

Jurnal Ilmiah

ENERGI & KELISTRIKAN



SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN

RANCANG BANGUN PEMROGRAMAN BERBASIS SISTEM CERDAS UNTUK PENGATURAN PENGISIAN BATERE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Dhami Johar Damiri; Supriadi Legino; Hakimul Batih

KARAKTERISTIK PEMAKAIAN TENAGA SURYA PADA MODUL SOLAR SMART SEBAGAI IMPLEMENTASI DARI LISTRIK KERAKYATAN

Muchamad Nur Qosim; Isworo Pujotomo

PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI DAN RASIO PADA TRAFU PS T15 PT INDONESIA POWER UP MRICA

Andi Makkulau; Nurmiati Pasra; Rifaldi Riska Siswanto

ANALISIS DROP TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH DENGAN MENGGUNAKAN SIMULASI PROGRAM ETAP

Tri Joko Pramono; Erlina; Soetjipto Soewono; Fatimah

KAJIAN SISTEM KINERJA PLTS OFF-GRID 1 kWp DI STT-PLN

Tony Koerniawan; Aas Wasri Hasanah

PROSES PERAKITAN DAN PENGUJIAN KUBIKEL SM6 VACUUM CIRCUIT BREAKER 20 kV DI PT. GALLEON CAHAYA INVESTAMA

Juara Mangapul Tambunan; Achmad Wiro Munajich

MENYUSUTKAN RUGI – RUGI DAYA PADA PENYULANG MTL DAN PENYULANG BJM DENGAN MEREKONFIGURASI JARINGAN TEGANGAN MENENGAH

Novi Gusti Pahiyanti; Sigit Sukmajati; Tri Sutrisno Rosyadi

ANALISA PERBANDINGAN UNJUK KERJA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR MOTOR KONVENSIONAL DENGAN MOTOR LISTRIK ULC PLN AREA CENGKARENG

Tasdik Darmana; Oktaria Handayani; Halim Rusjdi

ANALISA NILAI SAIDI SAIFI SEBAGAI INDEKS KEANDALAN PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK PADA PENYULANG CAHAYA PT. PLN (PERSERO) AREA CIPUTAT

Ibnu Hajar; Muhammad Hasbi Pratama

PEMBAGIAN PEMBANGKITAN SISTEM PEMBANGKIT TERMAL PADA KONDISI BEBAN YANG BERUBAH TERHADAP WAKTU MENGGUNAKAN QUADRATIC PROGRAMMING

Yoakim Simamora; Samsurizal; Zalmahdi

ANALISIS KELAYAKAN TURBIN ANGIN KECEPATAN RENDAH TIPE NT1000W DI WILAYAH TERPENCIL

Zainal Arifin; Heri Suyanto; Hastuti Aziz

ISSN 1979-0783



9 771979 078352

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

ENERGI & KELISTRIKAN

VOL.10

NO. 1

HAL. 1 - 93

JANUARI - JUNI 2018

ISSN 1979-0783

ANALISIS KELAYAKAN TURBIN ANGIN KECEPATAN RENDAH TIPE NT1000W DI WILAYAH TERPENCIL

Zainal Arifin¹; Heri Suyanto²; Hastuti Aziz³

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jakarta

¹zainal_pln@yahoo.com; ²heri.suyanto@yahoo.com; ³hastuti.sttpln@gmail.com

Abstract : *This research discusses the fulfillment of the electricity needs of remote communities that are closely related to electrification ratios. Electrification ratios in some isolated areas and scattered islands in Indonesia are still very low. To date, most of the electricity needs in Indonesia is still supplied by Diesel Power Electricity Generator (PLTD) which uses diesel as its fuel. Therefore, it is necessary the utilization of renewable energy as one step to fulfill the electrical energy needs. This research studies about the utilization of wind energy with PLTB by using low speed wind turbine to fulfill the electricity needs of remote communities and scattered islands in Indonesia. NT1000W is the latest technology of low speed wind turbine that can operate at wind speed of 1 m/d up to 60 m/d appropriate to the wind conditions in Indonesia. Testing conducted in west Sumatera particularly in Padang city and Kapo-Kapo Island provide a feasibility of PLTB NT1000W technically and financially.*

Keywords: *Electrification Ratio, Renewable Energy and Low Speed Wind Turbine,*

Abstrak : *Membahas tentang pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat terpencil sangat erat kaitannya dengan rasio elektrifikasi. Rasio elektrifikasi di beberapa wilayah terisolir dan pulau – pulau terpencil di Indonesia masih sangat rendah. Sampai saat ini sebagian besar kebutuhan listrik di wilayah Indonesia tersebut masih dipasok oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) yang menggunakan solar sebagai bahan bakarnya. hal ini mengakibatkan perlu adanya pemanfaatan energi terbarukan (Renewable Energy) sebagai salah satu langkah dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik. Dalam penelitian ini akan dikaji mengenai pemanfaatan energi angin dengan PLTB menggunakan turbin angin kecepatan rendah (low speed wind turbine) untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di wilayah – wilayah terisolir dan pulau- pulau terpencil di Indonesia. NT1000W merupakan teknologi terbaru turbin angin kecepatan rendah (low speed wind turbine) yang dapat beroperasi di kecepatan angin 1 m/d hingga 60 m/d yang sesuai dengan kondisi angin di Indonesia. Pengujian yang dilakukan di wilayah Sumatera Barat yakni di kota Padang dan di pulau Kapo-Kapo akan memberikan gambaran kelayakan PLTB NT1000W secara teknis dan finansial.*

Kata kunci : *Rasio Elektrifikasi, Renewable Energy dan Low Speed Wind Turbin*

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kesejahteraannya. Berbicara mengenai pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat sangat erat kaitannya dengan rasio elektrifikasi. Di Indonesia rasio elektrifikasi di beberapa daerah masih sangat rendah terutama daerah-daerah terpencil di Indonesia bagian Timur, seperti Sulawesi Tenggara

(68,84%), Nusa Tenggara Timur (58,4%), dan Papua (45,93%) berdasarkan data rasio elektrifikasi tahun 2015. Pelaksanaan elektrifikasi di desa - desa terpencil baik yang terisolir, pulau – pulau terpencil, maupun daerah perbatasan memang relatif lebih sulit dibandingkan kawasan yang lebih “berkembang”. Hal ini diakibatkan oleh minimnya data penduduk, sulitnya transportasi dan rendahnya kepadatan penduduk.

Pemenuhan kebutuhan listrik di wilayah terpencil, pulau-pulau terpencil dan terisolir di Indonesia dengan memanfaatkan energi terbarukan yakni energi angin dengan menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu dengan teknologi turbin angin kecepatan rendah tipe NT1000W

Rumusan masalah penelitian ini Apakah turbin angin kecepatan rendah tipe NT1000W layak secara teknis dan finansial untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di wilayah terpencil?

2. TEORI PENUNJANG

2.1 Dasar Teori dan Potensi Angin Indonesia

Angin merupakan udara yang bergerak yang terjadi karena adanya perbedaan suhu antara udara panas dan udara dingin. Adanya perbedaan suhu udara ini karena adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Udara bergerak dari daerah yang memiliki tekanan udara yang tinggi ke daerah yang memiliki tekanan udara yang rendah. Pada dasarnya angin yang bertiup di permukaan bumi terjadi karena adanya penerimaan radiasi surya yang tidak merata di permukaan bumi, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Daerah yang menerima lebih banyak penyinaran matahari, akan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya.

Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara di atas tanah pegunungan dan tanah di daerah lembah.

Angin diberi nama sesuai dengan dari arah mana angin datang, misalnya angin timur adalah angin yang datang dari arah timur, angin laut adalah angin dari laut ke darat, dan angin lembah adalah angin yang datang dari lembah menaiki gunung. Angin lokal disebabkan perbedaan tekanan lokal dan juga dipengaruhi topografi, gesekan permukaan disebabkan gunung, lembah dan lain – lain. Variasi harian disebabkan perbedaan

temperatur antara siang dan malam. Perbedaan temperatur daratan dan lautan juga mengakibatkan angin sepoi – sepoi, bagaimanapun angin tidak mengalir sangat jauh di daratan.

Pemanfaatan tenaga angin sebagai sumber energi di Indonesia bukan tidak mungkin dikembangkan lebih lanjut. Ditengah potensi angin yang melimpah di kawasan pesisir Indonesia, total kapasitas terpasang dalam sistem energi saat ini kurang dari 800 kW.

Potensi energi angin Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/d). Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 3 m/detik, masing – masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, Pantai Selatan Jawa. Adapun kecepatan angin 3 m/detik hingga 4 m/detik tergolong skala menengah dengan potensi kapasitas 10 – 100 Kilowatt.

Table 1. Kelas Angin

Kelas Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin	Kecepatan Angin
	m/d	km/jam	knot/ jam
1	0.3 - 1.5	1 - 5.4	0.58 - 2.92
2	1.6 - 3.3	5.5 - 11.9	3.11 - 6.42
3	3.4 - 5.4	12.0 - 19.5	6.61 - 10.06
4	5.5 - 7.9	19.6 - 28.5	10.7 - 15.4
5	8.0 - 10.7	28.6 - 38.5	15.6 - 20.8
6	10.8 - 13.8	38.6 - 49.7	21 - 26.8
7	13.9 - 17.1	49.8 - 61.5	27 - 33.3
8	17.2 - 20.7	61.6 - 74.5	33.5 - 40.3
9	20.8 - 24.4	74.6 - 87.9	40.5 - 47.5
10	24.5 - 28.4	88.0 - 102.3	47.7 - 55.3
11	28.5 - 32.6	102.4 - 117.0	55.4 - 63.4
12	>32.6	>118	63.4

Sumber : Badan Meteorologi, klimatologi, dan Geofisika

Dari pendefinisian masing-masing kelas untuk kecepatan rata-rata angin seperti pada tabel 1 diatas, kategori angin dengan kecepatan rendah atau *Low Wind Speed* (LWS) berada pada klasifikasi kelas III dan kelas IV. Pada kelas II kecepatan rata-rata angin mencapai 1.6 m/s – 3.3 m/d dan untuk kelas VI kecepatan angin adalah 10.8 m/d - 13.8 m/d

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

PLTB adalah pembangkit yang memanfaatkan tenaga angin untuk menghasilkan energi listrik. Pada gambar 2.3 dapat dilihat letak komponen – komponen PLT Bayu.

Secara umum konfigurasi utama turbin angin poros datar terdiri dari; rotor (*blade* dan *hub*), *nasell/nacelle*, generator, transmisi *gearbox*, kopling dan rem, sistem orientasi (*yaw system*), *tower*, *sytem control* dan pondasi. Sedangkan dibawah ini merupakan bagian-bagian utama dan fungsi dari tubin angin bersumbu horizontal.

Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan angin, namun menggunakan angin untuk menghasilkn listrik). Kemudian angin akan memutar sudut turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator pada bagian belakng turbin angin. Generator mengubah enrgi gerak menjadi energi listrik dengan teori elektro magnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromaknetik permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang membentuk fisisnya adalah kumparan – kumparan kawat yang berbentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi prubahan fluks ini maka dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu.

Angin adalah salah satu bentuk energi yang tersedia di alam, dimana jenis energi ini dapat mengkonversikan energi kinetik dari angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Kecepatan angin di wilayah Indonesia umumnya dibawah 5,9 m/detik.

Sebagaimana diketahui menurut fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m dan kecepatan v adalah $E = 0,5 mv^2$ dengan ketentuan kecepatan V tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus itu juga berlaku untuk angin, yang merupakan udara yang bergerak.

Sehingga $E = 0,5 m \cdot v^2$ (1)

Catatan E = Energi (joule)

M = massa udara (kg)

V = kecepatan angin (m/detik)

Bilamana suatu “blok” udara, yang memiliki penampang $A \text{ m}^2$, dan bergerak dengan kecepatan $v \text{ m/detik}$, maka jumlah massa,yang melewati sesuatu tempat adalah :

$$M = A \cdot V \quad (2)$$

Catatan :

M = Massa (kg/detik)

A = Penampang (m^2)

V = Kecepatan (m/detik)

q = Kepadatan Udara (kg/m^3)

Dengan demikian maka energi yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah:

$$P = E \text{ per satuan waktu} \quad (3)$$

$$= 0.5 q \cdot A \cdot V^3$$

Catatan

P = Daya (Watt)

E = Energi (Joule)

ρ = Kepadatan udara (kg/m^3)

A = Penampang (m^2)

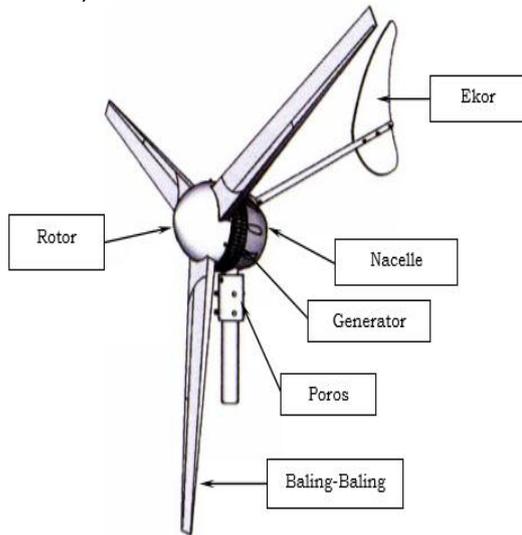
V = Kecepatan (m/detik)

Walaupun dalam rumus di atas besaran-besaran k dan A digambarkan sebagai konstanta-konstanta, pada dasarnya dalam besaran k tercermin pula faktor-faktor seperti geseran dan efisiensi sistem, yang mungkin juga tergantung dari kecepatan angin v . Sedangkan luas A tergantung pula misalnya dari bentuk sudu, yang juga dapat berubah dengan besaran v . Oleh karena itu untuk suatu kipas angin tertentu, besaran-besaran k dan A dapat dianggap konstan hanya dalam suatu jarak capai angin terbatas.

2.3 Low Speed Wind Turbine NT1000W

Sekarang ini di Indonesia sedang di kembangkan turbin angin kecepatan rendah NT1000W. NT1000W merupakan turbin angin kecepatan rendah yang berkapasitas 1000 watt, turbin angin ini diadaptasi dari negara Jepang yang telah lebih dulu mengembangkan dan memanfaatkannya. NT1000W memanfaatkan angin kecepatan rendah untuk memutar baling-baling turbin, selain itu baling-baling yang digunakan terbuat berbahan baku lokal berupa kayu sagon dan jabon. kayu yang digunakan bersifat kuat, ringan, dan tahan aus yang telah di-treatment sehingga memiliki sifat fisik dan

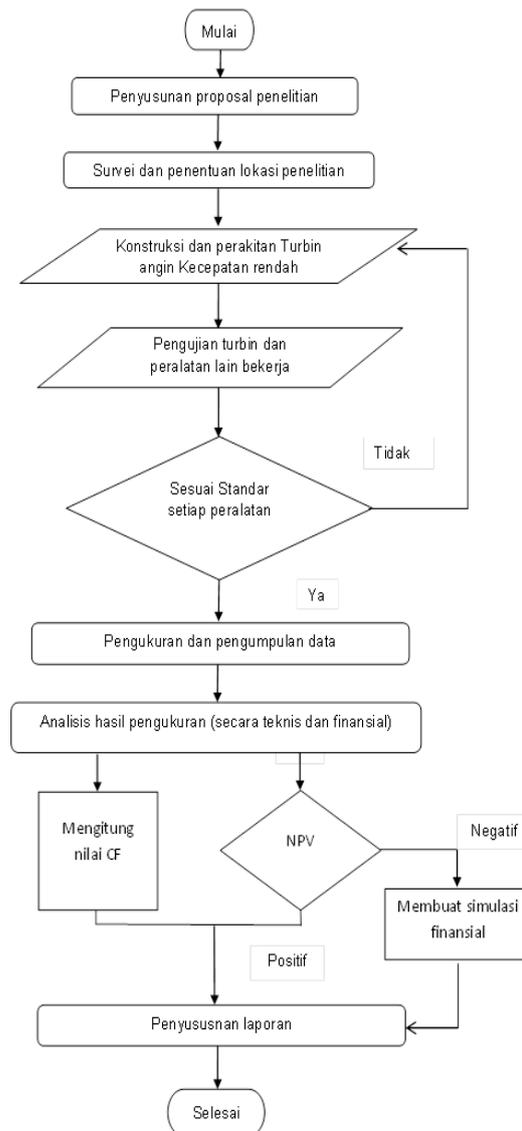
mekanik yang baik, selain itu kayu ini juga dipadukan dengan *polypropylene*, *polylactic acid* untuk meningkatkan kekuatannya. Jumlah baling-baling dalam satu turbin dapat berjumlah 3,4 atau 6 tergantung kondisi potensi angin di daerah yang akan diimplementasikan. sehingga dapat berputar lebih cepat di kecepatan angin yang rendah. Spesifikasi ini sangat cocok untuk wilayah Indonesia yang memiliki kecepatan angin tidak menentu (konstan).



Gambar 1. Komponen Pada NT1000W
Sumber : Awing Internasional

Gambar 1 merupakan visualisasi bentuk dan letak yang sebenarnya dari komponen-komponen turbin angin kecepatan rendah tipe NT1000W.

3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 2. Diagram Alur Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menganalisa hasil penelitian dari segi teknis dan finansial dengan beberapa metode seperti *Metode Non-Discounted Cash Flow* *Metode Discounted Cash Flow* serta *perhitungan Capacity factor* yang dihasilkan *PLTB NT1000W*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kelayakan Turbin Angin Kecepatan Rendah Tipe NT 1000W

Profil wilayah Sumatera Barat.

Sumatera Barat adalah salah satu provinsi di Indonesia yang terletak di Pulau Sumatera dengan ibu kotanya

adalah Padang. Sesuai dengan namanya, wilayah provinsi ini menempati sepanjang pesisir barat sumatera dibagian tengah dan sejumlah pulau di lepas pantainya seperti Kepulauan Mentawai dari utara ke selatan, provinsi dengan wilayah seluas 42.297,30 km² ini berbatasan dengan empat provinsi yakni Sumatera utara, Riau, Jambi, dan Bengkulu.

Sumatera Barat adalah rumah bagi etnis Minangkabau, walaupun wilayah adat Minangkabau sendiri lebih luas dari wilayah administratif Provinsi Sumatera Barat saat ini. Provinsi ini berpenduduk sebanyak 4.846.909 jiwa dengan mayoritas beragama Islam. Provinsi ini terdiri dari 12 kabupaten dan 7 kota dengan pembagian wilayah administrative sesuai kecamatan di seluruh Kabupaten (kecuali Kepulauan Mentawai).

Provinsi ini juga dilalui oleh Garis khatulistiwa, tepatnya di Bonjol, Pasaman. Di provinsi ini berhulu sejumlah sungai besar yang bermuara ke pantai timur Sumatera seperti Batang Hari, Siak, Inderagiri (disebut sebagai Batang Kuantan di bagian hulunya), dan Kampar. Sementara sungai-sungai yang bermuara ke pesisir barat adalah Batang Anai, Batang Arau, dan Batang Tarusan.

Seperti daerah lainnya di Indonesia, iklim Sumatera Barat secara umum bersifat tropis dengan suhu udara yang cukup tinggi, yaitu antara 22,6 °C sampai 31,5 °C. dengan rata-rata kecepatan angin 3 s/d 5 m/s. lebih jelasnya iklim dan cuaca Sumatera Barat dapat dilihat pada tabel 2.

Saat ini Rasio Elektrifikasi (RE) Sumatera Barat sebesar 86,42%. Artinya masih ada sekitar 13,58% atau lebih dari 167 ribu rumah tangga di Sumatera Barat yang belum menikmati listrik. Dari total tersebut, RE PLN sebesar 85,20% dan sisanya 1,22% berasal dari RE listrik Non PLN (PLTMH dan PLTS).

Tabel 2. Data iklim dan cuaca Sumatera Barat 2015

Bulan	Suhu Udara Temperature (°C)			Tekanan Udara/Atmospheric Pressure (mb)			Kecepatan Angin/High of Velocity (Knot)			
	Maks Max	Min	Rata- rata Average	Maks /Max	Min	Rata- rata Average	Maks /Max	Min	Rata- rata Average	Arah Derajat Arah Direction
	Januari	29.6	21.1	24.3	977.0	973.9	974.9	10	3	7
Februari	30.5	21.3	25.0	978.6	973.3	974.7	18	3	8	135
Maret	29.9	21.3	24.5	977.2	972.7	975.1	8	4	7	150
April	29.8	21.8	24.7	978.4	971.5	974.5	13	4	7	150
Mei	30.0	22.0	25.3	978.5	972.8	975.0	12	5	7	262
Juni	30.0	21.3	24.7	978.7	971.1	974.7	14	4	7	262
Juli	30.2	20.9	24.8	978.0	972.7	975.1	20	5	8	202
Agustus	29.6	21.7	24.9	977.0	972.1	975.1	15	5	7	262
September	29.4	21.4	24.4	977.6	973.6	975.6	12	4	7	247
Oktober	29.5	21.7	24.9	978.2	973.9	975.7	14	4	7	247
November	29.3	22.0	24.4	978.9	972.7	974.6	14	5	8	202
Desember	29.9	21.7	25.0	977.9	974.7	975.6	17	5	8	202

Sumber : BMKG

4.2 Lokasi Pemasangan PLTB NT1000W

Pemasangan turbin angin Kecepatan rendah di Provinsi Sumatera barat dilakukan di 2 lokasi yang berbeda yakni di kawasan kota padang (kantor Gubernur Provinsi Sumatra Barat) dan di pulau Kapo-Kapo gugusan kepulauan mande kabupaten pesisir selatan. Di setiap lokasi pemasangan di pasang masing masing 5 unit Turbin angin.

Tabel 3. Data Kinerja PLTB NT1000W Rata-rata/hari

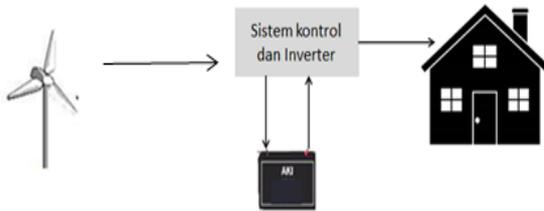
No	UNIT	Kecep. Angin (m/s)	Arus (A)	Teg (Volt)	cosØ	Daya Watt	kWh
1	UNIT 1	2.4	0.65	220.00	0.716	102.33	2.354
2	UNIT 2	2.4	0.65	225.17	0.704	103.00	2.369
3	UNIT 3	2.4	0.65	211.40	0.768	105.50	2.427
4	UNIT 4	2.8	0.87	212.00	0.792	146.00	3.358
5	UNIT 5	2.8	0.87	212.00	0.792	146.00	3.358
6							
7	UNIT 6	4.0	1.12	212.00	0.809	195.50	4.497
8	UNIT 7	4.0	0.65	219.00	0.717	102.00	2.346
9	UNIT 8	4.0	0.96	216.00	0.772	160.00	3.680
10	UNIT 9	4.0	0.65	220.00	0.713	102.00	2.346
11	UNIT 10	4.0	0.65	220.00	0.713	102.00	2.346
Total		32.8	7.7	2167.6	7.5	1264.3	29.080
Rata-rata		3.3	0.77	216.76	0.749	126.43	2.908

Pada tabel 3 menunjukkan data kinerja unit PLTB NT1000W rata-rata/hari pada pada lokasi yang berbeda.

4.3 Kajian Kelayakan PLTB NT1000W

Analisis kelayakan teknis PLTB NT1000W

- Sistem pembangkitan PLTB NT1000W terdiri dari unit Turbin kemudian sistem kontroler dan inverter serta sistem penyimpanan (batrei/aki), hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 3. Skema sistem pembangkitan PLTB NT1000W

- Kecepatan rata-rata angin di wilayah kota padang berkisar antara 2,4 m/s sampai dengan 2,8 m/s. sedangkan kecepatan rata-rata angin di pulau kapo-kapo adalah berkisar antara 3,5 m/s sampai dengan 4,01 m/s. Data tersebut menunjukkan kecepatan rata-rata angin di pulau Kapo-Kapo lebih tinggi di dibandingkan dengan wilayah kota Padang.
- Besarnya daya pada penelitian ini bergantung pada besarnya pemakaian beban. Daya rata-rata yang digunakan pada seluruh unit PLTB adalah 150,41 watt. Jenis beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah lampu LED yang jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan warga (Pulau Kapo-Kapo).
- kWh rata-rata perhari yang diproduksi dari PLTB NT1000W adalah 2,908 kWh yang berarti produksi kWh pertahun adalah 2,908 kWh x 350,4 hari(dengan asumsi 14,6 hari adalah waktu untuk pemeliharaan) sehingga menghasilkan 1.018,96 kWh pertahun.
- Perhitungan CF (*Capacity Factor*) :

$$CF = \frac{\text{Produksi kWh setahun}}{(\text{daya terpasang} \times 8760 \text{ jam})}$$

$$CF = \frac{1.018,96 \text{ kWh}}{(1 \text{ kW} \times 8760 \text{ jam})}$$

$$CF = 11,63 \%$$

Analisis kelayakan Finansial PLTB NT1000W

Analisis Harga satuan

Perhitungan analisis harga satuan merupakan tahapan paling awal dari estimasi biaya pembangunan. Parameter perhitungan dan analisis harga satuan pekerjaan sipil khususnya pada pembangunan PLTB NT1000W dipengaruhi oleh antara lain :

- Lokasi sumber material; diharapkan pada jarak terdekat dengan lokasi pekerjaan konstruksi
- Tenaga kerja yang digunakan berasal dari tenaga kerja lokal di lokasi proyek dengan upah didasarkan pada harga satuan yang berlaku di wilayah tersebut. Penggunaan tenaga kerja diluar lokasi, hanya pada tingkatan pengawas, engineer dan spesialis untuk pekerjaan tertentu dengan upah didasarkan pada standar harga yang berlaku.

Harga satuan material diperoleh dari harga satuan material dan bahan yang berlaku di wilayah rencana pembangunan PLTB NT1000W dan disesuaikan dengan faktor lokasi proyek (penyesuaian biaya transportasi dan pengangkutan). Secara umum komponen harga satuan pekerjaan sipil yang diperhitungkan meliputi komponen tenaga kerja serta komponen bahan dan material.

Komponen Biaya Pembangunan PLTB NT1000W

Komponen biaya pembangunan PLTM secara umum terdiri dari dari:

- a) Peralatan Elektrikal - Mekanikal
Komponen peralatan elektrikal - mekanikal meliputi pengadaan sarana dan peralatan sebagai berikut :
 - Turbin dan perlengkapannya yang terdiri dari unit turbin, sudu serta commissioning.
 - Panel kontrol (kontroler, inverter, batrei)
 - Instalasi peralatan elektrikal dan sistem pengkabelan
 - Biaya lain-lain termasuk contingency

- b. Pekerjaan sipil
Pekerjaan sipil pada pembangunan PLTB NT1000W meliputi antara lain: pembangunan pondasi dan pendirian tiang.
- c. Pajak
Komponen pajak dihitung terhadap total pekerjaan meliputi semua jenis pekerjaan di atas. Pajak yang diperhitungkan pada tahap pembangunan ini adalah PPN sebesar 10%.

Berikut adalah estimasi biaya pembangunan PLTB NT1000W pada tabel 4. dibawah ini :

Tabel 4 Harga dan Biaya NT1000W

No	Keterangan	Harga (Rp)	Prosentase (%)
1	NT1000W	18.500.000	51.39
2	Elektrical Sistem	12.000.000	22.99
3	Tower dan pondasi	5.500.000	15.28
Harga Komponen		36.000.000	100
Keterangan		Harga (Rp)	Prosentase (%)
Harga Turbin angin		36.000.000	
Biaya Commisioning		1.000.000	2.44
Biaya pemasangan		1.000.000	2.44
Biaya Transportasi		3.000.000	7.32
Harga turbin angin terkirim		41.000.000	

Harga sudah termasuk PPN 10%
Sumber : PT. Smartek Indonesia

Dari tabel 4 dapat dilihat total anggaran pengadaan dan pembangunan PLTB NT1000W adalah **Rp. 41.000.000,-**

Asumsi Dan Dasar Perhitungan

Beberapa asumsi yang dipergunakan dalam analisis finansial dalam studi ini adalah sebagai berikut yaitu :

- a. Tingkat Bunga
Tingkat bunga yang dipakai dalam analisis ekonomi sesuai dengan yang disyaratkan oleh Bank Dunia yaitu sebesar 10,0%.
- b. Umur Proyek
Life time dari PLTB NT1000W adalah 15 tahun
- c. Harga Jual Energi

Energi yang dijual adalah energi yang dihasilkan oleh PLT Bayu. Sesuai Peraturan Menti ESDM No.12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik. Dalam hal BPP setempat di atas rata-rata BPP nasional, harga pembelian tenaga listrik paling tinggi sebesar 85% dari BPP setempat atau khusus PLTSa dan PLTP paling tinggi sebesar BPP setempat. Sedangkan dalam hal BPP setempat sama atau di bawah rata-rata BPP nasional maka harga pembeliannya sebesar sama dengan BPP setempat atau khusus PLTSa dan PLTP ditetapkan berdasarkan kesepakatan para pihak. Sehingga harga jualnya untuk wilayah Sumatera Barat telah di tetapkan sebesar Rp. 1.074/kWh.

- d. Biaya Operasional
Biaya yang dimaksud adalah biaya-biaya Operasi dan Pemeliharaan yang dikeluarkan untuk beroperasinya (biaya produksi) PLTB NT1000w baik biaya tetap (*fixed cost*) maupun biaya tak tetap (*variable cost*). Adapun rincian biaya-biaya tersebut dapat dilihat pada tabel 5 dan 6 sebagai berikut:

Tabel 5. Biaya Operasional PLTB NT1000W

Tahun	Fixed Cost (Rp)		
	Teknisi	Administrasi	Jumlah
1	1,200,000	600,000	1,800,000
2	1,200,000	600,000	1,800,000
3	1,200,000	600,000	1,800,000
4	1,200,000	600,000	1,800,000
5	1,200,000	600,000	1,800,000
6	1,200,000	600,000	1,800,000
7	1,200,000	600,000	1,800,000
8	1,200,000	600,000	1,800,000
9	1,200,000	600,000	1,800,000
10	1,200,000	600,000	1,800,000
11	1,200,000	600,000	1,800,000
12	1,200,000	600,000	1,800,000
13	1,200,000	600,000	1,800,000
14	1,200,000	600,000	1,800,000
15	1,200,000	600,000	1,800,000

Tabel 6. Biaya Variabel Komponen PLTB NT1000W

Tahun	Variable Cost		
	Sudu	Baterai	Jumlah
1	0	0	0
2	1.000.000	0	1.000.000
3	0	2.000.000	2.000.000
4	1.000.000	0	1.000.000
5	0	0	0
6	1.000.000	2.000.000	3.000.000
7	0	0	0
8	1.000.000	0	1.000.000
9	0	2.000.000	2.000.000
10	1.000.000	0	1.000.000
11	0	0	0
12	1.000.000	2.000.000	3.000.000
13	0	0	0
14	1.000.000	0	1.000.000
15	0	2.000.000	2.000.000

Tabel 7. Net Present Value PLTB NT1000W Di Sumatera Barat

Tahun	Investasi	Fixed Cost	Variabel Cost	Total	Pemasukan	Cash Flow
1	41.000.000	1.800.000	-	1.800.000	1.094.356,82	-41.705.643
2		1.487.603	826.446	2.314.050	904.427,12	-1.409.622
3		1.117.658	1.652.893	2.770.551	679.509,48	-2.091.041
4		763.376	683.013	1.446.389	464.114,12	-982.275
5		473.996	-	473.996	288.178,35	-185.818
6		267.559	1.693.422	1.960.980	162.669,17	-1.798.311
7		137.300	-	137.300	83.475,00	-53.825
8		64.051	318.631	382.682	38.941,71	-343.740
9		27.164	700.988	728.152	16.515,08	-711.637
10		10.473	263.331	273.804	6.367,28	-267.437
11		3.671	-	3.671	2.231,69	-1.439
12		1.170	539.576	540.746	711,09	-540.035
13		339	-	339	205,98	-133
14		89	83.905	83.995	54,24	-83.940
15		21	167.811	167.832	12,98	-167.819
total	41.000.000	6.154.470	6.930.017	54.084.487	3.741.770,12	-50.342.716,58

Hasil Analisis Finansial PLTB NT1000W

Analisis ini ditujukan untuk mengetahui sejauh mana kelayakan suatu proyek PLTB NT1000W ditinjau dari kemampuan menghasilkan laba yang dilihat secara keseluruhan dengan menggunakan parameter-parameter finansial antara lain: NPV (*Net Present Value*), *Pay Back Period* serta tarif listrik. Asumsi-asumsi dasar yang dipakai sebagai input data dalam analisis kelayakan finansial ini antara lain :

- Umur Manfaat : 15 tahun
- Lama Konstruksi : 1 – 2 Bulan
- Tingkat Bunga Efektif : 10%
- Tahun Dasar : 2017

Net Presen Value (NPV) yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa investasi PLTB NT1000W mengalami kerugian sebesar **Rp. 50.342.716,58,-** sehingga nilai dari NPV PLTB NT1000W di Sumatera barat adalah negatif, itu artinya investasi ini rugi atau hasilnya (*return*) di bawah tingkat bunga yang dipakai

Simulasi Finansial PLTB NT1000W

Simulasi finansial dilakukan untuk mengetahui nilai NFV positif pada saat nilai investasi diturunkan dan nilai CF dinaikkan. Hal ini akan memberikan gambaran secara perhitungan finansial dimana *PBP (pay back period)* dari suatu pembangunan PLTB NT1000W berada pada nilai positif. Simulasi finansial PLTB NT1000W dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8 Simulasi Finansial PLTB NT1000W

Simulasi Finansial 1					
No	Investasi (%)	Fixed Cost	Variabel Cost	CF (%)	<i>Pay Back Period</i>
1	80%	tetap	tetap	50	-
2	70%	tetap	tetap	50	-
3	60%	tetap	tetap	50	-
4	50%	tetap	tetap	50	-
5	40%	tetap	tetap	50	-
6	30%	tetap	tetap	50	-
Simulasi Finansial 2					
No	Investasi (%)	Fixed Cost	Variabel Cost	CF (%)	<i>Pay Back Period</i>
1	80%	tetap	tetap	60	-
2	70%	tetap	tetap	60	-
3	60%	tetap	tetap	60	-

4	50%	tetap	tetap	60	-
5	40%	tetap	tetap	60	tahun ke-10
6	30%	tetap	tetap	60	-
Simulasi Finansial 3					
No	Investasi (%)	Fixed Cost	Variabel Cost	CF (%)	Pay Back Period
1	80%	tetap	tetap	70	-
2	70%	tetap	tetap	70	-
3	60%	tetap	tetap	70	tahun ke - 11
4	50%	tetap	tetap	70	tahun ke - 8
5	40%	tetap	tetap	70	tahun ke - 6
6	30%	tetap	tetap	70	tahun ke - 4
Simulasi Finansial 4					
No	Investasi (%)	Fixed Cost	Variabel Cost	CF (%)	Pay Back Period
1	80%	tetap	tetap	80	-
2	70%	tetap	tetap	80	-
3	60%	tetap	tetap	80	tahun ke - 7
4	50%	tetap	tetap	80	tahun ke - 6
5	40%	tetap	tetap	80	tahun ke - 5
6	30%	tetap	tetap	80	tahun ke -4

Tabel diatas menjelaskan hal sebagai berikut :

- a) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 40% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 60% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-10.
- b) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 60% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 70% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-11.
- c) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 50% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 70% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-8.
- d) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 40% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 70% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-6.
- e) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 30% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 70% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-4.
- f) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 60% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 80% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-7.
- g) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 50% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 80%

maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-6.

- h) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 40% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 80% maka PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-5.
- i) Dengan menurunkan biaya investasi awal menjadi 30% dan meningkatkan CF (*Capacity Factor*) sebesar 80% PBP (*Pay Back Period*) terjadi pada tahun ke-3.

Simulasi finansial dilakukan untuk mengetahui PBP (*Pay Back Period*) dari Pembangun PLTB NT1000W agar dapat dinyatakan layak dalam hal finansial. Tabel 8 diatas menunjukkan hasil simulasi finansial PLTB NT1000W dengan berbagai asumsi.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Dari data pengukuran angin selama masa penelitian dari bulan September s/d Desember rata-rata kecepatan angin di kota Padang dan di Pulau Kapo-Kapo adalah sebesar 2.5 m/detik dan 4.0 m/detik.
- 2) Rata – rata kWh yang di hasilkan untuk seluruh unit adalah sebesar 2,908 kWh / hari. Dengan rata-rata nilai arus, tegangan, daya dan Cos ϕ adalah sebesar 0.77 Amp, 216.17 Volt, 126.43 Watt, dan 0.749.

- 3) Capacity Factor yang dihasilkan PLTB NT1000W adalah sebesar 11,63%.
- 4) Perhitungan secara Finansial dengan hasil sebagai berikut :
 - a) Nilai investasi awal sebesar Rp. 41.000.000. Fixed Cost Rp. 6.154.470, Variabel Cost Rp. 6.930.017,- dan Total Pendapatan Rp. 3.741.770,12,- Dengan life time 15 tahun.
 - b) Investasi PLTB NT1000W mengalami kerugian sebesar **Rp. 50,342,716.58** sehingga nilai dari NPV PLTB NT1000W di Sumatera Barat adalah negatif, itu artinya investasi ini rugi atau hasilnya (*return*) di bawah tingkat bunga yang dipakai.
- 5) PLTB NT1000W yang dipasang di dua titik berbeda di Provinsi Sumatera Barat belum layak untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat secara finansial di wilayah terpencil.

5.2 Saran

- 1) Perlu dilakukan pengujian dan pengambilan data PLTB NT1000W dengan waktu satu tahun.
- 2) Perlu dilakukan pengukuran kinerja PLTB tipe NT1000W pada beberapa lokasi di Indonesia dengan kondisi geografis yang berbeda.
- 3) Perlu adanya perbaikan sistem secara teknis untuk meningkatkan *Capacity Factor* PLTB NT1000W agar dapat menghasilkan energi listrik yang lebih besar.
- 4) Agar PLTB NT1000W layak secara finansial perlu dikembangkan proses produksi komponennya dalam negeri agar biaya investasi lebih kecil.
- 5) PLTB NT1000W perlu dihybrid dengan pembangkit listrik lainnya yang juga menggunakan energi terbarukan seperti PLTS.

DAFTAR PUSTAKA

1. A-Wing Installation Case Studies Complete, A-Wing International, 2013
2. Avianti Fontana, & zainal Arifin, Dr. (2015) *19 Tahun Inovasi : Rasio elektrifikasi*. Jakarta : PLN Research Institute.
3. Buku Petunjuk Turbin Angin_manual book. (2013). Jakarta : Awina Sinergi Indonesia.
4. Badan meterologi, klimatologi, dan geofisika (2015), data perkiraan angin. Mei 25, 2017
5. <http://www.bmkg.go.id/cuaca/prakiraan-angin.bmkg>
6. Badan Pusat statistik, kecepatan dan kelembapan angin 2016, juni 08, 2017.
7. <https://www.bps.go.id>
8. Habibie dkk, 2011, Trewartha,1995, Klara, 2013, Soepangkat,1994, Fadholi, 2013, dasar teori angin.
9. Kadir, Abdul, Prof, Ir. (2005). *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi (Edisi Ketiga)*. Jakarta: UI-Press.
10. Marsudi, Djiteng Ir. (2005). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta : Erlangga.
11. Nur Perdana, Pramuyiah.(2012, November 02) *Pembangkit listrik tenaga Bayu*, April 14, 2017.
12. <http://jendeladenngabei.blogspot.co.id/2012/11/pembangkit-listrik-tenaga-bayu-angin.html>