

ANALISA PENGGUNAAN ENERGI ANGIN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF DI KOTA PALU

Rosanti B.¹, Sari Dewi², Yusraini³, Nurhani⁴, Baso M⁵

¹Mahasiswa, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro Universitas Tadulako

^{2,3,4,5}Dosen, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Tadulako

Email : rosantibusma@gmail.com

Abstract

Currently, the energy we use is still using fossil energy. In the future, the need for energy will increase because every year there is a large population growth. If you still use fossil energy and don't find new energy alternatives, then Indonesia will experience a severe energy crisis and certain places will experience blackouts. One of the efforts so that the wind energy crisis can be minimized is to utilize natural energy that has the potential to generate energy such as the Wind Power Plant. In this study, planning and simulation of Wind Power Plant were carried out to help reduce the use of fossil energy and help the needs of the community in the Talise Beach area. From the results of the study that the average output of wind turbine production is 1,180/hour with a maximum production of wind turbines per day of 5,665 kW and the construction system cost (NPC) of Rp. 91,340,660,000. Electrical energy that can be generated from wind turbines by utilizing an area of about 42,021.67 m² is 10,332,498 kWh/year with a total unfulfilled power of 1,416 kW/year. Lack of power or unmet load can be overcome by the existence of a grid/network.

Keywords : *Wind Turbine, Renewable Energy, HOMER, Energy Production Cost*

I. Pendahuluan

Indonesia memiliki banyak potensi energi yang dapat menghasilkan listrik, salah satunya adalah energi angin. Pada dasarnya angin terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara udara panas dan udara dingin. Selain bisa dimanfaatkan, angin juga tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan oleh manusia, akan tetapi penggunaan energi angin di Indonesia belum sepenuhnya dimanfaatkan bahkan masih di anggap sebagai proses alam biasa.[2]

Salah satu upaya agar krisis energi angin dapat diminimalisir yaitu memanfaatkan energi alam yang memiliki potensi untuk membangkitkan energi. Energi alam yang memiliki potensi adalah energi angin atau pembangkit listrik tenaga bayu. Angin dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. PLTB ini merupakan salah satu upaya untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar turbin angin yang

dihubungkan ke generator sebagai pembangkit listrik, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan dalam baterai.[3]

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah pembangkit listrik energi terbarukan yang tumbuh pesat di berbagai negara maju. Indonesia sendiri belum menguasai teknologi turbin angin yang modern sepenuhnya, sehingga masih dibutuhkan riset yang intensif untuk mendapatkan turbin angin yang cocok dengan kondisi potensi energi angin di Indonesia khususnya Kota Palu.

Saat ini kebutuhan listrik yang digunakan setiap hari semakin banyak dan meningkat. Sementara itu, butuh ratusan tahun lagi untuk melakukan pembaharuan agar mendapatkan daya listrik yang maksimal guna mencukupi kebutuhan pemakaian listrik. Maka dari itu, kita perlu mencari energi yang berkesinambungan dan bersih serta energi yang tidak akan

pernah habis. Hal inilah yang membuat penulis ingin melakukan analisa penggunaan energi angin di suatu tempat agar kedepannya dapat digunakan sebagai pembangkit listrik alternatif di Kota Palu.

Berdasarkan *master thesis* dari Dewi, S, dengan judul *Technical Analysis of Wind Energy in* di Palu (Indonesia). (2010), bahwa energi angin ini dapat digunakan untuk menggantikan diesel generator dalam mensuplai beban dasar/sedang atau beban puncak jika salah satu genset diesel yang digunakan untuk mensuplai beban puncak mengalami masalah teknis. Kontribusi energi angin dalam penyediaan beban dasar/sedang dan beban puncak adalah 4723 kWh perhari. Dengan diperkenalkannya energi angin dalam penyediaan listrik baik untuk beban dasar/sedang maupun beban puncak, penggunaan bahan bakar untuk mengoperasikan genset dapat dikurangi. Pengurangan bahan bakar mengarah pada penghematan biaya. Sebagai perbandingan, dipilih generator diesel dari *Wartsil* dengan kapasitas 1200 kW. Hasilnya, bahan bakar yang bisa dihemat adalah 793087 liter per tahun dan biaya variabel yang bisa dihemat US\$ 15.84 juta per tahun.

Dalam penelitian Saputra, I, dengan judul *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Pada Pesisir Pantai Labu Menggunakan Software Homer*. (2021), pada penelitian ini membuat analisa terkait dengan potensi pembangkit listrik tenaga hibrida (surya dan angin) pada daerah pesisir pantai menggunakan *software HOMER* berdasarkan tinjauan ekonomi dengan menghitung biaya produksi pada setiap produksi kWh listrik. Hasil dari penelitian ini dengan lahan seluas 100.000 m² sebesar 37,660 kW, dengan biaya produksi energi untuk setiap kWh listrik sebesar Rp. 1.585,34. Perbandingan produksi energi hibrida dengan tarif dasar

listrik PLN sebesar 1 : 1,09. Potensi pesisir pantai labu yakni pada desa Paluh Sibaji belum cukup baik dari segi ekonomi dimana biaya produksi energi masih lebih tinggi dibandingkan dengan tarif dasar listrik PLN.

Menurut artikel dari Sandika, A.Y.P.T et al, dengan judul *Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai Monpera Sebagai Sumber Energi Terbarukan Kota Balikpapan*. (2019). Berdasarkan data yang didapatkan badan perencanaan pembangunan, penelitian dan pengembangan daerah setempat bahwa topografi daerah tersebut hampir seluruhnya berbukit (85%) dengan memiliki ketinggian wilayah dari permukaan air laut sekitar 0-80% m. karakter wilayah tersebut berpengaruh terhadap gerak aliran udara dan kecepatan angin yang dihasilkan. Pada penelitian ini, alat yang digunakan untuk mengambil data yaitu turbin angin horizontal DC 12/24V 400W. Hasil yang didapatkan pada daerah penelitian yaitu pada kecepatan angin sebesar 11.15 knot (5.66 m/s), daya maksimum sebesar 74,129 Watt, daya nyata sebesar 39,99 Watt dan daya total sebesar 125,092 Watt.[5]

1.1 Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak dikarenakan adanya perbedaan suhu udara panas dan suhu udara dingin. Perbedaan suhu udara diakibatkan adanya tekanan udara dipermukaan bumi.[4]

Setiap tahun, di atas daratan bumi, sekitar 1.7 juta TWh energi dihasilkan dalam bentuk angin. Di seluruh dunia secara keseluruhan angkanya jauh lebih tinggi. Meski begitu, hanya sebagian kecil dari energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi yang bermanfaat/berguna.[1]

Tenaga angin sangat bergantung pada kecepatan angin. Energi aktual yang

terkandung dalam angin bervariasi dengan kekuatan ketiga kecepatan angin. Kecepatan angin dua kali lipat, dan energi yang dibawanya meningkat delapan kali lipat.

1.2 Profil Ketinggian Angin

Untuk mendapatkan kecepatan angin pada ketinggian yang berbeda dapat menggunakan persamaan sebagai berikut : [1]

$$V_2 = V_1 \times \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha$$

Dimana :

- V₂ : Kecepatan angin rata-rata pada ketinggian h₂
- V₁ : Kecepatan referensi pada ketinggian referensi h₁
- H₂ : Ketinggian di atas permukaan tanah untuk kecepatan angin yang diinginkan
- h₁ : Eksponen tinggi (kecepatan referensi)
- α : Koefisien geser angina

Nilai koefisien geser angin (α) menggambarkan kondisi daerah, semakin besar nilai koefisien maka semakin banyak gangguan pada daerah tersebut (misal : bangunan, pepohonan dan kontur tanah). Berdasarkan jenis medan, nilai koefisien geser angin (α) dapat dilihat pada tabel berikut : [1]

Tabel 1 Koefisien geser angin dari berbagai medan

Jenis Medan	α
Danau, lautan, dan tanah keras yang halus	0.1
Kaki rumput tinggi di tanah yang rata	0.15
Tanaman tinggi, pagar, dan semak belukar	0.2
Negara berhutan dengan banyak pohon	0.25
Kota kecil dengan beberapa pohon dan semak belukar	0.3
Area kota dengan gedung-gedung tinggi	0.4

Persamaan lain untuk mendapatkan kecepatan angin pada ketinggian berbeda dengan menggunakan tabel kekasaran dan panjang kekasaran yaitu sebagai berikut :

$$V = V_{ref} \times \frac{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{Z_{ref}}{Z_0}\right)}$$

Dimana :

- V : Kecepatan angin pada ketinggian Z di atas permukaan tanah
- V_{ref} : Kecepatan referensi (ketinggian referensi Z)
- Z : Ketinggian di atas permukaan tanah untuk kecepatan angin yang diinginkan
- Z₀ : Panjang kekasaran dalam arah angin
- Z_{ref} : Ketinggian referensi di (V_{ref})

Tabel 2 Kelas kekasaran dan panjang kekasaran

Kekasaran kelas	Kekasaran Panjang (m)	Jenis lanskap
0	0.0002	Permukaan air
0.5	0.0024	Medan yang benar-benar terbuka dengan permukaan yang halus, misalnya di bandara, rumput yang dipangkas, dll
1	0.03	Lahan pertanian terbuka tanpa pagar dan pagar tanaman serta bangunan yang sangat berseberak; hanya bukit-bukit yang membulat
1.5	0.055	Lahan pertanian dengan beberapa rumah dan pagar tanaman setinggi 8 meter dengan jarak kurang lebih 1250 m
2	0.1	Lahan pertanian dengan beberapa rumah dan pagar tanaman setinggi 8 meter dengan jarak kurang lebih 500 m
2.5	0.2	Lahan pertanian dengan banyak rumah, semak dan tanaman, atau pagar tanaman setinggi 8 meter dengan jarak kurang lebih 250 m
3	0.4	Desa, kota kecil, lahan pertanian dengan banyak atau tinggi pagar tanaman yang melindungi, hutan dan medan yang sangat kasar dan tidak rata
3.5	0.8	Kota-kota besar dengan gedung-gedung tinggi
4	1.6	Kota yang sangat besar dengan gedung-gedung tinggi dan gedung pencakar langit

1.3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga bayu merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan kecepatan angin untuk menggerakkan turbin dan generator. Angin pada PLTB berperan sebagai penggerak mula yang memutar turbin untuk memutar generator. Kecepatan angin yang menabrak sudu dari turbin angin menyebabkan turbin bergerak. Turbin yang bergerak akan memutar generator kemudian generator akan menghasilkan listrik.

1.4 Menghitung Biaya Energi Angin

Perkiraan biaya pemasangan energi angin ditentukan oleh beberapa faktor yaitu sebagai berikut :[1]

- Produksi energi tahunan dari instalasi turbin angin
 - Biaya modal pemasangan
 - Tingkat biaya modal tahunan, yang dihitung dengan mengubah biaya modal Ditambah bunga yang harus dibayar menjadi biaya tahunan yang setara, dengan menggunakan konsep “*annuitization*”
 - Lamanya kontrak dengan pembeli tenaga listrik yang dihasilkan
 - Jumlah tahun di mana investasi dalam proyek akan dipulihkan atau pinjaman apa pun yang dilunasi, yang mungkin sama dengan panjang kontrak
- Biaya operasi dan pemeliharaan, termasuk pemeliharaan turbin angin, sewa lahan, dll.

II. Metode Penelitian

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

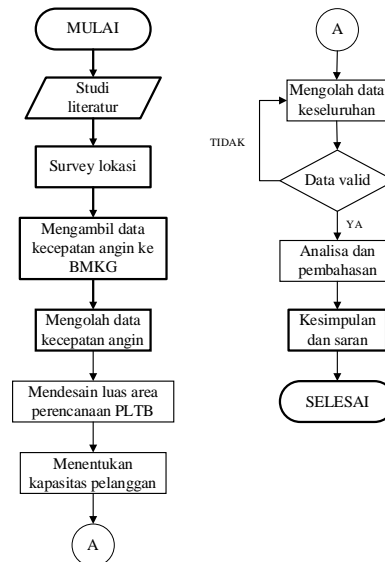
Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Laptop
2. *Software Microsoft Excel*
3. *Software Sketch Up Pro 2021*
4. *Software HOMER Pro*

5. Turbin Angin

2.2 Diagram Alir

Diagram alir (*flowchart*) merupakan rencana penelitian yang akan dilakukan yaitu :



Gambar 1 Diagram Alir (*flowchart*) Penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

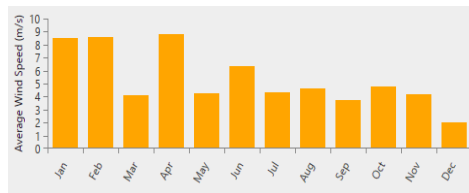
3.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini diolah dengan menggunakan *Software Microsoft Excel*, *software Sketch Up Pro 2021*, *Google Earth*, dan *HOMER Pro*. Adapun data yang digunakan untuk menunjang penelitian merupakan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dan data dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Lokasi yang dijadikan objek penelitian yaitu berada di Besusu Barat, Kecamatan Palu Timur, Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah, Indonesia dengan luas area 42.021,67 m² (80 x 540.000) dan jumlah turbin yaitu 7 turbin serta berjarak masing-masing 40 x 40 m dari turbin satu ke turbin yang lain.

3.2 Penggunaan Energi Angin di Kota Palu

Dari data survey dilapangan, penggunaan energi angin di Kota Palu sangatlah minim sedangkan dari data yang diperoleh dari Balai Besar Teknologi Energi (B2TE) dan Badan Pengkajian Penerapan Teknologi, Palu memiliki potensi energi angin yang memiliki kecepatan angin rata-rata 5.23 m/s di sekitar pusat kota, dekat dengan laut.

Berdasarkan data kecepatan angin dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2011, kecepatan angin pada daerah Besusu Barat, Kecamatan Palu Timur dapat di lihat pada gambar dan tabel berikut :



Gambar 2 Grafik simulasi HOMER Pro dengan data kecepatan angin setiap bulan dari BMKG

Tabel 3 Data kecepatan angin

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)
Januari	8.53
Februari	8.59
Maret	4.09
April	8.83
Mei	4.29
Juni	6.35
Juli	4.34
Agustus	4.66
September	3.76
Oktober	4.77
November	4.21
Desember	2.02

Energi angin di Kota Palu memiliki kecepatan angin yang baik. Kecepatan angin rata-rata pada daerah Besusu Barat dengan ketinggian 50 meter adalah 5.37 m/s.

Berdasarkan data kecepatan angin dari BMKG pada tahun 2011 dengan ketinggian pengukuran 10 meter. Sehingga untuk mendapatkan kecepatan angin pada ketinggian yang berbeda yaitu pada

ketinggian 50 meter dengan menggunakan persamaan maka diketahui kecepatan angin tertinggi berada pada bulan April yaitu 8.83 m/s dan kecepatan angin terendah berada pada bulan Desember yaitu 2.02 m/s.

Kecepatan yang optimal untuk di jadikan penggerak mula pada pembangkit listrik tenaga bayu di mulai dari kelas 2 hingga kelas 8. Untuk menentukan kelayakan daerah berdasarkan kecepatan angin dapat di lihat berdasarkan tabel berikut :

Tabel 4 Potensi angin berdasarkan kecepatan

Tabel Kondisi Angin		
Kelas Angin	Kecepatan Angin (m/s)	Kondisi Alam di Daratan
1	0.3 – 1.5	Asap bergerak vertikal
2	1.6 – 3.3	Arahnya ditunjukkan oleh arah gerak asap
3	3.4 – 5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan
4	5.5 – 7.9	Debu, kertas beterbangan, dan ranting pohon bergoyang
5	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
6	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, berombak kecil
7	13.9 – 17.1	Seluruh pohon bergerak
8	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon
9	20.8 – 24.4	Struktur ringan rumah rusak
10	24.5 <	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan

3.3 Menentukan Biaya Perencanaan PLTB

Sistem tipe turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

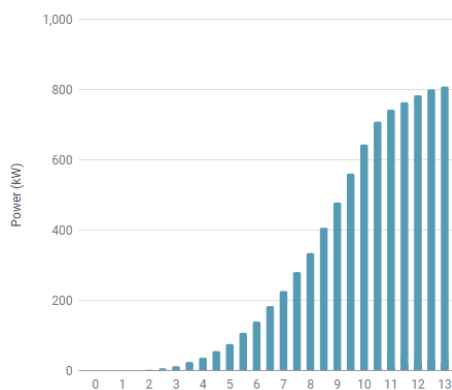
Tabel 5 Spesifikasi turbin angin

Spesifikasi ENERCON E-53	
Tipe turbin	Sumbu Horizontal
Merek turbin	ENERCON E-53
Daya keluaran maksimum	800 kW
Diameter rotor	52.9 m
Panjang bilah	± 26.45 m
Opsi ketinggian hub	50 m / 60 m / 73 m
Kecepatan angin minimum	3 m/s
Kecepatan angin terbaik	12 m/s
Kecepatan angin maksimum	34 m/s
Jumlah baling-baling	3 buah

3.4 Kurva Daya

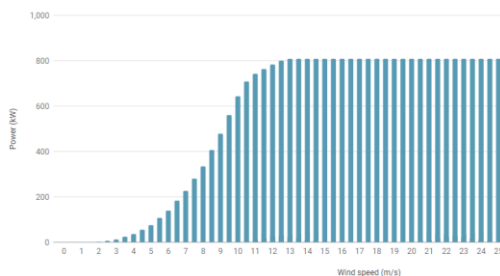
Setiap produsen kincir angin akan mempresentasikan kurva daya dari masing-masing jenis kincir angin yang dimilikinya. Kurva daya akan menunjukkan daya yang dapat dihasilkan dari setiap nilai kecepatan angin.

Pada turbin jenis ini memiliki kurva daya yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3 Kurva daya ENERCON E-53

Pada gambar 3 terlihat bahwa kecepatan angin 13 m/s menghasilkan daya 810 kW, artinya jika kecepatan angin lebih dari 13 m/s maka daya yang dihasilkan dari turbin angin akan tetap sama seperti yang terlihat pada gambar 4, ini disebabkan karena turbin angin jenis ENERCON E-53 hanya mampu mengeluarkan daya maksimum sebesar 800 kW.



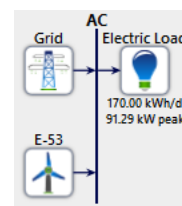
Gambar 4 Kurva daya ENERCON E-53

Untuk memperoleh data yang sesuai dalam mengubah setiap nilai kecepatan angin menjadi daya, maka perlu dilihat pada tabel kurva daya ENERCON E-53 dengan menggunakan pendekatan minimum data kecepatan angin yaitu sebagai berikut :

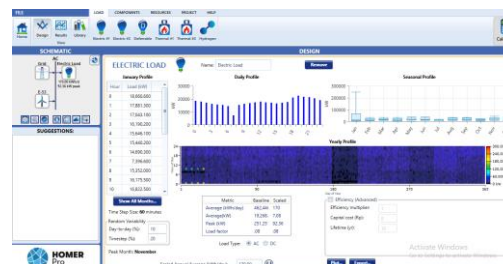
Tabel 6 Tabel kurva daya ENERCON E-53

Kecepatan angin (m/s)	Daya keluaran (kW)
2	2
2.5	8
3	14
3.5	26
4	38
4.5	57
5	77
5.5	109
6	141
6.5	185
7	228
7.5	282
8	336
8.5	408
9	480
9.5	562
10	645
10.5	710
11	744
11.5	765
12	785
12.5	802
13	810

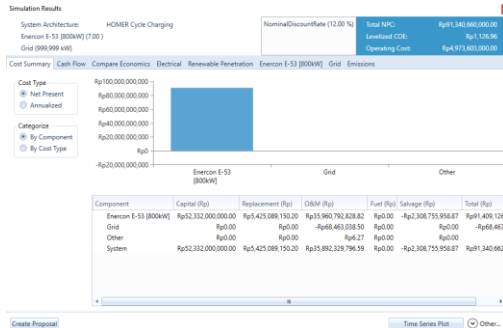
3.5 Hasil Simulasi



Gambar 5 Desain sistem PLTB

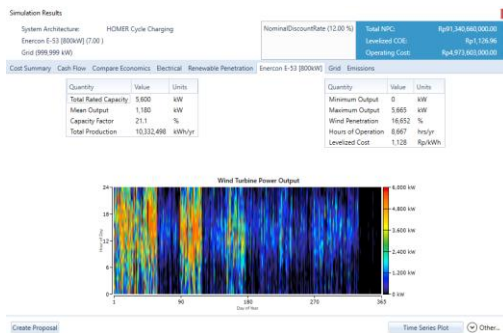


Gambar 6 Simulasi beban harian
 Pada penelitian terlihat bahwa dalam simulasi saat beban puncak (*peak*) menghasilkan sebesar 92.36 kW.



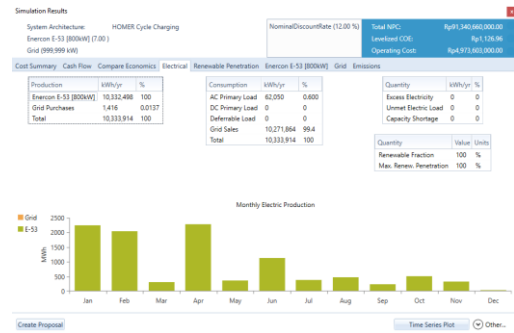
Gambar 7 Hasil simulasi sistem

Berdasarkan hasil simulasi maka di dapatkan total keseluruhan biaya pembangunan (*Net Present Cost*) Rp. 91.340.660.000 dan nilai biaya produksi (*Cost of Energy*) per kWh listrik sebesar Rp. 1.126,96 dengan total modal awal (*capital*) sebesar Rp. 53.332.000.000, biaya penggantian (*replacement*) Rp. 5.425.089.150,20, biaya operasi dan perawatan (O&M) Rp. 35.892.329.796,59.



Gambar 8 Simulasi produksi listrik pada turbin angin

Perencanaan PLTB pada penelitian ini menggunakan 7 buah turbin sehingga energi listrik yang dihasilkan dalam 7 turbin sebesar 10.332.498 kWh/tahun.



Gambar 9 Simulasi daya keluaran sistem PLTB

Sistem ini menghasilkan daya dari PLTB yang dapat dijual sebesar 10.271.864 kWh/tahun dengan beban sebesar 62.050 kWh/tahun. Penggunaan bahan bakar minyak (BBM) dari pihak PLN yang setiap tahun meningkat maka dengan adanya sistem ini dapat meminimalisir penggunaan bahan bakar minyak lebih dari 10 juta pertahun.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dengan judul Analisa Penggunaan Energi Angin Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif di Kota Palu, dapat disimpulkan bahwa :

1. Simulasi sistem menggunakan data dari BMKG tahun 2011, yang pada daerah penelitian menghasilkan rata-rata energi angin sebesar 5.37 m/s.
2. Keluaran rata-rata produksi turbin angin sebesar 1.180/jam dengan produksi maksimal turbin angin perhari sebesar 5.665 kW dan biaya sistem pembangunan (NPC) sebesar Rp. 91.340.660.000.
3. Energi listrik yang dapat dihasilkan dari turbin angin dengan memanfaatkan lahan sekitar 42.021,67 m² yaitu sebesar 10.332.498 kWh/tahun dan perbulannya dapat menghasilkan sebesar 861.041,5 kWh,

- dengan total daya yang disuplai oleh *grid* sebesar 1.416 kWh/tahun.
4. Kapasitas PLTB menghasilkan energi listrik sebesar 28.308 kWh/hari, nantinya akan kurang lebih dari 31 rumah (pelanggan listrik) dengan daya 900 VA yang dilayani oleh sistem PLTB.
 5. Perencanaan PLTB pada lokasi penelitian memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan dan dipertimbangkan menjadi energi alternatif dengan segi manfaat dalam jangka panjang (20 tahun).

Monpera Sebagai Sumber Energi Terbarukan Kota Balikpapan.
7(1).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewi, S. (2010). *Analisis Teknis Pemanfaatan Energi Angin di Palu (Indonesia). Thesis. Master's Degree Programme Power Engineering Brandenburg University of Technology. Jerman.*
- [2] Kurniadi, S. (2018). *Skripsi studi eksperimental turbin angin savonius tiga sudu untuk penerangan sebagai energi terbarukan.*
- [3] Saputra, I. (2021), *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Pada Pesisir Pantai Labu Menggunakan Software Homer. Skripsi. Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara. Medan.*
- [4] Sheptiawan, A., Notosudjono, D., & Fiddiansyah, D. (2001). Studi Potensi Energi Angin di Merak Banten untuk Membangkitkan Energi Listrik. *Universitas Pakuan Bogor*, 1–16.
- [5] Yusphie, A., Tentra, P., Christover, D., Rozikin, M. S., & Fitria, B. (2019). *Analisis Kecepatan Angin Pesisir Pantai*