi sensitif termasuk data biometrik. Dalam konteks ini, salah satu aplikasi biometrik yang semakin populer adalah sistem pengenalan *palmprint* [10–17]. Teknologi ini, yang memerlukan pengolahan data yang intensif, menuntut pasokan daya yang konstan dan andal. Pembangkit listrik tenaga hybrid berperan penting di sini, tidak hanya sebagai sumber energi yang ramah lingkungan tetapi juga sebagai fondasi untuk infrastruktur teknologi canggih, membuktikan bahwa integrasi antara keberlanjutan energi dan inovasi teknologi bukan hanya mungkin, tetapi juga esensial untuk masa depan yang lebih cerah.

Selain memanfaatkan hanya satu sumber energi, sebuah pembangkit listrik juga dapat memanfaatkan beberapa sumber energi untuk membangkitkan listrik. Sistem tersebut dapat berupa kombinasi fotovoltai,

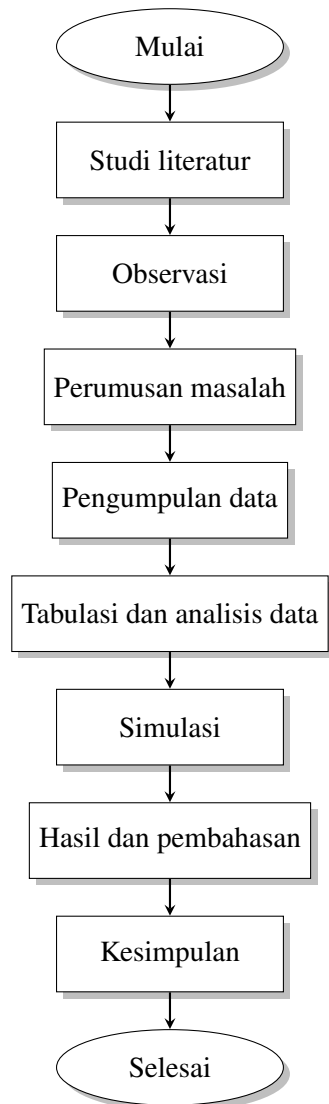
angin, turbin mikro, mikrohidro, diesel konvensional, penyimpanan baterai, penyimpanan hidrogen, dan fuel cell [18]. Sistem jenis ini disebut juga sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH). Artinya, Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) merupakan kombinasi dari beberapa pembangkit listrik yang terkoneksi menjadi satu sistem. Contoh sumber energi yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTH adalah energi angin dan surya yang diketahui sebagai sumber energi yang mudah dimanfaatkan, meyakinkan, tidak pernah habis, dan tidak menyebabkan kontaminasi [18]. Salah satu PLTH yang memanfaatkan energi angin dan surya adalah PLTH Pantai Baru yang terletak di Desa Poncosari, Srandakan, Bantul.

PLTH Pantai Baru merupakan realisasi dari Sistem Inovasi Daerah (SIDa) yang dibangun pada tahun 2010 dan diprakarsai oleh Kementerian Riset dan Teknologi, berbagai aktor pemerintah, pelaku bisnis, dan masyarakat luas. Saat ini PLTH Pantai Baru dikelola oleh Balai Pengawasan Pengendalian Perizinan Energi Sumber Daya Mineral (BP3 ESDM) Wilayah Bantul dan Kulon Progo. Secara geografis, lokasi PLTH Pantai Baru terletak di pesisir pantai selatan Yogyakarta yang merupakan lahan terbuka yang luas dan disinari oleh matahari sepanjang tahun kecuali pada musim hujan. Hal tersebut menyebabkan daya yang dihasilkan PLTS pada PLTH Pantai Baru tidak bisa maksimal ketika musim hujan. Selain itu, potensi energi angin di pantai selatan pulau Jawa, seperti di Bantul terbilang rendah-sedang yaitu sebesar 4 – 8 m/s sehingga cukup jika dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) [19]. Umumnya, pembangkit listrik yang menggunakan sumber energi terbarukan memiliki kelemahan yaitu sangat bergantung pada kondisi alam. Tidak terkecuali dengan PLTH Pantai Baru. Hal ini memungkinkan daya yang terbangkit tidak mencapai potensi maksimumnya karena kondisi lingkungan seperti angin yang bertiup lemah ataupun cahaya matahari tertutup awan. Selain itu, perlu diketahui apakah daya yang dibangkitkan benar-benar cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik di kawasan PLTH Pantai Baru atau tidak.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan teknik-teknik yang digunakan dalam melakukan penelitian. Metode penelitian merepresentasikan alat-alat yang digunakan serta menyediakan cara untuk mengumpulkan, menyortir, dan menganalisis data sehingga didapatkan suatu kesimpulan dari penelitian yang dilakukan [20]. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dimana data dikumpulkan melalui kegiatan observasi untuk kemudian dianalisis menggunakan angka-angka dan

operasi matematika untuk mengetahui hasil penelitian. Adapun penelitian ini dilaksanakan sesuai dengan diagram alur berikut.



Gambar 1: Diagram alur penelitian

Tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Studi Literatur. Pada tahap ini, dilakukan penggalan informasi terkait topik yang dibahas melalui penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
2. Observasi. Pada tahap ini, dilakukan observasi awal untuk mengetahui kondisi lapangan yaitu PLTH Pantai Baru.
3. Perumusan Masalah. Pada tahap ini, akan ditentukan rumusan masalah berdasarkan kegiatan studi literatur dan observasi yang telah dilakukan.
4. Pengumpulan Data. Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data selama 3x24 jam dalam rentang waktu 1 jam. Data yang dikumpulkan berupa data kecepatan angin dan sinar matahari pada saat pengumpulan data serta data daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru.
5. Tabulasi dan Analisis Data. Pada tahap ini, data yang telah dikumpulkan kemudian akan dikelompokkan sedemikian rupa untuk selanjutnya dilakukan analisis data.
6. Simulasi. Pada tahap ini, dilakukan simulasi menggunakan aplikasi Homer berdasarkan data yang telah didapatkan di lapangan untuk kemudian dibandingkan.
7. Hasil dan Pembahasan. Pada tahap ini, data-data yang telah didapatkan kemudian akan dibahas sehingga didapatkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.
8. Kesimpulan. Pada tahap ini, akan ditarik simpulan yang mampu menjelaskan hasil penelitian yang telah dilakukan.

III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

i. Daya Turbin Angin

Sistem PLTB pada PLTH Pantai Baru merupakan sistem 240 V yang terintegrasi dengan sistem PLTS 240 V.

Tabel 1: Data input daya turbin angin H1

Waktu	Pdc (W)	Kec. Angin (m/s)
08.00	-	1,38
09.00	76,58	2,22
10.00	184,39	3,05
11.00	252,12	3,61
12.00	284,48	3,89
13.00	504,21	5,07
14.00	575,73	5,27
15.00	590,19	5,29
16.00	545,73	5,24
17.00	320,65	4,44
18.00	171,08	3,06
19.00	58,38	2,24
20.00	-	1,67
21.00	-	1,39
22.00	-	1,35
23.00	-	0,92
00.00	-	0,87
01.00	-	0,85
02.00	-	0,83
03.00	-	0,83
04.00	-	0,84
05.00	-	0,82
06.00	-	0,83
07.00	-	0,97
Junlah	3.563,53	Rata-rata = 2,37

Pada hari pertama, turbin angin mampu mengha-

silkan daya 3.563,53 W. Turbin angin menghasilkan daya terbesar yaitu 590,19 W pada pukul 15.00 dengan kecepatan angin 5,29 m/s. Sementara itu, turbin angin menghasilkan daya terkecil yaitu 0 W pada pukul 08.00 dan 20.00-07.00. Hal tersebut terjadi karena angin tidak mampu memutar turbin.

Tabel 2: Data input daya turbin angin H2

Waktu	Pdc (W)	Kec. Angin (m/s)
08.00	-	1,39
09.00	-	1,66
10.00	163,02	2,78
11.00	210,84	3,12
12.00	276,92	3,61
13.00	313,78	3,78
14.00	411,23	4,43
15.00	459,68	4,53
16.00	435,99	4,48
17.00	268,04	3,59
18.00	152,23	2,69
19.00	98,39	2,25
20.00	-	1,67
21.00	-	1,63
22.00	-	1,32
23.00	-	1,29
00.00	-	1,12
01.00	-	0,95
02.00	-	0,92
03.00	-	0,89
04.00	-	0,85
05.00	-	0,91
06.00	-	0,97
07.00	-	1,27
Jumlah	2.790,94	Rata-rata = 2,17

Pada hari kedua, turbin angin mampu menghasilkan daya total sebesar 2.790,94. Turbin angin menghasilkan daya terbesar yaitu 459,68 W pada pukul 15.00 dengan kecepatan 4,53 m/s. Sementara itu, turbin angin menghasilkan daya terkecil yaitu 0 W pada pukul 08.00-09.00 dan 20.00-07.00.

Pada hari ketiga, turbin angin mampu menghasilkan daya total sebesar 3.426,17 W. Turbin angin menghasilkan daya terbesar yaitu 573,02 W pada pukul 13.00 dengan kecepatan 5,19 m/s. Sementara itu, turbin angin menghasilkan daya terkecil yaitu 0 W pada pukul 08.00 dan 20.00-07.00.

ii. Daya Panel Surya

Sistem PLTS di PLTH Pantai Baru terbagi menjadi dua macam, yaitu sistem PLTS 240 V yang terintegrasi dengan sistem PLTB 240 V dan sistem PLTS 48 V.

Tabel 3: Data input daya turbin angin H3

Waktu	Pdc (W)	Kec. Angin (m/s)
08.00	-	1,31
09.00	112,32	2,26
10.00	213,62	3,14
11.00	339,78	3,93
12.00	425,47	4,45
13.00	573,02	5,19
14.00	539,37	5,06
15.00	391,03	4,38
16.00	291,24	3,78
17.00	263,05	3,62
18.00	166,81	2,80
19.00	110,47	2,31
20.00	-	1,64
21.00	-	1,53
22.00	-	1,44
23.00	-	1,37
00.00	-	1,31
01.00	-	1,35
02.00	-	1,29
03.00	-	1,32
04.00	-	1,27
05.00	-	1,22
06.00	-	0,98
07.00	-	1,28
Jumlah	3.426,17	Rata-rata = 2,43

Tabel 4: Data input daya panel surya H1

Pada hari pertama, panel surya sistem 240 V mampu menghasilkan daya total sebesar 49.364,12 W. Panel surya 240 V menghasilkan daya terbesar yaitu 7.379,11 W pada pukul 10.00 dengan intensitas cahaya matahari yaitu 138.760 lux dan daya terkecil yaitu 0,82 W pada pukul 00.00. Sementara itu, panel surya sistem 48 V mampu menghasilkan daya total sebesar 21.276,39 W. Panel surya ini menghasilkan daya terbesar yaitu 2.939,81 W pada pukul 10.00 dengan intensitas cahaya matahari yaitu 138.760 lux dan daya terkecil yaitu 1,56 W pada pukul 02.00.

Tabel 5: Data input daya panel surya H2

Pada hari kedua, panel surya sistem 240 V mampu menghasilkan daya total sebesar 32.690,95 W. Panel surya 240 V menghasilkan daya terbesar yaitu 5.567,08 W pada pukul 09.00 dengan intensitas cahaya matahari yaitu 122.720 lux dan daya terkecil yaitu 1,47 W pada pukul 02.00. Sementara itu, panel surya sistem 48 V mampu menghasilkan daya total sebesar 19.912,36 W. Panel surya ini menghasilkan daya terbesar yaitu 2.720,05 W pada pukul 09.00 dengan intensitas cahaya matahari yaitu 122.720 lux dan daya terkecil yaitu 0,87

Tabel 4: Data input daya panel surya H1

Waktu	Pdc (W)		Sinar Matahari (lux)
	Sistem	Sistem	
	240 V	48 V	
08.00	3.588,92	1.276,12	116.230
09.00	5.783,48	2.552,88	123.420
10.00	7.379,11	2.939,81	138.760
11.00	7.168,63	2.558,51	137.690
12.00	6.972,67	2.604,39	135.710
13.00	6.409,67	2.390,23	131.450
14.00	5.126,07	2.117,31	128.480
15.00	2.791,21	2.061,39	110.330
16.00	1.510,43	1.661,27	82.470
17.00	471,38	63,67	5.180
18.00	2,91	1,81	-
19.00	2,63	1,63	-
20.00	2,35	1,64	-
21.00	2,07	1,65	-
22.00	1,25	1,67	-
23.00	1,02	1,56	-
00.00	0,82	1,56	-
01.00	0,84	1,71	-
02.00	1,24	1,45	-
03.00	1,00	1,64	-
04.00	2,69	1,64	-
05.00	66,57	34,51	-
06.00	328,05	49,62	4.370
07.00	1.749,10	948,73	85.360
Jumlah	49.364,12	21.276,39	Rata-rata = 99.854

W pada pukul 01.00.

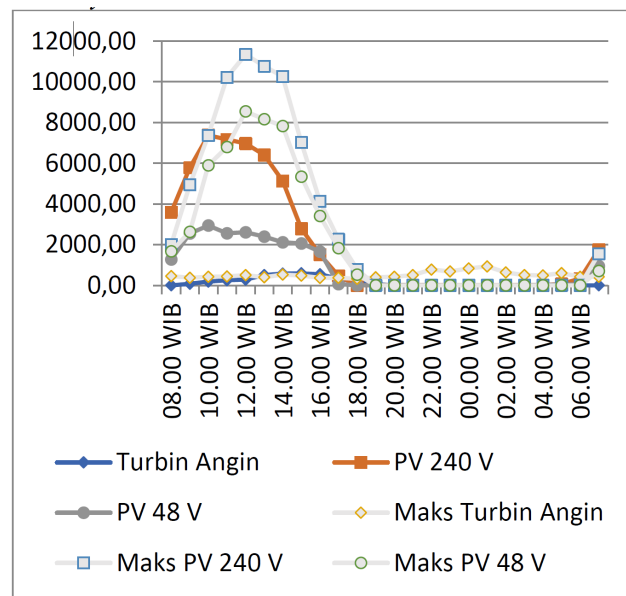
Pada hari ketiga, panel surya sistem 240 V mampu menghasilkan daya total sebesar 19.214,54 W. Panel surya 240 V menghasilkan daya terbesar yaitu 2.836,41 W pada pukul 12.00 dengan intensitas cahaya matahari yaitu 110.140 lux dan daya terkecil yaitu 0,68 W pada pukul 00.00 dan 01.00. Sementara itu, panel surya sistem 48 V mampu menghasilkan daya total sebesar 17.609,77 W. Panel surya ini menghasilkan daya terbesar yaitu 2.168,09 W pada pukul 12.00 dengan intensitas cahaya matahari yaitu 110.140 lux dan daya terkecil yaitu 0,85 W pada pukul 00.00.

iii. Daya PLTH Pantai Baru

Pada hari pertama, panel surya sistem 240 V memiliki kontribusi paling besar pada daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru, diikuti oleh panel surya 48 V kemudian turbin angin. Daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V terlihat naik sejak pagi hingga pada puncaknya ketika pukul

Tabel 5: Data input daya panel surya H2

Waktu	Pdc (W)		Sinar Matahari (lux)
	Sistem 240 V	Sistem 48 V	
	08.00	4.420,45	
09.00	5.567,08	2.720,05	122.720
10.00	3.254,18	2.539,46	112.580
11.00	3.218,92	2.524,46	112.130
12.00	3.093,03	2.503,93	111.940
13.00	3.047,54	2.084,58	111.670
14.00	3.778,71	2.029,89	116.250
15.00	3.697,65	1.797,69	115.980
16.00	1.599,74	1.382,75	83.240
17.00	356,25	66,14	4.730
18.00	2,57	1,99	-
19.00	2,42	1,95	-
20.00	2,34	1,69	-
21.00	2,20	1,56	-
22.00	2,29	1,08	-
23.00	1,63	0,95	-
00.00	1,59	0,90	-
01.00	1,85	0,87	-
02.00	1,47	1,10	-
03.00	1,57	1,12	-
04.00	1,66	1,77	-
05.00	51,67	39,42	-
06.00	91,35	48,31	1.040
07.00	492,78	432,41	6.170
Jumlah	32.690,95	19.912,36	Rata-rata = 87.741



Gambar 2: Grafik perbandingan kontribusi daya turbin angin dan panel surya pada PLTH Pantai Baru H1

10.00 WIB dan kemudian perlahan turun. Adapun pada malam hari panel surya masih menghasilkan daya listrik dengan nilai sangat kecil karena meskipun tidak ada cahaya matahari namun masih ada cahaya bulan dan lampu yang menerangi panel surya. Dibandingkan

Tabel 6: Data input daya panel surya H3

Waktu	Pdc (W)		Sinar Matahari (lux)
	Sistem 240 V	Sistem 48 V	
08.00	1.338,07	1.581,78	77.360
09.00	1.341,99	1.755,74	75.910
10.00	1.713,78	2.027,13	82.830
11.00	2.645,97	2.093,14	109.650
12.00	2.836,41	2.168,09	110.140
13.00	2.557,04	2.144,09	107.960
14.00	2.754,93	2.091,83	109.980
15.00	2.125,63	1.654,52	94.540
16.00	1.190,73	1.340,49	62.840
17.00	237,72	56,31	3.420
18.00	2,63	1,67	-
19.00	2,85	1,89	-
20.00	2,35	1,69	-
21.00	2,39	1,56	-
22.00	1,82	1,35	-
23.00	1,07	1,11	-
00.00	0,68	0,85	-
01.00	0,68	0,86	-
02.00	0,98	0,97	-
03.00	1,05	1,22	-
04.00	2,13	1,35	-
05.00	60,10	35,97	-
06.00	127,93	47,71	1.850
07.00	245,60	598,42	3.870
Jumlah	19.214,54	17.609,77	Rata-rata = 70.029

dengan daya maksimal yang mungkin dapat dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V, daya yang dapat dihasilkan oleh keduanya melalui pengamatan memiliki nilai yang cukup jauh berbeda.

Daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V pada puncaknya sekitar 11.000 W sementara daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V melalui pengamatan pada puncaknya hanya sekitar 7.000 W. Sama halnya dengan panel surya sistem 48 V, daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh panel surya sistem 48 V pada puncaknya sekitar 8.000 W sementara daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 48 V melalui pengamatan pada puncaknya hanya sekitar 3.000 W. Turbin angin mulai menghasilkan daya pada pukul 09.00 WIB dan mencapai nilai puncak pada pukul 15.00 WIB dan kemudian perlahan turun hingga mencapai nilai 0 W pada pukul 20.00 WIB. Hal ini dikarenakan angin yang bertiup tidak mampu memutar turbin angin sehingga turbin angin tidak mampu menghasilkan daya listrik. Dibandingkan dengan daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh turbin angin, daya yang dihasilkan melalui pengamatan sebenarnya tidak berbeda jauh.

Perbedaannya terletak pada waktu turbin angin menghasilkan daya, dimana daya yang mungkin dihasilkan oleh turbin angin menghasilkan daya terus

menerus dan bahkan daya pada saat malam hari melebihi daya saat siang hari sementara melalui pengamatan turbin angin hanya menghasilkan daya saat siang hari. Melalui persamaan 1, total daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru pada hari pertama yaitu sebagai berikut.

$$P_H = 3.563,53 + 49.364,12 + 21.276,39 \quad (1)$$

$$= 74.204,05 \text{ W}$$

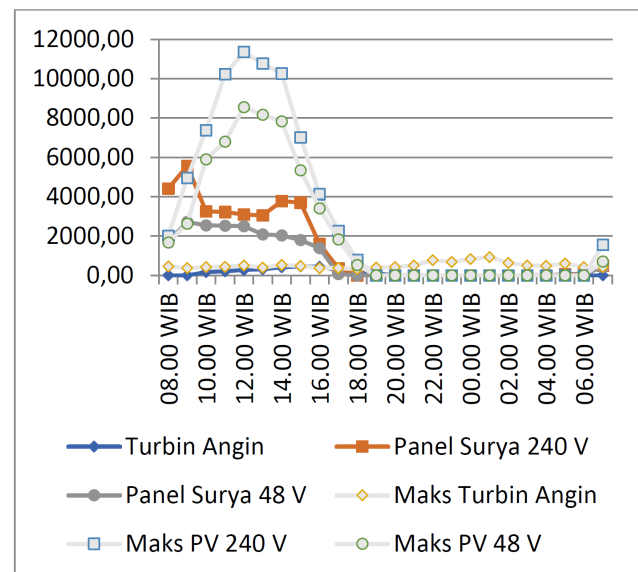
Melalui persamaan (1), dapat diketahui kontribusi daya turbin angin yaitu sebagai berikut.

$$P_{A\%} = \frac{3.563,53}{74.204,05} \times 100\% = 4,8\% \quad (2)$$

Melalui persamaan (2) dan (3), dapat diketahui kontribusi daya panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V yaitu sebagai berikut.

$$P_{S\%240V} = \frac{49.364,12}{74.204,05} \times 100\% = 66,53\% \quad (3)$$

$$P_{S\%48V} = \frac{21.276,39}{74.204,05} \times 100\% = 28,67\% \quad (4)$$



Gambar 3: Grafik perbandingan kontribusi daya turbin angin dan panel surya pada PLTH Pantai Baru H2

Pada hari kedua, panel surya sistem 240 V memiliki kontribusi paling besar pada daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru, diikuti oleh panel surya sistem 48 V kemudian turbin angin. Daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V terlihat naik sejak pagi hingga pada puncaknya ketika pukul 09.00 WIB dan kemudian perlahan turun. Adapun pada malam hari panel surya masih menghasilkan daya listrik dengan nilai sangat kecil karena meskipun

tidak ada cahaya matahari namun masih ada cahaya bulan dan lampu yang menerangi panel surya. Dibandingkan dengan daya maksimal yang mungkin dapat dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V, daya yang dapat dihasilkan oleh keduanya melalui pengamatan memiliki nilai yang cukup jauh berbeda.

Daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V pada puncaknya sekitar 11.000 W sementara daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V melalui pengamatan pada puncaknya hanya sekitar 5000 W. Sama halnya dengan panel surya sistem 48 V, daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh panel surya sistem 48 V pada puncaknya sekitar 8.000 W sementara daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 48 V melalui pengamatan pada puncaknya hanya sekitar 2.000 W. Turbin angin mulai menghasilkan daya pada pukul 10.00 WIB dan mencapai nilai puncak pada pukul 15.00 WIB dan kemudian perlahan turun hingga mencapai nilai 0 W pada pukul 20.00 WIB. Hal ini dikarenakan angin yang bertiup tidak mampu memutar turbin angin sehingga turbin angin tidak mampu menghasilkan daya listrik. Dibandingkan dengan daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh turbin angin, daya yang dihasilkan melalui pengamatan sebenarnya tidak berbeda jauh.

Perbedaannya terletak pada waktu turbin angin menghasilkan daya, dimana daya yang mungkin dihasilkan oleh turbin angin menghasilkan daya terus menerus dan bahkan daya pada saat malam hari melebihi daya saat siang hari sementara melalui pengamatan turbin angin hanya menghasilkan daya saat siang hari. Melalui persamaan 5, total daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru pada hari kedua yaitu sebagai berikut.

$$P_H = 2.790,14 + 32.690,95 + 19.912,36 = 55.393,45 \text{ W} \tag{5}$$

Melalui persamaan (6), dapat diketahui kontribusi daya turbin angin yaitu sebagai berikut.

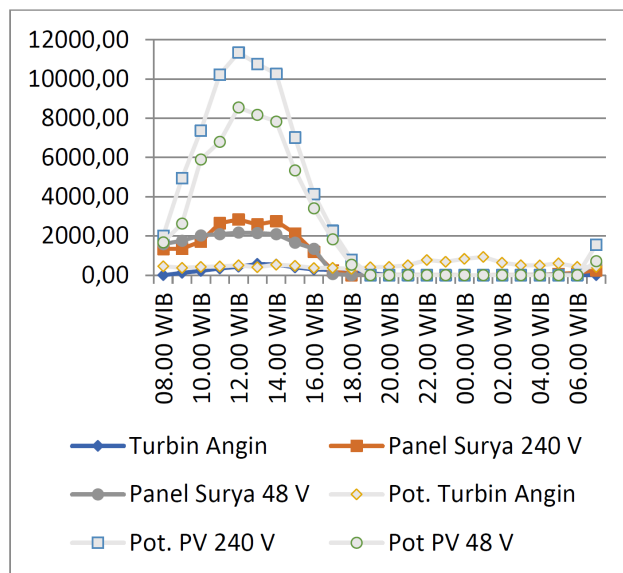
$$P_{A\%} = \frac{2.790,14}{55.393,45} \times 100\% = 5,03\% \tag{6}$$

Melalui persamaan (7) dan (8), dapat diketahui kontribusi daya panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V yaitu sebagai berikut.

$$P_{S\%240V} = \frac{32.690,95}{55.393,45} \times 100\% = 59,02\% \tag{7}$$

$$P_{S\%48V} = \frac{19.912,36}{55.393,45} \times 100\% = 35,95\% \tag{8}$$

Pada hari ketiga, panel surya sistem 240 V memiliki kontribusi paling besar pada daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru, diikuti oleh panel



Gambar 4: Grafik perbandingan kontribusi daya turbin angin dan panel surya pada PLTH Pantai Baru H2

surya 48 V kemudian turbin angin. Daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V terlihat naik sejak pagi hingga pada puncaknya ketika pukul 12.00 WIB dan kemudian perlahan turun. Adapun pada malam hari panel surya masih menghasilkan daya listrik dengan nilai sangat kecil karena meskipun tidak ada cahaya matahari namun masih ada cahaya bulan dan lampu yang menerangi panel surya. Dibandingkan dengan daya maksimal yang mungkin dapat dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V, daya yang dapat dihasilkan oleh keduanya melalui pengamatan memiliki nilai yang cukup jauh berbeda.

Daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V pada puncaknya sekitar 11.000 W sementara daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V melalui pengamatan pada puncaknya hanya sekitar 3.000 W. Sama halnya dengan panel surya sistem 48 V, daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh panel surya sistem 48 V pada puncaknya sekitar 8.000 W sementara daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 48 V melalui pengamatan pada puncaknya hanya sekitar 2.000 W. Turbin angin mulai menghasilkan daya pada pukul 09.00 WIB dan mencapai nilai puncak pada pukul 13.00 WIB dan kemudian perlahan turun hingga mencapai nilai 0 W pada pukul 20.00 WIB. Hal ini dikarenakan angin yang bertiup tidak mampu memutar turbin angin sehingga turbin angin tidak mampu menghasilkan daya listrik. Dibandingkan dengan daya maksimal yang mungkin dihasilkan oleh turbin angin, daya yang dihasilkan melalui pengamatan sebenarnya tidak berbeda jauh. Perbedaannya terletak pada waktu turbin angin menghasilkan daya, dimana daya yang mungkin dihasilkan oleh turbin angin menghasilkan

daya terus menerus dan bahkan daya pada saat malam hari melebihi daya saat siang hari sementara melalui pengamatan turbin angin hanya menghasilkan daya saat siang hari.. Melalui persamaan 9, total daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru pada hari ketiga yaitu sebagai berikut.

$$P_H = 3.426,17 + 19.214,54 + 17.609,77 \quad (9)$$

$$= 40.250,48 \text{ W}$$

Melalui persamaan (10), dapat diketahui kontribusi daya turbin angin yaitu sebagai berikut.

$$P_{A\%} = \frac{3.426,17}{40.250,48} \times 100\% = 8,51\% \quad (10)$$

Melalui persamaan (11) dan (12), dapat diketahui kontribusi daya panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V yaitu sebagai berikut.

$$P_{S\%240V} = \frac{19.214,54}{40.250,48} \times 100\% = 47,74\% \quad (11)$$

$$P_{S\%48V} = \frac{17.609,77}{40.250,48} \times 100\% = 43,75\% \quad (12)$$

iv. Beban PLTH Pantai Baru

Beban yang diperlukan oleh PLTH Pantai Baru dapat diketahui melalui inverter. PLTH Pantai Baru menggunakan dua macam inverter, yaitu inverter 5 kW untuk sistem 240 V dan inverter 3,5 kW untuk sistem 48 V.

Pada hari pertama, pada sistem 240 V, beban tertinggi terjadi pada pukul 18.00 WIB yaitu sebesar 2.402,33 W dan beban terendah terjadi pada pukul 06.00 WIB yaitu sebesar 122,53 W. Beban tertinggi dimiliki oleh warung bagian barat yaitu sebesar 14.940,91 W, diikuti oleh PJU yaitu sebesar 6.618,10 W, kemudian pompa air yaitu sebesar 5.811,04 W, dan kantor yaitu sebesar 5.603,91 W. Jumlah beban sistem 240 V pada hari pertama yaitu sebesar 32.973,95 W. Sementara itu, pada sistem 48 V, beban tertinggi terjadi pada pukul 08.00 WIB yaitu sebesar 1.541,06 W dan beban terendah terjadi pada pukul 18.00 WIB yaitu sebesar 918,87 W. Beban tertinggi dimiliki oleh warung bagian timur yaitu sebesar 7.748,63 W diikuti oleh warung bagian tengah yaitu sebesar 7.367,59 W. Jumlah beban sistem 48 V pada hari pertama yaitu sebesar 15.116,22 W. Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8, total daya yang diperlukan untuk memenuhi beban berupa beban kantor, pompa air, PJU, warung bagian barat, warung bagian tengah, dan warung bagian timur pada hari pertama yaitu sebagai berikut.

$$\text{Beban}_{\text{total}} = 32.973,95 + 15.116,22 \quad (13)$$

$$= 48.090,17 \text{ W}$$

Tabel 7: Data output inverter 5 kW sistem 240 V H1

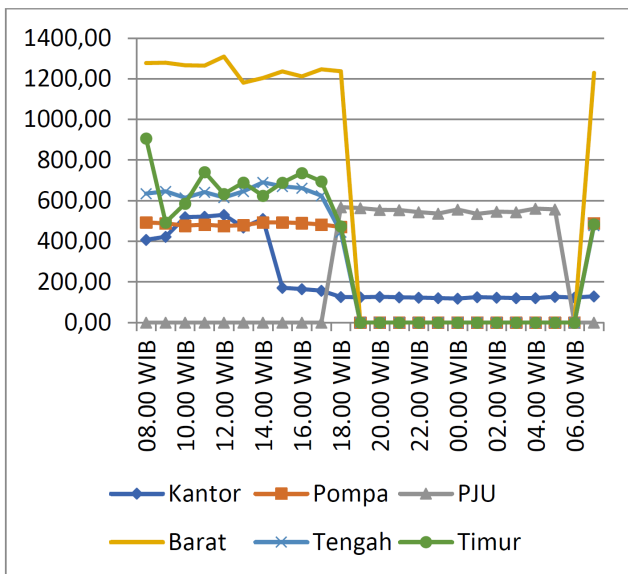
Waktu	Pac (W)			
	Kantor	Pompa	Barat	PJU
08.00	407,53	492,98	1.277,35	-
09.00	422,67	488,37	1.278,96	-
10.00	518,73	476,97	1.266,05	-
11.00	521,40	481,80	1.265,00	-
12.00	530,44	475,42	1.309,60	-
13.00	468,17	479,16	1.180,33	-
14.00	510,40	492,80	1.203,40	-
15.00	171,52	492,58	1.235,84	-
16.00	164,63	489,49	1.211,64	-
17.00	157,18	482,44	1.246,49	-
18.00	126,32	470,45	1.237,10	568,46
19.00	124,49	-	-	563,47
20.00	126,72	-	-	554,99
21.00	124,71	-	-	553,56
22.00	122,70	-	-	543,37
23.00	120,40	-	-	536,31
00.00	118,26	-	-	556,26
01.00	124,94	-	-	534,85
02.00	122,81	-	-	546,06
03.00	120,51	-	-	543,37
04.00	120,45	-	-	560,64
05.00	127,14	-	-	556,77
06.00	122,53	-	-	-
07.00	129,27	488,59	1229,15	-
Jumlah	5.603,91	5.811,04	14.940,91	6.618,10
			32.973,95	

Adapun perbandingan daya yang diperlukan oleh masing-masing beban dapat dilihat pada gambar berikut.

Beban kantor cenderung naik turun sejak pagi tergantung pada penggunaan listrik, kemudian mulai stabil pada pukul 15.00-07.00 WIB karena penggunaan peralatan listrik sudah mulai berkurang dan mulai fokus pada penggunaan lampu dan peralatan penting saja. Sementara itu, beban pompa air, warung bagian barat, tengah dan timur memiliki kesamaan yaitu memerlukan daya sejak pagi dan memiliki grafik naik turun hingga pukul 18.00 WIB dimana warung-warung mulai tutup dan daya yang diperlukan menjadi 0 W hingga pukul 06.00 WIB. Sebaliknya, sejak pagi hingga pukul 17.00 WIB, tidak ada daya yang mengalir ke PJU. PJU mulai memerlukan daya pada pukul 18.00-05.00 WIB dimana PJU diperlukan untuk penerangan jalan. Adapun kontribusi beban pada PLTH Pantai Baru di hari pertama

Tabel 8: Data output inverte 3,5 kW sistem 48 V H1

Waktu	Pac (W)	
	Timur	Tengah
08.00	906,25	634,81
09.00	492,75	646,05
10.00	585,26	613,76
11.00	740,56	641,96
12.00	632,91	615,39
13.00	689,22	645,46
14.00	624,44	690,17
15.00	688,29	670,75
16.00	736,51	661,98
17.00	694,55	624,44
18.00	473,69	445,18
19.00	-	-
20.00	-	-
21.00	-	-
22.00	-	-
23.00	-	-
00.00	-	-
01.00	-	-
02.00	-	-
03.00	-	-
04.00	-	-
05.00	-	-
06.00	-	-
07.00	484,21	477,64
Jumlah	7.748,63	7.367,59
	15.116,22	



Gambar 5: Perbandingan daya yang diperlukan oleh beban PLTH Pantai Baru H1

yaitu sebagai berikut.

$$\text{Beban\% Kantor PLTH} = \frac{5.603,91}{48.090,17} \times 100\% = 11,65\% \tag{14}$$

$$\text{Beban\% Pompa} = \frac{5.811,04}{48.090,17} \times 100\% = 12,08\% \tag{15}$$

$$\text{Beban\% PJU} = \frac{6.618,10}{48.090,17} \times 100\% = 13,76\% \tag{16}$$

$$\text{Beban\% Barat} = \frac{14.940,91}{48.090,17} \times 100\% = 31,07\% \tag{17}$$

$$\text{Beban\% Tengah} = \frac{7.367,59}{48.090,17} \times 100\% = 15,32\% \tag{18}$$

$$\text{Beban\% Timur} = \frac{7.748,63}{48.090,17} \times 100\% = 16,11\% \tag{19}$$

Pada hari kedua, pada sistem 240 V, beban tertinggi terjadi pada pukul 12.00 WIB yaitu sebesar 2.120,11 W dan beban terendah terjadi pada pukul 06.00 WIB yaitu sebesar 124,77 W. Beban tertinggi dimiliki oleh warung bagian barat yaitu sebesar 10.379,93 W, diikuti oleh PJU yaitu sebesar 6.577,22 W, kemudian kantor yaitu sebesar 6.045,35 W, dan pompa air yaitu sebesar 5.756,32 W. Jumlah beban sistem 240 V pada hari kedua yaitu sebesar 28.758,81 W. Sementara itu, pada sistem 48 V, beban tertinggi terjadi pada pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 1.181,52 W dan beban terendah terjadi pada pukul 08.00 WIB yaitu sebesar 818,31 W. Beban tertinggi dimiliki oleh warung bagian tengah yaitu sebesar 6.560,70 W diikuti oleh warung bagian timur yaitu sebesar 5.161,29 W. Jumlah beban sistem 48 V pada hari kedua yaitu sebesar 11.721,99 W. Berdasarkan Tabel 4.12 dan Tabel 4.13, total daya yang diperlukan untuk memenuhi beban berupa beban kantor, pompa air, PJU, warung bagian barat, warung bagian tengah, dan warung bagian timur pada hari kedua yaitu sebagai berikut.

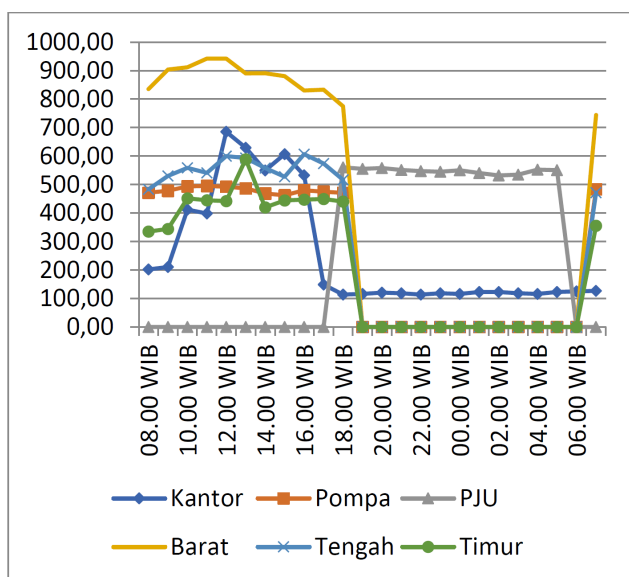
$$\text{Beban}_{\text{total}} = 28.758,81 + 11.721,99 = 40.480,8 \text{ W} \tag{20}$$

Adapun perbandingan daya yang diperlukan oleh masing-masing beban dapat dilihat pada gambar berikut.

Beban kantor cenderung naik turun sejak pagi tergantung pada penggunaan listrik, kemudian mulai stabil pada pukul 18.00-07.00 WIB karena penggunaan

Tabel 9: Data output inverter 5 kW sistem 240 V H2

Waktu	Pac (W)			
	Kantor	Pompa	Barat	PJU
08.00	201,76	471,50	835,53	-
09.00	210,53	478,07	903,52	-
10.00	412,10	493,20	911,87	-
11.00	398,38	495,23	942,03	-
12.00	685,46	492,13	942,51	-
13.00	629,39	486,85	890,36	-
14.00	549,44	468,45	890,92	-
15.00	606,63	462,09	880,38	-
16.00	532,41	479,83	830,39	-
17.00	148,72	474,57	833,25	-
18.00	113,83	470,64	774,91	560,38
19.00	115,86	-	-	555,24
20.00	120,34	-	-	557,94
21.00	118,10	-	-	551,12
22.00	113,88	-	-	547,50
23.00	118,21	-	-	545,06
00.00	116,12	-	-	549,94
01.00	122,53	-	-	540,44
02.00	122,64	-	-	532,17
03.00	118,37	-	-	534,85
04.00	116,12	-	-	552,13
05.00	122,81	-	-	550,44
06.00	124,77	-	-	-
07.00	126,96	483,77	744,26	-
Jumlah	6.045,35	5.756,32	10.379,93	6.577,22
	28.758,81			

**Gambar 6:** Perbandingan daya yang diperlukan oleh beban PLTH Pantai Baru H2**Tabel 10:** Data output inverter 3,5 kW sistem 48 V H2

Waktu	Pac (W)	
	Timur	Tengah
08.00	334,76	483,55
09.00	343,99	530,22
10.00	451,35	558,71
11.00	444,57	540,93
12.00	442,18	599,79
13.00	588,57	592,95
14.00	420,10	557,94
15.00	444,37	527,55
16.00	446,96	606,91
17.00	449,16	574,04
18.00	440,19	516,84
19.00	-	-
20.00	-	-
21.00	-	-
22.00	-	-
23.00	-	-
00.00	-	-
01.00	-	-
02.00	-	-
03.00	-	-
04.00	-	-
05.00	-	-
06.00	-	-
07.00	355,10	471,28
Jumlah	5.161,29	6.560,70
	11.721,99	

peralatan listrik sudah mulai berkurang dan mulai fokus pada penggunaan lampu dan peralatan penting saja. Sementara itu, beban pompa air, warung bagian barat, tengah dan timur memiliki kesamaan yaitu memerlukan daya sejak pagi dan memiliki grafik naik turun hingga pukul 18.00 WIB dimana warung-warung mulai tutup dan daya yang diperlukan menjadi 0 W hingga pukul 06.00 WIB. Sebaliknya, sejak pagi hingga pukul 17.00 WIB, tidak ada daya yang mengalir ke PJU. PJU mulai memerlukan daya pada pukul 18.00-05.00 WIB dimana PJU diperlukan untuk penerangan jalan. Adapun kontribusi beban pada PLTH Pantai Baru di hari kedua yaitu sebagai berikut.

$$\text{Beban\% Kantor PLTH} = \frac{6.045,35}{40.480,8} \times 100\% \quad (21)$$

$$= 14,93\%$$

$$\text{Beban\% Pompa} = \frac{5.756,32}{40.480,8} \times 100\% \quad (22)$$

$$= 14,22\%$$

$$\begin{aligned} \text{Beban\% PJU} &= \frac{6.577,22}{40.480,8} \times 100\% \\ &= 16,25\% \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{Beban\% Barat} &= \frac{10.379,93}{40.480,8} \times 100\% \\ &= 25,64\% \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{Beban\% Tengah} &= \frac{6.560,7}{40.480,8} \times 100\% \\ &= 16,21\% \end{aligned} \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \text{Beban\% Timur} &= \frac{5.161,29}{40.480,8} \times 100\% \\ &= 12,75\% \end{aligned} \quad (26)$$

Tabel 11: Data output inverter 5 kW sistem 240 V H3

Waktu	Pac (W)			
	Kantor	Pompa	Barat	PJU
08.00	269,37	462,09	847,53	-
09.00	341,80	468,87	845,73	-
10.00	423,25	480,27	831,15	-
11.00	578,95	475,88	938,60	-
12.00	599,24	458,76	814,35	-
13.00	664,78	493,65	838,11	-
14.00	538,02	489,71	810,32	-
15.00	465,34	487,29	829,71	-
16.00	488,82	477,86	940,37	-
17.00	142,29	479,39	820,88	-
18.00	118,10	472,39	798,26	570,81
19.00	113,78	-	-	564,50
20.00	115,86	-	-	550,87
21.00	111,64	-	-	553,82
22.00	113,83	-	-	549,44
23.00	113,93	-	-	543,37
00.00	118,26	-	-	551,88
01.00	120,45	-	-	543,12
02.00	122,70	-	-	534,60
03.00	120,34	-	-	529,50
04.00	113,83	-	-	540,68
05.00	116,18	-	-	545,81
06.00	120,40	-	-	-
07.00	124,94	447,17	754,05	-
Jumlah	6.156,07	5.693,32	10.069,04	6.578,40
		28.496,83		

Pada hari ketiga, pada sistem 240 V, beban tertinggi terjadi pada pukul 13.00 WIB yaitu sebesar 1.996,54 W dan beban terendah terjadi pada pukul 06.00 WIB yaitu sebesar 120,40 W. Beban tertinggi dimiliki oleh warung bagian barat yaitu sebesar 10.069,04 W, diikuti oleh PJU yaitu sebesar 6.578,40 W, kemudian kantor

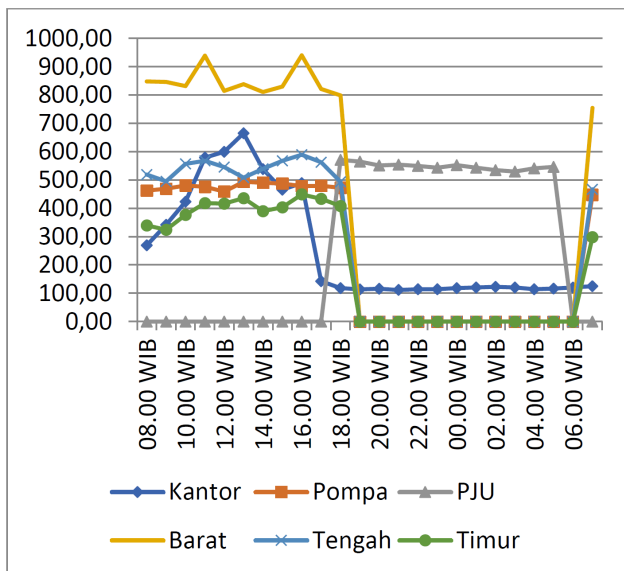
Tabel 12: Data output inverter 3,5 kW sistem 48 V H3

Waktu	Pac (W)	
	Timur	Tengah
08.00	339,30	518,79
09.00	324,27	495,17
10.00	376,85	556,51
11.00	418,29	567,21
12.00	416,10	545,31
13.00	435,61	507,85
14.00	390,00	538,99
15.00	403,14	567,47
16.00	448,95	589,11
17.00	433,22	562,32
18.00	407,71	493,20
19.00	-	-
20.00	-	-
21.00	-	-
22.00	-	-
23.00	-	-
00.00	-	-
01.00	-	-
02.00	-	-
03.00	-	-
04.00	-	-
05.00	-	-
06.00	-	-
07.00	297,84	466,47
Jumlah	4.691,28	6.408,39
	11.099,68	

yaitu sebesar 6.156,07 W, dan pompa air yaitu sebesar 5.693,32 W. Jumlah beban sistem 240 V pada hari ketiga yaitu sebesar 28.496,83 W. Sementara itu, pada sistem 48 V, beban tertinggi terjadi pada pukul 16.00 WIB yaitu sebesar 1.038,06 W dan beban terendah terjadi pada pukul 07.00 WIB yaitu sebesar 764,31 W. Beban tertinggi dimiliki oleh warung bagian tengah yaitu sebesar 6.408,39 W diikuti oleh warung bagian timur yaitu sebesar 4.691,28 W. Jumlah beban sistem 48 V pada hari ketiga yaitu sebesar 11.099,68 W. Berdasarkan Tabel 11 dan Tabel 12, total daya yang diperlukan untuk memenuhi beban berupa beban kantor, pompa air, PJU, warung bagian barat, warung bagian tengah, dan warung bagian timur pada hari ketiga yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Beban}_{\text{total}} &= 28.496,83 + 11.099,67 \\ &= 39.596,5 \text{ W} \end{aligned} \quad (27)$$

Adapun perbandingan daya yang diperlukan oleh masing-masing beban dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7: Perbandingan daya yang diperlukan oleh beban PLTH Pantai Baru H3

Beban kantor cenderung naik turun sejak pagi tergantung pada penggunaan listrik, kemudian mulai stabil pada pukul 18.00-07.00 WIB karena penggunaan peralatan listrik sudah mulai berkurang dan mulai fokus pada penggunaan lampu dan peralatan penting saja. Sementara itu, beban pompa air, warung bagian barat, tengah dan timur memiliki kesamaan yaitu memerlukan daya sejak pagi dan memiliki grafik naik turun hingga pukul 18.00 WIB dimana warung-warung mulai tutup dan daya yang diperlukan menjadi 0 W hingga pukul 06.00 WIB. Sebaliknya, sejak pagi hingga pukul 17.00 WIB, tidak ada daya yang mengalir ke PJU. PJU mulai memerlukan daya pada pukul 18.00-05.00 WIB dimana PJU diperlukan untuk penerangan jalan. Melalui persamaan 3.4, dapat diketahui kontribusi beban pada PLTH Pantai Baru di hari kedua yaitu sebagai berikut.

$$\text{Beban\% Kantor PLTH} = \frac{6.156,07}{39.596,5} \times 100\% \quad (28)$$

$$= 15,55\%$$

$$\text{Beban\% Pompa} = \frac{5.693,32}{39.596,5} \times 100\% \quad (29)$$

$$= 14,38\%$$

$$\text{Beban\% PJU} = \frac{6.578,4}{39.596,5} \times 100\% \quad (30)$$

$$= 16,61\%$$

$$\text{Beban\% Barat} = \frac{10.069,04}{39.596,5} \times 100\% \quad (31)$$

$$= 25,43\%$$

$$\text{Beban\% Tengah} = \frac{6.408,39}{39.596,5} \times 100\% \quad (32)$$

$$= 16,18\%$$

$$\text{Beban\% Timur} = \frac{4.691,28}{39.596,5} \times 100\% \quad (33)$$

$$= 11,85\%$$

Hubungan antara daya yang dibangkitkan oleh PLTH Pantai Baru dengan pemenuhan kebutuhan beban dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 13: Hubungan antara daya dan beban PLTH Pantai Baru

Hari	Total Daya (W)	Total Beban (W)	Sisa Daya (W)
H 1	74.204,05	48.090,17	26.113,86
H 2	55.393,45	40.480,8	14.912,65
H 3	40.250,47	39.596,5	653,97

Berdasarkan Tabel 13, dapat diketahui bahwa ketika PLTH Pantai Baru dalam kondisi pembangkitan tertinggi sebagaimana diasumsikan pada hari pertama, maka beban puncak (hari pertama) dan beban normal (hari kedua dan ketiga) dapat tercukupi dan bahkan masih terdapat daya yang tersisa untuk disimpan. Ketika PLTH Pantai Baru dalam kondisi pembangkitan sedang sebagaimana diasumsikan pada hari kedua, maka beban puncak (hari pertama) dan beban normal (hari kedua dan ketiga) dapat tercukupi dan bahkan masih terdapat daya yang tersisa untuk disimpan. Sementara itu, ketika PLTH Pantai Baru dalam kondisi pembangkitan terendah sebagaimana diasumsikan pada hari ketiga, maka PLTH Pantai Baru hanya akan mampu memenuhi kebutuhan beban pada hari ketiga. Namun, jika beban yang harus dilayani seperti beban puncak pada hari pertama dan beban pada hari kedua, maka diperlukan tambahan daya dari penyimpanan daya untuk memenuhi kebutuhan beban.

v. Efisiensi PLTH Pantai Baru

1. Efisiensi Turbin Angin PLTH Pantai Baru Efisiensi turbin angin PLTH Pantai Baru terhadap potensi maksimumnya (η_{A1}) dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$\eta_{A1}(H_1) = \frac{3.563,53}{20.000} \times 100\% = 17,82\%$$

$$\eta_{A1}(H_2) = \frac{2.790,14}{20.000} \times 100\% = 13,95\%$$

$$\eta_{A1}(H_3) = \frac{3.426,17}{20.000} \times 100\% = 17,13\%$$

2. Adapun efisiensi turbin angin PLTH Pantai Baru terhadap beban (η_{A2}) dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$\eta_{A2}(H_1) = \frac{3.563,53}{32.973,96} \times 100\% = 10,81\%$$

$$\eta_{A2}(H_2) = \frac{2.790,14}{28.758,82} \times 100\% = 9,70\%$$

$$\eta_{A2}(H_3) = \frac{3.426,17}{28.496,83} \times 100\% = 12,02\%$$

3. Efisiensi Panel Surya PLTH Pantai Baru Efisiensi panel surya PLTH Pantai Baru sistem 240 dan sistem 48 V terhadap potensinya (η_{S2}) dapat diketahui melalui persamaan berikut. Efisiensi Panel Surya PLTH Pantai Baru:

$$\eta_{S2240V}(H_1) = \frac{49.364,12}{70.000} \times 100\% = 70,52\%$$

$$\eta_{S248V}(H_1) = \frac{21.276,39}{52.500} \times 100\% = 40,53\%$$

$$\eta_{S2240V}(H_2) = \frac{32.690,95}{70.000} \times 100\% = 46,70\%$$

$$\eta_{S248V}(H_2) = \frac{19.912,36}{52.500} \times 100\% = 37,93\%$$

$$\eta_{S2240V}(H_3) = \frac{19.214,54}{70.000} \times 100\% = 27,45\%$$

$$\eta_{S248V}(H_3) = \frac{17.609,77}{52.500} \times 100\% = 33,54\%$$

4. Adapun efisiensi panel surya PLTH Pantai Baru terhadap beban (η_{S1}) dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$\eta_{S1240V}(H_1) = \frac{49.364,12}{32.973,96} \times 100\% = 149,71\%$$

$$\eta_{S148V}(H_1) = \frac{21.276,39}{15.116,22} \times 100\% = 140,75\%$$

$$\eta_{S1240V}(H_2) = \frac{32.690,95}{28.758,82} \times 100\% = 113,67\%$$

$$\eta_{S148V}(H_2) = \frac{19.912,36}{11.721,99} \times 100\% = 169,87\%$$

$$\eta_{S1240V}(H_3) = \frac{19.214,54}{28.496,83} \times 100\% = 67,43\%$$

$$\eta_{S148V}(H_3) = \frac{17.609,77}{11.099,67} \times 100\% = 158,65\%$$

5. Efisiensi PLTH Pantai Baru Efisiensi PLTH Pantai Baru terhadap potensi maksimumnya (η_{H1}) dapat diketahui melalui persamaan berikut.

$$\eta_{H1}(H_1) = \frac{74.204,05}{142.500} \times 100\% = 52,07\%$$

$$\eta_{H1}(H_2) = \frac{55.393,45}{142.500} \times 100\% = 38,87\%$$

$$\eta_{H1}(H_3) = \frac{40.250,47}{142.500} \times 100\% = 28,25\%$$

6. Efisiensi PLTH Pantai Baru terhadap beban η_{H2} :

$$\eta_{H2}(H_1) = \frac{74.204,05}{48.090,17} \times 100\% = 154,30\%$$

$$\eta_{H2}(H_2) = \frac{55.393,45}{40.480,8} \times 100\% = 136,84\%$$

$$\eta_{H2}(H_3) = \frac{40.250,47}{39.596,5} \times 100\% = 101,65\%$$

Efisiensi yang melebihi 100% artinya bahwa daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melebihi daya yang diperlukan oleh beban sehingga terdapat daya yang dapat disimpan pada baterai.

vi. Penyimpanan Daya PLTH Pantai Baru

Sistem penyimpanan daya pada PLTH Pantai Baru menggunakan tiga jenis baterai dengan kapasitas yang berbeda sebagaimana tersaji dalam tabel berikut.

Tabel 14: Kapasitas penyimpanan daya PLTH Pantai Baru

Baterai	Kapasitas	Jumlah	Total daya
Sistem 240 V	200 Ah/12 V	40 unit	400 Ah/240 V
Sistem 48 V	180 Ah/12 V	20 unit	900 Ah/48 V
Total penyimpanan daya listrik			164.400 W

Melalui Tabel 14, dapat diketahui total daya yang mampu dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru serta total daya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban pada hari pertama, kedua, dan ketiga. Mengetahui bahwa total penyimpanan daya pada PLTH Pantai Baru adalah 164.400 W, maka daya yang tersisa pada Tabel 4.16 dapat disimpan pada baterai. Adapun daya tersisa yang dapat disimpan pada baterai yaitu sebesar 41.680,48 W, sehingga masih tersedia penyimpanan daya sebesar 122.719,52 W. Jika diasumsikan bahwa selama tiga hari daya yang mampu disimpan oleh PLTH Pantai Baru yaitu sebesar 41.680,48 W, maka waktu yang diperlukan untuk mengisi baterai dari kondisi kosong hingga penuh yaitu selama 12 hari. Adapun efisiensi penggunaan baterai untuk memenuhi beban belum dapat ditentukan karena berdasarkan data yang telah diambil selama tiga hari, penyimpanan daya hanya digunakan untuk menyimpan daya saja dan bukan untuk memenuhi kebutuhan beban.

vii. Simulasi Aplikasi Homer

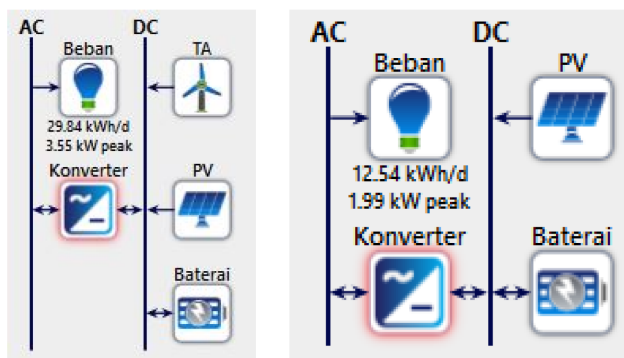
Homer (Hybrid Optimatmization of Multiple Energy Resources) merupakan aplikasi yang dirancang oleh NREL (National Renewable Energy Laboratory). Aplikasi ini dimaksudkan untuk merancang dan mendapatkan model hybrid terbaik termasuk sistem off-grid dan

on-grid sesuai wilayah yang telah ditentukan [9]. Pada penelitian ini, aplikasi Homer digunakan sebagai sarana pembandingan dengan hasil pengamatan di lapangan. Data-data yang telah didapatkan di lapangan, seperti data spesifikasi turbin angin, panel surya, baterai, konverter, data beban, data kecepatan angin, dan data radiasi matahari akan digunakan sebagai nilai input simulasi. Langkah awal dalam proses simulasi yaitu menentukan lokasi atau wilayah dari sistem yang akan disimulasikan yang dalam hal ini merupakan lokasi dari PLTH Pantai Baru seperti pada gambar berikut.



Gambar 8: Lokasi PLTH Pantai Baru pada Homer

Langkah selanjutnya yaitu membuat skematik dari sistem yang akan disimulasikan. Kemudian, data-data



Gambar 9: Skematik sistem 240 V (kiri) dan sistem 48 V (kanan) PLTH Pantai Baru pada Homer

yang telah didapatkan melalui pengamatan di lapangan dimasukkan ke setiap komponen. Telah diketahui sebelumnya bahwa PLTH Pantai baru memiliki dua sistem yaitu sistem 240 V yang mengintegrasikan turbin angin dan panel surya, serta sistem 48 V yang merupakan pembangkit tunggal yaitu panel surya. Oleh karena itu, simulasi yang dilakukan akan didasarkan pada dua sistem tersebut. Setelah skematik sistem PLTH telah dibuat dan data-data telah dimasukkan pada setiap komponen, maka simulasi dapat dijalankan sehingga didapatkan data seperti pada gambar berikut. Data-data

Date	Time	Global Solar (kW/m ²)	Panel Surya Solar Altitude (°)	Panel Surya Solar Azimuth (°)	Panel Surya Angle of Incidence (°)	Panel Surya Incident Solar (kW/m ²)	Panel Surya Power Output (kW)	Wind Speed (m/s)	Turbin Angin Power Output (kW)
Jan 1	8:00	0.00	0.00	-68.05	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Jan 1	9:00	0.92	41.70	-66.09	51.92	0.85	5.66	1.38	0.02
Jan 1	10:00	0.98	55.02	-60.64	39.43	0.92	6.11	2.22	0.09
Jan 1	11:00	1.10	67.13	-46.66	28.91	1.05	6.92	3.05	0.17
Jan 1	12:00	1.09	74.64	-10.11	23.26	1.04	6.89	3.61	0.22
Jan 1	13:00	1.07	70.95	36.22	25.92	1.02	6.78	3.89	0.24
Jan 1	14:00	1.04	59.93	56.77	35.03	0.99	6.53	5.07	0.34
Jan 1	15:00	1.01	46.92	64.55	46.96	0.95	6.30	5.27	0.36
Jan 1	16:00	0.87	33.32	67.56	60.03	0.53	3.52	5.29	0.36
Jan 1	17:00	0.65	19.54	68.26	73.58	0.30	2.00	5.24	0.36
Jan 1	18:00	0.04	5.77	67.43	87.34	0.04	0.26	4.44	0.29
Jan 1	19:00	0.00	0.00	65.23	90.00	0.00	0.00	3.06	0.17
Jan 1	20:00	0.00	0.00	61.40	90.00	0.00	0.00	2.24	0.10
Jan 1	21:00	0.00	0.00	55.22	90.00	0.00	0.00	1.67	0.05
Jan 1	22:00	0.00	0.00	45.23	90.00	0.00	0.00	1.39	0.02
Jan 1	23:00	0.00	0.00	29.00	90.00	0.00	0.00	1.35	0.02
Jan 2	0:00	0.00	0.00	5.15	90.00	0.00	0.00	0.92	0.00
Jan 2	1:00	0.00	0.00	-20.47	90.00	0.00	0.00	0.87	0.00
Jan 2	2:00	0.00	0.00	-39.82	90.00	0.00	0.00	0.85	0.00
Jan 2	3:00	0.00	0.00	-51.94	90.00	0.00	0.00	0.83	0.00

Gambar 10: Data hasil simulasi PLTH Pantai Baru sistem 240 V

Date	Time	Global Solar (kW/m ²)	Panel Surya Solar Altitude (°)	Panel Surya Solar Azimuth (°)	Panel Surya Angle of Incidence (°)	Panel Surya Incident Solar (kW/m ²)	Panel Surya Power Output (kW)
Jan 1	1:00	0.00	0.00	-20.60	90.00	0.00	0.00
Jan 1	2:00	0.00	0.00	-39.86	90.00	0.00	0.00
Jan 1	3:00	0.00	0.00	-51.93	90.00	0.00	0.00
Jan 1	4:00	0.00	0.00	-59.35	90.00	0.00	0.00
Jan 1	5:00	0.00	0.00	-63.97	90.00	0.00	0.00
Jan 1	6:00	0.00	0.00	-66.75	90.00	0.00	0.00
Jan 1	7:00	0.00	0.00	-68.10	90.00	0.00	0.00
Jan 1	8:00	0.00	0.00	-68.05	90.00	0.00	0.00
Jan 1	9:00	0.92	41.70	-66.09	51.92	0.85	2.48
Jan 1	10:00	0.98	55.02	-60.64	39.43	0.92	2.68
Jan 1	11:00	1.10	67.13	-46.66	28.91	1.04	3.03
Jan 1	12:00	1.09	74.64	-10.11	23.26	1.04	3.02
Jan 1	13:00	1.07	70.95	36.22	25.92	1.02	2.97
Jan 1	14:00	1.04	59.93	56.77	35.03	0.99	2.86
Jan 1	15:00	1.01	46.92	64.55	46.96	0.95	2.76
Jan 1	16:00	0.87	33.32	67.56	60.03	0.53	1.54
Jan 1	17:00	0.65	19.54	68.26	73.58	0.30	0.88
Jan 1	18:00	0.04	5.77	67.43	87.34	0.04	0.11
Jan 1	19:00	0.00	0.00	65.23	90.00	0.00	0.00
Jan 1	20:00	0.00	0.00	61.40	90.00	0.00	0.00

Gambar 11: Data hasil simulasi PLTH Pantai Baru sistem 48 V

yang telah didapatkan melalui simulasi Homer, dapat dilihat pada tabel berikut.

Secara keseluruhan, daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui simulasi Homer pada hari pertama lebih banyak sekitar 6 kW dibandingkan hasil pengamatan. Melalui simulasi Homer, daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V lebih banyak dibandingkan melalui hasil pengamatan. Hal ini berbeda dengan daya yang dihasilkan oleh turbin angin, dimana daya yang dihasilkan melalui simulasi Homer lebih kecil dibandingkan hasil pengamatan.

Secara keseluruhan, daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui simulasi Homer pada hari kedua lebih banyak sekitar 12 kW dibandingkan hasil pengamatan. Melalui simulasi Homer, daya yang

Tabel 15: Daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui simulasi Homer H1 Waktu Pdc (W)

Waktu	Pdc (W)		
	TA 240 V	PV 240 V	PV 48 V
08.00	20,52	5.657,76	2.477,86
09.00	90,38	6.112,91	2.677,19
10.00	166,37	6.922,91	3.031,93
11.00	215,27	6.886,18	3.015,83
12.00	239,73	6.783,18	2.970,73
13.00	342,78	6.530,96	2.860,27
14.00	360,25	6.297,14	2.757,88
15.00	362,00	3.251,13	1.543,46
16.00	357,63	2.004,38	878,61
17.00	287,76	256,97	112,55
18.00	167,24	-	-
19.00	95,63	-	-
20.00	45,85	-	-
21.00	21,39	-	-
22.00	17,90	-	-
23.00	-	-	-
00.00	-	-	-
01.00	-	-	-
02.00	-	-	-
03.00	-	-	-
04.00	-	-	-
05.00	-	-	-
06.00	-	223,96	98,09
07.00	-	2.948,42	1.292,42
Jumlah	2.794,20	54.145,87	23.716,81
		80.656,88	

Tabel 16: Daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui simulasi Homer H2 Waktu Pdc (W)

Waktu	Pdc (W)		
	TA 240 V	PV 240 V	PV 48 V
08.00	21,39	4.333,02	2.523,52
09.00	44,97	6.076,39	2.661,19
10.00	142,79	5.638,73	2.469,60
11.00	172,48	5.640,11	2.470,22
12.00	215,27	5.623,18	2.462,80
13.00	230,12	5.563,27	2.436,53
14.00	186,89	5.708,00	2.499,86
15.00	295,62	3.533,59	1.548,92
16.00	291,26	2.017,43	884,33
17.00	213,53	239,70	104,98
18.00	134,93	-	-
19.00	96,50	-	-
20.00	45,85	-	-
21.00	42,35	-	-
22.00	15,28	-	-
23.00	12,66	-	-
00.00	-	-	-
01.00	-	-	-
02.00	-	-	-
03.00	-	-	-
04.00	-	-	-
05.00	-	-	-
06.00	-	52,78	23,12
07.00	10,91	316,61	138,66
Jumlah	2.261,90	44.742,80	20.223,72
		67.228,42	

dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V lebih banyak dibandingkan melalui hasil pengamatan. Hal ini berbeda dengan daya yang dihasilkan oleh turbin angin, dimana daya yang dihasilkan melalui simulasi Homer lebih kecil dibandingkan hasil pengamatan.

Secara keseluruhan, daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui simulasi Homer pada hari ketiga lebih banyak sekitar 21 kW dibandingkan hasil pengamatan. Melalui simulasi Homer, daya yang dihasilkan oleh panel surya sistem 240 V dan sistem 48 V lebih banyak dibandingkan melalui hasil pengamatan. Hal ini berbeda dengan daya yang dihasilkan oleh turbin angin, dimana daya yang dihasilkan melalui simulasi Homer lebih kecil dibandingkan hasil pengamatan. Adapun perbandingan daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru berdasarkan hasil pengamatan dan hasil simulasi adalah sebagai berikut.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, panel surya telah menunjukkan daya yang mampu di-

hasilkan dengan bermacam variasi sinar matahari dari rendah ke tinggi. Sementara itu, turbin angin hanya menunjukkan daya berdasarkan kecepatan angin rendah yaitu kurang lebih antara 1-5 m/s. Perlu diketahui bahwa turbin angin pada PLTH Pantai Baru memiliki nilai cut-in sebesar 3 m/s dan nilai cut-off sebesar 12 m/s. Ini menunjukkan bahwa simulasi yang telah dilakukan tidak mampu menunjukkan kinerja maksimum yang dapat dilakukan oleh turbin angin. Oleh karena itu, dilakukan simulasi tambahan untuk menunjukkan kinerja turbin angin dengan kecepatan angin antara nilai cut-in dan cut-off dari turbin angin. Ini dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut berikut. Tabel 18: Hasil simulasi turbin angin PLTH Pantai Baru dengan variasi kecepatan antara nilai cut-in dan cut-off

Melalui simulasi yang telah dilakukan, dapat diketahui daya yang mampu dihasilkan oleh turbin angin PLTH Pantai Baru dengan variasi kecepatan angin antara nilai cut-in dan cut-off. Berdasarkan hasil simulasi, turbin angin mulai menghasilkan daya pada kecepatan

Tabel 17: Daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui simulasi Homer H3 Waktu Pdc (W)

Waktu	Pdc (W)		
	TA 240 V	PV 240 V	PV 48 V
08.00	14,41	3.808,12	1.667,90
09.00	97,37	3.849,07	1.685,82
10.00	174,23	4.227,02	1.851,34
11.00	243,22	5.647,22	2.473,33
12.00	288,64	5.539,90	2.426,33
13.00	353,26	5.382,89	2.357,54
14.00	341,91	5.401,67	2.365,70
15.00	282,52	4.520,99	1.980,01
16.00	230,12	2.030,45	890,03
17.00	216,15	176,43	77,27
18.00	144,53	-	-
19.00	101,74	-	-
20.00	43,23	-	-
21.00	33,62	-	-
22.00	25,76	-	-
23.00	19,65	-	-
00.00	14,41	-	-
01.00	17,90	-	-
02.00	12,66	-	-
03.00	15,28	-	-
04.00	10,91	-	-
05.00	6,55	-	-
06.00	-	92,33	40,44
07.00	11,79	197,44	86,89
Jumlah	2.688,07	40.874,01	17.902,40
		61.464,48	

Tabel 18: Hasil simulasi Daya antara pengamatan dan hasil remisi

Hari	Daya (W) Hasil Pengamatan	Daya (W) Hasil Simulasi
H 1	74.204,05	80.656,88
H 2	55.393,45	67.228,42
H 3	40.250,47	61.464,48

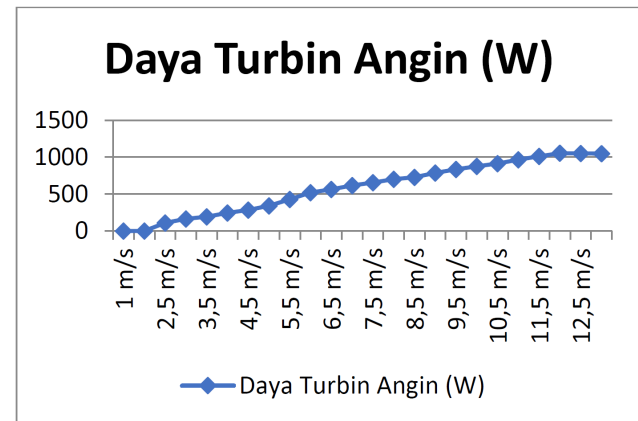
2,5 m/s yaitu sebesar 109,13 W yang kemudian naik secara eksponensial dan mencapai puncaknya pada kecepatan 12 m/s dengan daya sebesar 1.054,24 W.

IV. KESIMPULAN

Pada hari pertama, daya yang mampu dibangkitkan oleh turbin angin yaitu sebesar 3.563,53 W (4,8%), panel surya sistem 240 V sebesar 39.364,12 W (66,53%), dan panel surya sistem 48 V sebesar 21.276,39 W (28,67%) sehingga total daya yang dibangkitkan oleh PLTH Pantai Baru pada hari pertama yaitu sebe-

Tabel 19: Hasil simulasi turbin angin PLTH Pantai Baru dengan variasi kecepatan antara nilai cut-in dan cut-off

Daya (W)	Kec. Angin (m/s)
0	1
0	2
109,13	2,5
163,65	3
190,93	3,5
243,36	4
282,78	4,5
339,41	5
428,18	5,5
518,32	6
562,03	6,5
614,95	7
655,86	7,5
701,06	8
726,73	8,5
785,65	9
834,56	9,5
876,71	10
912,43	10,5
966,35	11
1.010,28	11,5
1.054,24	12
1.050,53	12,5
1.047,76	13

**Gambar 12:** Grafik hubungan antara daya dan kecepatan angin pada turbin angin PLTH Pantai Baru berdasarkan simulasi Homer

sar 74.204,05 W. Pada hari kedua, daya yang mampu dibangkitkan oleh turbin angin yaitu 2.790 W (5,03%), panel surya sistem 240 V sebesar 32.690,95 W (59,02%), dan panel surya sistem 48 V sebesar 19.912,36 W (35,95%) sehingga total daya yang dibangkitkan oleh PLTH Pantai Baru pada hari kedua yaitu sebesar 55.393,45 W. Pada hari ketiga, daya yang

mampu dibangkitkan oleh turbin angin yaitu sebesar 3.426,17 W (8,51%), panel surya sistem 240 V sebesar 19.214,54 W (47,74%), dan panel surya 48 V sebesar 17.609,77 W (43,75%) sehingga total daya yang mampu dibangkitkan oleh PLTH Pantai Baru pada hari ketiga yaitu sebesar 40.250,47 W.

PLTH Pantai Baru melayani enam jenis beban, yaitu beban kantor, pompa air, PJU, dan warung barat untuk inverter 5 kW serta beban warung tengah dan timur untuk inverter 3,5 kW. Pada hari pertama, total daya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban PLTH Pantai Baru yaitu sebesar 48.090,17 W dimana beban kantor sebesar 5.603,91 W (11,65%), pompa air sebesar 5.811,04 W (12,0%), PJU sebesar 6.618,1 W (13,76%), warung barat sebesar 14.940,91 W (31,07%), warung tengah sebesar 7.367,59 W (15,32%), warung timur sebesar 7.748,63 W (16,11%). Pada hari kedua, total daya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban PLTH Pantai Baru yaitu sebesar 40.480,8 dimana beban kantor sebesar 6.045,35 W (14,93%), pompa air sebesar 5.756,32 W (14,22%), PJU sebesar 6.577,22 W (16,25%), warung barat sebesar 10.379,93 W (25,64%), warung tengah sebesar 6.560,7 W (16,21%), warung timur sebesar 5.161,29 W (12,75%). Pada hari ketiga, total daya yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan beban PLTH Pantai Baru yaitu sebesar 39.596,5 W dimana beban kantor sebesar 6.156,07 W (15,55%), pompa air sebesar 5.693,32 W (14,38%), PJU sebesar 6.578,4 W (16,61%), warung barat sebesar 10.069,04 W (25,43%), warung tengah sebesar 6.408,39 W (16,18%), warung timur sebesar 4.691,28 W (11,85%).

Pada hari pertama yang diasumsikan sebagai kondisi pembangkitan daya tertinggi, PLTH Pantai Baru mampu memenuhi kebutuhan beban puncak (hari pertama) maupun kebutuhan beban normal (hari kedua dan ketiga). Pada hari kedua yang diasumsikan sebagai kondisi pembangkitan daya sedang, PLTH Pantai Baru juga mampu memenuhi kebutuhan beban puncak maupun beban normal. Pada hari ketiga yang diasumsikan sebagai kondisi pembangkitan daya terendah, PLTH Pantai Baru hanya mampu memenuhi kebutuhan beban pada hari ketiga, sehingga diperlukan tambahan daya dari penyimpanan daya jika beban yang harus dilayani seperti pada hari pertama dan kedua.

Pada hari pertama, turbin angin memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 17,82% dan efisiensi terhadap beban sebesar 10,81%, panel surya sistem 240 V memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 70,52% dan efisiensi terhadap beban sebesar 149,71%, panel surya sistem 48 V memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 40,53% dan efisiensi terhadap beban sebesar 140,75%, sehingga efisiensi PLTH Pantai Baru terhadap

potensi sebesar 52,07% dan efisiensi terhadap beban sebesar 154,30%. Pada hari kedua, turbin angin memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 13,95% dan efisiensi terhadap beban sebesar 9,70%, panel surya sistem 240 V memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 46,70% dan efisiensi terhadap beban sebesar 113,67%, panel surya sistem 48 V memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 37,93% dan efisiensi terhadap beban sebesar 169,87%, sehingga efisiensi PLTH Pantai Baru terhadap potensi sebesar 38,87% dan efisiensi terhadap beban sebesar 136,84%. Pada hari ketiga, turbin angin memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 17,13% dan efisiensi terhadap beban sebesar 12,02%, panel surya sistem 240 V memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 27,45% dan efisiensi terhadap beban sebesar 67,43%, panel surya sistem 48 V memiliki efisiensi terhadap potensi sebesar 33,54% dan efisiensi terhadap beban sebesar 158,65%, sehingga efisiensi PLTH Pantai Baru terhadap potensi sebesar 28,25% dan efisiensi terhadap beban sebesar 101,65%.

PLTH Pantai Baru memiliki penyimpanan daya dengan total kapasitas sebesar 164.400 W. Pada hari pertama, terdapat sisa daya sebesar 26.113,86 W. Pada hari kedua, terdapat sisa daya sebesar 14.912,65 W. Pada hari ketiga, terdapat sisa daya sebesar 653,97 W. Artinya, dalam rentang waktu tiga hari pengamatan, daya yang tersisa dapat disimpan untuk kemudian digunakan sebagai cadangan daya ketika daya yang dibangkitkan oleh PLTH Pantai Baru tidak mencukupi kebutuhan beban.

Pada hari pertama, daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui hasil pengamatan yaitu sebesar 74.204,05 W sementara melalui hasil simulasi yaitu sebesar 80.656,88 W. Pada hari kedua, daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui hasil pengamatan yaitu sebesar 55.393,45 W sementara melalui hasil simulasi yaitu sebesar 67.228,42 W. Pada hari ketiga, daya yang dihasilkan oleh PLTH Pantai Baru melalui hasil pengamatan yaitu sebesar 40.250,47 W sementara melalui hasil simulasi yaitu sebesar 61.464,48 W.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Adam, P. Harahap, and M. R. Nasution, "Analisa pengaruh perubahan kecepatan angin pada pembangkit listrik tenaga angin (plta) terhadap daya yang dihasilkan generator dc," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi : Jurnal Teknik Elektro)*, vol. 2, no. 1, pp. 30–36, 2019.
- [2] F. Hidayanti, *Aplikasi Sel Surya*. Jakarta Selatan: LP UNAS, 2020.
- [3] Z. Ding *et al.*, "Performance analysis of a wind-solar hybrid power generation system," *Energy Conversion and Management*, vol. 181, pp. 223–234, 2019.
- [4] J. Lian *et al.*, "A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 199, p. artikel 112027, 2019.

- [5] S. Rehman, "Hybrid power systems – sizes, efficiencies, and economics," *Energy Exploration & Exploitation*, vol. 39, no. 1, pp. 3–43, 2021.
- [6] N. S. Suresh, N. C. Thirumalai, and S. Dasappa, "Modeling and analysis of solar thermal and biomass hybrid power plants," *Applied Thermal Engineering*, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2019.114121>
- [7] M. T. Ameli, S. Moslehpour, and M. B. Shamlo, "Economical load distribution in power networks that include hybrid solar power plants," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, pp. 1147–1152, 2008. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.EPSR.2007.09.009>
- [8] M. Muralikrishna and V. Lakshminarayana, "Hybrid (solar and wind) energy systems for rural electrification," 2008. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:16998108>
- [9] A. H. Mondal and M. Denich, "Hybrid systems for decentralized power generation in bangladesh," *Energy for Sustainable Development*, vol. 14, pp. 48–55, 2010. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2010.01.001>
- [10] M. Kusban, "Palmpoint recognition using gabor-based scale orientation," *International Journal of Electronics and Telecommunications*, pp. 641–646, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24425/ijet.2022.141284>
- [11] —, "Improvement palmpoint recognition system by adjusting image data reference points," in *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1858, no. 1. IOP Publishing, 2021, p. 012077. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012077>
- [12] M. Kusban, A. Budiman *et al.*, "Palmpoint recognition using the cosine method," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 674, no. 1. IOP Publishing, 2019, p. 012041. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/674/1/012041>
- [13] M. Kusban, A. Budiman, and P. B. Hari, "Optimized palmpoint recognition with gabor parameters adjustment and matching method selection," *Advanced Science Letters*, vol. 24, no. 12, pp. 9168–9172, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1166/asl.2018.12118>
- [14] M. Kusban, A. Budiman *et al.*, "An excellent system in palmpoint recognition," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 403, no. 1. IOP Publishing, 2018, p. 012037. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/403/1/012037>
- [15] M. Kusban, A. Susanto, and O. Wahyunggoro, "Excellent performance of palmpoint recognition by using wavelet filter," *ICIC Express Letters*, vol. 11, pp. 1315–1321, 2017. [Online]. Available: <http://www.icicel.org/ell/contents/2017/8/el-11-08-08.pdf>
- [16] —, "Combination a skeleton filter and reduction dimension of kernel pca based on palmpoint recognition," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 6, no. 6, pp. 3255–3261, 2016. [Online]. Available: <https://doi.org/10.11591/ijece.v6i6.11677>
- [17] —, "Feature extraction for palmpoint recognition using kernel-pca with modification in gabor parameters," in *2016 1st international conference on biomedical engineering (IBIOMED)*. IEEE, 2016, pp. 1–6. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/IBIOMED.2016.7869820>
- [18] F. A. Khan, N. Pal, and S. H. Saeed, "Review of solar photovoltaic and wind hybrid energy systems for sizing strategies optimization techniques and cost analysis methodologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 937–947, 2018.
- [19] N. W. Hesty *et al.*, "Estimasi potensi energi angin indonesia menggunakan model weather research and forecast – four dimension data assimilation (wrf-fdda)," *Jurnal Sains Dirgantara*, vol. 19, no. 2, pp. 11–20, 2022.
- [20] N. Walliman, *Research Methods the basics*. Oxon: Routledge, 2011.