

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (GENERATOR 6 W) DAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (POLIKRISTALIN 20 WP) DI LUBUK PAKAM

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Oleh:

WIWIN SYAHPUTRA SIREGAR
1507220090



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

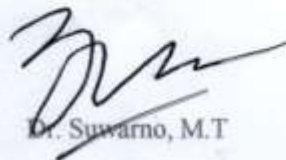
Nama : Wiwin Syahputra Siregar
NPM : 1507220090
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Pembangkit Listrik Tenaga Angin
(Generator 6 W) Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya
(Polikristalin 20 Wp) Di Lubuk Pakam

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

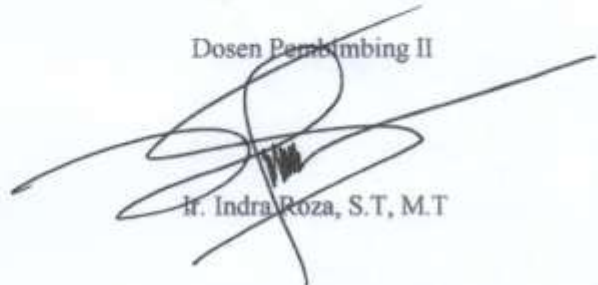
Medan, 26 Mei 2021

Mengetahui dan menyetujui:

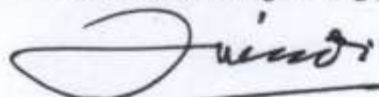
Dosen Pembimbing I


Ir. Suwarno, M.T

Dosen Pembimbing II


Ir. Indra Roza, S.T, M.T

Dosen Pembanding I / Penguji


Ir. Yusniati, M.T

Dosen Pembanding II / Peguji


Arnawan Hasibuan, S.T, M.T



SURAT PERNYATAAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Wiwin Syahputra Siregar
Tempat /Tanggal Lahir : Tanjungbalai, 26 Desember 1996
NPM : 1507220090
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“ Analisis Perbandingan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Generator 6 W) Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Polikristalin 20 Wp) Di Lubuk Pakam “

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang – undangan yang berlaku (UU No, 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 26 Mei 2021

Saya yang menyatakan,



Wiwin Syahputra Siregar

ABSTRAK

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Mengingat keterbatasan bahan bakar fosil yang digunakan oleh pembangkit listrik konvensional semakin menipis maka kita harus mencari opsi lain untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini. Oleh sebab itu para ilmuwan melakukan penelitian untuk memanfaatkan berbagai sumber dari alam yang dinamakan dengan energi terbarukan. penggunaan energi terbarukan, dalam hal ini kincir angin dan panel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang direkomendasikan karena ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara, suara seperti pada pembangkit konvensional. Dalam hal ini telah banyak penelitian mengenai pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan energi angin dan panas matahari. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan diantara kedua pembangkit tersebut pembangkit mana yang lebih optimal dalam menghasilkan daya listrik. Dalam penelitian ini generator dc 12 Vdc, panel surya berkapasitas 20 WP, controller 12/24 Vdc kapasitas 60 A, inverter kapasitas 500 watt, dan lampu led 5 watt. Selama pengujian didapatkan hasil daya terbesar yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin 2,29 watt dengan kecepatan angin 4,4 m/s dan daya terendah 0,51 watt dengan kecepatan angin 1,8 m/s. sedangkan daya terbesar yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya 13,63 watt dengan intensitas cahaya matahari 115800 lux, dan daya terendah 4,60 watt dengan intensitas cahaya matahari 44200 lux.

Kata kunci : PLTB, PLTS, dan perbandingan daya.

KATA PENGANTAR



Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi alam semesta. Shalawat berangkaikan salam kita ucapkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW karena beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawakan kita pesan ilahi untuk dijadikan pedoman hidup agar dapat selamat hidup di dunia hingga nanti kembali ke akhirat.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah **“ANALISIS PERBANDINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (GENERATOR 6 W) DAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (POLIKRISTALIN 20 WP) DI LUBUK PAKAM”**

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ayahanda (Budi Arianto Siregar) dan Almh ibunda (Mardiana Sinaga) tercinta, yang dengan cinta kasih & sayang setulus jiwa mengasuh,

mendidik, dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.

3. Bapak Munawar Alfansury, S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Partaonan Harahap, S.T,M.T, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bpak Dr. Suwarno, M.T, selaku Dosen Pembimbing I Skripsi yang selalu sabar membimbing, memberikan arahan serta motivasi kepada penulis.
7. Bapak Indra Roza, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing II Skripsi yang telah memberi ide-ide dan masukkan dalam penulisan laporan tugas akhir ini.
8. Segenap Bapak & Ibu dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kepada teman seperjuangan Fakultas Teknik yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu serta Keluarga Besar Teknik Elektro 2015 A1 PAGI yang selalu memberikan semangat, kebersamaan yang luar biasa.
10. Juga terima kasih kepada para pegawai Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu dari proses awal kuliah sampai saya menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.
11. Serta semua pihak yang telah mendukung dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih

Medan, 2021

Penulis

Wiwin Syahputra Siregar
1507220090

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penulisan.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penulisan.....	4
1.6. Metode Penulisan.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan.....	7
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Angin.....	12
2.2.2 Energi Angin.....	13
2.2.3 Syarat Kecepatan Angin.....	17
2.2.4 Komponen PLTB.....	18
2.2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin.....	25
2.3 Skema PLTB.....	26
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga surya.....	27

2.4.1 Sel Surya.....	28
2.4.2 Proses Konversi Sel Surya.....	29
2.4.3 Polikristalin (<i>Poly-crystalline</i>)	32
2.4.4 Komponen PLTS	33
2.5 Skema PLTS	35

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu DanTempat Penelitian.....	36
3.1.1 Waktu Penelitian	36
3.1.2 Tempat Penelitian.....	36
3.2 Peralatan Penelitian	36
3.2.1 Data kincir angin (turbin)	38
3.2.2 Data panel surya	38
3.3 Prosedur Penelitian.....	39
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	40

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian.....	41
4.1.1 Data Penelitian PLTB.....	41
4.1.2 Data Penelitian PLTS	43
4.2 Pembahasan	45
4.2.1 Pembahasan PLTB	48
4.2.2 Pembahasan PLTS.....	52

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA.....

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tingkat kecepatan angin berdasarkan kondisi alam	17
Tabel 4. 1. Pengukuran tanggal 15 Juli 2020 pada turbin angin	41
Tabel 4. 2. Pengukuran tanggal 16 Juli 2020 pada turbin angin	42
Tabel 4. 3. Pengukuran tanggal 17 Juli 2020 pada turbin angin	42
Tabel 4. 4. Pengukuran tanggal 15 Juli 2020 pada panel surya	43
Tabel 4. 5. Pengukuran tanggal 16 Juli 2020 pada panel surya	43
Tabel 4. 6. Pengukuran tanggal 17 Juli 2020 pada panel surya	44
Tabel 4. 7 Hasil perhitungan daya di tabel 4.1.....	45
Tabel 4. 8 Hasil perhitungan daya di tabel 4.2.....	45
Tabel 4. 9 Hasil perhitungan daya di tabel 4.3.....	46
Tabel 4. 10 Hasil perhitungan daya di tabel 4.4.....	46
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan daya di tabel 4.5.....	46
Tabel 4. 12 Hasil perhitungan daya di tabel 4.6.....	47
Tabel 4. 13. Kecepatan angin terhadap daya output pada PLTB	48
Tabel 4. 14 Intensitas cahaya matahari terhadap daya output pada PLTS	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin.....	12
Gambar 2. 2 Bagian-Bagian Turbin Angin.....	19
Gambar 2. 3 Baterai/Aki	24
Gambar 2. 4 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	25
Gambar 2. 5 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Angin	26
Gambar 2. 6 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	28
Gambar 2. 7 Junction antara semikonduktor tipe-N dan tipe-P	29
Gambar 2. 8 Konversi semikonduktor tipe-N dan tipe P	30
Gambar 2. 9 Terlepasnya elektron meninggalkan hole.....	30
Gambar 2. 10 Konversi sel surya menjadi listrik.....	31
Gambar 2. 11 sel surya poliskristalin.....	32
Gambar 2. 12 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya	35
Gambar 4. 1 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya <i>output</i> 15 Juli 2020.....	50
Gambar 4. 2 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya <i>output</i> 16 Juli 2020.....	50
Gambar 4. 3 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya <i>output</i> 17 Juli 2020.....	51
Gambar 4. 4 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya <i>output</i> 15 Juli 2020	53
Gambar 4. 5 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya <i>output</i> 16 Juli 2020	53
Gambar 4. 6 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya <i>output</i> 17 Juli 2020	53

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Ada dua jenis pembangkit energi listrik yaitu pembangkit energi listrik konvensional dan pembangkit energi listrik non konvensional. Pembangkit energi listrik konvensional ini bersumber dari energi tak terbarukan sedangkan pembangkit energi listrik non konvensional bersumber dari energi terbarukan. Ketersediaan sumber energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia. Fenomena ini juga berdampak pada sektor energi listrik dunia yang menuju ambang kritis dikarenakan pemenuhan energi listrik sebagian besar masih disuplai dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi fosil. Pertumbuhan ekonomi dan permintaan kebutuhan akan tenaga listrik yang terus meningkat perlu diimbangi dengan usaha penyediaan tenaga listrik yang mencukupi. Usaha penyediaan tenaga listrik meliputi usaha pembangkitan, transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik.

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat sehingga permintaan pembangkitan energi listrik juga meningkat. Saat ini, kebutuhan energi listrik dipenuhi oleh sumber energi konvensional seperti batu bara, minyak bumi, diesel, dan sebagainya (Harmini & Nurhayati, 2018). Ketersediaan suplai tenaga listrik secara kontinyu dengan mutu yang baik dan memenuhi standar keselamatan ketenagalistrikan sangat diperlukan guna mewujudkan sistem ketenagalistrikan

nasional yang berkelanjutan, handal, aman dan akrab lingkungan (Suhartanto, 2014).

Mengingat Indonesia yang secara geografis dilewati garis khatulistiwa dan beriklim tropis, hal ini memberikan keuntungan tersendiri bagi Indonesia untuk mengembangkan pembangkit energi listrik baru terbarukan. Potensi energi surya di Indonesia rata-rata sebesar $4,8 \text{ kWh}/m^2$ per hari, sedangkan kecepatan angin di seluruh Indonesia berkisar antara 2,5–5,5 m/s pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah yang mampu membangkitkan energi listrik hingga 100 kW per turbin. Dengan demikian energi terbarukan angin dan surya sebagai pembangkit listrik tidak diragukan lagi sebagai sumber energi yang berkelanjutan di Indonesia (Hakim et al., 2018).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbandingan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya untuk mengetahui mana di antara ke dua pembangkit tersebut yang lebih optimal dan efisien untuk digunakan. Pembangkit ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut di Indonesia untuk menekan peningkatan kebutuhan energi listrik setiap tahunnya yang menurun dan tidak tergantung pada pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil.

Berdasarkan uraian di atas maka mendorong penulis untuk mencoba menganalisis perbandingan daya pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya. Yang mana nantinya hasil dari penelitian ini dapat dijadikan kajian dalam menentukan perencanaan pembuatan pembangkit energi listrik alternatif yang lebih baik dan efektif.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar daya *output* yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin?
2. Berapa besar daya *output* yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya?
3. Apakah berpengaruh daya *output* yang dihasilkan dari ke dua pembangkit terhadap kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa daya *output* yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin.
2. Menganalisa daya *output* yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya.
3. Menganalisa pengaruh daya *output* yang dihasilkan dari kedua pembangkit terhadap kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah ini meliputi sebagai berikut :

1. Hanya menganalisa dari satu tipe *generator* dan *blades* yang digunakan pada PLTB berkapasitas 6 watt.

2. Hanya menganalisa dari satu tipe panel surya yang digunakan pada PLTS 20 WP/12V.
3. Besar nilai arus dan tegangan pada masing-masing pembangkit.
4. Pengaruh daya *output* yang dihasilkan dari ke dua pembangkit terhadap kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari.

1.5 Manfaat Penulisan

Dengan dilakukannya penelitian ini dapat memberi manfaat, terutama bagi penulis :

1. Mengetahui pengaruh daya *output* yang dihasilkan dari kedua pembangkit terhadap kecepatan angin dan intensitas cahaya
2. Mengetahui pembangkit mana yang lebih unggul untuk digunakan di tinjau dari daya yang dihasilkan.
3. Menambah pengetahuan dibidang teknik elektro khususnya mengenai pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya.

1.6 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur/Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan pendalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literature dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian

pengolahan data penelitian, informasi, studi literatur juga sangat di perlukan untuk pelaksanaan penelitian.

2. Wawancara

Wawancara merupakan komunikasi verbal untuk mengumpulkan informasi dari seseorang. Dengan menggunakan tanya jawab secara langsung untuk mendapatkan informasi dan pengetahuan tentang data data yang ingin diteliti.

3. Riset

Riset/Pengambilan data dilakukan penulis guna untuk melengkapi berbagai macam data- data dari tulisan yang akan diselesaikan oleh penulis agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

4. Bimbingan

Bimbingan merupakan komunikasi antara penulis terhadap dosen pembimbing guna untuk memperbaiki tulisan penulis bila ada kekurangan maupun kesalahan didalam penulisan.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman, maka sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penyusunan tugas akhir, latar belakang, rumusan masalah, dan batasan masalah, manfaat penulisan, metodologi penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep teori yang menunjang kasus tugas akhir, memuat tentang dasar teori yang digunakan dan menjadi ilmu penunjang bagi peneliti, berkenaan dengan masalah yang akan diteliti yaitu komponen komponen utama pada pembangkit listrik energi angin, komponen utama pada pembangkit listrik energi matahari, cara penggabungan dari kedua pembangkit tersebut, dan perhitungan daya yang dihasilkan.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Bab ini akan menerangkan mengenai lokasi dilaksanakannya penelitian, jenis penelitian, jadwal penelitian, serta jalannya penelitian.

BAB 4 ANALISA DAN HASIL PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai analisa data.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat tentang kesimpulan dari seluruh hasil penelitian analisis sistem pembangkitan energi listrik *hybrid* dari energi angin dan energi matahari dan juga saran-saran yang berhubungan dengan tugas akhir.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Pada saat ini bahan bakar fosil masih banyak digunakan untuk memproduksi listrik, dimana bahan bakar tersebut jika terus digunakan akan habis dan susah diperbarui. Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga energi terbarukan dengan sumber pembangkit dari alam dan dapat diperbarui sebagai solusi dari habisnya bahan bakar fosil. Sehingga pada studi ini diusulkan perancangan sistem PLTB. Dari perancangan sistem PLTB dilakukan di PT. Lentera Angin Nusantara di desa Ciheras, kecamatan Cipatujah, kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat. Untuk mengetahui seberapa besar potensi angin yang dapat menghasilkan energi listrik yang sering kesulitan produksi jika listrik PLN mengalami pemadaman yang cukup lama. Sistem pembangkitan menggunakan wind turbine, baterai, converter dan perhitungan dari sistem secara menyeluruh menggunakan software HOMER versi 2.68. Indonesia merupakan negara tropis, memiliki potensi angin yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga angin atau bayu baik ditepian pantai atau bukit-bukit. Hasil simulasi dengan software HOMER ini bahwa potensi angin dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan energi terbarukan disekitar pantai dan membantu perekonomian masyarakat agar lebih maju. Potensi angin dipantai Ciheras ini memiliki potensi angin yang cukup baik untuk membuat Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, dimana kecepatan angin yaitu berkisar diantara 3–12 m/s. Besar daya listrik yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ini cukup akurat untuk memasok beban listrik, dalam satu tahun Wind Turbine dapat

menghasilkan rata-rata daya listrik melalui simulasi Homer yaitu 129 W dan dalam perhitungan didapat sebesar 137 W (Lentera et al., 2018).

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah satu energi terbarukan di Indonesia yang layak untuk dikembangkan, karena Indonesia mempunyai luas lautan yang hampir dua sepertiga daratan, sehingga sumber angin dari laut sangat memungkinkan untuk memutar generator sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Sistem pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan sebuah mekanis pengubah aliran angin menjadi putaran. Dalam hal ini, kincir angin merupakan sebuah pengubah yang efisien dan sederhana. Kincir angin dapat menyerap energi gerak angin dan mengubahnya menjadi putaran dimana tenaga mekanik ini dihasilkan oleh angin yang memutar baling-baling yang berbentuk sudu-sudu. Putaran kincir kemudian digunakan untuk memutar generator. Untuk memperoleh putaran yang cukup digunakan sistem kopel dan transmisi putaran yaitu perbandingan ukuran diameter poros pemutar dan poros yang diputar yang disebut poli. Dengan mengatur besar kincir dan perbandingan poli tersebut dapat diatur kecepatan putaran generator yang diinginkan (Zulkarnain, 2018).

Kebutuhan akan energi untuk memenuhi perkembangan jaman mengakibatkan bahan bakar dari fosil meningkat, oleh karena itu dibutuhkan energi alternatif lain untuk mengatasi semakin berkurangnya bahan bakar fosil. Salah satu bentuk energi yang ada di alam adalah angin. Oleh karena itu turbin angin mulai dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik energi alternatif. Tujuan perancangan ini adalah mendesain sebuah turbin angin sumbu horizontal 3 sudu dan generator magnet permanen kecepatan rendah sehingga dapat menghasilkan 1 KW yang akan digunakan di wilayah pesisir Kota Langsa. Metode perancangan

adalah mendesain turbin angin tipe horizontal yang digunakan memiliki 3 blade dari bahan fiberglass dengan diameter 4 m, generator magnet permanen dengan putaran maksimum 1000 Rpm. Hasil perancangan turbin angin menunjukkan bahwa data teoritis pada kecepatan angin tertinggi yaitu 7,5 m/s dapat menghasilkan daya keluaran maksimum dari generator tersebut sebesar 1087 watt, sedangkan di wilayah ini kecepatan angin rata-rata 4,5 m/s sehingga menghasilkan daya 652 watt. Pada kondisi tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin dan diameter blade sangat mempengaruhi daya keluaran dari hasil perancangan (Adlie et al., 2015).

Krisis energi saat ini sekali lagi mengajarkan kepada kita, bangsa Indonesia bahwa usaha serius dan sistematis untuk mengembangkan dan menerapkan sumber energi terbarukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil perlu segera dilakukan. Penggunaan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, terutama yang dapat mengurangi berbagai dampak buruk yang ditimbulkan akibat penggunaan BBM. Desakan untuk meninggalkan minyak bumi sebagai sumber pengadaan energi nasional saat ini terus digulirkan oleh berbagai pihak, termasuk dari pemerintah sendiri. Langkah tersebut diperlukan agar Indonesia keluar dari krisis energi yang berkelanjutan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh seperangkat pembangkit listrik tenaga angin dengan kincir tipe horizontal dengan memanfaatkan ketinggian gedung, mengetahui adanya keterkaitan atau hubungan antara kecepatan angin dengan daya output pada pembangkit listrik tenaga angin, dan merancang suatu sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang mampu menghasilkan daya 50-100 watt (Nawawi & Fatkhurrozi, 2016).

Indonesia merupakan negara yang memiliki berbagai jenis sumber daya energi dalam jumlah yang cukup melimpah. Letak Indonesia berada pada daerah khatulistiwa, maka wilayah Indonesia akan selalu disinari matahari selama 10 jam dalam sehari. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi pengembangan dan pemanfaatan energi surya sebagai salah satu dari banyak sistem konversi energi surya, sistem konversi energi surya ini dapat diterapkan untuk mengatasi semakin menipisnya cadangan bahan bakar konvensional yang ada. Data Ditjen Listrik dan Pengembangan Energi pada tahun 1997, kapasitas terpasang listrik tenaga surya di Indonesia mencapai 0,88 MW dari potensi yang tersedia $1,2 \times 10^9$ MW. Sel surya jenis monokristal (*mono-crystalline*) merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. *Photovoltaic cell* selalu dilapisi oleh penutup yang berasal dari gelas. Seperti barang dari gelas lainnya, maka *optical input* dari *Photovoltaic cell* juga sangat dipengaruhi oleh orientasinya terhadap matahari karena variasi sudut dari pantulan gelas (Dzulfikar & Broto, 2016).

Menipis cadangan bahan bakar minyak dan batubara sebagai energi primer pembangkit listrik yang dimiliki oleh perusahaan listrik negara serta besarnya subsidi pemerintah untuk energi listrik mendorong wacana peraturan terkait naiknya tarif dasar listrik pada tahun 2013. Penggunaan energi terbarukan merupakan *alternative* untuk mengurangi permintaan energi ke PLN dan pengoptimalan potensi alam. Sel surya merupakan teknologi yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui

hubungan intensitas cahaya matahari terhadap daya keluaran pada sebuah panel sel surya. Metode penelitian ini adalah pengukuran intensitas matahari secara real dan pengukuran daya keluaran panel sel surya tersebut, adapun bahan yang digunakan adalah lumen meter digunakan untuk mengukur intensitas cahaya matahari, multimeter digunakan untuk mengukur tegangan dan arus, battery charge regulator dengan kapasitas 10 A, Panel sel surya dengan kapasitas 100 Wp, dan battery 7 Ah. Pengujian dilakukan selama 6 hari, setiap hari pengujian dimulai dari jam 07.00 – 18.00. Hasil penelitian menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari tertinggi terjadi antara jam 11.00 – 13.00 dengan nilai intensitas cahaya matahari sebesar 99.900 lux – 115.800 lux, sedangkan daya keluaran sel surya tertinggi sebesar 15,53 watt dengan intensitas cahaya matahari terukur 115.800 lux (Hasyim, 2013).

Kebutuhan akan listrik baik untuk kalangan industri, perkantoran, maupun masyarakat umum dan perorangan sangat meningkat. Tetapi, peningkatan kebutuhan listrik ini tidak diiringi oleh penambahan pasokan listrik. Berdasarkan permasalahan tersebut, energi surya dipilih sebagai energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Alat yang digunakan disini adalah sel surya, karena dapat mengkonversikan langsung radiasi sinar matahari menjadi energi listrik (proses *photovoltaic*). Agar energi surya dapat digunakan pada malam hari, maka pada siang hari energi listrik yang dihasilkan disimpan terlebih dahulu ke baterai yang dikontrol oleh regulator. Keluaran regulator langsung dihubungkan dengan inverter dari arus DC ke AC. Hasil pengujian modul surya (*photovoltaic*) terlihat bahwa hasil daya keluaran rata-rata mencapai 38,24 Watt, dan arus yang didapatkan sebesar 2,49 A (Ramadhan et al., 2016).

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) merupakan suatu pembangkit listrik yang menggunakan kecepatan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat pada saat ini, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas dari alam.

Pembangkit Listrik tenaga angin ini sangat efektif digunakan di daerah yang memiliki potensi angin yang konstan, contohnya pada pegunungan atau di pesisir pantai karena pada daerah tersebut memiliki potensi angin yang bagus.



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin

2.2.2. Energi Angin

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 (Habibie dkk, 2011). Daerah yang menerima lebih banyak penyinaran matahari, akan memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya. Pada daerah ini, udara bergerak mengembang atau memuai sehingga tekanannya rendah. Pada daerah yang suhunya lebih rendah, tekanannya lebih tinggi. Perbedaan tekanan udara ini akan mengakibatkan terjadinya gerakan udara dari daerah yang tekanannya lebih tinggi ke daerah yang tekanannya lebih rendah yang menimbulkan gerakan udara. 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.

Daerah sekitar khatulistiwa, yaitu pada busur 0° , adalah daerah yang mengalami pemanasan lebih banyak dari matahari dibanding daerah lainnya di Bumi, artinya udara di daerah khatulistiwa akan lebih tinggi dibandingkan dengan udara di daerah kutub. Pertukaran panas pada atmosfer akan terjadi secara konveksi. Berat jenis dan tekanan udara yang disinari cahaya matahari akan lebih

kecil dibandingkan jika tidak disinari. Perbedaan berat jenis dan tekanan inilah yang akan menimbulkan adanya pergerakan udara (Trewartha, 1995).

Udara yang bergerak mempunyai massa, kerapatan dan kecepatan. Sehingga dengan adanya faktor-faktor tersebut, angin mempunyai energi kinetik dan energi potensial. Akan tetapi faktor kecepatan lebih mendominasi posisi massa terhadap permukaan bumi. Dengan demikian energi kinetik lebih dominan dari pada energi potensial. Kondisi dan kecepatan angin menentukan tipe dan ukuran rotor. Kecepatan angin rata-rata mulai dari 3 m/s memadai untuk turbin angin propeler ukuran kecil, di atas 5 m/s untuk turbin angin menengah dan di atas 6 m/s untuk turbin angin besar. Energi angin merupakan energy alternative yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energy yang bersih dan terbarukan kembali. Proses pemanfaatan energy angin melalui dua tahapan konversi (Habibie dkk, 2011) yaitu :

1. Aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.
2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin yang dituliskan dengan (Sam,2005) :

$$E = \frac{1}{2} m.v^2 \dots\dots\dots (2.1).$$

Dimana :

E : Energi kinetik (Joule)

m : Massa udara (kg)

v : Kecepatan angin (m/det)

Untuk mendapatkan massa udara dimisalkan suatu blok udara mempunyai penampang dengan luas A (m²), dan bergerak dengan kecepatan v (m/det), maka massa udara yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = A.v.\rho \dots\dots\dots (2.2).$$

Dimana :

m : Massa udara yang mengalir (kg/det)

A : Luas penampang (m²)

v : Kecepatan angin (m/det)

ρ : Kerapatan udara (kg/m³)

Dengan persamaan (2.1) dan (2.2) dapat dihitung besar energi atau daya yang dihasilkan dari energi angin yaitu :

$$P = \frac{1}{2} \rho.A.v^3 \dots\dots\dots (2.3).$$

Dimana :

P : daya yang dihasilkan kincir angin (watt)

- A : Luas penampang (m^2)
 v : kecepatan angin (m/s)
 ρ : Kerapatan udara (kg/m^3)

Kecepatan angin akan naik pada setiap perubahan ketinggian akibat gesekan dengan permukaan tanah. Berikut persamaan perubahan kecepatan angin:

$$v = v_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \dots\dots\dots (2.4).$$

Dimana :

- v : kecepatan angin pada ketinggian h
 v_{ref} : kecepatan angin referensi pada ketinggian referensi h_{ref}
 h : ketinggian kecepatan angin (m)
 h_{ref} : ketinggian referensi (m)
 α : koefisien gesek tanah

Setiap turbin angin mempunyai efisiensi C_p , dengan demikian persamaan (2.3) yang disubstitusikan dengan persamaan (2.4) menjadi:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_p \left[v_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \right]^3 \dots\dots\dots (2.5).$$

Persamaan (2.5) adalah persamaan akhir untuk menghitung daya turbin angin pada ketinggian turbin angin h diatas permukaan tanah.

2.2.3. Syarat kecepatan angin

Angin yang kita gunakan untuk menghasilkan energi listrik juga memiliki syarat kecepatan tertentu karena terdapat beberapa golongan angin yang tidak bisa kita gunakan berdasarkan kecepatannya, hal ini dikarenakan generator yang kita gunakan memiliki batasan kecepatan putaran untuk dapat menghasilkan energi listrik dan juga memiliki daya tahan terhadap kecepatan angin tersebut.

Apabila angin berhembus terlalu pelan maka generator tidak dapat menghasilkan energi listrik yang cukup untuk kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari dan sebaliknya jika angin memutar turbin terlalu kencang maka sistem pembangkit ini tidak mampu untuk bertahan dikarenakan turbin dan generator mempunyai batasan kemampuan untuk beroperasi. Adapun tingkat kecepatan angin yang berhembus berdasarkan kondisi alam dapat kita lihat pada tabel berikut:

Tabel 2. 1 Tingkat kecepatan angin berdasarkan kondisi alam

Kelas	Kecepatan (m/s)	Kondisi alam
1	0.0 – 0.2	–
2	0.3 – 1.5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1.6 – 3.3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3.4 – 5.4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan
5	5.5 – 7.9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8.0 – 10.7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10.8 – 13.8	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil
8	13.9 – 17.1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di

		telinga
9	17.2 – 20.7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20.8 – 24.4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24.5 – 28.4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28.5 – 32.6	Menimbulkan kerusakan parah

Berdasarkan penelitian yang telah ada terdapat beberapa kelas dari tabel di atas yang dapat kita gunakan sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik.

Pada tabel tersebut kelas 1 dan kelas 2 tidak dapat menghasilkan energi listrik yang efektif karena energi kinetik dari angin tersebut tidak cukup kuat untuk memutar generator. Klasifikasi angin pada kelas 3 adalah batas minimum dan klasifikasi pada kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Untuk kelas 9 s/d 12 ini tidak dapat kita gunakan sebagai sumber energi karena kekuatannya yang terlalu besar sehingga dapat merusak peralatan yang ada.

2.2.4. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB)

Adapun komponen-komponen utama dari pembangkit listrik tenaga bayu/angin ini ialah:

1) Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Kincir angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain.

Kincir angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill. Kini kincir angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan kincir angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dan lain-lain). Kincir angin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarui (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik. Perlu kita ketahui turbin angin yang digunakan pada pembangkit listrik energi angin ini memiliki beberapa bagian seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 2 Bagian-Bagian Turbin Angin

1. *Blade* (Kipas atau Sudu)

Blade adalah bagian dari turbin angin yang bertugas menerima energi kinetik angin dan merubahnya menjadi energi gerak putar (mekanik) pada poros penggerak. Pada sebuah turbin angin jumlah sudu dapat berjumlah 1,2,3 atau lebih. *Blade* ini memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, berikut adalah jenis-jenis dari *blade*:

- *Taper* merupakan *blade* yang dari pangkalnya akan mengecil ke ujung.
- *Taper less* merupakan *blade* yang dari pangkal sampai ujung memiliki ukuran yang sama.
- *Inverse taper* merupakan *blade* yang ujungnya membesar.

2. Rotor

Blade/kipas yang terhubung pada porosnya disebut rotor. Rotor ini berfungsi sebagai penghubung antara kipas dan poros *gearbox* untuk menggerakkan *generator*.

3. *Pitch*

Pitch adalah sudut pada sudu yang berfungsi untuk mengatur kecepatan rotor sesuai dengan kondisi, tergantung angin berhembus terlalu kencang atau terlalu rendah. Salah satu tipe rotor adalah dengan sudu terpasang variabel yang dapat dirubah sudut serangnya dengan mengatur posisi sudut serang sudu terhadap arah angin bertiup. Rotor dengan mekanisme demikian disebut dengan rotor dengan *pitch* sudu variabel. Tidak semua turbin angin menggunakan tipe rotor dengan sudut sudu variabel.

4. *Brake (Rem)*

Brake digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah *gear box* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena *generator* memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Kehadiran angin diluar batas kemampuannya akan menyebabkan kerusakan pada generator.

5. *Low-speed shaft*

Low-speed shaft adalah poros turbin yang berputar berkisar 30-60 rotasi per menit.

6. *Gear Box*

Gear Box adalah alat yang berfungsi untuk menambah kecepatan putar yang dihasilkan angin melalui kipas/blade sehingga putaran yang dihasilkan pada generator lebih cepat. Hal ini tentunya akan mengakibatkan jumlah daya yang dihasilkan oleh generator juga semakin besar.

7. *Generator*

Generator merupakan komponen terpenting dalam sistem turbin angin, dimana fungsinya adalah merubah energi gerak (mekanik) pada poros penggerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya poros pada generator dipasang dengan material *ferromagnetic* permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk *loop*. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang menyebabkan generator menghasilkan arus dan tegangan. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berupa alternating current (AC) maupun direct current (DC).

8. *Controller*

Pada turbin angin yang *relative* besar, umumnya sudah menggunakan *system* geleng aktif (*active yawing system*), yang digerakkan oleh motor servo. Kontrol *yawing* disini berfungsi menerima *input* dari sensor *anemometer* (mendeteksi kecepatan angin) dan *wind direction* (mendeteksi perubahan arah angin), dan memberikan komando kepada motor servo untuk membelokkan arah *shaft* turbin angin dan juga memberikan inputan kepada kontrol *pitch*.

9. *Anemometer*

Anemometer berfungsi untuk mendeteksi/mengukur kecepatan angin, sebagai inputan kepada *system control* untuk mengendalikan operasional pada kondisi optimum.

10. *Wind Vane* (ekor pengarah)

Salah satu sistem orientasi yang pasif (*passive yawing*) adalah menggunakan ekor pengarah. Fungsi dari ekor pengarah (*wind vane*) adalah untuk membelokkan posisi rotor terhadap arah datangnya angin, untuk mengoptimalkan operasional dan mengamankan dari putaran lebih apabila kecepatan angin telah melebihi kecepatan *cut-out* dari turbin angin tersebut.

11. *Nacelle*

Fungsi *nascelle* adalah untuk menempatkan dan melindungi komponen-komponen turbin angin, yaitu : *generator, gearbox, brake, controller, system geleng (yawing system)* dan lain lain.

12. *High-speed shaft*

Poros rotor putaran tinggi yang berfungsi untuk memindahkan daya dari *gear box* ke *generator*.

13. *Yaw Drive*

Fungsi *yaw drive* adalah untuk menempatkan komponen turbin angin yang berada diatas menara menghadap optimal terhadap arah angin bertiup mengikuti perubahan arah angin.

14. *Yaw Motor*

Fungsi *yaw motor* adalah untuk menggerakkan *yaw drive* untuk menempatkan komponen turbin angin yang berada diatas menara menghadap optimal terhadap arah angin bertiup mengikuti perubahan arah angin.

15. *Tower* (Tiang Penyangga)

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen sistem terangkai sudu, poros, dan generator.

2) Penyimpan Energi (Baterai)

Keterbatasan ketersediaan akan energi angin yang berarti tidak sepanjang hari angin akan selalu tersedia maka ketersediaan listrik pun tidak menentu. Jadi digunakan alat penyimpan energi yang berfungsi sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan daya pada saat turbin angin berputar kencang.



Gambar 2. 3 Baterai/Aki

3) *Wind Charge Controller*

Wind Charge Controller adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan dari generator, melakukan proses pengisian baterai, mencegah baterai dari pengisian yang berlebihan, juga mengendalikan proses *discharge*. Yang perlu diperhatikan dalam menggunakan *charge controller* ini adalah besarnya tegangan dan daya yang dikeluarkan generator dan yang dapat diterima oleh baterai.

4) Inverter

Inverter merupakan perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC). Inverter mengkonversi arus DC dari perangkat baterai yang menjadi tempat penyimpanan daya yang dihasilkan oleh turbin angin.

2.2.5. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)

Kincir angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Kincir berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan kincir berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.



Gambar 2. 4 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, kincir biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah kincir dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar kincir angin sumbu horizontal merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki

permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

2.3. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Angin



Gambar 2. 5 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Pada gambar 2.5 menjelaskan bahwa kincir angin akan berputar apabila bilah bilah atau blade turbin dilewati oleh energi angin, Lalu blade yang berputar akan menggerakkan poros yang dikopelkan pada generator yang menyebabkan terjadinya ggl pada generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disalurkan ke *controller* untuk menstabilkan tegangan agar bisa disimpan pada batrai. Energi yang tersimpan pada batrai dapat langsung kita gunakan pada beban-beban DC (*load DC*) sedangkan untuk beban-beban AC (*load AC*) kita harus mengubah arus dc menjadi arus ac terlebih dahulu melalui rangkaian elektronika yang disebut dengan inverter agar bisa digunakan.

2.4. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sinar matahari yang mengenai permukaan bumi dapat dikonversikan menjadi energi listrik melalui solar sel. Solar sel terbuat dari bahan semikonduktor. Solar sel memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik DC (*Direct Current*). Energi listrik yang dihasilkan oleh solar sel tunggal sangat kecil sehingga dibutuhkan beberapa solar sel yang digabungkan menjadi sebuah panel yang disebut dengan panel surya atau panel solar *photovoltaic*. Pembangkit listrik yang memanfaatkan energi matahari biasa disebut pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan pada panel surya yang terdiri dari sel-sel fotovoltaiik. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang diproses sedemikian rupa sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah.

Pembangkit listrik tenaga surya akan lebih banyak diminati karena dapat digunakan dimana saja. Dan energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara gratis, perawatannya murah dan sederhana, tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan pada pelumasan dan Peralatan bekerja tanpa suara dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.



Gambar 2. 6 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.4.1. Sel Surya

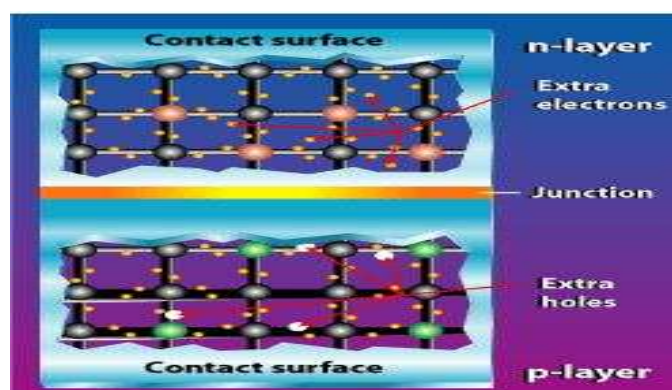
Sel surya (*solar cell*) merupakan suatu perangkat atau juga komponen yang bisa mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. *Photo* merujuk kepada cahaya dan *voltaic* mengacu kepada tegangan. Yang dimaksud dari efek *photovoltaic* ini ialah suatu fenomena yang mana munculnya tegangan listrik itu disebabkan karena adanya hubungan atau kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat mendapatkan energi cahaya. Jadi sel surya atau *solar cell* ini sering disebut dengan sebutan sel *photovoltaic* (pv). Efek dari *photovoltaic* tersebut ditemukan oleh yang bernama Henri Becquerel ditahun 1839.

Arus listrik tersebut muncul disebabkan oleh karna adanya energi foton cahaya matahari yang diterimanya berhasil membebaskan elektron-elektron dalam sambungan semikonduktor tipe N serta tipe P untuk mengalir. Sama layaknya dioda foto (*photodiode*), sel surya (*solar cell*) ini pun juga mempunyai kaki positif serta kaki negatif yang terhubung ke rangkaian atau juga perangkat yang memerlukan sumber listrik (Hasyim, 2013).

Pada dasarnya, sel surya ini merupakan dioda foto (photodiode) yang mempunyai permukaan yang sangat besar. Permukaan luas dari sel surya itu menjadikan perangkat sel surya tersebut menjadi lebih sensitif terhadap cahaya yang masuk serta juga menghasilkan tegangan serta arus yang lebih kuat dari dioda foto pada umumnya. Contohnya, sebuah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon mampu untuk menghasilkan tegangan setinggi 0,5 Volt serta arus sebesar 0,1 Ampere saat terkena (expose) cahaya matahari.

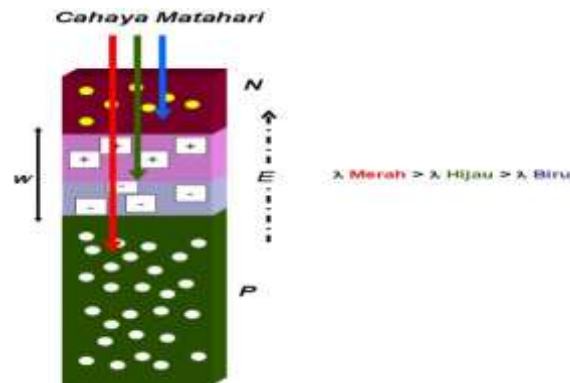
2.4.2. Proses Konversi Sel Surya

Sel surya konvensional berkerja menggunakan prinsip *p-n junction*, yaitu *junction* antara semikonduktor tipe-P dan tipe-N. Semikonduktor ini terdiri dari ikatan-ikatan atom yang dimana terdapat elektron sebagai penyusun dasar. Semikonduktor tipe-N mempunyai kelebihan elektron (muatan negatif) sedangkan semikonduktor tipe-P mempunyai kelebihan hole (muatan positif) dalam struktur atomnya. Kondisi kelebihan elektron dan hole tersebut bisa terjadi dengan mendoping material dengan atom *dopant*. Sebagai contoh untuk mendapat material silikon tipe-P, silikon didoping oleh atom boron, sedangkan untuk mendapatkan material silikon tipe-N, silikon didoping oleh atom fosfor.



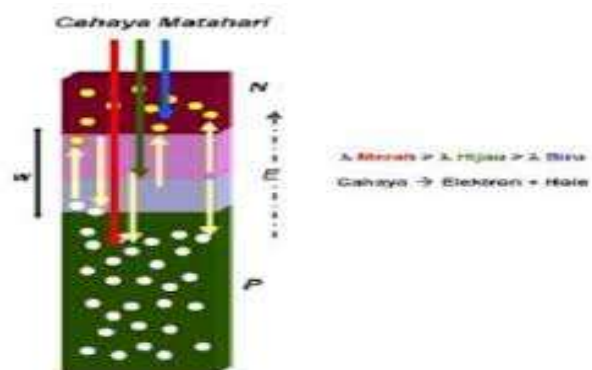
Gambar 2. 7 Junction antara semikonduktor tipe-N dan tipe-P

Untuk keperluan sel surya, semikonduktor tipe-N berada pada lapisan atas sambungan yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor tipe-P, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor tipe-P.



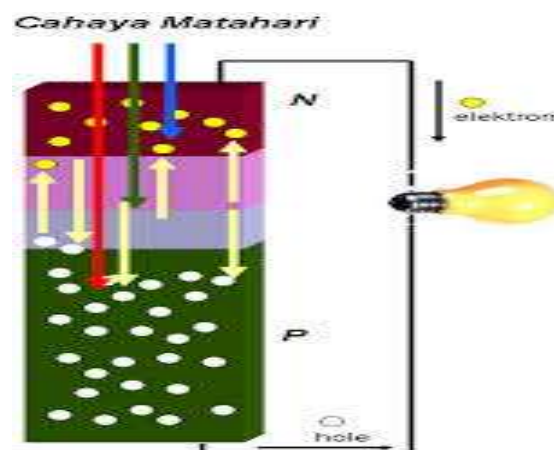
Gambar 2. 8 Konversi semikonduktor tipe-N dan tipe P

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor tipe-N, daerah deplesi maupun semikonduktor tipe-P. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.



Gambar 2. 9 Terlepasnya elektron meninggalkan hole

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (λ) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan tipe-P dan tipe-N berada pada bagian sambungan yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor tipe-P yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor tipe-N. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan semikonduktor tipe-P dan tipe-N terdapat medan listrik (E), maka elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor tipe-N, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor tipe-P. Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapatkan arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron tersebut.



Gambar 2. 10 Konversi sel surya menjadi listrik

2.4.3. Polikristalin (*Poly-crystalline*)

Polikristalin merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Polikristalin ini umumnya terdiri dari sejumlah kristal yang berbeda, digabungkan satu sama lain dalam satu sel. Pengolahan sel surya Si poliskristalin ini lebih ekonomis, yang dihasilkan oleh pendinginan cetakan grafit yang diisi dengan silikon cair. Sel surya polikristalin saat ini adalah sel surya yang paling populer, sel surya ini merupakan sel surya yang paling banyak digunakan hingga 48% dari produk sel surya di seluruh dunia. Selama pemadatan silikon cair, berbagai struktur kristal terbentuk. Meskipun dalam hal pembuatan ini sedikit lebih murah dibandingkan dengan sel surya monokristalin tetapi tingkat effesiensinya berkisar 12% - 14% (Sariman et al., 2019).

Dan tipe polikristalin memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik dalam keadaan cuaca berawan.



Gambar 2. 11 sel surya poliskristalin.

2.4.4. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Adapun komponen-komponen utama dari pembangkit listrik tenaga surya ini yaitu :

1) *Photovoltaic* modul

Photovoltaic modul atau biasa disebut modul surya adalah perangkat yang terdiri dari bahan semikonduktor seperti *silikon*, *galium arsenide* dan *kadmium telluride*, dan lain lain yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik. Ketika *solar cell* menyerap sinar matahari, elektron-elektron bebas dan lubang-lubang membuat sambungan positif/negatif, dan ketika dihubungkan dengan beban DC, maka arus listrik akan mengalir ke beban tersebut.

2) *Solar Charge Controller*

Solar Charge Controller adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan dari modul surya, melakukan proses pengisian baterai, mencegah baterai dari pengisian yang berlebihan, juga mengendalikan proses *discharge*. Yang perlu diperhatikan dalam menggunakan *charge controller* ini adalah besarnya tegangan dan daya yang dikeluarkan modul surya dan yang dapat diterima oleh baterai.

3) Baterai

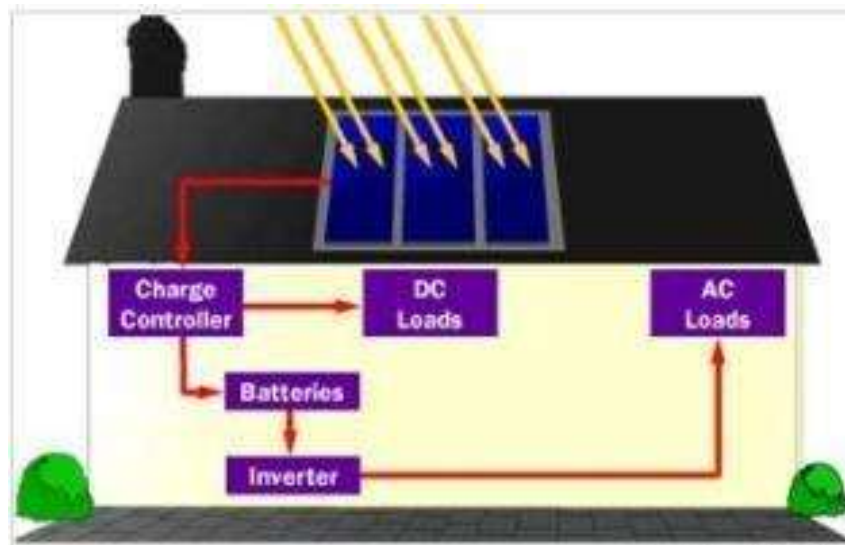
Baterai adalah bagian komponen PLTS yang berfungsi untuk menyimpan sementara energi listrik yang dihasilkan modul surya atau disebut juga dengan panel surya, baterai pada PLTS mengalami proses siklus mengisi dan mengosongkan, tergantung dari ada tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut

akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya, selama matahari tidak ada maka permintaan energi listrik akan disuplai oleh baterai. Proses pengisian ini disebut satu siklus baterai. Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Nilai *Ampere Hour* pada baterai ini yaitu menunjukkan nilai arus yang dapat dilepaskan, dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan tersebut. Berdasarkan hal tersebut maka secara teoritis, baterai 12 V, 200 Ah dapat memberikan baik 200 A selama satu jam, 50 A selama 4 jam, 4 A untuk 50 jam, atau 1 A untuk 200 jam.

4) Inverter

Inverter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi sebagai pengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC). Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC. Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, Panel Surya maupun sumber tegangan DC lainnya. Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu square wave, modified sine wave, dan pure sine wave (Purwoto et al., 2016).

2.5. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2. 12 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pada gambar 2.15 apabila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn junction, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban. Ketika arus listrik mengalir akan melewati *charge controller* yaitu peralatan yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan, setelah melwati peralatan charge controller akan ditampung di battery dengan arus DC. Setelah ditampung di bateray akan di distribusikan ke peralatan selanjutnya yaitu inverter, peralatan inverter ini berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC atau sebaliknya tapi disini hanya mengubah DC menjadi tegangan AC. Setelah di inverter akan distribusikan ke beban atau pengguna.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu Dan Tempat Penelitian

3.1.1. Waktu Penelitian

Penelitian dan pengujian arus dan tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya dilakukan pada tanggal 15 sampai 17 juli 2020.

3.1.2. Tempat Penelitian

Bertempat di dusun blora gg. mangga kelurahan sidodadi ramunia, kecamatan beringin, lubuk pakam, sumatera utara.

3.2. Peralatan penelitian

Adapun Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. PLTB dengan baling-baling berbentuk horizontal berfungsi untuk menangkap datangnya laju angin dan mengubah hembusan angin menjadi energi gerak yang akan memutar generator.
2. Generator DC berfungsi mengubah energi gerak menjadi energi listrik dalam bentuk tegangan DC yang akan mensuplai kebutuhan listrik.
3. Panel surya yang berfungsi sebagai alat yang akan merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*.
4. *Charge Controller* berfungsi sebagai alat yang mengontrol arus untuk pengisian ke baterai sehingga tidak terjadi *over charging* (kelebihan

pengisian daya karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari generator dan panel surya.

5. Baterai (aki) berfungsi sebagai alat untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia.
6. Inverter berfungsi sebagai alat yang akan mengubah tegangan dc menjadi tegangan ac yang akan disuplai beban.
7. Kabel listrik jenis NYAF 1 x 2.5 mm² berfungsi untuk menghantarkan aliran listrik dari sumber listrik menuju beban percobaan.
8. Kabel Duck sebagai tempat instalasi kabel-kabel listrik yang akan dihubungkan pada komponen.
9. Papan Triplek berfungsi sebagai tempat penempatan komponen listrik.
10. Anemometer berfungsi sebagai alat yang digunakan dalam mengukur kecepatan angin dan suhu udara.
11. Luxmeter berfungsi sebagai alat yang digunakan dalam mengukur intensitas cahaya matahari.
12. Multimeter berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam mengukur Tegangan, Arus, serta Hambatan listrik.
13. Tang ampere berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam mengukur tegangan, arus, serta hambatan tanpa harus memotong kabel listrik.
14. *Tool kit* Berisikan alat-alat pendukung seperti : tang kombinasi, tang potong, tang buaya, obeng plus minus, tang pengupas kabel, tang skun kabel, dan lain sebagainya.

3.2.1. Data turbin angin

Tegangan keluaran (V_o)	: 12 Volt
Arus keluaran (I_o)	: 0,5 Ampere
Daya maksimal (P)	: 6 Watt
Rpm maksimal	: 450
Jumlah sudu	: 3 buah
Daerah tangkapan angin	: 100 cm^2 /sudu

3.2.2. Data panel surya

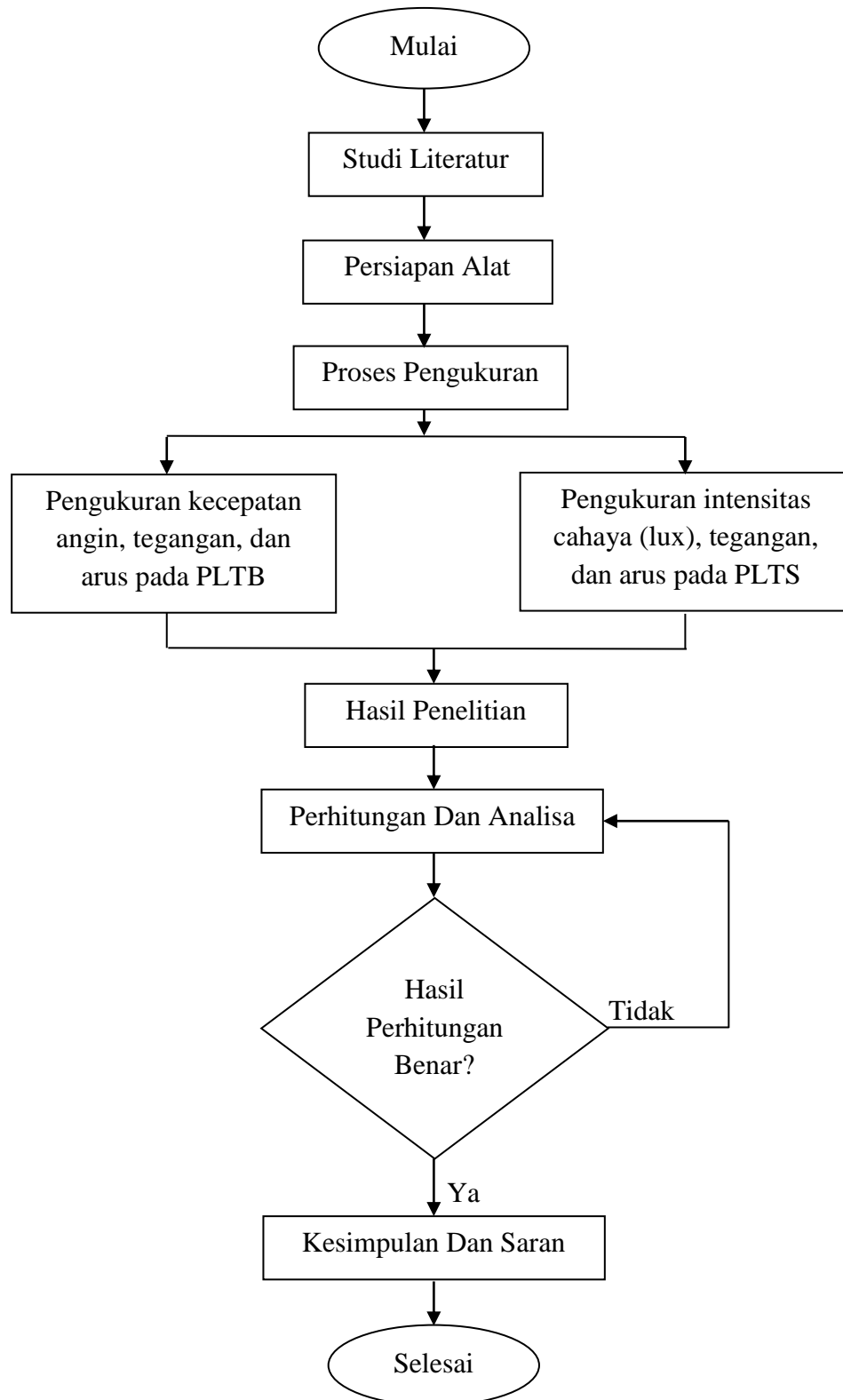
Panel surya	: SURYA <i>Polycrystalline</i> Solar Module
Mode Type	: SSPP 20WP/12V
Rate Maximum Power [Pmax]	: 20 W
Voltage at Pmp [Vmp]	: 18 V
Current at Pmp [Imp]	: 1.11 A
Open Circuit Voltage [Voc]	: 21.6 V
Weight	: 2.0 kg
Dimension [mm]	: 486*360*25mm

3.3. Prosedur Penelitian

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur, menganalisa sistem pembangkitan listrik pada PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori dari (jurnal dan internet) yang berkaitan dengan penelitian ini.

Tahap ke dua melakukan persiapan alat untuk proses penelitian berupa berbagai alat ukur seperti anemometer, lux meter, multimeter, tang ampere, dan *tool kit*. Setelah persiapan alat selesai kemudian kita melakukan pengukuran pada kedua pembangkit untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dari kedua pembangkit. Kemudian dari hasil pengukuran yg telah dilakukan kita dapatkan data berupa kecepatan angin, lux (intensitas cahaya), tegangan, dan arus. Data tersebut akan dilakukan perhitungan dan analisa untuk mendapatkan kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

3.4. Diagram Alir Penelitian



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4. 1. Hasil Penelitian

pada bab ini penulis akan melampirkan data-data penelitian dari kedua pembangkit yaitu pembangkit listrik tenaga angin dan tenaga surya yang diambil melalui pengukuran berupa *lux* (radiasi matahari), kecepatan angin, tegangan, dan arus pada masing-masing pembangkit.

4.1.1. Data Penelitian PLTB

Dalam penelitian pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan energi angin sebagai penggerak mula turbin sehingga generator dapat berputar dan menghasilkan energi listrik. Data dalam pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut. Dalam tabel ini tercantum kecepatan angin, tegangan dan arus generator dc yang dilakukan selama 3 hari.

Tabel 4. 1. Pengukuran tanggal 15 Juli 2020 pada turbin angin

Waktu Pengukuran	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	2,2	3,64	0,18
09:00	2,1	3,46	0,18
10:00	3,3	5,34	0,24
11:00	2,9	4,81	0,22
12:00	2,7	4,48	0,21
13:00	3,4	5,64	0,25
14:00	3,2	5,18	0,24
15:00	3,1	4,96	0,23
16:00	4,4	7,41	0,31

Tabel 4. 2. Pengukuran tanggal 16 Juli 2020 pada turbin angin

Waktu Pengukuran	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	1,8	3,20	0,16
09:00	2,0	3,37	0,17
10:00	1,7	2,94	0,16
11:00	2,3	3,81	0,19
12:00	2,1	3,46	0,18
13:00	2,6	4,32	0,21
14:00	3,1	4,96	0,23
15:00	3,4	5,64	0,25
16:00	3,7	6,85	0,29

Tabel 4. 3. Pengukuran tanggal 17 Juli 2020 pada turbin angin

Waktu Pengukuran	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	2,1	3,46	0,18
09:00	2,4	4,02	0,20
10:00	2,6	4,32	0,21
11:00	3,4	5,64	0,25
12:00	2,9	4,81	0,22
13:00	3,5	5,87	0,25
14:00	2,7	4,48	0,21
15:00	3,4	5,64	0,25
16:00	3,2	5,23	0,24

4.1.2. Data penelitian PLTS

Dalam penelitian pembangkit listrik tenaga surya membutuhkan energi sinar matahari yang akan diubah menjadi energi listrik. Data dalam percobaan ini tertera dalam tabel dibawah. Dalam tabel ini tercantum intensitas cahaya (*lux*), tegangan dan arus pada panel surya.

Tabel 4. 4. Pengukuran tanggal 15 Juli 2020 pada panel surya

Waktu Pengukuran	Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	44200	18,42	0,25
09:00	56000	18,46	0,33
10:00	64900	18,63	0,41
11:00	76100	18,51	0,46
12:00	85200	18,86	0,53
13:00	108000	18,74	0,71
14:00	99700	18,63	0,66
15:00	67800	18,50	0,42
16:00	50100	18,43	0,30

Tabel 4. 5. Pengukuran tanggal 16 Juli 2020 pada panel surya

Waktu Pengukuran	Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	51500	18,51	0,30
09:00	62300	18,60	0,36
10:00	76700	18,54	0,47
11:00	99400	18,56	0,65
12:00	107800	18,69	0,70
13:00	115800	18,94	0,72
14:00	94000	18,57	0,62
15:00	74900	18,62	0,43
16:00	56000	18,46	0,33

Tabel 4. 6. Pengukuran tanggal 17 Juli 2020 pada panel surya

Waktu Pengukuran	Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	44500	18,42	0,25
09:00	48600	18,40	0,30
10:00	50400	18,45	0,31
11:00	69900	18,57	0,42
12:00	85900	18,79	0,55
13:00	95200	18,64	0,60
14:00	87600	18,81	0,56
15:00	60300	18,49	0,36
16:00	53300	18,44	0,32

4.2. Pembahasan

Berdasarkan data yang telah diukur maka dapat dihitung daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin maupun pembangkit listrik tenaga surya. Untuk menghitung daya yang dihasilkan berdasarkan data diperoleh besarnya daya adalah

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 &= 3,64 \times 0,18 \\
 &= 0,65 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Sehingga daya yang dihasilkan seperti pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 7 Hasil perhitungan daya di tabel 4.1

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	3,64	0,18	0,65
09:00	3,46	0,18	0,62
10:00	5,34	0,24	1,28
11:00	4,81	0,22	1,05
12:00	4,48	0,21	0,94
13:00	5,64	0,25	1,41
14:00	5,18	0,24	1,24
15:00	4,96	0,23	1,14
16:00	7,41	0,31	2,29

Tabel 4. 8 Hasil perhitungan daya di tabel 4.2

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	3,20	0,16	0,51
09:00	3,37	0,17	0,57
10:00	2,94	0,16	0,47
11:00	3,81	0,19	0,72
12:00	3,46	0,18	0,62
13:00	4,32	0,21	0,91
14:00	4,96	0,23	1,14
15:00	5,64	0,25	1,41
16:00	6,85	0,29	1,98

Tabel 4. 9 Hasil perhitungan daya di tabel 4.3

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	3,46	0,18	0,62
09:00	4,02	0,20	0,80
10:00	4,32	0,21	0,91
11:00	5,64	0,25	1,41
12:00	4,81	0,22	1,05
13:00	5,87	0,25	1,46
14:00	4,48	0,21	0,94
15:00	5,64	0,25	1,41
16:00	5,23	0,24	1,25

Tabel 4. 10 Hasil perhitungan daya di tabel 4.4

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	18,42	0,25	4,60
09:00	18,46	0,33	6,09
10:00	18,63	0,41	7,63
11:00	18,51	0,46	8,51
12:00	18,86	0,53	9,99
13:00	18,74	0,71	13,30
14:00	18,63	0,66	12,29
15:00	18,50	0,42	7,77
16:00	18,43	0,30	5,53

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan daya di tabel 4.5

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	18,51	0,30	5,55
09:00	18,60	0,36	6,69
10:00	18,54	0,47	8,71
11:00	18,56	0,65	12,06
12:00	18,69	0,70	13,08
13:00	18,94	0,72	13,63
14:00	18,57	0,62	11,51
15:00	18,62	0,43	8,00
16:00	18,46	0,33	6,09

Tabel 4. 12 Hasil perhitungan daya di tabel 4.6

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	18,42	0,25	4,60
09:00	18,40	0,30	5,52
10:00	18,45	0,31	5,72
11:00	18,57	0,42	7,79
12:00	18,79	0,55	10,33
13:00	18,64	0,60	11,18
14:00	18,81	0,56	10,53
15:00	18,49	0,36	6,65
16:00	18,44	0,32	5,90

4.2.1. Pembahasan PLTB

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan diatas kita dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin berdasarkan waktu dan kecepatan angin.

Tabel 4. 13. Kecepatan angin terhadap daya output pada PLTB

Waktu pengukuran	15 Juli 2020		16 Juli 2020		17 Juli 2020	
	Kecepatan angin	Daya	Kecepatan angin	Daya	Kecepatan angin	Daya
08:00	2,2	0,65	1,8	0,51	2,1	0,62
09:00	2,1	0,62	2,0	0,57	2,4	0,80
10:00	3,3	1,28	1,7	0,47	2,6	0,91
11:00	2,9	1,05	2,3	0,72	3,4	1,41
12:00	2,7	0,94	2,1	0,62	2,9	1,05
13:00	3,4	1,41	2,6	0,91	3,5	1,46
14:00	3,2	1,24	3,1	1,14	2,7	0,94
15:00	3,1	1,14	3,4	1,41	3,4	1,41
16:00	4,4	2,29	3,7	1,98	3,2	1,25

Berdasarkan data di atas kita dapat menghitung daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut yang dilakukan selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

Perhitungan:

- Daya rata-rata pada hari pertama

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{0,65 + 0,62 + 1,28 + 1,05 + 0,94 + 1,41 + 1,24 + 1,14 + 2,29}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 1,18 \text{ Watt}$$

- Daya rata-rata pada hari kedua

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{0,51 + 0,57 + 0,47 + 0,72 + 0,62 + 0,91 + 1,14 + 1,41 + 1,98}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 0,92 \text{ Watt}$$

- Daya rata-rata pada hari ketiga

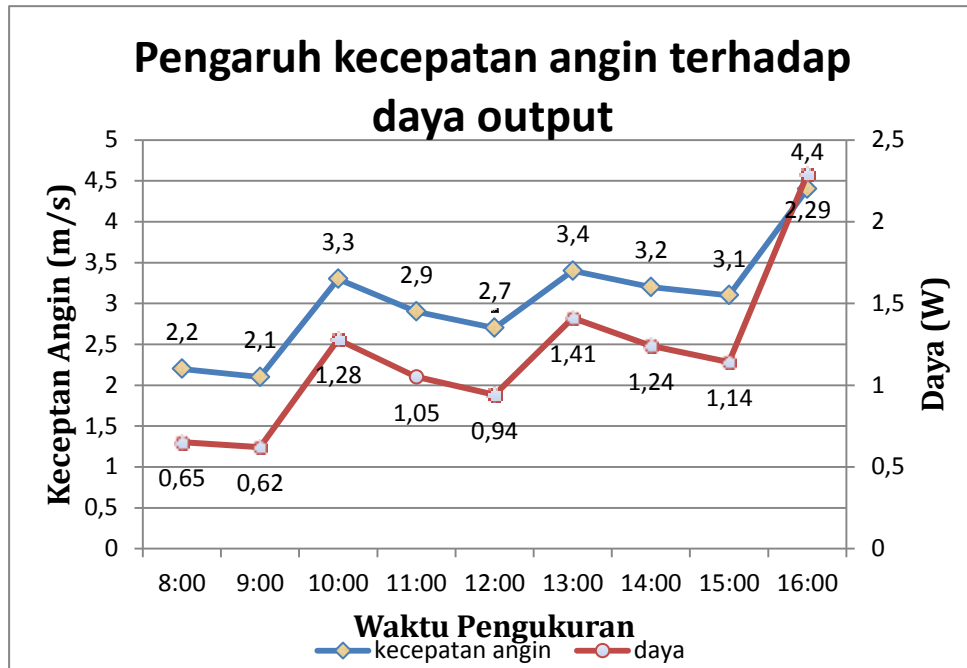
$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{0,62 + 0,80 + 0,91 + 1,41 + 1,05 + 1,46 + 0,94 + 1,41 + 1,25}{9}$$

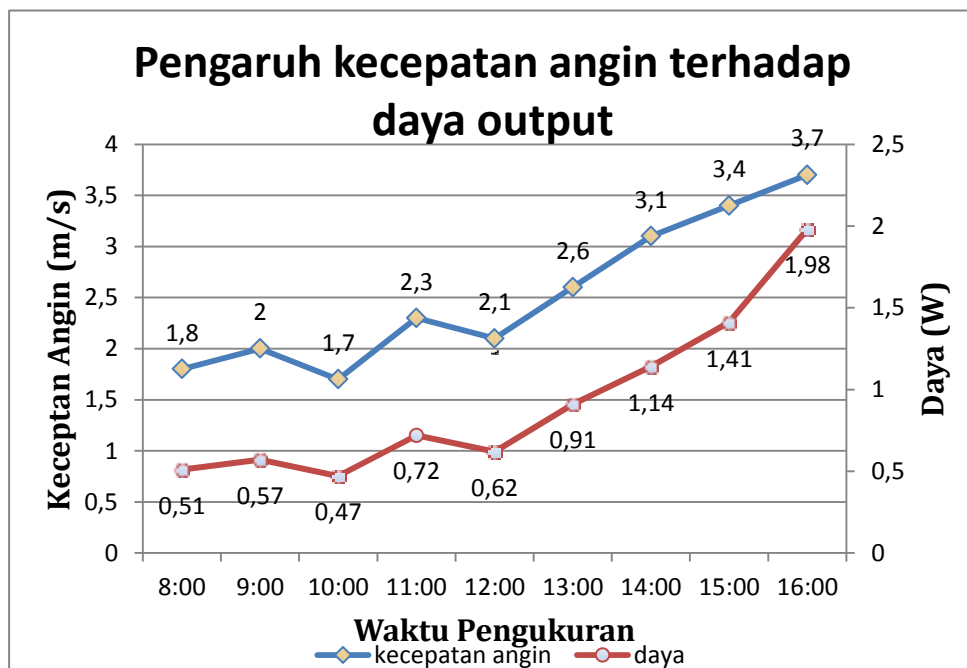
$$P_{rata-rata} = 1,09 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan di atas di peroleh daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin pada hari pertama sebesar 1,18 watt, hari kedua sebesar 0,92 watt, dan 1,09 watt pada hari ketiga.

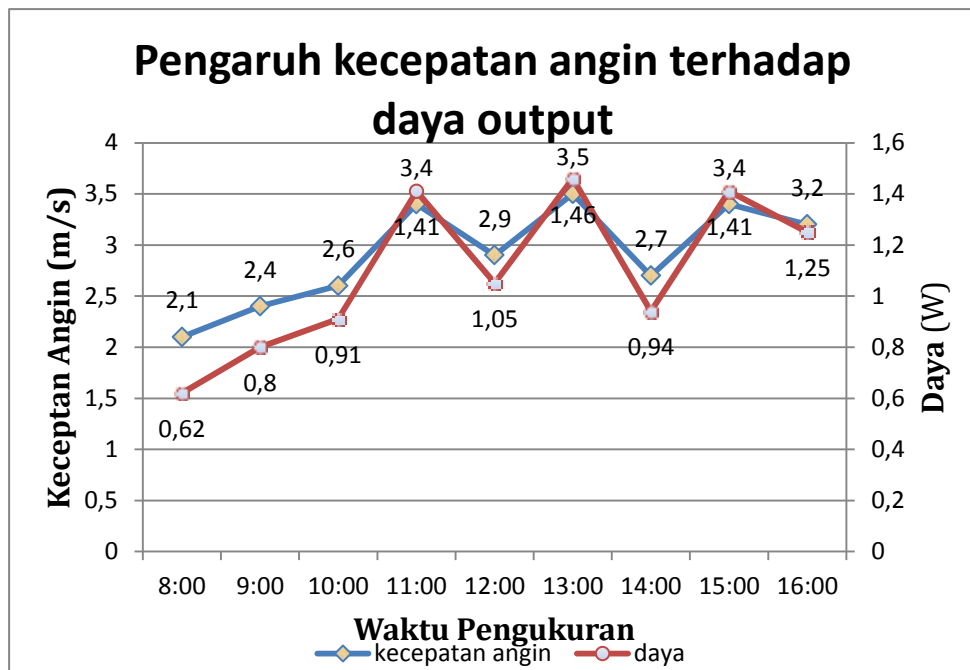
Setelah mendapatkan daya yang dihasilkan kita dapat mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan angin terhadap daya output dari pembangkit tersebut.



Gambar 4. 1 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya *output* 15 Juli 2020



Gambar 4. 2 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya *output* 16 Juli 2020



Gambar 4. 3 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya *output* 17 Juli 2020

Pada grafik 4,1 s/d 4,3 dapat kita lihat bahwa pengaruh kecepatan angin terhadap daya output dari pembangkit listrik tenaga angin. Dari ke tiga grafik tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin besar atau semakin tinggi kecepatan angin maka akan semakin besar pula daya yang akan dihasilkan dan begitu juga sebaliknya apabila kecepatan angin itu kecil atau rendah maka daya yang dihasilkan juga kecil.

4.2.2. Pembahasan PLTS

Dari pembahasan dan perhitungan diatas kita dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya pada tiap-tiap jamnya.

Tabel 4. 14 Intensitas cahaya matahari terhadap daya output pada PLTS

Waktu pengukuran	15 Juli 2020		16 Juli 2020		17 Juli 2020	
	Intensitas cahaya	Daya	Intensitas cahaya	Daya	Intensitas cahaya	Daya
08:00	44200	4,60	51500	5,55	44500	4,60
09:00	56000	6,09	62300	6,69	48600	5,52
10:00	64900	7,63	76700	8,71	50400	5,72
11:00	76100	8,51	99400	12,06	69900	7,79
12:00	85200	9,99	107800	13,08	85900	10,33
13:00	108000	13,30	115800	13,63	95200	11,18
14:00	99700	12,29	94000	11,51	87600	10,53
15:00	67800	7,77	74900	8,00	60300	6,65
16:00	50100	5,53	56000	6,09	53300	5,90

Berdasarkan data di atas kita dapat menghitung daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut yang dilakukan selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

Perhitungan:

- Daya rata-rata pada hari pertama

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{4,60 + 6,09 + 7,63 + 8,51 + 9,99 + 13,30 + 12,29 + 7,77 + 5,53}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 8,41 \text{ Watt}$$

➤ Daya rata-rata pada hari kedua

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{5,55 + 6,69 + 8,71 + 12,06 + 13,08 + 13,63 + 11,51 + 8,00 + 6,09}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 9,48 \text{ Watt}$$

➤ Daya rata-rata pada hari ketiga

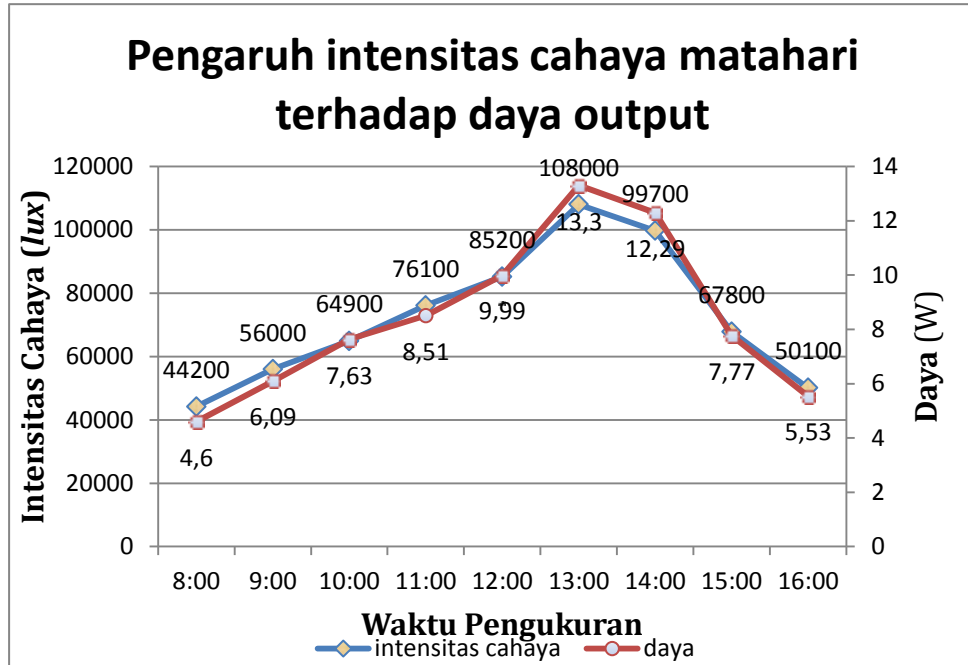
$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{4,60 + 5,52 + 5,72 + 7,79 + 10,33 + 11,18 + 10,53 + 6,65 + 5,90}{9}$$

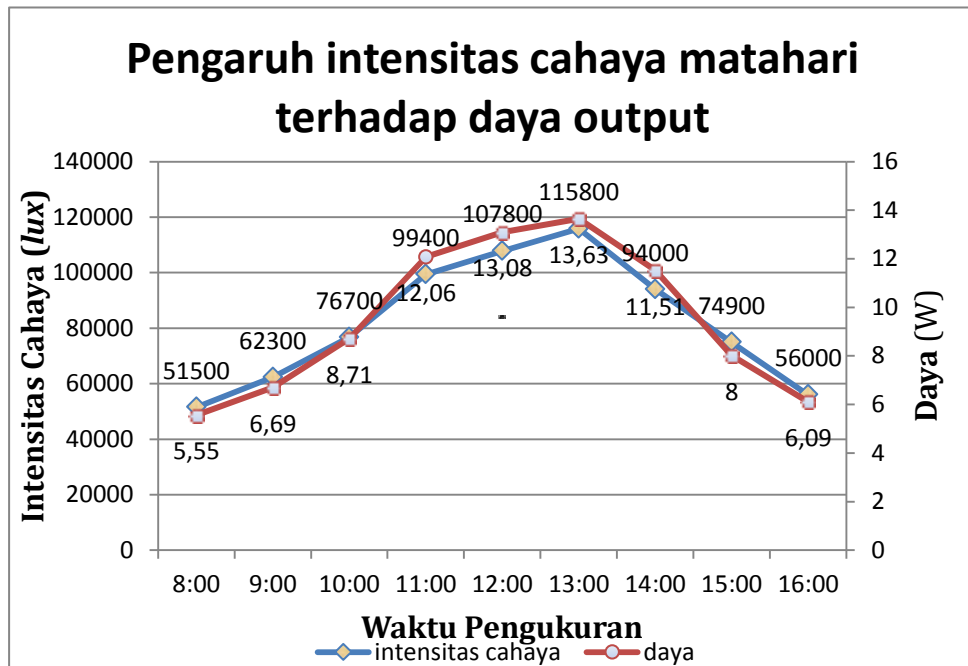
$$P_{rata-rata} = 7,69 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan di atas di peroleh daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya pada hari pertama sebesar 8,41 watt, hari kedua sebesar 9,48 watt, dan 7,69 watt pada hari ketiga.

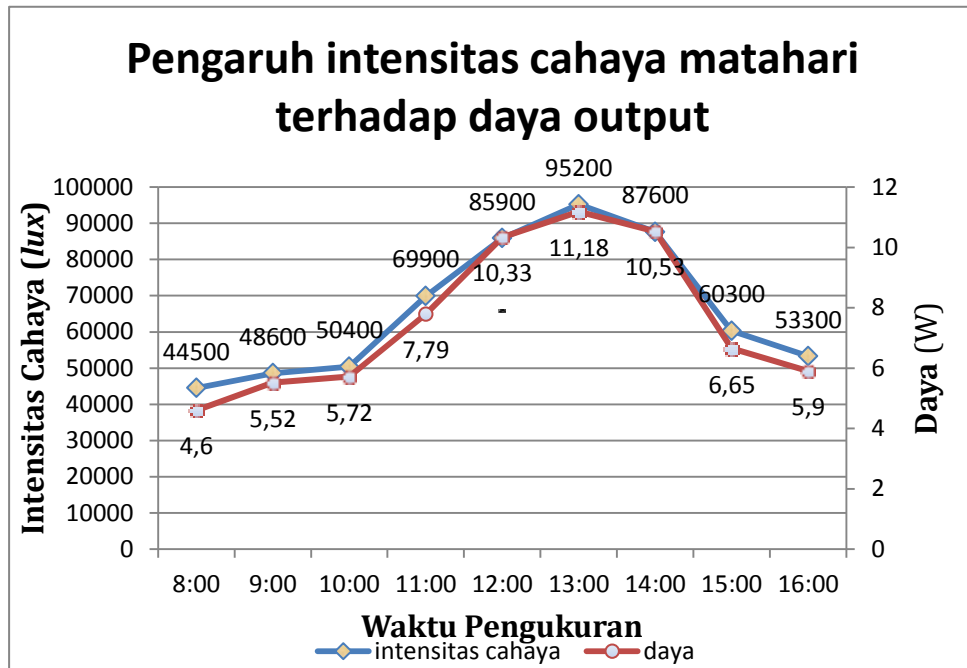
Setelah mendapatkan daya yang dihasilkan kita dapat mengetahui seberapa besar pengaruh intensitas cahaya terhadap daya *output* dari pembangkit tersebut.



Gambar 4. 4 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya *output* 15 Juli 2020



Gambar 4. 5 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya *output* 16 Juli 2020



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya *output* 17 Juli 2020

Pada grafik 4,4 s/d 4,6 dapat kita lihat bahwa pengaruh intensitas cahaya terhadap daya output dari pembangkit listrik tenaga surya. Dari ke tiga grafik tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin besar atau semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka akan semakin besar pula daya yang akan dihasilkan dan begitu juga sebaliknya apabila intensitas cahaya menurun maka daya yang dihasilkan juga menurun.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan data dari pembangkit listrik tenaga angin daya tertinggi yang dapat dihasilkan adalah 2,29 watt dengan kecepatan angin sebesar 4,4 m/s, daya terendah yang dihasilkan adalah 0,51 watt dengan kecepatan angin 1,8 m/s. Dan menghasilkan daya rata-rata pada hari pertama sebesar 1,18 watt, hari kedua sebesar 0,92 watt, dan 1,09 watt pada hari ketiga.
2. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan data dari pembangkit listrik tenaga surya daya tertinggi yang dapat dihasilkan adalah 13,63 watt dengan besar intensitas cahaya matahari 115800 *lux*, daya terendah yang dihasilkan adalah 4,60 watt dengan besar intensitas cahaya matahari 44200 *lux*. Dan menghasilkan daya rata-rata pada hari pertama sebesar 8,41 watt, hari kedua sebesar 9,48 watt, dan 7,69 watt pada hari ketiga.
3. Grafik yang dihasilkan dari semua data pengujian pada ke dua pembangkit, baik itu pembangkit listrik tenaga angin maupun pembangkit listrik tenaga surya bisa disimpulkan bahwa daya *output* yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap besarnya kecepatan angin pada PLTB dan besarnya intensitas cahaya pada PLTS, yang dimana

semakin besar kecepatan angin dan intensitas cahaya maka daya *output* yang dihasilkan semakin besar pula.

5.2. Saran

1. Dalam penelitian ini turbin angin yang digunakan adalah turbin angin poros horizontal dengan blade berbentuk taperlinier terbalik. Perlu dilakukan beberapa modifikasi dari bentuk blade agar lebih efisien dalam menangkap laju angin, dan untuk pemilihan generator sebaiknya dipilih generator yang mampu mengeluarkan arus dan tegangan yang besar pada kecepatan angin rendah sehingga mampu meningkatkan performansi dari turbin angin tersebut.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan untuk mengetahui apakah besar atau luasan blade turbin angin dapat mempengaruhi unjuk kerja yang dihasilkan oleh turbin angin poros horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlie, T. A., Rizal, T. A., & Arjuanda. (2015). Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW. *Jurnal Ilmiah JURUTERA*, 2(2), 72–78.
- Dzulfikar, D., & Broto, W. (2016). *OPTIMALISASI PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK TENAGA SURYA Abstrak. V*, 73–76.
- Hasyim, J. T., Teknik, F., Surakarta, U. M., & Terbarukan, E. (2013). *DAYA KELUARAN PANEL SEL SURYA*. 52–57.
- Hakim, L., Suyono, H., & Dachlan, H. S. (2018). Analisis Injeksi Pembangkit Hybrid Tenaga Surya-Angin pada Sistem GI Sengkaling Penyulang Pujon. *Jurnal EECCIS*, 11(1), 14–19.
- Harmini, H., & Nurhayati, T. (2018). Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Energi Solar Dan Angin. *ELEKTRIKA*, 10(2), 28.
- Lentera, P. T., Nusantara, A., Ciheras, L. A. N., Bachtiar, A., & Hayattul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Teknik Elektro*, 7(1), 35–45.
- Lubis, Z. (2018). *Metode Baru Merancang Sistemmekanis Kincir Angin Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. 3(3), 1–4.
- Nawawi, I., & Fatkhurrozi, B. (2016). Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Kecil Pada Bangunan Bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 1–7.

- Priyanto, B., Elektro, T., Teknik, F., & Muhammadiyah, U. (2013). Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya Dengan. *Neutrino*, 5(2), 105–115.
- Purwoto, B. H., Huda, I. F., Teknik, F., Surakarta, U. M., & Surya, P. (2000). Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 10–14.
- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Mukti, S. H. (2016). *Analisis Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 50 WP*. 37(2), 59–63.
- Sariman, S, A., M, K., & I, B. (2019). Analisa Efisiensi Pengaruh Parameter Cahaya Matahari Pada Fotovoltaik 100Wp Jenis Polikristal , Monokristal Dan Amorphous. *Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang, Esdm 2015*, 23–24.
- Suhartanto, T. (2014). Tenaga Hibrid (Angin dan Surya) di Pantai Baru Pandansimo Bantul Yogyakarta. *Jnteti*, 3(1), 76–82.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Wiwin Syahputra Siregar
Tempat, Tanggal Lahir : Tanjungbalai, 26 Desember 1996
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jln. Husni Thamrin Lk. Vi Kel. Pahang Kec. Datuk Bandar Kota Tanjungbalai
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Budi Ardianto Siregar
Ibu : Mardiana Sinaga
No Hp : 085212257045
E-Mail : Wiwinsyahputra237@Gmail.Com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1507220090
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SDN 132408 Kota Tanjungbalai	2008
2	SMP	SMPN 1 Kota Tanjungbalai	2011
3	SMK	SMKN 2 Kota Tanjungbalai	2014
4	Kuliah	UMSU (Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara)	2015-2021

**ANALISIS PERBANDINGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN
(GENERATOR 6 W) DAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA
(POLIKRISTALIN 20 WP) DI LUBUK PAKAM**

Wiwin Syahputra Siregar¹, Suwarno², Indra Roza³

**Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapt. Muchtar Basri No. 110-112, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Medan,
Sumatera Utara, Indonesia
Email: Wiwinsyahputra237@gmail.com**

Abstrak. Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Mengingat keterbatasan bahan bakar fosil yang digunakan oleh pembangkit listrik konvensional semakin menipis maka kita harus mencari opsi lain untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini. Oleh sebab itu para ilmuwan melakukan penelitian untuk memanfaatkan berbagai sumber dari alam yang dinamakan dengan energi terbarukan. penggunaan energi terbarukan, dalam hal ini kincir angin dan panel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang direkomendasikan karena ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara, suara seperti pada pembangkit konvensional. Dalam hal ini telah banyak penelitian mengenai pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan energi angin dan panas matahari. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan diantara kedua pembangkit tersebut pembangkit mana yang lebih optimal dalam menghasilkan daya listrik. Dalam penelitian ini generator dc 12 Vdc, panel surya berkapasitas 20 WP, controller 12/24 Vdc kapasitas 60 A, inverter kapasitas 500 watt, dan lampu led 5 watt. Selama pengujian didapatkan hasil daya terbesar yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin 2,29 watt dengan kecepatan angin 4,4 m/s dan daya terendah 0,51 watt dengan kecepatan angin 1,8 m/s. sedangkan daya terbesar yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya 13,63 watt dengan intensitas cahaya matahari 115800 lux, dan daya terendah 4,60 watt dengan intensitas cahaya matahari 44200 lux.

Kata kunci : PLTB, PLTS, dan perbandingan daya.

***Abstract.** Electrical energy is a necessity that is indispensable in everyday life. Given the depletion of fossil fuels used by conventional power plants, we must look for other options to meet the current needs of electrical energy. Therefore, scientists conduct research to take advantage of various sources from nature called renewable energy. the use of renewable energy, in this case windmills and solar panels, is the recommended type of power plant because it is environmentally friendly and does not cause air pollution, noise as in conventional generators. In this case, there have been many studies on electricity generation by utilizing wind energy and solar heat. This study aims to compare between the two generators, which one is more optimal in producing electric power. In this study, a 12 Vdc dc generator, a 20 WP solar panel, a 60 A 12/24 Vdc controller, a 500 watt capacitor inverter, and a 5 watt led lamp. During the test, it was found that the greatest power produced by the wind power plant was 2.29 watts with a wind speed of 4.4 m / s and the lowest power was 0.51 watts with a wind speed of 1.8 m / s. while the largest power generated by the solar power plant is 13.63 watts with a sunlight intensity of 115800 lux, and the lowest is 4.60 watts with a sunlight intensity of 44200 lux.*

***Keywords:** PLTB, PLTS, and power comparison.*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Ada dua jenis pembangkit energi listrik yaitu pembangkit energi listrik konvensional dan pembangkit energi listrik non konvensional. Pembangkit energi listrik konvensional ini bersumber dari energi tak terbarukan sedangkan pembangkit energi listrik non konvensional bersumber dari energi terbarukan. Ketersediaan sumber energi tak terbarukan berupa energi fosil yang semakin berkurang merupakan salah satu penyebab terjadinya krisis energi dunia. Fenomena ini juga berdampak pada sektor energi listrik dunia yang menuju ambang kritis dikarenakan pemenuhan energi listrik sebagian besar masih disuplai dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi fosil. Pertumbuhan ekonomi dan permintaan kebutuhan akan tenaga listrik yang terus meningkat perlu diimbangi dengan usaha penyediaan tenaga listrik yang mencukupi. Usaha penyediaan tenaga listrik meliputi usaha pembangkitan, transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik.

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat sehingga permintaan pembangkitan energi listrik juga meningkat. Saat ini, kebutuhan energi listrik dipenuhi oleh sumber energi konvensional seperti batu bara, minyak bumi, diesel, dan sebagainya (Harmini & Nurhayati, 2018). Ketersediaan suplai tenaga listrik secara kontinyu dengan mutu yang baik dan memenuhi standar keselamatan ketenagalistrikan sangat diperlukan guna mewujudkan sistem ketenagalistrikan nasional yang berkelanjutan, handal, aman dan akrab lingkungan (Suhartanto, 2014).

Mengingat Indonesia yang secara geografis dilewati garis khatulistiwa dan beriklim tropis, hal ini memberikan keuntungan tersendiri bagi Indonesia untuk mengembangkan pembangkit energi listrik baru terbarukan. Potensi energi surya di Indonesia rata-rata sebesar $4,8 \text{ kWh}/m^2$ per hari, sedangkan kecepatan angin di seluruh Indonesia berkisar antara 2,5–5,5 m/s pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah yang mampu membangkitkan energi listrik hingga 100 kW per turbin. Dengan demikian energi terbarukan angin dan surya sebagai pembangkit listrik tidak diragukan lagi sebagai sumber energi yang berkelanjutan di Indonesia (Hakim et al., 2018).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbandingan pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya untuk mengetahui mana di antara ke dua pembangkit tersebut yang lebih optimal dan efisien untuk digunakan. Pembangkit ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut di Indonesia untuk menekan peningkatan kebutuhan energi listrik setiap tahunnya yang menurun dan tidak tergantung pada pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil.

Berdasarkan uraian di atas maka mendorong penulis untuk mencoba menganalisis perbandingan daya pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya. Yang mana nantinya hasil dari penelitian ini dapat dijadikan kajian dalam menentukan perencanaan pembuatan pembangkit energi listrik alternatif yang lebih baik dan efektif.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB) merupakan suatu pembangkit listrik yang menggunakan kecepatan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Sistem pembangkitan listrik menggunakan angin sebagai sumber energi merupakan sistem alternatif yang sangat berkembang pesat pada saat ini, mengingat angin merupakan salah satu energi yang tidak terbatas dari alam.

Pembangkit Listrik tenaga angin ini sangat efektif digunakan di daerah yang memiliki potensi angin yang konstan, contohnya pada pegunungan atau di pesisir pantai karena pada daerah tersebut memiliki potensi angin yang bagus.

Skema Pembangkit Listrik Tenaga Angin



Pada gambar 2.5 menjelaskan bahwa kincir angin akan berputar apabila bilah bilah atau blade turbin dilewati oleh energi angin, Lalu blade yang berputar akan menggerakkan poros yang dikopelkan pada generator yang menyebabkan terjadinya ggl pada generator sehingga menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disalurkan ke *controller* untuk menstabilkan tegangan agar bisa disimpan pada baterai. Energi yang tersimpan pada baterai dapat langsung kita gunakan pada beban-beban DC (*load DC*) sedangkan untuk beban-beban AC (*load AC*) kita harus mengubah arus dc menjadi arus ac terlebih dahulu melalui rangkaian elektronika yang disebut dengan inverter agar bisa digunakan.

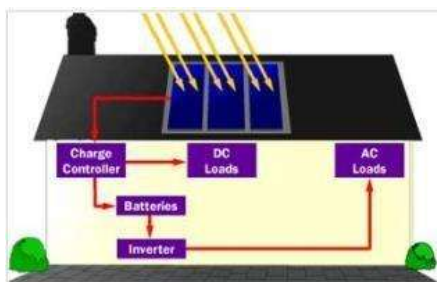
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya akan lebih banyak diminati karena dapat digunakan dimana saja. Dan energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara gratis, perawatannya murah dan sederhana, tidak terdapat peralatan yang bergerak, sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan pada pelumasan dan Peralatan bekerja tanpa suara dan tidak berdampak negatif terhadap lingkungan.



Gambar 2. 13 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya



Gambar 2. 14 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pada gambar 2.15 apabila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn junction, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban. Ketika arus listrik mengalir akan melewati *charge controller* yaitu peralatan yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan, setelah melwati peralatan *charge controller* akan ditampung di battery dengan arus DC. Setelah ditampung di bateray akan di distribusikan ke peralatan selanjutnya yaitu inverter, peralatan inverter ini berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC atau sebaliknya tapi disini hanya mengubah DC menjadi tegangan AC. Setelah di inverter akan distribusikan ke beban atau pengguna.

METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan penelitian

Adapun Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

15. PLTB dengan baling-baling berbentuk horizontal berfungsi untuk menangkap datangnya laju angin dan mengubah hembusan angin menjadi energi gerak yang akan memutar generator.
16. Generator DC berfungsi mengubah energi gerak menjadi energi listrik dalam bentuk tegangan DC yang akan mensuplai kebutuhan listrik.
17. Panel surya yang berfungsi sebagai alat yang akan merubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip efek *photovoltaic*.
18. *Charge Controller* berfungsi sebagai alat yang mengontrol arus untuk pengisian ke baterai sehingga tidak terjadi *over charging* (kelebihan pengisian daya karena baterai sudah penuh) dan kelebihan voltase dari generator dan panel surya.
19. Baterai (aki) berfungsi sebagai alat untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia.

20. Inverter berfungsi sebagai alat yang akan mengubah tegangan dc menjadi tegangan ac yang akan disuplai beban.
21. Kabel listrik jenis NYAF 1 x 2.5 mm2 berfungsi untuk menghantarkan aliran listrik dari sumber listrik menuju beban percobaan.
22. Kabel Duck sebagai tempat instalasi kabel-kabel listrik yang akan dihubungkan pada komponen.
23. Papan Triplek berfungsi sebagai tempat penempatan komponen listrik.
24. Anemometer berfungsi sebagai alat yang digunakan dalam mengukur kecepatan angin dan suhu udara.
25. Luxmeter berfungsi sebagai alat yang digunakan dalam mengukur intensitas cahaya matahari.
26. Multimeter berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam mengukur Tegangan, Arus, serta Hambatan listrik.
27. Tang ampere berfungsi sebagai alat yang akan digunakan dalam mengukur tegangan, arus, serta hambatan tanpa harus memotong kabel listrik.
28. *Tool kit* Berisikan alat-alat pendukung seperti : tang kombinasi, tang potong, tang buaya, obeng plus minus, tang pengupas kabel, tang skun kabel, dan lain sebagainya.

Data turbin angin

Tegangan keluaran (V_o): 12 Volt
 Arus keluaran (I_o) : 0,5 Ampere
 Daya maksimal (P) : 6 Watt
 Rpm maksimal : 450
 Jumlah sudu : 3 buah
 Daerah tangkapan angin

Data panel surya

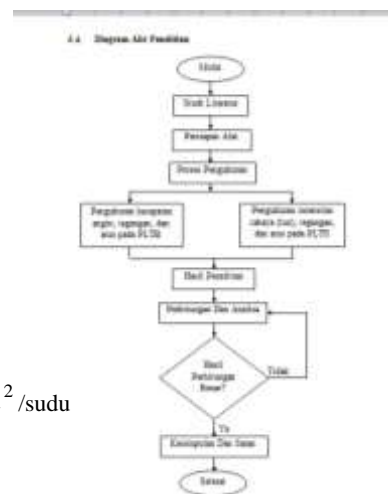
Panel surya : SURYA *Polycrystalline* Solar Module
 Mode Type : SSPP 20WP/12V
 Rate Maximum Power [Pmax] : 20 W
 Voltage at Pmp [Vmp] : 18 V
 Current at Pmp [Imp] : 1.11 A
 Open Circuit Voltage [Voc] : 21.6 V
 Weight : 2.0 kg
 Dimension [mm] : 486*360*25mm

Prosedur Penelitian

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur, menganalisa sistem pembangkitan listrik pada PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya). Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori dari (jurnal dan internet) yang berkaitan dengan penelitian ini.

Tahap ke dua melakukan persiapan alat untuk proses penelitian berupa berbagai alat ukur seperti anemometer, lux meter, multimeter, tang ampere, dan *tool kit*. Setelah persiapan alat selesai kemudian kita melakukan pengukuran pada kedua pembangkit untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan dari kedua pembangkit. Kemudian dari hasil pengukuran yg telah dilakukan kita dapatkan data berupa kecepatan angin, lux (intensitas cahaya), tegangan, dan arus. Data tersebut akan dilakukan perhitungan dan analisa untuk mendapatkan kesimpulan dan saran dari penelitian ini.

Diagram Alir Penelitian



: 100 cm^2 /sudu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

pada bab ini penulis akan melampirkan data-data penelitian dari kedua pembangkit yaitu pembangkit listrik tenaga angin dan tenaga surya yang diambil melalui pengukuran berupa *lux* (radiasi matahari), kecepatan angin, tegangan, dan arus pada masing-masing pembangkit.

Data Penelitian PLTB

Dalam penelitian pembangkit listrik tenaga angin membutuhkan energi angin sebagai penggerak mula turbin sehingga generator dapat berputar dan menghasilkan energi listrik. Data dalam pengujian ini dapat dilihat pada tabel berikut. Dalam tabel ini tercantum kecepatan angin, tegangan dan arus generator dc yang dilakukan selama 3 hari.

Tabel 4. 15. Pengukuran tanggal 15 Juli 2020 pada turbin angin

Waktu Pengukuran	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	2,2	3,64	0,18
09:00	2,1	3,46	0,18
10:00	3,3	5,34	0,24
11:00	2,9	4,81	0,22
12:00	2,7	4,48	0,21
13:00	3,4	5,64	0,25
14:00	3,2	5,18	0,24
15:00	3,1	4,96	0,23
16:00	4,4	7,41	0,31

Tabel 4. 16. Pengukuran tanggal 16 Juli 2020 pada turbin angin

Waktu Pengukuran	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	1,8	3,20	0,16
09:00	2,0	3,37	0,17
10:00	1,7	2,94	0,16
11:00	2,3	3,81	0,19
12:00	2,1	3,46	0,18
13:00	2,6	4,32	0,21
14:00	3,1	4,96	0,23
15:00	3,4	5,64	0,25
16:00	3,7	6,85	0,29

Tabel 4. 17. Pengukuran tanggal 17 Juli 2020 pada turbin angin

Waktu Pengukuran	Kecepatan angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	2,1	3,46	0,18
09:00	2,4	4,02	0,20
10:00	2,6	4,32	0,21
11:00	3,4	5,64	0,25
12:00	2,9	4,81	0,22
13:00	3,5	5,87	0,25
14:00	2,7	4,48	0,21
15:00	3,4	5,64	0,25
16:00	3,2	5,23	0,24

Data penelitian PLTS

Dalam penelitian pembangkit listrik tenaga surya membutuhkan energi sinar matahari yang akan diubah menjadi energi listrik. Data dalam percobaan ini tertera dalam tabel dibawah. Dalam tabel ini tercantum intensitas cahaya (*lux*), tegangan dan arus pada panel surya.

Tabel 4. 18. Pengukuran tanggal 15 Juli 2020 pada panel surya

Waktu Pengukuran	Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	44200	18,42	0,25
09:00	56000	18,46	0,33
10:00	64900	18,63	0,41
11:00	76100	18,51	0,46
12:00	85200	18,86	0,53
13:00	108000	18,74	0,71
14:00	99700	18,63	0,66
15:00	67800	18,50	0,42
16:00	50100	18,43	0,30

Tabel 4. 19. Pengukuran tanggal 16 Juli 2020 pada panel surya

Waktu Pengukuran	Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	51500	18,51	0,30
09:00	62300	18,60	0,36
10:00	76700	18,54	0,47
11:00	99400	18,56	0,65
12:00	107800	18,69	0,70
13:00	115800	18,94	0,72
14:00	94000	18,57	0,62
15:00	74900	18,62	0,43
16:00	56000	18,46	0,33

Tabel 4. 20. Pengukuran tanggal 17 Juli 2020 pada panel surya

Waktu Pengukuran	Intensitas cahaya (<i>lux</i>)	Tegangan (V)	Arus (A)
08:00	44500	18,42	0,25
09:00	48600	18,40	0,30
10:00	50400	18,45	0,31
11:00	69900	18,57	0,42
12:00	85900	18,79	0,55
13:00	95200	18,64	0,60
14:00	87600	18,81	0,56
15:00	60300	18,49	0,36
16:00	53300	18,44	0,32

Pembahasan

Berdasarkan data yang telah diukur maka dapat dihitung daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin maupun pembangkit listrik tenaga surya. Untuk menghitung daya yang dihasilkan berdasarkan data diperoleh besarnya daya adalah

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 3,64 \times 0,18 \\ &= 0,65 \text{ watt} \end{aligned}$$

Sehingga daya yang dihasilkan seperti pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4. 21 Hasil perhitungan daya di tabel 4.1

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	3,64	0,18	0,65
09:00	3,46	0,18	0,62
10:00	5,34	0,24	1,28
11:00	4,81	0,22	1,05
12:00	4,48	0,21	0,94
13:00	5,64	0,25	1,41
14:00	5,18	0,24	1,24
15:00	4,96	0,23	1,14
16:00	7,41	0,31	2,29

Tabel 4. 22 Hasil perhitungan daya di tabel 4.2

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	3,20	0,16	0,51
09:00	3,37	0,17	0,57
10:00	2,94	0,16	0,47
11:00	3,81	0,19	0,72
12:00	3,46	0,18	0,62
13:00	4,32	0,21	0,91
14:00	4,96	0,23	1,14
15:00	5,64	0,25	1,41
16:00	6,85	0,29	1,98

Tabel 4. 23 Hasil perhitungan daya di tabel 4.3

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	3,46	0,18	0,62
09:00	4,02	0,20	0,80
10:00	4,32	0,21	0,91
11:00	5,64	0,25	1,41
12:00	4,81	0,22	1,05
13:00	5,87	0,25	1,46
14:00	4,48	0,21	0,94
15:00	5,64	0,25	1,41
16:00	5,23	0,24	1,25

Tabel 4. 24 Hasil perhitungan daya di tabel 4.4

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	18,42	0,25	4,60
09:00	18,46	0,33	6,09
10:00	18,63	0,41	7,63
11:00	18,51	0,46	8,51
12:00	18,86	0,53	9,99
13:00	18,74	0,71	13,30
14:00	18,63	0,66	12,29
15:00	18,50	0,42	7,77
16:00	18,43	0,30	5,53

Tabel 4. 25 Hasil perhitungan daya di tabel 4.5

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	18,51	0,30	5,55
09:00	18,60	0,36	6,69
10:00	18,54	0,47	8,71
11:00	18,56	0,65	12,06
12:00	18,69	0,70	13,08
13:00	18,94	0,72	13,63
14:00	18,57	0,62	11,51
15:00	18,62	0,43	8,00
16:00	18,46	0,33	6,09

Tabel 4. 26 Hasil perhitungan daya di tabel 4.6

Waktu Pengukuran	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08:00	18,42	0,25	4,60
09:00	18,40	0,30	5,52
10:00	18,45	0,31	5,72
11:00	18,57	0,42	7,79
12:00	18,79	0,55	10,33
13:00	18,64	0,60	11,18
14:00	18,81	0,56	10,53
15:00	18,49	0,36	6,65
16:00	18,44	0,32	5,90

Pembahasan PLTB

Berdasarkan pembahasan dan perhitungan diatas kita dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga angin berdasarkan waktu dan kecepatan angin.

Tabel 4. 27. Kecepatan angin terhadap daya output pada PLTB

Waktu pengukuran	15 Juli 2020		16 Juli 2020		17 Juli 2020	
	Kecepatan angin	Daya	Kecepatan angin	Daya	Kecepatan angin	Daya
08:00	2,2	0,65	1,8	0,51	2,1	0,62
09:00	2,1	0,62	2,0	0,57	2,4	0,80
10:00	3,3	1,28	1,7	0,47	2,6	0,91
11:00	2,9	1,05	2,3	0,72	3,4	1,41
12:00	2,7	0,94	2,1	0,62	2,9	1,05
13:00	3,4	1,41	2,6	0,91	3,5	1,46
14:00	3,2	1,24	3,1	1,14	2,7	0,94
15:00	3,1	1,14	3,4	1,41	3,4	1,41
16:00	4,4	2,29	3,7	1,98	3,2	1,25

Berdasarkan data di atas kita dapat menghitung daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut yang dilakukan selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

Perhitungan:

- Daya rata-rata pada hari pertama

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{0,65 + 0,62 + 1,28 + 1,05 + 0,94 + 1,41 + 1,24 + 1,14 + 2,29}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 1,18 \text{ Watt}$$

- Daya rata-rata pada hari kedua

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{0,51 + 0,57 + 0,47 + 0,72 + 0,62 + 0,91 + 1,14 + 1,41 + 1,98}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 0,92 \text{ Watt}$$

- Daya rata-rata pada hari ketiga

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{0,62 + 0,80 + 0,91 + 1,41 + 1,05 + 1,46 + 0,94 + 1,41 + 1,25}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 1,09 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan di atas di peroleh daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin pada hari pertama sebesar 1,18 watt, hari kedua sebesar 0,92 watt, dan 1,09 watt pada hari ketiga.

Setelah mendapatkan daya yang dihasilkan kita dapat mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan angin terhadap daya output dari pembangkit tersebut.



Gambar 4.1 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya output 15 Juli 2020



Gambar 4.2 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya output 16 Juli 2020



Gambar 4.3 Grafik pengaruh kecepatan angin terhadap daya output 17 Juli 2020

Pada grafik 4,1 s/d 4,3 dapat kita lihat bahwa pengaruh kecepatan angin terhadap daya output dari pembangkit listrik tenaga angin. Dari ke tiga grafik tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin besar atau semakin tinggi kecepatan angin maka akan semakin besar pula daya yang akan dihasilkan dan begitu juga sebaliknya

apabila kecepatan angin itu kecil atau rendah maka daya yang dihasilkan juga kecil.

Pembahasan PLTS

Dari pembahasan dan perhitungan diatas kita dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga surya pada tiap-tiap jamnya.

Tabel 4. 28 Intensitas cahaya matahari terhadap daya output pada PLTS

Waktu pengukuran	15 Juli 2020		16 Juli 2020		17 Juli 2020	
	Intensitas cahaya	Daya	Intensitas cahaya	Daya	Intensitas cahaya	Daya
08:00	44200	4,60	51500	5,55	44500	4,60
09:00	56000	6,09	62300	6,69	48600	5,52
10:00	64900	7,63	76700	8,71	50400	5,72
11:00	76100	8,51	99400	12,06	69900	7,79
12:00	85200	9,99	107800	13,08	85900	10,33
13:00	108000	13,30	115800	13,63	95200	11,18
14:00	99700	12,29	94000	11,51	87600	10,53
15:00	67800	7,77	74900	8,00	60300	6,65
16:00	50100	5,53	56000	6,09	53300	5,90

Berdasarkan data di atas kita dapat menghitung daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut yang dilakukan selama pengujian dengan menggunakan persamaan berikut :

Perhitungan:

- Daya rata-rata pada hari pertama

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{4,60 + 6,09 + 7,63 + 8,51 + 9,99 + 13,30 + 12,29 + 7,77 + 5,53}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 8,41 \text{ Watt}$$

- Daya rata-rata pada hari kedua

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{5,55 + 6,69 + 8,71 + 12,06 + 13,08 + 13,63 + 11,51 + 8,00 + 6,09}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 9,48 \text{ Watt}$$

- Daya rata-rata pada hari ketiga

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n}$$

$$P_{rata-rata} = \frac{4,60 + 5,52 + 5,72 + 7,79 + 10,33 + 11,18 + 10,53 + 6,65 + 5,90}{9}$$

$$P_{rata-rata} = 7,69 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan di atas di peroleh daya rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga surya pada hari pertama sebesar 8,41 watt, hari kedua sebesar 9,48 watt, dan 7,69 watt pada hari ketiga.

Setelah mendapatkan daya yang dihasilkan kita dapat mengetahui seberapa besar pengaruh intensitas cahaya terhadap daya output dari pembangkit tersebut.



Gambar 4. 4 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya output 15 Juli 2020



Gambar 4. 5 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya output 16 Juli 2020



Gambar 4. 6 Grafik pengaruh intensitas cahaya terhadap daya output 17 Juli 2020

Pada grafik 4,4 s/d 4,6 dapat kita lihat bahwa pengaruh intensitas cahaya

terhadap daya output dari pembangkit listrik tenaga surya. Dari ke tiga grafik tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin besar atau semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya maka akan semakin besar pula daya yang akan dihasilkan dan begitu juga sebaliknya apabila intensitas cahaya menurun maka daya yang dihasilkan juga menurun.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

4. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan data dari pembangkit listrik tenaga angin daya tertinggi yang dapat dihasilkan adalah 2,29 watt dengan kecepatan angin sebesar 4,4 m/s, daya terendah yang dihasilkan adalah 0,51 watt dengan kecepatan angin 1,8 m/s. Dan menghasilkan daya rata-rata pada hari pertama sebesar 1,18 watt, hari kedua sebesar 0,92 watt, dan 1,09 watt pada hari ketiga.
5. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan data dari pembangkit listrik tenaga surya daya tertinggi yang dapat dihasilkan adalah 13,63 watt dengan besar intensitas cahaya matahari 115800 lux, daya terendah yang dihasilkan adalah 4,60 watt dengan besar intensitas cahaya matahari 44200 lux. Dan menghasilkan daya rata-rata pada hari pertama sebesar 8,41 watt, hari kedua sebesar 9,48 watt, dan 7,69 watt pada hari ketiga.
6. Grafik yang dihasilkan dari semua data pengujian pada ke dua pembangkit, baik itu pembangkit listrik tenaga angin maupun pembangkit listrik tenaga surya bisa disimpulkan bahwa daya *output* yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap besarnya kecepatan angin pada PLTB dan besarnya intensitas cahaya pada PLTS, yang dimana semakin besar kecepatan angin dan intensitas cahaya maka daya *output* yang dihasilkan semakin besar pula.

Saran

3. Dalam penelitian ini turbin angin yang digunakan adalah turbin angin poros horizontal dengan blade berbentuk taperlinier terbalik. Perlu dilakukan beberapa modifikasi dari bentuk blade agar lebih efisien dalam menangkap laju angin, dan untuk pemilihan generator sebaiknya dipilih generator yang mampu mengeluarkan arus dan tegangan yang besar pada kecepatan angin rendah sehingga mampu meningkatkan performansi dari turbin angin tersebut.
4. Perlu diadakan penelitian lanjutan untuk mengetahui apakah besar atau luasan blade turbin angin dapat mempengaruhi unjuk kerja yang dihasilkan oleh turbin angin poros horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adlie, T. A., Rizal, T. A., & Arjuanda. (2015). Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Dengan Daya Output 1 KW. *Jurnal Ilmiah JURUTERA*, 2(2), 72–78.
- Dzulfikar, D., & Broto, W. (2016). *OPTIMALISASI PEMANFAATAN ENERGI LISTRIK TENAGA SURYA Abstrak*. V, 73–76.
- Hasyim, J. T., Teknik, F., Surakarta, U. M., & Terbarukan, E. (2013). *DAYA KELUARAN PANEL SEL SURYA*. 52–57.
- Hakim, L., Suyono, H., & Dachlan, H. S. (2018). Analisis Injeksi Pembangkit Hybrid Tenaga Surya-Angin pada Sistem GI Sengkaling Penyulang Pujon. *Jurnal EECCIS*, 11(1), 14–19.
- Harmini, H., & Nurhayati, T. (2018). Pemodelan Sistem Pembangkit Hybrid Energi Solar Dan Angin. *ELEKTRIKA*, 10(2), 28.
- Lentera, P. T., Nusantara, A., Ciheras, L. A. N., Bachtiar, A., & Hayattul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin. *Teknik Elektro*, 7(1), 35–45.
- Lubis, Z. (2018). *Metode Baru Merancang*

*Sistemmekanis Kincir Angin
Pembangkit Listrik Tenaga Angin.*
3(3), 1–4.

Nawawi, I., & Fatkhurrozi, B. (2016).
Sistem Pembangkit Listrik Tenaga
Angin Skala Kecil Pada Bangunan
Bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*,
1(1), 1–7.

Priyanto, B., Elektro, T., Teknik, F., &
Muhammadiyah, U. (2013).
Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya
Dengan. *Neutrino*, 5(2), 105–115.

Purwoto, B. H., Huda, I. F., Teknik, F.,
Surakarta, U. M., & Surya, P. (2000).
Efisiensi Penggunaan Panel Surya
Sebagai Sumber. *Universitas
Muhamadiyah Surakarta*, 10–14.

Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Mukti, S.
H. (2016). *Analisis Desain Sistem
Pembangkit Listrik Tenaga Surya
Kapasitas 50 WP*. 37(2), 59–63.

Sariman, S, A., M, K., & I, B. (2019).
Analisa Efisiensi Pengaruh Parameter
Cahaya Matahari Pada Fotovoltaik
100Wp Jenis Polikristal , Monokristal
Dan Amorphous. *Teknik Elektro,
Universitas Sriwijaya, Palembang,
Esdm 2015*, 23–24.

Suhartanto, T. (2014). Tenaga Hibrid (
Angin dan Surya) di Pantai Baru
Pandansimo Bantul Yogyakarta.
Jnteti, 3(1), 76–82.

