

Perencanaan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Di Likupang

Ruben Maychel, Glany M. Ch. Mangindaan, Hans Tumaliang

Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115

rubenmaychel21@gmail.com, mangindaan@gmail.com, hanstumaliang@gmail.com

Abstract - *The wind is moving air and energy resources are renewable, that always exist in nature. With the existence of the electricity crisis is not resolved also the urge to replace fossil resources. Renewable energies have to be a substitute for fossil resources. Wind is one of the new renewable energy is selected as the one to replace it.*

To determine the power generated by the wind then carried out studies. The studies were carried out in the form of an operational review and financial review. These studies are used to perform a power generation development planning.

Keywords: *Power generation; Planing; Renewable ennergy; Wind turbine.*

Abstrak - *Angin merupakan udara yang bergerak dan sumber daya energi yang tidak pernah habis yang selalu ada di alam. Karena adanya faktor krisis energi listrik yang belum teratasi juga adanya dorongan untuk menggantikan sumber daya fosil. Energi terbarukan dipilih untuk menjadi pengganti sumber daya fosil. Angin adalah salah satu energi baru terbarukan yang dipilih sebagai salah satu untuk menggantikannya.*

Untuk mengetahui daya yang dibangkitkan oleh angin maka dilakukan kajian-kajian. Kajian-kajian yang dilakukan berupa kajian operasional dan kajian finansial. Kajian-kajian tersebut digunakan dalam melakukan sebuah perencanaan pembangunan pembangkit listrik.

Kata kunci : *Pembangkit listrik; Perencanaan; Energi Terbarukan; Turbin angin.*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan adalah jalan terbaik untuk mengurangi krisis energi juga mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan akibat penggunaan bahan bakar fosil. Dengan adanya Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 membuat seluruh pihak berlomba – berlomba berinovasi mengembangkan energi baru terbarukan untuk meninggalkan bahan bakar fosil. Langkah tersebut diperlukan untuk mengembangkan energi baru yang berkelanjutan.

Analisis Teknis Sudu Kincir Angin Tipe Sumbu Horizontal Dari Bahan Fibreglass. Tenaga yang dihasilkan oleh kincir angin berkisar antara 0,037 Hp sampai 0,053 Hp.

Salah satu jenis turbin angin adalah Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Turbin ini memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin untuk menghasilkan energi listrik. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. TASV terdiri dari beberapa jenis turbin angin, salah satunya adalah turbin angin savonius. Jenis ini memiliki kemampuan self-starting yang bagus, sehingga hanya membutuhkan angin dengan kecepatan rendah untuk dapat memutar rotor dari turbin angin ini. Selain itu, torsi yang dihasilkan turbin angin jenis savonius relatif tinggi.

Kondisi cuaca yang selalu berubah sehingga kecepatan angin yang diperoleh tidak konstan dan cenderung rendah mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan kurang optimal. Secara umum sebagian besar turbin angin mulai menghasilkan daya listrik pada kecepatan angin 4 m/s dan akan berhenti tidak menghasilkan energi pada kecepatan angin 25 m/s .

Turbin angin sumbu tegak merupakan alternatif pembangkit tenaga listrik yang dapat diaplikasikan baik di daerah pesisir maupun perkotaan karena turbin angin jenis selalu dapat berputar walaupun didaerah yang memiliki tiupan angin berkecepatan rendah dan berubah-ubah.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan kajian kelayakan operai dan kajian kelayakan finansial pada PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Dengan adanya kajian kelayakan operasional dan kajian kelayakan ekonomis akan membantu dalam bentuk perencanaan pembangunan dan perenanaan pengoperasian pada PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Listrik).

A. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Kincir angin telah digunakan selama setidaknya 3000 tahun, terutama untuk menggiling biji-bijian atau memompa air; sementara di kapal layar angin telah menjadi sumber kekuatan penting bahkan lebih lama. Dari abad pertengahan, kincir angin sumbu horisontal merupakan bagian integral dari ekonomi pedesaan dan tidak digunakan lagi dengan munculnya mesin stasioner berbahan bakar fosil murah kemudian menyebarkan elektrifikasi pedesaan.(Musgove, 2010)

Penggunaan kincir angin (atau turbin angin) untuk menghasilkan listrik dapat ditelusuri kembali ke akhir abad kesembilan belas dengan arus searah 12 kW generator kincir angin yang dibangun oleh Charles Brush di AS dan penelitian yang dilakukan oleh Poul la Cour di Denmark. Namun, untuk sebagian besar abad kedua puluh hanya ada sedikit minat menggunakan energi angin untuk pembangkit listrik, selain untuk pengisian baterai tempat tinggal terpencil; dan sistem berdaya rendah ini dengan cepat dilepaskan begitu akses ke Internet jaringan listrik menjadi tersedia. Salah satu perkembangan penting adalah Smith-Putnam 1250 kW turbin angin dibangun di AS pada tahun 1941. Mesin luar biasa ini memiliki rotor baja 53 m dengan diameter, kendali bentang penuh dan bilah mengepak untuk mengurangi beban. Meskipun pisau Spar gagal serempak pada tahun 1945, itu tetap turbin angin terbesar yang dibangun untuk beberapa orang 40.

B. Angin

Angin adalah aliran gas dalam skala besar dan dalam jumlah yang besar diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang. Udara dingin di sekitarnya mengalir ke tempat yang bertekanan rendah tadi. Udara menyusut menjadi lebih berat dan turun ke tanah. Di atas tanah udara menjadi panas lagi dan naik kembali. Aliran naiknya udara panas dan turunnya udara dingin ini dinamakan konveksi. Angin umumnya di klasifikasikan berdasarkan skala, kecepatan, jenis kekuatan, wilayah, dan efeknya yang ditimbulkannya. Dalam meteorologi angin sering diklasifikasikan oleh kekuatannya, dan arah hembusan. Semburan pendek dari angin berkecepatan tinggi disebut hembusan. Angin dengan durasi menengah (sekitar satu menit) disebut angin keras. Angin berdurasi panjang dan memiliki kekuatan di atas rata-rata disebut Angin Badai. Angin – angin di atas dihasilkan oleh pemanasan permukaan tanah dan juga dihasilkan dari perbedaan dalam penyerapan energi matahari antara zona iklim di bumi.

C. Kecepatan Angin

Angin yang mengalir pada turbin akan memutar turbin dan menghasilkan energi kinetik melalui rotor yang terdiri dari dua atau lebih sudu – sudu yang secara mekanik dan langsung di hubungkan langsung ke generator listrik. Dan letak turbin angin dipasang pada suatu sisi untuk menghasilkan putaran maksimal agar memproduksi daya dengan kapasitas yang diinginkan. Turbin sumbu vertikal pada biasanya disebut rotor Darrius sesuai dengan namanya penemunya. Turbin ini sudah banyak digunakan karena keuntungannya dari segi struktur yang lebih spesifik. Meskipun demikian, kebanyakan turbin angin modern menggunakan desain sumbu horizontal. Pengecualian pada rotor, seluruh komponen lain memiliki desain yang sama, perbedaan hanya pada penempatannya.

D. Distribusi Angin

Untuk mendapatkan hubungan kubik dengan daya, kecepatan angin merupakan data terpenting yang dibutuhkan untuk menaksir potensial daya dari calon tempat. Angin tidak pernah tinggal tetap pada suatu tempat. Hal ini dipengaruhi oleh sistem cuaca, tanah lapang lokal dan ketinggian dari permukaan tanah. Kecepatan angin berubah – ubah setiap menit, jam, hari, musim dan tahun. Untuk itu kecepatan rata – rata per tahun diambil setiap 10 tahun, bahkan lebih. Rata – rata waktu yang panjang dapat meningkatkan ketetapan dalam penaksiran potensial energi yang didapat pada suatu tempat. Meskipun demikian, pengukuran dalam waktu yang lama membutuhkan biaya besar, dan kebanyakan proyek tidak dapat menunggu terlalu lama. Dalam situasi ini, waktu yang singkat, katakanlah satu tahun, datanya bisa dibandingkan dengan tempat yang dekat yang memiliki data pengukuran jangka panjang untuk memprediksikan kecepatan angin per tahun di tempat tersebut, tentu dengan berbagai pertimbangan. Ini dikenal dengan teknik “measure, correlate, and predict (mcp)” atau teknik “ukur, korelasi, dan prediksi”. Karena angin digerakkan oleh matahari dan musim, pola angin biasanya berulang – ulang selama periode satu tahun. Tempat berangin biasanya dengan data kecepatan rata – rata selama berulan – bulan di kalender. Kadang, data bulanan di kumpul dan dijumlahkan per tahunnya untuk meringkas laporan keseluruhan angin diberbagai tempat.

E. Efek Ketinggian

Angin yang menyisir permukaan tanah menyebabkan kecepatannya meningkat dengan bertambahnya ketinggian. Hubungan ini dinyatakan pada persamaan (1):

$$V_2 = V_1 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^\alpha \quad (1)$$

Dengan, V_1 = kecepatan angin diukur pada ketinggian referensi h_1

V_2 = kecepatan angin yang diperkirakan pada ketinggian h_2

α = koefisien gesekan permukaan tanah

Nilai koefisien gesekan rendah untuk daerah dengan permukaan kasar, dan nilainya tinggi untuk permukaan halus. Nilai α untuk berbagai tipe daerah.

Kecepatan angin tidak meningkat dengan bertambahnya ketinggian secara tidak pasti. Data yang dikumpulkan dari bandara Merida Mexico menunjukkan bahwa kecepatan angin secara tipikal meningkat dengan bertambahnya ketinggian sampai 450 meter, dan selebihnya kecepatan angin akan berkurang. Kecepatan angin pada ketinggian 450 meter dapat empat atau lima kali lebih besar dengan kecepatan angin dekat permukaan tanah.

Permukaan yang licin memiliki gesekan yang rendah disebabkan oleh lapisan tipis pada bagian permukaan tanah. Untuk daerah dan permukaan tanah yang sama pada ketinggian tertentu kecepatan angin lebih besar dengan kecepatan angin yang ada di permukaan tanah.

F. Ladang Angin

Ladang angin adalah serangkaian turbin angin yang berada di lokasi yang sama untuk memproduksi energi dari energi angin. Ladang angin yang besar bisa terdiri dari beberapa ratus turbin tunggal dan mencakup luasan area tertentu hingga ratusan mil persegi. Ladang angin mempunyai tujuan sebagai berikut:



Gambar 1 Desa Pulisan

Untuk menggambarkan karakteristik fisik, letak posisi turbin angin dan penggunaan lahan

- 1) Untuk membangun karakteristik lingkungan dari lokasi turbin angin
- 2) Untuk memprediksi dampak lingkungan dari ladang angin
- 3) Untuk mengambil langkah – langkah mengurangi dampak negatif
- 4) Untuk memberikan langkah – langkah perencanaan kedepan ladang angin

Untuk membuat ladang angin efektif maka turbin yang ada didalam turbin angin harus memenuhi standar yang diatur dengan melihat panjang diameter turbin. jarak yang dianjurkan jika turbin sesuai dengan arah angin adalah sebsar 8 – 12 kali diameter rotor sedangkan menyilang dengan arah angin adalah 3 – 5 kali diameter rotor. (Burton, Jenkins, Sharpe, & Bossanyi, 2011)

G. Aspek Ekonomi

Persoalan biaya merupakan hal yang sangat penting dalam membangun sebuah sistem konversi energi angin. Ada dua jenis biaya yang harus dipertimbangkan yaitu biaya tetap (modal) dan biaya (operasi).

II. METODE PENELITIAN

A. Keadaan Desa Pulisan

Desa Pulisan termasuk salah satu tempat wisata yang cukup terkenal dengan keindahan pantai yang menawan. Secara administrassi pemerintahan, Desa Pulisan beraada di Kecamatan Likupang Timur, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara.

Letak geografis Desa Pulisan pada $1^{\circ}66' - 1^{\circ}68' LU$, $125^{\circ}14' - 125^{\circ}15' BT$. Pada gambar 1 adalah gambar yang menunjukkan keadaan geografis desa likupang. Luas Desa Likupang sesuai dengan data yang ada pada pada kator hukum

tua luas kawasan 1.500 hektar. Di Desa pulisan mempunyai 3 tempat wisata yang berupa pantai yaitu pantai pulisan, pantai goa dan pantai panjang. Tempat wisata ini merupakan salah satu fokus pengembangan dari destinasi wisata dari pemerintah Sulawesi Utara yang khususnya Minahasa Utara.

Topografi dasar perairan secara umum memiliki konfigurasi relief/kontur dasar yang beragam. Meski topografinya beragam tapi tidak terdapat daerah yang berbahaya. Ketinggian dataran 0 – 900 meter di atas permukaan laut membuat tempat ini menjadi kawasan yang banyak bukit. Kualitas tanah di daerah ini juga sangat tidak memadai untuk tempat bercocok tanam dikarenakan sumber air yang sangat kurang dan juga disertai curah hujan yang sedikit. Dengan tanah yang berbatu - batu juga menyusahakan untuk membuat fondasi bangunan. Tetapi semua itu tidak bisa mengalahkan pemandangan yang eksotis dari pantai yang sangat memukau di sertai pemandangan yang sangat cocok untuk tempat berfoto para wisatawan yang datang di tempat ini.

Menurut data BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisiks) kekayaan potensi laut yang banyak tidak lepas dari pengaruh iklim tropis dengan curah hujan yang berkisar antara 2500 – 3500 mm/tahun. Suhunya $26^{\circ} - 31^{\circ}C$. Untuk musimnya, musim barat di bulan november s/d februari dan musim timur pada bulan maret s/d oktober.

B. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini mengenai perencanaan dalam membangun PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Dan untuk memudahkan dalam menyelesaikan penelitian ini, maka digunakan beberapa metode sehingga kajian yang dilakukan mencapai hasil baik. Kemudian mengadakan studi literatur untuk membuat perencanaan dalam membangun PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dengan data yang dikumpulkan.

Tahap persiapan:

- 1) Mempelajari sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) secara umum melalui studi literatur.
- 2) Mempelajari literatur untuk mengetahui perencanaan dalam membangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) termasuk peralatan yang ada.
- 3) Menentukan Topik pembahasan dan output yang ingin dihasilkan dari penelitian
- 4) Mengumpulkan data-data atau parameter-parameter yang di perlukan dalam pelaksanaan penelitian

Tahap pelaksanaan penelitian dan pengolahan data:

- 1) Pengambilan data, terbagi menjadi :
 - a. Data primer , adalah data langsung dari objek yang diteliti, yaitu melalui pengamatan langsung dilapangan dengan alat ukur yang ada.
 - b. Data sekunder, adalah data angin yang diambil diambil dari BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) dan juga data diambil pada software HOMER.
- 2) Pengolahan Data
 - a. Menghitung kecepatan rata – rata angin pada tempat lokasi penelitian
 - b. Melakukan analisa energi dan efisiensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) yang direncanakan.

- c. Memilih komponen – komponen yang diperlukan dengan menghitung efisiensi dari komponen – komponen.
- d. Menghitung biaya ekonomi dari biaya perencanaan dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan pengembalian investasi.
- 3) Melakukan penulisan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

TABEL I
DATA ANGIN BMKG

BULAN	TAHUN	
	2017	2018
Januari	2.2	2.7
Februari	3.1	2.9
Maret	3.1	3.1
April	2.7	2.2
Mei	2.0	2.8
Juni	2.0	3.5
Juli	1.7	4.1
Agustus	3.7	
September	3.7	
Oktober	2.6	
November	3.4	
Desember	3.0	

TABEL II
TABEL DATA ANGIN DARI APLIKASI HOMER

BULAN	RATA – RATA (m/s)
Januari	4.350
Februari	4.690
Maret	3.970
April	3.230
Mei	3.230
Juni	4.750
Juli	5.320
Agustus	6.140
September	4.580
Oktober	4.070
November	4.080
Desember	4.480

C. Data Teknis Di Lapangan

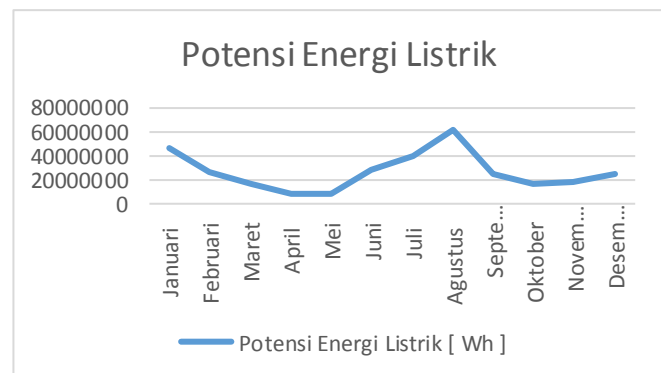
Adapun data awal yang ada di lapangan dalam perencanaan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) sebaai berikut:

1. Data Angin BMKG (Badan Meteorologi Klimatogi dan Geofisika) yang dapat dilihat pada tabel I

Data yang akan disajikan adalah data rata – rata angin dari

TABEL III
POTENSI ENERGI ANGIN YANG DAPAT Dikonversi MENJADI ENERGI LISTRIK

BULAN	Potensi Energi Listrik [Wh]
Januari	47.599.538,87
Februari	27.223.322,4
Maret	16.511.788,8
April	8.892.626,4
Mei	8.892.626,4
Juni	28.281.571,2
Juli	39.733.567,2
Agustus	61.084.058,4
September	25.352.402,4
Oktober	17.791.228,8
November	17.922.686,1
Desember	25.887.758,4



Gambar 2 Grafik potensi energi angin yang dapat dikonversi menjadi energi listrik

satu bulan berjalan dalam satu bulan pada tahun 2017 dan 2018. Data yang di dapatkan pada BMKG adalah data pada

keseluruhan daerah likupang. Sedangkan data pada desa pulisan atau pada titik yang diinginkan datanya masih belum ada. Dan pada table nomor I menunjukkan data rata – rata kecepatan angin yang didapatkan pada BMKG dalam waktu 2 tahun.

2. Data Angin Homer

Data Angin Homer (lihat tabel II) adalah data angin yang diambil pada sebuah aplikasi berbayar. Aplikasi ini adalah aplikasi yang digunakan untuk melihat data statistik dari berbagai macam sumber energi terbarukan yang ada. Data yang ditampilkan pada aplikasi dan disajikan pada table II adalah data yang diambil dari satelit. Data yang dapat dari aplikasi adalah data rata – rata angin per bulan dalam satu tahun. Tahun yang diambil adalah data pada tahun 2018.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan pembangkit listrik tenaga bayu dimulai dari mengukur kecepatan hembusan angin rata – rata yang ada pada ketinggian tertentu sebagai referensi misalnya pada ketinggian 2 m dan 4m dari permukaan tanah, dengan referensi tersebut dapat dihitung kemungkinan kecepatan angin pada ketinggian yang lebih dari tinggi ukur referensi, agar diperoleh kecepatan angin yang di inginkan. Kemudian dihitung berapa besar daya yang akan dihasilkan oleh turbin angin dengan kecepatan angin yang didapat dari hasil olah data.

A. Potensi Energi Listrik

Untuk menghitung potensi energi listrik yang dihasilkan oleh SKEA dapat digunakan rumus khusus. Dengan menggunakan rumus tersebut maka diperoleh potensi energi angin yang dapat dikonversi menjadi energi listrik untuk tinggi menara 40 meter, yaitu menggunakan rumus (2):

$$EL = 24 \times n \times PL \tag{2}$$

Dengan EL = potensi energi listrik
 n = jumlah hari
 PL = daya listrik SKEA

Dengan Persamaan (2) maka didapatkan hasil energi listrik yang di hasilkan oleh energi angin selama satu bulan penuh, pada grafik gambar 2 adalah grafik yang menunjukkan potensi energi angin selama satu tahun. Data potensi energi listrik selama satu tahun dapat dilihat pada tabel III.

B. Tinjauan ekonomis

Dalam tinjauan ekonomis ini, akan dihitung besarnya biaya pembangkitan energi yang terdiri dari biaya tetap, biaya variabel dan biaya pembangkitan energi. Dengan melihat tinjauan teknis di desa pulisan dapat dibangun SKEA untuk tinggi menara yang direncanakan yaitu 40 meter dengan kapasitas 66.110,47 W. Biaya investasi yang terdiri dari biaya instalasi, turbin (sudu dan poros), menara, nasek, peralatan listrik (roda gigi dan generator) serta peralatan kontrol akan diperkirakan berdasarkan perbandingan harga dengan SKEA w2700 150 kW yang diproduksi oleh wind world, Perancis. Harga satu unit (turbin, generator, dan sistem kontrol)

W2700 – 150 kW adalah Rp 764.551.455, (asumsi € 1 [Euro] = Rp 16.187). Dengan melihat bahwa sebuah SKEA tidak mungkin beroperasi secara kontinu selama setahun penuh

atau 8760 jam per tahun. Ada waktu dimana sistem harus di non aktifkan untuk pemeliharaan dan perbaikan. Diperkirakan jam operasi SKEA adalah 7446 jam per tahun (berdasarkan perkiraan, faktor manfaatnya 0,85 per tahun). Besarnya biaya pembangkitan energi listrik (BPE) dapat dihitung dengan persamaan (3):

$$\begin{aligned}
 \text{BPE} &= \frac{\text{Biaya Total}}{\text{Jumlah Energi Terbangkit biaya tetap + biaya variabel}} \tag{3} \\
 &= \frac{\text{Jumlah Energi Terbangkit biaya tetap + biaya variabel}}{\text{kapasitas SKEA} \times \text{jam operasi}} \\
 &= \frac{34.059.453,03 \text{ [Euro]} + 3.405.945,30 \text{ [Euro]}}{66.110,47 \text{ W} \times 7.446 \text{ [jam]}} \\
 &= \frac{37.465.398,33 \text{ [Euro]}}{492.258.559,620} \\
 &= 0,076 \text{ [Euro]}
 \end{aligned}$$

Jadi besar biaya pembangkitan energi listrik untuk SKEA dengan kapasitas 66.110,47 Wh di desa pulisa kecamatan likupang timur sebesar 0,076 [Euro] atau Rp 1.230,24 [Rp/kWh] (dengan asumsi € 1 [Euro] = Rp 16.187)

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Efek ketinggian sangat mempengaruhi pada kecepatan angin suatu daerah tertentu sesuai dengan koefisien gesekan di suatu lokasi. Dan pada penelitian di dapatkan kecepatannya sebesar 4,253 m/s
 Turbin angin yang digunakan adalah SKEA w2700 150 kW yang diproduksi oleh wind world.
 Jumlah energi daya yang mampu di bangkitkan di oleh satu kincir angin dengan kecepatan rata - rata angin pada lokasi yang direncanakan (3 m/s) sebesar 16420.254W dan daya SKEA (Sistem Konvensi Energi Angin) yang didapatkan dalam satu bulan adalah sebesar 10782196.10568 Wh.
 Biaya investasi satu unit SKEA pada PLTB yang direncanakan 0,076 [Euro] atau Rp 1.230,24 [Rp/kWh]

B. Saran

Untuk memaksimalkan dari PLTB disarankan untuk di hybrid dengan pembangkit listrik yang cocok pada lokasi tersebut seperti PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) Untuk menghasilkan daya yang besar pada PLTB harus membangun kurang lebih 10 kincir angin.

V. KUTIPAN

[1] <http://www.alternativeenergynews.info/technology/wind-power/wind-turbines/>
 [2] Putnam, G.C. (1948) 'Power from the Wind', Van Nostrand Rheinhold, New York Burton, Tony; Sharpe, David; Jenkins, Nick. *Wind Energy Handbook second edition*. 2011

- [3] Powles, S. J. R., (1983). 'The effects of tower shadow on the dynamics of horizontal axis wind turbines'. *Wind Engng.*
- [4] Spera, D. A. (1994) *Wind-turbine technology, fundamental concepts of wind-turbine engineering.* ASME Press, New York, US.
- [5] American Gear Manufacturers Association/American Wind Energy Association, (1996). 'Recommended practices for design and specification of gearboxes for wind turbine generatorsystems'. AGMA/AWEA 921-A97.
- [6] Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., & Bossanyi, E. (2011). *Wind Energy Handbook, Second Edition.* In *Wind Energy Handbook, Second Edition.* <https://doi.org/10.1002/9781119992714>
- [7] Musgove, P. (2010). Book review for *Wind Engineering.* *WIND ENGINEERING.*



Ruben Maychel lahir 21 September 1996, pada tahun 2014 memulai Pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2016. Dalam menempuh Pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di Garuda Maintenance Facilities AeroAsia (GMF AA) pada tanggal 12 Juni 2017 dan selesai melaksanakan Pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado tahun 2019, minat penelitiannya adalah tentang Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Likupang.