



**EFISIENSI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA HYBRID BAYU BARU PANDANSIMO
BANTUL**

Skripsi

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Khalifatun Nisa Amini

NIM.5301417016

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2021**



UNNES

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



**EFISIENSI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA HYBRID BAYU BARU PANDANSIMO
BANTUL**

Skripsi

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro

Oleh

Khalifatun Nisa Amini

NIM.5301417016

PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

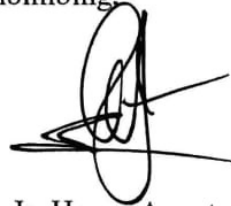
2021

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Khalifatun Nisa Amini
NIM : 5301417016
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Judul : Efisiensi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru Pandansimo Bantul

Skripsi atau tugas akhir ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi atau tugas akhir Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 10 Juni 2021
Pembimbing,



Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM.
NIP. 195907051986011002

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Efisiensi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru Pandansimo Bantul ” telah dipertahankan di depan sidang panitia ujian skripsi Fakultas Teknik Unnes pada tanggal 29 April 2021.

Oleh:

Nama : Khalifatun Nisa Amini
NIM : 5301417016
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro
Panitia :

Ketua Panitia

Ir. Ulfah Mediaty Arief, M. T., IPM.
NIP.196605051997022001

Penguji I

Drs. Said Sunardiyo, M.T
NIP.196505121991031003

Penguji II

Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.
NIP. 196209021987031002

Sekretaris

Drs. Ir. Sri Sukamta M. Si., IPM
NIP.196505081991031003

Pembimbing

Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM
NIP.195907051986011002

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



Drs. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 19691130199431001

PERNYATAAN KEASLIAN

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doctor), baik di Universitas Negeri Semarang maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 10 Juni 2021
Yang Membuat Pernyataan




MOTTO

1. Allah Tidak Membebani HambaNya di Luar Kesanggupannya (Al-Baqarah ayat 286)
2. Allah Selalu Bersama Orang – Orang Yang Sabar (Al-Anfal ayat 66)
3. Barangsiapa melepaskan kesusahan duniawi seorang Muslim, Allah akan melepaskan kesusahannya pada hari kiamat. Barangsiapa memudahkan seorang yang mendapat kesusahan, Allah akan memudahkan urusannya di dunia dan akhirat (HR Muslim)
4. If You Can't Fly, Run. If You Can't Run, Walk. Today We Will Survive. If You Can't Walk, Crawl. Even If You Have To Crawl, Gear Up. Point, Aim, Shoot! (Bangtan Sonyeondan)

SARI

Amini, Khalifatun Nisa. 2021. Efisiensi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru Pandansimo Bantul. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing: Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM.

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan di dunia saat ini. Pertambahan penduduk menyebabkan bertambahnya kebutuhan energi listrik di masyarakat. Sementara Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru memiliki peluang untuk bisa berkembang dalam perannya ikut membantu memenuhi permintaan konsumen, masyarakat Bantul yang selama ini belum mendapat pelayanan dari PLN secara merata. PLTH Bayu Baru berupaya dalam efisiensi kinerjanya agar produk energi yang dihasilkan benar-benar efektif, sehingga tidak terjadi pemborosan dari sisi produksi energi maupun dari sisi pemanfaatan energi listrik. Berkenaan dengan hal tersebut.

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan tujuan untuk menganalisis efisiensi menggunakan software HOMER sistem di PLTH Pandansimo. Teknik pengumpulan data yang digunakan yakni observasi, dokumentasi, dan wawancara.

Hasil penelitian menunjukkan PLTH Bayu Baru memiliki 34 turbin angin serta 238 panel surya dengan kapasitas total produksi 90kW namun hanya dibangkitkan sebesar 75kW. Total energi yang diproduksi oleh PLTH sebesar 27.555kWh/yr, yang dapat didistribusikan sebesar 12.773kWh/yr dengan Losses 2.644kWh/yr. Efisiensi energi pada PLTH Bayu Baru sebesar 44,52% yang berarti efisien. Nilai NPC pada PLTH sebesar \$250.229 sama dengan Rp.3.604.548.745 dengan COE sebesar \$2/kWh atau Rp.28.810/kWh.

Kata kunci- Efisiensi, Kinerja, PLTH

ABSTRACT

Amini, Khalifatun Nisa. 2021. Performance Efficiency Of Bayu Baru Pandansimo Bantul Hybrid Power Plant. Undergraduate Thesis. Department of Electrical Engineering. Faculty of Engineering. Universitas Negeri Semarang. Supervisor: Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM.

Electrical energy is a very important requirement for life in today's world. Population growth causes an increase in the need for electrical energy in the community. While the Bayu Baru Hybrid Power Plant (PLTH) has the opportunity to be able to develop in its role in helping to meet consumer demand, the people of Bantul have not received equal service from PLN. PLTH Bayu Baru strives for efficiency in its performance so that the energy products produced are truly effective, so that there is no waste in terms of energy production and in terms of utilization of electrical energy. In this regard.

This research is a quantitative descriptive study with the aim of analyzing the efficiency of using the HOMER software system at PLTH Pandansimo. Data collection techniques used are observation, documentation, and interviews.

The results showed that the Bayu Baru PLTH has 34 wind turbines and 238 solar panels with a total production capacity of 90kW but only generated 75kW. The total energy produced by PLTH is 27,555kWh/yr, which can be distributed at 12,773kWh/yr with a loss of 2,644kWh/yr. Energy efficiency in PLTH Bayu Baru is 44.52%, which means it is efficient. The NPC value in PLTH of \$250,229 is equal to Rp.3,604,548,745 with a COE of \$2/kWh or Rp.28,810/kWh.

Keywords- Efficiency, Performance, Hybrid Power Plant

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya ucapkan kehadirat Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Efisiensi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru Pandansimo Bantul”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro (S1) Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini, saya selaku penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM. Dekan Fakultas Teknik atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Ir. Ulfah Mediaty Arief, M. T., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang yang telah menyediakan fasilitas yang dibutuhkan mahasiswa.
4. Drs. Ir. Henry Ananta, M.Pd., IPM. selaku Dosen Pembimbing yang telah senantiasa memberikan waktu, ilmu, bimbingan serta arahan kepada penulis dalam penyusunan skripsi.
5. Seluruh dosen serta staff Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas

- Negeri Semarang yang telah memberikan bekal pengetahuan yang bermanfaat.
6. Seluruh Karyawan PLTH Bayu Baru Pandansimo Bantul yang telah membantu selama pengambilan data.
 7. Kedua Orang Tua serta saudara yang senantiasa memberikan motivasi, dukungan dan bantuan baik dalam bentuk moral maupun materiil.
 8. Sahabat dan seluruh rekan seperjuangan mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2017 Universitas Negeri Semarang.
 9. Serta berbagai pihak yang telah memberi bantuan dalam penyelesaian skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, sehingga penulis sangat mengharapkan saran dan masukan. Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Semarang, 10 Juni 2021



Khalifatun Nisa Amini

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN	vi
MOTTO	vii
SARI	viii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah	4
1.3. Batasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian.....	6
1.6. Manfaat Penelitian.....	6
1.7. Penegasan Istilah	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	8
2.1. Kajian Pustaka	8
2.2. Landasan Teori	11
2.3. Efisiensi	27
2.4. Kerangka Berpikir	31
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1. Desain Penelitian	30
3.2. Lokasi	31
3.3. Subjek Penelitian	31
3.5. Waktu Penelitian	32
3.6. Metode Pengumpulan Data	32
3.7. Teknik Analisa Data	34
BAB IV	36
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Hasil Penelitian.....	36
4.2. Pembahasan	54
4.3. Kelemahan Penelitian.....	60
BAB V SIMPULAN DAN SARAN.....	66
5.1. Simpulan.....	66
5.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Gambar Denah dan Skema PLTH Bayu Baru	15
Gambar 2. 2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTS-PLTB)	16
Gambar 2. 3. Denah Lokasi PLTH Bayu Baru	19
Gambar 2. 4. Gambar PV PLTH Bayu Baru	20
Gambar 2. 5. Mono-crystalline Solar Cell.....	22
Gambar 2. 6. Poly-crystalline Solar Cell.....	22
Gambar 2. 7. Thin Film Photovoltaic	23
Gambar 2. 8. Gambar PLTH Bayu Baru	24
Gambar 2. 9. horizontal-axis wind turbine	25
Gambar 2. 10. vertical-axis wind turbine	26
Gambar 2. 11. Peta potensi energi angin di Indonesia	27
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 4. 1. 2,5 kW Wind Turbin.....	36
Gambar 4. 2. 1 kW Wind Turbin.....	37
Gambar 4. 3. 1 kW Wind Turbin.....	38
Gambar 4. 4. Panel Surya sistem 240 V / 15 kW	39
Gambar 4. 5. Panel Surya sistem 48 V / 10 kW	40
Gambar 4. 6. Panel Surya sistem 48 V / 2 kW	41
Gambar 4. 7. Panel Surya sistem 48 V / 2 kW	42
Gambar 4. 8. Baterai Grup Barat.....	43
Gambar 4. 9. Baterai Penyimpanan KKP	44
Gambar 4. 10. Spesifikasi dari Baterai Grup KKP.....	44
Gambar 4. 11. Skema Pemodelan PLTH Bayu Baru	48
Gambar 4. 12. Grafik Beban Listrik Harian pada PLTH Bayu Baru	50
Gambar 4. 13. Grafik Beban Listrik Musiman pada PLTH Bayu Baru	50
Gambar 4. 14. Grafik Beban Listrik Tahunan pada PLTH Bayu Baru	50
Gambar 4. 15. Radiasi Matahari pada PLTH Bayu Baru	51
Gambar 4. 16. Kecepatan Angin pada PLTH Bayu Baru.....	52
Gambar 4. 17. PV Power Output.....	58
Gambar 4. 18. Output Turbin Angin	58
Gambar 4. 19. NPC dan COE.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Tabel Data PLTS	34
Tabel 3. 2. Tabel Data PLTB.....	34
Tabel 4. 1. Spesifikasi 2.5 kW Wind Turbin.....	37
Tabel 4. 2. Spesifikasi 1 kW Wind Turbin.....	37
Tabel 4. 3. Spesifikasi 1 kW Wind Turbin.....	38
Tabel 4. 4. Spesifikasi Panel Surya sistem 240 V / 15 kW	39
Tabel 4. 5. Spesifikasi Panel Surya sistem 48 V / 10 kW	40
Tabel 4. 6. Spesifikasi Panel Surya sistem 48 V / 2 kW	41
Tabel 4. 7. Spesifikasi Panel Surya sistem 48 V / 2 kW	42
Tabel 4. 8. Tabel Spesifikasi Baterai Grup Barat.....	43
Tabel 4. 9 Data Rata-Rata Beban	49
Tabel 4. 10. Rata-Rata Beban Listrik Tahunan pada PLTH Bayu Baru	51
Tabel 4. 11. Tabel Radiasi Matahari pada PLTH Bayu Baru.....	51
Tabel 4. 12. Tabel Index Ekonomi PV pada PLTH Bayu Baru	52
Tabel 4. 13. Tabel Kecepatan Angin pada PLTH Bayu Baru	52
Tabel 4. 14. Tabel Index Ekonomi Turbin pada PLTH Bayu Baru.....	53
Tabel 4. 15. Index Ekonomi Battery.....	53
Tabel 4. 16. Index Ekonomi Conveter.....	53
Tabel 4. 17. PV Power.....	57
Tabel 4. 18. Turbin Power	58
Tabel 4. 19. Total Energi.....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan di dunia saat ini. Pertambahan penduduk menyebabkan bertambahnya kebutuhan energi listrik di masyarakat (Abduh, 2016). Selama ini masyarakat mengandalkan sumber energi listrik yang berasal dari bahan-bahan yang tidak ramah lingkungan, misalnya energi listrik berbahan bakar batu bara, bahan minyak bumi dan sumber energi lain yang tidak terbarukan. Jika terus menerus digunakan, sumber energi listrik tidak terbarukan itu lama-kelamaan akan habis (Hamdi, 2016). Oleh karena itu perlunya untuk mencari sumber energi listrik alternatif yang tidak menyebabkan kerusakan lingkungan yaitu, energi terbarukan.

Indonesia memiliki potensi yang luar biasa kaya akan energi terbarukan (Caraka dan Ekacitta, 2016). Pemanfaatan energi Karunia Tuhan itu belum maksimal. Masih banyak peluang untuk pengembangan pembangkit listrik energi terbarukan tersebut, baik efektivitas pemanfaatan maupun pengembangan sumber dayanya.

Pemerintah mencatat, sepanjang 2015 lalu, total pembangkit listrik tenaga EBT baru mampu memasok setidaknya untuk 9,4 GW listrik. Komposisinya, tenaga bayu sebesar 0,4 GW; surya 0,3 GW; bioenergi 1,9 GW; mikrohidro 0,3 GW; air 5,1 GW; dan panas bumi 1,4 GW. Angka ini ditargetkan akan meningkat pada 2016

dengan total kapasitas 11,90 GW. Besaran ini akan terus meningkat hingga mencapai 41,79 GW pada 2025 mendatang dengan bauran 23 persen EBT (Kementrian ESDM, 2016).

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari alam dan sifatnya berkelanjutan seperti cahaya matahari, angin, dan air (Kementrian ESDM, 2018). Energi terbarukan secara siklus mampu memperbarui diri dengan sendirinya dan cepat dipulihkan secara alami. Energi terbarukan tak pernah habis meskipun dipakai dalam jangka waktu yang lama (Adzikri, Notosudjono, dan Suhendi, 2017).

Energi terbarukan memiliki keunggulan ramah lingkungan. Kelestarian alam dan kondisi lingkungan tetap terjaga dengan baik (Kenfacka *et al*, 2017). Energi terbarukan juga dapat di aplikasikan di mana saja termasuk di rumah-rumah. Pemanfaatan energi terbarukan dapat membantu industri rumahan yang membutuhkan listrik di atas rata-rata untuk menghemat biaya produksi yang harus dikeluarkan .

Kebutuhan listrik untuk rumah tangga saat ini semakin meningkat sehingga harus menambah daya listrik dan menambah pengeluaran yang harus dibayarkan untuk kelistrikan di rumah (Fadillah, 2015). Rumah pada umumnya menggunakan energi listrik yang berasal dari PLN karena PLN merupakan BUMN utama yang menyuplai listrik. Namun penyediaan energi listrik yang dilakukan oleh PLN sampai saat ini masih belum dapat memenuhi kebutuhan masyarakat secara keseluruhan. Tingginya biaya infrastruktur pembangkit tenaga listrik dan tingginya biaya proses produksi listrik menyebabkan tingginya Tarif Dasar Listrik yang harus dibayarkan konsumen (Ananta & Isdiyarto, 2014)

Kebutuhan energi di Yogyakarta pada umumnya dan di Bantul khususnya, terus meningkat karena pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi yang dibuktikan dengan meningkatnya populasi penduduk di Bantul dari tahun 2010 hingga 2018 sebesar 95.189 orang (BPS Kab. Bantul, 2019). Sedangkan energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama pembangkit listrik ketersediannya sangat terbatas dan terus mengalami devisa (Elinur et al, 2010). Proses alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil ini.

Pada tahun 2018, produksi pembangkit listrik di Indonesia mencapai 283,8 TWh yang sebagian besar dihasilkan dari pembangkit listrik berbahan bakar batubara sebesar 56,4%, pembangkit listrik berbahan bakar gas sebesar 20,2% dan BBM hanya 6,3%, sementara 17,1% berasal dari EBT (DEN, 2019)

Pada tahun 2013 jumlah KK di Kabupaten Bantul yang belum menggunakan listrik sebesar 314,535 (Dinas Sumber Daya Air, 2013). Menurut data BPS jumlah penduduk di Kabupaten Bantul pada tahun 2017 sebesar 955.015 dengan KK sebanyak 314,535. Jumlah pelanggan PLN di Kabupaten Bantul sebesar 310 194 (BPS, 2017). Artinya masih banyak masyarakat yang belum terjangkau oleh energi listrik.

PLTH Bayu Baru mampu menyuplai energi listrik pada Warung Kuliner Barat, Warung Kuliner Tengah, Warung Kuliner Timur, Kantor PLTH dan Penerangan Jalan Umum dengan total keseluruhan beban sebesar 7199 Watt. Kinerja pada sistem 240 V berdasarkan pengukuran dan perhitungan produksi tertinggi yang dihasilkan yaitu 11.7 kW atau 65% dari total pembangkit yang terpasang yaitu 19 kW. Kinerja sistem 48 V berdasarkan pengukuran dan

perhitungan produksi tertinggi yang dihasilkan yaitu 38 kW atau 214% dari total pembangkit terpasang yaitu 18 kW. Dikarenakan beban selalu aktif ketika pembangkit mengisi baterai, sehingga ketika baterai sudah terisi penuh akan langsung disuplai ke beban. Ketika baterai dalam keadaan yang sedang menyuplai beban, pada saat itu juga pembangkit memproduksi listrik. Maka selalu ada energi listrik yang masuk dan keluar secara bersamaan (Diansyah, 2018).

Sementara PLTH Bayu Baru memiliki peluang untuk bisa berkembang dalam perannya ikut membantu memenuhi permintaan konsumen, masyarakat Bantul yang selama ini belum mendapat pelayanan dari PLN secara merata. PLTH Bayu Baru berupaya dalam efisiensi kinerjanya agar produk energi yang dihasilkan benar-benar efektif, sehingga tidak terjadi pemborosan dari sisi produksi energi maupun dari sisi pemanfaatan energi listrik. Berkenaan dengan hal tersebut, maka dilakukanlah penelitian dengan judul **“Efisiensi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru Pandansimo Bantul”**.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Menipisnya sumber energi batubara sehingga diperlukan pemanfaatan energi baru dan terbarukan.
2. Besarnya potensi energi terbarukan surya dan bayu di Indonesia yang.
3. Perlunya efisiensi energi dan biaya listrik.
4. Banyaknya kebutuhan akan energi listrik.

5. Belum terpenuhinya kebutuhan energi listrik secara memadai.
6. Mahalnya harga listrik On-Grid (PLN) bagi sebagian masyarakat.
7. Sebagian masyarakat yang belum terjangkau aliran listrik On-Grid (PLN).
8. Semakin banyak teknologi mutakhir tentang produksi dan distribusi listrik
9. Perlunya efisiensi kinerja pada PLTH Bayu Baru

1.3. Batasan Masalah

Penelitian yang dilakukan oleh penulis harus mempunyai batasan masalah agar penelitian dan pembahasan dapat fokus sesuai judul yang diambil. Maka dari itu berikut adalah batasan masalah yang ditentukan :

1. Penelitian dilakukan di PLTH Bayu Baru Pandansimo, Ngentak, Poncosari, Srandakan, Bantul, DIY.
2. Pembahasan berdasarkan pada analisa perhitungan dari data primer maupun sekunder hasil pengukuran dari sistem pembangkit pada Bulan Januari-Februari Tahun 2021.
3. Efisiensi kinerja berdasarkan perhitungan pada *software* HOMER Pro.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, indentifikasi masalah, dan batasan masalah yang telah dikemukakan, maka bisa dirumuskan permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini yakni bagaimana efisiensi kinerja PLTH Bayu Baru Pandansimo Bantul?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas adapun tujuan dari penelitian ini adalah mendeskripsikan efisiensi kinerja PLTH Bayu Baru Pandansimo Bantul.

1.6. Manfaat Penelitian

Dilihat dari tujuan penelitian di atas, diharapkan penelitian yang telah dilakukan dapat dimanfaatkan untuk beberapa pihak, antara lain:

1. Bagi instansi PLTH
 - a. Diperolehnya informasi dalam rangka perbaikan kinerja di PLTH Bayu Baru.
 - b. Diperolehnya informasi dalam rangka efisiensi kinerja di PLTH Bayu Baru.
2. Bagi mahasiswa
 - a. Diperolehnya pengalaman dan pengetahuan produksi energi listrik PLTH Bayu Baru Pandansimo
 - b. Teraktualisasinya pengalaman mahasiswa tentang produksi dan distribusi energi listrik PLTH Bayu Baru Pandansimo
1. Bagi Civitas Akademika
 - a. Memperoleh mitra kerjasama dengan PLTH Bayu Baru.
 - b. Memiliki referensi untuk penelitian tentang PLTH di masa mendatang.

1.7. Penegasan Istilah

1. PLTH: Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) merupakan pembangkit listrik yang terdiri dari 2 atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda.

2. Kinerja: Menurut KBBI daring kinerja adalah sesuatu yang dicapai; prestasi yang diperlihatkan; kemampuan kerja (tentang peralatan).
3. Efisiensi: Menurut KBBI daring adalah ketepatan cara (dalam menjalankan sesuatu dengan tidak membuang waktu, tenaga, biaya. Sedangkan efisiensi energi listrik adalah perbandingan antara energi listrik yang dapat dimanfaatkan terhadap energi listrik yang dibutuhkan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Terdapat berbagai kajian yang membahas mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid yang pernah dilakukan oleh beberapa peneliti, di antaranya sebagai berikut:

1. Penelitian oleh M.K. Deshmukh dan S.S. Deshmukh (2006) bertujuan meneliti perkembangan dalam bidang surya, angin, dan teknologi energi berkelanjutan lainnya, menganalisis kinerja mereka, dan membandingkan secara akurat dengan sumber pembangkit konvensional lainnya. Metodologi yang digunakan ialah pemodelan komponen HRES, desain HRES dan evaluasinya. Hasil dari penelitian yakni adanya peningkatan nilai daya dan juga distribusi sistem energi terbarukan.
2. Penelitian oleh Usman, Kamal, dan Setiawan (2014) bertujuan merancang model sistem optimalisasi PLTH berdasarkan potensi alam di Pantai Baru Pandansimo. Hasil analisis penelitian ini, pembangkit listrik yang optimal berkapasitas 2,5 kW dengan jumlah 24 unit untuk turbin angin dan 27 kW untuk solar sel. Kapasitas masing-masing 1 kW, 2.5 kW dan 10 kW untuk turbin angin dan solar sel masing-masing berkapasitas 100 WP, 180 WP dan 220 WP. Hasil persentase energi listrik yang dihasilkan didapatkan PLTS sebesar 33 % dan PLTB sebesar 67 % dengan total energi yang dihasilkan sebesar 117.681

kW/tahun, Dari hasil perhitungan keekonomian proyek PLTH untuk harga jual di Pantai Baru Pandansimo yang ideal sebesar U\$ 45 Sen/kWh, sedangkan harga jual di Pantai Baru Pandansimo sekarang sebesar U\$ 3 Sen/kWh dengan nilai BCR sebesar 0.04 dengan demikian maka proyek PLTH dikatakan tidak layak dibangun.

3. Penelitian yang dilakukan oleh Isdiyarto, Ananta, dan Purbawanto (2014) bertujuan untuk merancang dan membuat model sistem hibrid PLT Angin dengan PLT Surya skala kecil untuk kebutuhan rumah tangga di daerah perbukitan sekitar kampus konservasi Unnes. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development*. Hasil penelitian ini yakni tegangan relatif tetap pada kondisi cuaca yang cerah, dan menurun pada kondisi cuaca yang berawan, hal ini menunjukkan bahwa kondisi sinar matahari sangat berpengaruh pada besar kecilnya tegangan dan arus listrik yang dibangkitkan.
4. Penelitian oleh Pradityo, Winardi, dan Nugroho (2015) bertujuan menganalisis kinerja turbin angin dan panel surya pada PLTH Bayu Baru, mengetahui besar potensi optimal energi terbarukan (energi angin dan cahaya matahari) yang terdapat di PLTH Bayu Baru, melakukan analisis kinerja sistem PLTH Bayu Baru untuk kondisi off-grid, mekonfigurasi untuk pengoptimalan kinerja dan ekonomi sistem PLTH Bayu Baru untuk kondisi Off-grid. Potensi PLTH Bayu Baru dengan menggunakan panel surya dan turbin angin dengan kapasitas 90 kW dengan potensi energi matahari dan kecepatan angin yang ada, PLTH Bayu Baru dapat menghasilkan energi listrik maksimal sebesar 100.395 kWh/ tahun. Keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan lama proyek 25 tahun

menghasilkan NPC sebesar \$ 583.569, dan COE sebesar \$ 1,198/ kWh. Komponen pembangkit yang paling ekonomis dilihat dari biaya modal awal dengan hasil energi yang dibangkitkan adalah turbin angin 5 kW dan turbin angin 2,5 kW. Penggabungan sistem PLTH Bayu Baru 4 Grup menjadi satu sistem akan lebih efektif, karena kontinuitas penyaluran energi listrik ke beban akan lebih terjaga dan lebih handal.

5. Penelitian oleh Winardi, Nugroho, dan Pradityo (2018) bertujuan menganalisis kinerja turbin angin dan panel surya pada PLTH Bayu Baru, mengetahui besar potensi optimal energi terbarukan (energi angin dan cahaya matahari) yang terdapat di PLTH Bayu Baru, melakukan analisis kinerja sistem PLTH Bayu Baru untuk kondisi off-grid, mekonfigurasi untuk pengoptimalan kinerja dan ekonomi sistem PLTH Bayu Baru untuk kondisi Off-grid. Potensi PLTH Bayu Baru dengan menggunakan panel surya dan turbin angin dengan kapasitas 90 kW dengan potensi energi matahari dan kecepatan angin yang ada, PLTH Bayu Baru dapat menghasilkan energi listrik maksimal sebesar 100.395 kWh/ tahun. Keseluruhan sistem PLTH Bayu Baru dengan lama proyek 25 tahun menghasilkan NPC sebesar \$ 583.569, dan COE sebesar \$ 1,198/ kWh. Komponen pembangkit yang paling ekonomis dilihat dari biaya modal awal dengan hasil energi yang dibangkitkan adalah turbin angin 5 kW dan turbin angin 2,5 kW. Penggabungan sistem PLTH Bayu Baru 4 Grup menjadi satu sistem akan lebih efektif, karena kontinuitas penyaluran energi listrik ke beban akan lebih terjaga dan lebih handal.

2.2.Landasan Teori

2.2.1.Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru

Sistem energi hibrida atau sistem tenaga hibrida biasanya terdiri dari dua atau lebih sumber energi terbarukan, yang digunakan bersama untuk meningkatkan efisiensi sistem dan keseimbangan pasokan energi yang lebih besar. Sistem energi hibrida menggabungkan dua atau lebih bentuk pembangkit energi, penyimpanan atau teknologi penggunaan akhir, dan mereka dapat memberikan banyak manfaat dibandingkan dengan sistem sumber tunggal. (Zohuri, 2018) .

Secara umum, hibridisasi terdiri atas penggabungan beberapa sumber energi dan unit penyimpanan dalam sistem yang sama untuk mengoptimalkan produksi dan manajemen energi (Rekioua, 2020)

Pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) adalah gabungan atau integrasi antara beberapa jenis pembangkit listrik berbasis BBM dengan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk PLTH adalah generator diesel, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), mikrohidro, pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) (Herlina, 2009). Pembangkit listrik tenaga hibrida juga merupakan salah satu sistem pembangkit listrik alternatif yang sangat tepat untuk diaplikasikan pada daerah-daerah yang belum tersentuh oleh listrik PLN (Saputra M. , 2018).

Berdasarkan pendapat tersebut dapat ditegaskan bahwa PLTH Bayu Baru Pandansimo merupakan pembangkit listrik dengan menggabungkan dua sumber energi terbarukan, yaitu energi surya dan bayu. Dua energi tersebut secara bersama-

sama bekerja sama menghasilkan energi yang selanjutnya diolah menjadi energi listrik. Adapun cara kerja kedua energi tersebut diuraikan, sebagai berikut.

PLTH merupakan sistem inovasi daerah guna meningkatkan kebutuhan masyarakat. Dibangunnya PLTH ini menerapkan sumber alam demi kemajuan masyarakat daerah seperti dalam bidang pariwisata, perikanan, pertanian, edukasi dan lain-lain. Kini dengan adanya PLTH berbagai aktivitas perekonomian seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata semakin terus berkembang (Makhrus M. A., 2019).

2.2.1.1. Sejarah PLTH

Pembangunan PLTH berawal dari ide sederhana, dengan tujuan ingin membantu nelayan di pesisir Pantai Biru, Bantul, Yogyakarta. Dari gagasan tersebut diharapkan para nelayan bisa mengawetkan ikan hasil tangkapannya yang tidak habis terjual. Selain itu, pembangunan PLTH ini juga dapat memberi listrik kepada masyarakat di daerah terpencil di sekitar pantai yang belum terjangkau dengan adanya suplai listrik dari PLN.

Melalui proyek percobaan (*pilot project*) yang dipimpin oleh Kementerian Riset dan Teknologi (RISTEK) dan Instansi lain meliputi, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP), Pemerintah Kabupaten Bantul, Universitas Gajah Mada (UGM), E-Wind Energy dan Komunitas Ilmuwan dan Ahli Teknologi Indonesia secara bersama-sama membangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid. Sistem Tenaga Hybrid ini akhirnya dibangun pada tanggal 27 Juli 2010, ditandai dengan tanda *Momemorandum of*

Understanding (MoU) antara kementerian RISTEK, Pemerintah Kabupaten Bantul, LAPAN, dan UGM.

KKP merupakan lembaga utama yang mendasari proyek pembangunan PLTH Bayu Baru, Pandansimo. Proyek yang dimiliki KKP ditujukan untuk pengembangan komunitas nelayan yang kurang mampu di Pandansimo. Proyek pertama tersebut berkolaborasi dengan RISTEK, dengan produk penyediaan es kristal yang digunakan untuk pengawetan ikan bagi para nelayan sekitar di wilayah Bayu Baru. Mesin es kristal yang dipasang dari Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid dengan sistem, 240V pada Photovoltaic (PV) dan turbin angin 48V pada grup timur

RISTEK merupakan koordinator dari pengadaan proyek Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Bayu Baru Pandansimo. Ide yang muncul untuk pembangunan sebuah pembangkit dengan energi terbarukan yang dapat memberi listrik di daerah terpencil yang tidak bisa dijangkau oleh fasilitas pemerintah melalui PLN. Sampai saat ini, RISTEK masih menyediakan biaya operasional dan pemeliharaan sistem yang ada di pembangkit maupun workshop.

LAPAN merupakan pelaksana utama dari PLTH ini. Lembaga ini bertanggung jawab atas sistem operasional dan manajemen harian, dan juga meningkatkan data untuk komunitas individu atau akademik riset di sistem hibrid. Tugas utama LAPAN adalah menginstalasi turbin angin buatan sendiri.

Tujuan utama dari pembangkit ini adalah untuk meningkatkan informasi tentang performa dari turbin angin dan panel surya, dalam rangka memberikan energi pada daerah terpencil. Untuk mendapatkan informasi, sebuah lembaga

akademis UGM mengadakan penelitian dengan menganalisis sistem dan membuat beberapa rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem.

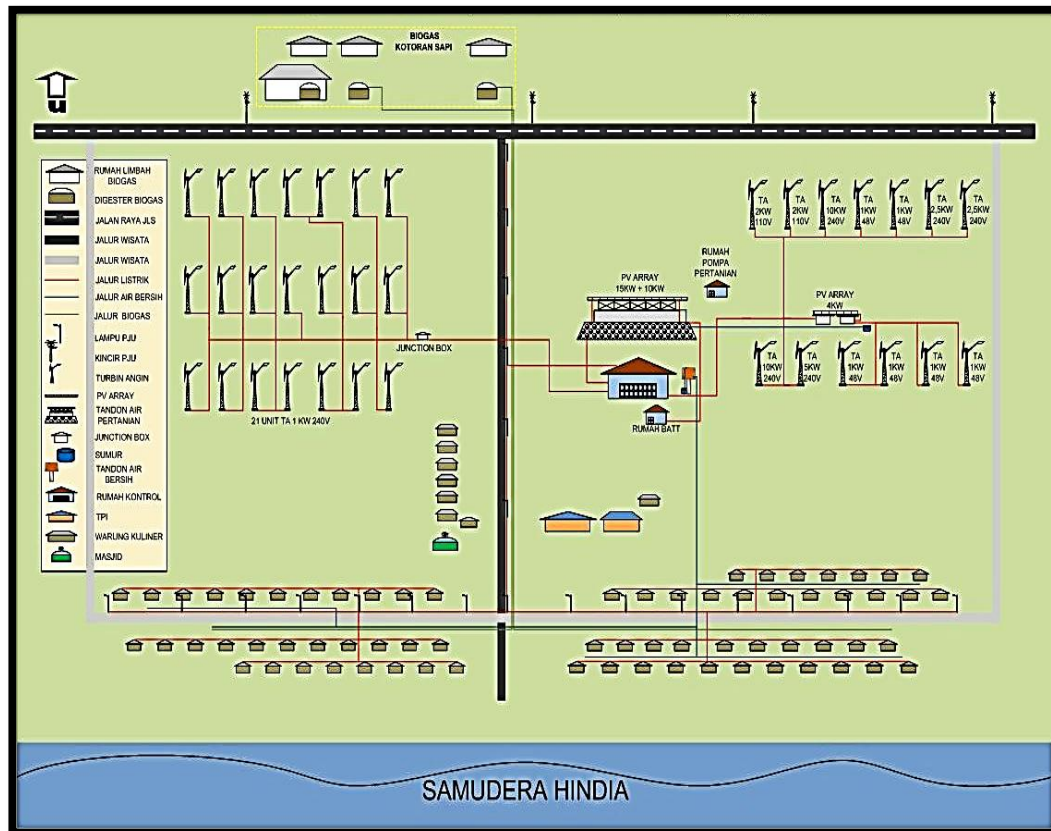
MITI atau yang lebih sering dikenal dengan “Masyarakat Ilmuwan dan Teknologi Indonesia” merupakan komunitas yang berkontribusi pada PLTH Bayu Baru Pandansimo. Bentuk kontribusi tersebut berupa riset produk, system inovasi, dan rekomendasi untuk perbaikan yang lebih baik dari sistem.

E-Wind Energy merupakan lembaga yang ikut berkontribusi dalam instalasi turbin angin sistem hybrid tersebut untuk peningkatan rasa kepemilikan dari masyarakat terhadap PLTH Bayu Baru Pandansimo. Lembaga ini terdiri atas masyarakat setempat yang nota bene berprofesi sebagai nelayan. Hal tersebut berarti bahwa masyarakat juga memiliki kontribusi terhadap pemeliharaan daerah PLTH dan sekitarnya.

PLTH merupakan sistem inovasi daerah guna mencukupi atas meningkatnya kebutuhan listrik masyarakat. Dibangunnya PLTH ini sebagai penerapan sumber alam demi kemajuan masyarakat daerah seperti dalam bidang pariwisata, perikanan, pertanian, edukasi dan lain-lain. Kini dengan adanya PLTH berbagai aktivitas perekonomian seperti pertanian, perikanan, dan pariwisata semakin terus berkembang (Makhrus, 2019).

PLTH Bayu Baru adalah pembangkit listrik yang terdiri dari PLTS dengan panel surya dan PLTB dengan turbin angin (Pradityo, Winardi, dan Nugroho, 2015). Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll.

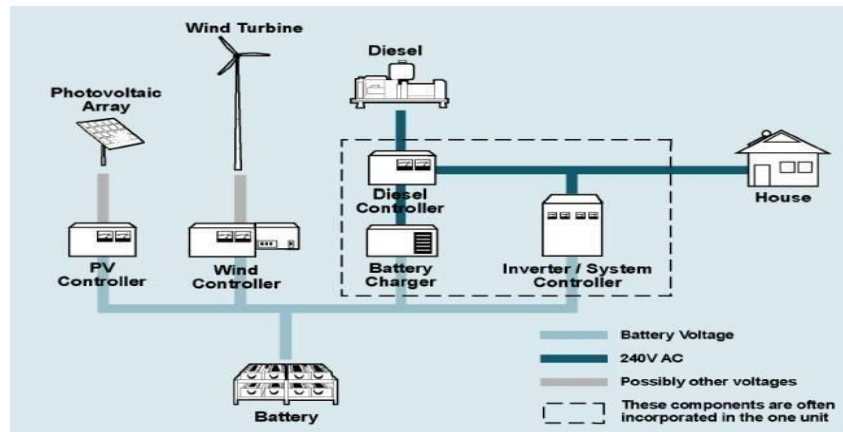
Sedangkan sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,33 mm, yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. (Santosa, 2017).



Gambar 2. 1. Gambar Denah dan Skema PLTH Bayu Baru
Sumber Dok. PLTH

PLTB pada PLTH Bayu Baru memiliki total kapasitas yang terpasang sebesar 60 kW dengan masing-masing turbin berkapasitas 10 kW sebanyak 2 unit, 2,5 kW sebanyak 6 unit, 1 kW sebanyak 25 unit dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memiliki total kapasitas terpasang sebesar 27 kW dengan masing-masing PV berkapasitas 220 WP sebanyak 48 unit, 180 WP sebanyak 150 dan 100 WP sebanyak 20 unit (Usman, 2014)

Berikut adalah bentuk dari sistem pembangkit listrik tenaga hibrid yang merupakan penggabungan antara PLTS dengan PLTB.



Gambar 2. 2. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH-PLTB)
 Sumber : Sedo Energy, 2007) (SEDO, 2007)

Dari konfigurasi sistem PLTH diatas ada beberapa komponen yang digunakan dalam sistem, antara lain :

1. Photovoltaic Array : komponen yang digunakan untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik. PV array adalah kumpulan beberapa modul PV yang dirangkai seri ataupun paralel. Jumlah dan besaran output tegangan dan arus disesuaikan dengan kebutuhan beban. Ada beberapa fakto yang memengaruhi kinerja PV array yaitu bahan pembuat PV, hambatan listrik beban, intensitas penyinaran matahari, suhu temperatur panel PV dan bayangan.
2. Wind Turbine : kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Wind turbine ini memanfaatkan angin untuk menggerakkan motor agar dapat berputar dan menghasilkan listrik.
3. Generator : generator berfungsi sebagai pembangkit listrik cadangan ketika sistem PLTH antara PLTH-PLTB tidak dapat menghasilkan listrik untuk

memenuhi kebutuhan beban. Spesifikasi generator disesuaikan dengan kebutuhan beban untuk menghindari low voltage.

4. Photovoltaic Controller : komponen ini digunakan untuk mengatur tegangan dari PV yang masuk ke baterai. PV controller bekerja dengan cara memutus tegangan masuk ke baterai agar baterai tidak mengalami overvoltage dan overcharging.
5. Wind Controller : fungsi dari komponen ini ialah mencegah terjadinya kelebihan tegangan pada saat wind turbine sedang men-charge baterai. Pada saat baterai telah terisi penuh maka wind controller akan memutus aliran tegangan dari wind turbine ke baterai.
6. Diesel Controller : komponen ini digunakan untuk mengontrol secara otomatis penggunaan bahan bakar untuk diesel yang disesuaikan dengan beban yang disuplai oleh diesel pada saat tegangan dari PLTH (PLTS-PLTB) tidak dapat memenuhi kebutuhan beban.
7. Battery Charger : komponen ini merupakan salah satu komponen penting dalam sistem PLTH ini karena komponen ini berfungsi sebagai pengatur arus listrik yang masuk dari PV maupun arus listrik yang keluar ke baterai, dan juga untuk menjaga baterai agar tidak mengalami overcharge.
8. Inverter / System Controller : Tegangan dari PLTS-PLTB merupakan tegangan searah (DC) sehingga agar bisa disalurkan dan digunakan oleh beban, tegangan tersebut harus diubah menjadi tegangan bolak-balik (AC). Alat yang digunakan adalah inverter, inverter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan

untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC).

9. House (beban) : beban adalah peralatan yang membutuhkan aliran listrik agar dapat digunakan untuk kebutuhan rumah tangga atau industri.

Cara kerja Pembangkit Listrik Sistem Hybrid Surya dengan Bayu tergantung dari bentuk beban atau fluktuasi pemakaian energi (load profile) yang mana selama 24 jam distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya.

Load profile ini sangat dipengaruhi penyediaan energinya. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka kombinasi sumber energi antara Sumber energi terbarukan dan Diesel Generator atau disebut Pembangkit Listrik Sistem Hybrid adalah salah satu solusi paling cocok untuk sistem pembangkitan yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN.

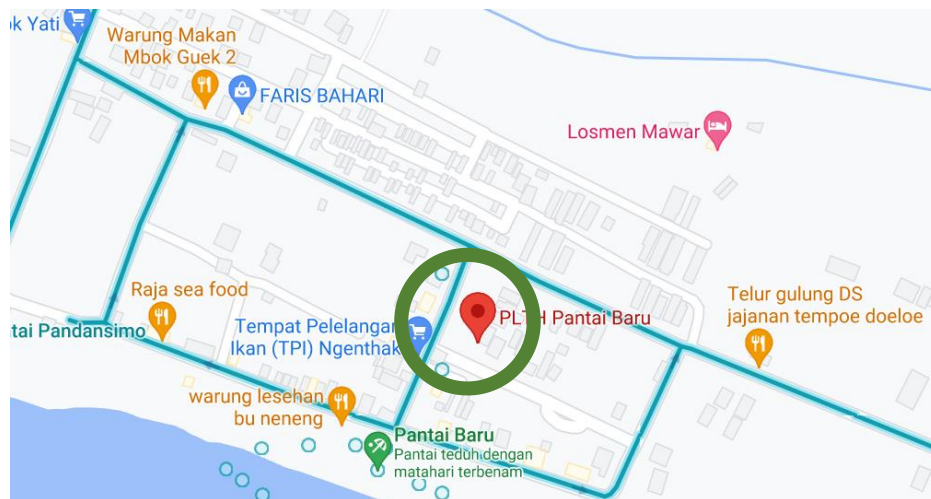
Pada umumnya PLTH bekerja sesuai urutan sebagai berikut:

1. Pada kondisi beban rendah, maka beban disuplai 100% dari baterai dan PV array, selama kondisi baterai masih penuh sehingga diesel tidak perlu beroperasi.
2. Untuk beban diatas 75% beban inverter (tergantung setting parameter) atau kondisi baterai sudah kosong sampai level yang disyaratkan, diesel mulai beroperasi untuk mensuplai beban dan sebagian mengisi baterai sampai beban diesel mencapai 70- 80% kapasitasnya (tergantung setting parameter). Pada kondisi ini Hybrid Controller bekerja sebagai charger (merubah tegangan AC dari generator menjadi tegangan DC) untuk mengisi baterai.
3. Pada kondisi beban puncak baik diesel maupun inverter akan beroperasi duanya untuk menuju paralel sistem apabila kapasitas terpasang diesel tidak

mampu sampai beban puncak. Jika kapasitas genset (generating set) cukup untuk mensuplai beban puncak, maka inverter tidak akan beroperasi paralel dengan genset.

2.2.1.2. Lokasi PLTH

PLTH Bayu Baru berada di lokasi mudah terjangkau, di tepi pantai yang landau. Angin bergerak dengan konsentrasi yang tidak terpecah oleh bukit atau hutan yang lebat dan sinar matahari dapat memancar secara merata. Lebih tepatnya tentang lokasi PLTH Bayu Baru dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 3. Denah Lokasi PLTH Bayu Baru
(Sumber: *googlemaps,2020*)

PLTH Bayu Baru Pandansimo terletak di Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Workshop yang beralamatkan di Jalan Raya Pandansimo Kilometer.2 Kedungbule Trimurti Srandakan, Kabupaten Bantul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

2.2.2. Teori Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.2.1.1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)



Gambar 2. 4. Gambar PV PLTH Bayu Baru
Sumber Dok. PLTH

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit listrik dengan menggunakan sinar matahari melalui sel surya (fotovoltaik) untuk mengkonversikan radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik (Setiawan, Kumara, dan Sukerayasa, 2014). Bagian terbesar sel surya disebut dioda. Dioda terbuat dari suatu semikonduktor dengan jurang energi (E_c - E_v). Solar panel atau panel surya dibentuk dari serangkaian sel surya sehingga menjadi sebuah kesatuan. Jika sel surya lembaran tunggal, maka panel surya kumpulan dari lembaran-lembaran yang disusun pada sebuah papan panel. Umumnya, bentuk dan tampilan panel surya mengikuti model dan kapasitas daya yang diinginkan (Nurhuda, 2018).

PLTS merupakan sistem pembangkit listrik yang ramah terhadap lingkungan karena dalam proses produksinya tidak menghasilkan polusi hal itu dikarenakan tidak ada pembakaran yang terjadi seperti halnya pembangkit yang menggunakan bahan bakar minyak, gas bumi atau batubara (Naim dan Wardoyo, 2017).

2.2.1.2. Panel Surya

PLTS menggunakan PV array sebagai komponen utama untuk menangkap sinar matahari. Sinar matahari yang merupakan foton ketika menyinari permukaan sel-sel surya pada PV array, elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung digunakan atau disimpan lebih dahulu ke dalam baterai. Arus listrik yang dihasilkan adalah listrik dengan arus searah (DC), sehingga ketika ingin digunakan untuk beban listrik dengan arus bolak-balik (AC) maka dibutuhkan inverter sebagai alat konversi arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) (Kananda dan Nazir, 2013).

Watt peak atau WP merupakan satuan yang menyatakan daya produksi tertinggi yang dihasilkan oleh panel surya sesuai dengan kondisi tertentu. Satuan WP ini menjelaskan jumlah produksi daya yang didapat ketika radiasi sinar matahari dengan tingkat penyinaran tertinggi. Berikut ialah konversi Wp ke dalam Watt.

$$Watt = t \times wp$$

Keterangan:

t = waktu tingkat penyinaran (jam)

Wp = produksi tertinggi yang dapat dihasilkan oleh panel surya

Secara umum ada 3 jenis sel surya yang digunakan pada panel surya sekarang ini, yaitu:

a. Monokristal (Mono-crystalline)



Gambar 2. 5. Mono-crystalline Solar Cell

(Sumber: www.amazon.com)

Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. 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. Ciri fisik dari panel surya jenis ini yaitu terdapat persegi pada setiap sudutnya dan berukuran lebih kecil dibandingkan dengan tipe polikristal.

b. Polikristal (Poly-crystalline)



Gambar 2. 6. Poly-crystalline Solar Cell

(Sumber: www.desunsolar.com)

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Type ini memerlukan luas permukaan yang

lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan type monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.

c. Thin Film Photovoltaic



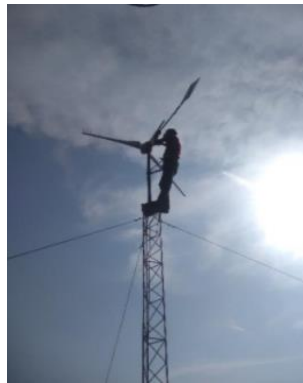
Gambar 2. 7. Thin Film Photovoltaic
(Sumber: <https://solarlove.org/>)

2.2.1.3. Keuntungan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik yang memanfaatkan energi surya tentunya mempunyai keuntungan dan kendala, antara lain: 1) Sumber energi yang digunakan sangat melimpah dan dan cuma-cuma, 2) Sistem yang dikembangkan mudah diinstalasi dan diperbesar kapasitasnya, 3) Perawatannya mudah, 4) Tidak menimbulkan polusi, 5) Dirancang bekerja secara otomatis sehingga dapat diterapkan ditempat terpencil, 6) Relatif aman, 7) Keandalannya semakin baik. Sedang kendala dalam pengembangan PLTS, yakni pengadaan instalasi awalnya relatif mahal (Rahmawati dan Sujito, 2019).

2.2.3. Teori Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

2.2.2.1. Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)



Gambar 2. 8. Gambar PLTH Bayu Baru
Sumber Doc. Pribadi

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. PLTB merupakan salah satu pembangkit yang potensial untuk dikembangkan di Indonesia karna sumber angin tersedia melimpah, hal itu dikarenakan Indonesia adalah negara dengan garis pantai terpanjang ke-2 di dunia dengan panjang 54.716 km (Tim Cakrawala Buana, 2016).

PLTB akan bekerja secara efektif di daerah pesisir pantai, karena di pesisir pantai kecepatan angin lebih besar dan lebih konstan jika dibanding daerah yang letaknya jauh dari pantai. Syarat angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yaitu memilikit batas kecepatan minimum sebesar 1.63.3 m/s dan batas maksimum sebesar 13.9-17.1 m/s. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional di 120 daerah di Indonesia menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan angin adalah 5 m/s lebih (Djojodiharjo dan Darwin, 1980)

2.2.2.2. Turbin Angin

PLTB menggunakan turbin angin sebagai penggerak utama untuk menghasilkan listrik. Turbin angin berputar karena energi dari angin yang kemudian dimanfaatkan untuk mengekstrak energi kinetik angin menjadi energi listrik. Secara umum turbin angin dibagi menjadi dua, yakni menurut kapasitas terpasangnya dan menurut sumbu rotor (Bachtiar dan Hayattul, 2018).

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan Windmill (Saputra M. , 2016).

Ketika udara mengalir di sekitar suatu benda, dua gaya bekerja pada benda tersebut, tarik dan angkat. Oleh karena itu, turbin bekerja berdasarkan salah satu gaya tersebut. Secara umum terdapat turbin berbasis lift (atau tipe lift) dan turbin berbasis drag (atau tipe drag). Kategorisasi tersebut berdasarkan pada jenis gaya aktif yang membuat turbin berputar. Turbin juga dapat diklasifikasikan berdasarkan porosnya, yakni turbin angin sumbu horizontal (*horizontal-axis wind*) atau turbin angin sumbu vertikal (*vertical-axis wind*).



Gambar 2. 9. horizontal-axis wind turbine
(Sumber: <http://etcgreen.com/>, 2020)



Gambar 2. 10. vertical-axis wind turbine
(Sumber: <https://www.selfsufficiantaus.com.au/>, 2020)

2.2.2.3. Keuntungan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Keuntungan yang dimiliki PLTB yakni 1) Sebagai sumber energi yang bersih. Energi angin tidak mencemari udara seperti pembangkit listrik yang mengandalkan pembakaran bahan bakar fosil, seperti batu bara atau gas alam. Turbin angin tidak menghasilkan emisi atmosfer yang menyebabkan hujan asam atau gas rumah kaca, 2) Energi angin tersedia sebagai sumber energi domestik di banyak negara di seluruh dunia dan tidak terbatas hanya pada beberapa negara, seperti halnya minyak. 3) Energi angin adalah salah satu teknologi energi terbarukan dengan harga terendah yang tersedia saat ini. 4) PLTB angin juga dapat dibangun di lahan pertanian atau peternakan, sehingga menguntungkan perekonomian di daerah pedesaan, di mana sebagian besar lokasi angin terbaik ditemukan. Sedangkan kerugiannya yakni 1) PLTB tidak sekompetitif biaya pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Meskipun biaya tenaga angin telah menurun dalam 10 tahun terakhir, teknologinya memerlukan investasi awal yang lebih tinggi daripada solusi berbahan bakar fosil untuk pasokan listrik, 2) Tantangan utama dalam menggunakan angin sebagai sumber tenaga adalah bahwa angin *unstable* dan tidak selalu bertiup saat listrik dibutuhkan. Energi angin tidak dapat disimpan dan tidak semua angin dapat

dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan waktu listrik. Pilihan penyimpanan energi di bank baterai jauh melampaui batas ekonomis untuk turbin angin besar. 3) Lokasi angin yang baik sering kali terletak di lokasi terpencil, jauh dari kota yang membutuhkan listrik. Di negara berkembang, selalu ada biaya tambahan untuk memasang jaringan untuk menghubungkan ladang angin terpencil ke jaringan pasokan (Wagner dan Mathur, 2018)



Gambar 2. 11. Peta potensi energi angin di Indonesia
(Sumber: (P3TKEBT, 2014))

Dari data diatas dapat diketahui bahwa potensi energi angin besar, karena dari 33 provinsi yang dijadikan sampel, ada 22 provinsi yang mempunyai kecepatan angin rata-rata 6 m/s. Kecepatan tersebut sudah bisa digunakan untuk menggerakan turbin angin.

2.3.Efisiensi

Efisiensi adalah ketepatan cara kerja dengan tidak membuang waktu, tenaga, biaya. Efisiensi adalah perbandingan yang terbaik antara input (masukan) dan output (hasil antara keuntungan dengan sumber-sumber yang dipergunakan),

seperti halnya juga hasil optimal yang dicapai dengan penggunaan sumber yang terbatas. Dengan kata lain hubungan antara apa yang telah diselesaikan (Hasibuan, 2005).

Efisiensi adalah ketepatan cara (usaha, kerja) dalam menjalankan sesuatu dengan tidak membuang-buang waktu, tenaga dan biaya. Efisiensi juga berarti rasio antara input dan output atau biaya dan keuntungan (Mulyadi, 2007).

Menurut Wirapati dalam Gie, *Garis Besar Estetik (Filsafat Keindahan)*, 1976) Efisiensi adalah usaha mencapai prestasi yang sebesar-besarnya dengan menggunakan kemungkinan-kemungkinan yang tersedia (material, mesin, dan manusia) dalam tempo yang sependek-pendeknya, didalam keadaan yang nyata (sepanjang keadaan itu bias berubah) tanpa mengganggu keseimbangan antara faktor-faktor tujuan, alat, tenaga, dan waktu.

Istilah efisiensi mempunyai pengertian yang sudah pasti, yaitu menunjukkan adanya perbandingan antara keluaran (*output*) dan masukan (*input*) (Ghiselli dan Brown, 1955). Efisiensi memiliki tujuan untuk mengatasi peningkatan konsumsi energi listrik (Sunardiyo, *et al.* 2018).

Efisiensi konversi energi (η) dari sel surya adalah presentase keluaran daya optimum terhadap energi cahaya yang digunakan (Viantus, Priyatman, dan Hiendro, 2016). Penilaian efisiensi dapat dikatakan sangat efisien apabila hasil perhitungannya di bawah 60% (Cicilia, Murni, dan Engka, 2019). Oleh karena itu efisiensi panel surya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{max} = V_{mp} \times i_{mp} \quad (2.1)$$

Dimensi panel surya,

$$A_c = P \times L \quad (2.2)$$

Koefisien yang harus diketahui adalah *incident radiation flux* dalam *standard test conditions (STC)*. *Incident radiation flux* adalah jumlah sinar matahari yang diterima permukaan bumi dengan satuan W/m². Sedangkan STC adalah kondisi pengujian kinerja panel surya. STC merupakan standar industri untuk menunjukkan kinerja panel surya dengan ketentuan suhu sel 25 ° C dan radiasi 1000 W / m² dengan spektrum massa 1,5 (AM1.5) . Hal ini sesuai dengan radiasi dan spektrum kejadian sinar matahari pada hari yang cerah pada kemiringan permukaan 37° yang menghadap matahari dengan sudut 41,81° di atas cakrawala (Raditya, 2017).

Maka efisiensi (η) pada panel surya dinyatakan dalam persamaan.

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{Incident\ Radiation\ Flux \times A_c} \quad (2.3)$$

Keterangan :

P_{max} = Daya Keluaran Maksimal

V_{mp} = Tegangan Operasi Optimal

I_{mp} = Arus Operasi Optimal

A_c = Dimensi Panel Surya

Sedangkan perhitungan efisiensi pada turbin angin yakni perbandingan antara daya yang diserap turbin angin terhadap daya angin yang tersedia.

$$P_a = V \times I \quad (2.4)$$

$$P_{th} = \frac{1}{2} \rho A (V)^3 \quad (2.5)$$

Keterangan :

P_a = Daya Aktual (watt)

P_{th} = Daya teoritis yang dihasilkan (watt)

ρ = Massa jenis udara (1,16 kg/m³)

A = Diameter sapuan motor (m²)

V = Kecepatan angin (m/s)

Besarnya energi yang didapat (P_e) adalah sebagai berikut :

$$P_e = 0,593 \times P_{th} \quad (2.6)$$

Oleh karena itu suatu sistem konversi turbin angin tidak pernah mampu memanen lebih dari 60% daya teoritisnya. Biasanya kurang dari 0,593 (Habib *et al*, 1999) yang dikarenakan oleh banyak faktor kehilangan lain yang tidak diperhitungkan, seperti faktor gesekan, faktor aerodinamik sudut dan rotasi (Ushiyama, 1988). Maka efisiensi pada turbin angin dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_a}{P_e} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan :

P_a = Daya Aktual (watt)

P_e = Energi yang didapat (watt)

Sedangkan efektif memiliki arti hubungan antara hasil yang di harapkan dengan hasil yang sesungguhnya dicapai. Efektivitas merupakan hubungan antara output dengan tujuan (Cicilia, Murni, & Engka, 2019).

Perbedaan antara efisiensi dan efektivitas menurut Granqvist (2017) yakni efisiensi berkaitan dengan penggunaan sumber daya, uang, orang, informasi, dan objek fisik. Efektif berarti dapat mencapai tujuan yang diinginkan dan menghindari hal penghambat yang tidak diinginkan.

2.3.1. Pemodelan Homer

Perancangan sistem tenaga listrik menggunakan software HOMER dibutuhkan sumber energi, baik berasal dari sumber konvensional maupun sumber energi terbarukan. Selain itu perancangan juga harus memikirkan beban yang akan digunakan baik beban thermal maupun beban listrik.

1. Beban

Pada perancangan homer beban yang digunakan terdiri dari beban thermal dan beban listrik. selain itu beban dibedakan lagi menjadi beban utama (primari load) dan beban Tunda (deferrable Load).

2. Sumber Daya Alam (SDA)

Dalam perancangan suatu sistem tenaga listrik menggunakan HOMER, diperlukan sumber daya alam, sumber daya alam berfungsi sebagai bahan bakar yang akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Pada HOMER terdapat empat jenis sumber daya alam yang bisa digunakan sebagai sumber energi yaitu, panas matahari, Air (Hidro), Angin, dan biomassa.

2.4. Kerangka Berpikir

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Sedangkan sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik.

PLTH yang efisien memiliki sistem kerja pada pembangkit beroperasi dengan baik. Cara kerjanya dengan menggabungkan dua atau lebih bentuk pembangkit energi, penyimpanan, atau teknologi penggunaan akhir, dan mereka dapat memberikan banyak manfaat dibandingkan dengan sistem sumber tunggal Listrik dihasilkan dari panel surya dan turbin dengan hasil produksi disimpan dalam satu tempat. Daya listrik dikontrol dengan sistem kontrol, kemudian disimpan didalam baterai. Jika listrik akan digunakan, arus akan dialirkan pada inverter, baru bisa disalurkan kepada pengguna.

Produksi listrik PLTH yang efisien dihitung dari daya yang dihasilkan oleh keluaran listrik panel surya dan turbin angin. Efisiensi pada panel surya yakni rasio output listrik untuk energi input listrik dari panel surya. Sedangkan efisiensi dari Turbin angin yakni rasio antara daya actual dengan daya

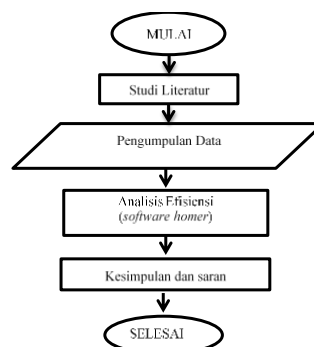
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian yang dikembangkan termasuk dalam penelitian deskriptif kuantitatif. Menurut pendapat Azwar (2010) bahwa penelitian deskriptif dalam melakukan analisis hanya sampai taraf deskripsi, yaitu menganalisis dan menyajikan data secara sistematis sehingga lebih mudah untuk dipahami dan disimpulkan. Sedangkan, penelitian dengan pendekatan kuantitatif analisisnya dalam data-data numerikal (angka). Sejalan dengan pendapat Margono (2010) bahwa penelitian kuantitatif merupakan suatu proses menemukan pengetahuan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menemukan keterangan mengenai sesuatu yang ingin diketahui.

Berdasarkan pendapat tersebut dapat ditegaskan bahwa penelitian ini data yang diambil berupa angka-angka. Angka-angka disusun dan dihitung dengan rumus-rumus tertentu untuk ditemukan hasilnya. Hasil perhitungannya dideskripsikan untuk menguraikan permasalahan yang ada. Diagram Alir dalam penelitian ini dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.2. Lokasi

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di kawasan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Pandansimo Bantul yang berlokasi area kampung Pandansimo, Desa Poncosari, Kecamatan Srandakan, Kabupaten Bantul, Yogyakarta. PLTH Pandansimo Bantul ini memadukan dua sumber energi alternatif yakni surya dan angin, hasil listrik dari tenaga hybrid ini digunakan untuk penerangan sekitar kawasan Pantai Pandansimo. Pemilihan lokasi tersebut dikarenakan PLTH Bayu Baru merupakan pembangkit listrik energi terbarukan yang sedang dikembangkan oleh pemerintah daerah Bantul.

3.3. Subjek Penelitian

Menurut Nokinov (2013) subjek penelitian merupakan suatu sisi, aspek, sudut pandang, suatu proyeksi yang digunakan oleh seorang peneliti untuk mengenali suatu objek penelitian. Menurut Margono (2010) subjek penelitian adalah sumber utama data penelitian, yaitu yang memiliki data mengenai variable-variabel. Berdasarkan uraian tersebut subjek penelitian ini berada pada PLTH Bayu Baru Pandansimo Bantul. PLTH Bayu Baru sendiri terdiri dari 2 pembangkit yaitu tenaga bayu dan tenaga surya.

3.4. Objek Penelitian

Menurut Sugiyono (2017) objek penelitian merupakan suatu atribut atau sifat atau nilai dari orang, objek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang

ditetapkan oleh peneliti untuk di pelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya. Menurut Anshori dan Iswati (2017) objek penelitian yakni sesuatu yang dikenai penelitian atau variabel yang diteliti. Berdasarkan uraian tersebut objek penelitian ini pada data pengukuran efisiensi turbin angin dan panel surya PLTH Bayu Baru yang dihasilkan sejak Bulan Oktober sampai dengan Desember.

3.5. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada Bulan Januari-Februari 2021. Data yang diambil berupa data primer maupun sekunder pada proses pembangkitan Bulan Januari-Februari 2021.

3.6. Metode Pengumpulan Data

Arikunto (2013) mengungkapkan, metode penelitian adalah cara yang digunakan oleh peneliti dalam mengumpulkan data penelitiannya. Lebih lanjut dikatakan bahwa peneliti harus menentukan metode pengumpulan data setepat-tepatnya untuk memperoleh data. Menurut Riduwan (2010) pengertian dari teknik pengumpulan data adalah Metode pengumpulan data ialah teknik atau cara-cara yang dapat digunakan oleh peneliti untuk mengumpulkan data.

Berdasarkan pendapat tersebut dapat dijelaskan bahwa metode pengumpulan data merupakan teknik untuk memperoleh dan mengumpulkan data penelitian. Adapun metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Observasi

Menurut Riyanto (2010) observasi merupakan metode pengumpulan data yang menggunakan pengamatan secara langsung maupun tidak langsung. Sedangkan menurut Sugiyono (2017) Observasi merupakan suatu proses yang kompleks, suatu proses yang tersusun dari pelbagai proses biologis dan psikologis.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat dijelaskan bahwa observasi adalah penelitian dengan melakukan pengamatan dan pencatatan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai proses biologis dan psikologis pada objek penelitian.

2. Dokumentasi

Sugiyono (2017) mengatakan bahwa dokumen merupakan catatan peristiwa yang sudah berlalu. Dokumen bisa berbentuk tulisan, gambar, atau karya-karya monumental dari seseorang. Menurut Arikunto (2013) metode dokumentasi merupakan kegiatan peneliti mengadakan penyelidikan terhadap benda-benda tertulis seperti buku-buku, majalah, dokumen, peraturan-peraturan, notulen rapat, catatan harian dan sebagainya. Berdasarkan penjelasan ahli maka dapat disimpulkan bahwa metode dokumentasi merupakan cara mengumpulkan data yang dilakukan dengan menyelidiki benda-benda tertulis dan mencatat hasil temuannya.

3. Wawancara

Esterberg, dalam Sugiyono (2017) mendefinisikan interview sebagai berikut: *“a meeting of two persons to exchange information and idea through question and responses, resulting in communication and joint construction of meaning about a particular topic”*. Wawancara merupakan pertemuan dua orang untuk bertukar

informasi dan ide melalui tanya jawab, sehingga dapat dikonstruksikan makna dalam suatu topik tertentu. Menurut Afifuddin (2009) wawancara adalah metode pengambilan data dengan cara menanyakan sesuatu kepada seseorang yang menjadi informan atau responden.

Data yang diperlukan guna menghitung efisiensi lebih rincinya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1. Tabel Data PLTS

-
1. Daya Keluaran Maksimal
 2. Tegangan Operasi Optimal
 3. Arus Operasi Optimal
 4. Dimensi Panel Surya
-

Tabel 3. 2. Tabel Data PLTB

-
1. Daya Aktual (watt)
 2. Daya teoritis yang dihasilkan (watt)
 3. Diameter sapuan motor (m^2)
 4. Kecepatan angin (m/s)
-

3.7. Teknik Analisa Data

Menurut Sugiyono (2017) analisis data adalah proses penyusunan secara sistematis data yang diperoleh dari hasil wawancara, catatan lapangan, dan dokumentasi, dengan cara pengorganisasian data ke dalam kategori, penjabarkan ke dalam unit-unit, melakukan sintesa, menyusun ke dalam pola, memilih mana yang penting dan yang akan dipelajari, dan membuat kesimpulan sehingga mudah dipahami oleh diri sendiri maupun orang lain.

Berdasarkan pendapat tersebut, langkah-langkah dalam menganalisis data dapat dijelaskan bahwa setelah data diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah data dikelompok-kelompokkan menurut ciri dan jenisnya. pengolahan dilakukan menggunakan *software* HOMER Pro 3.11.2.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian merupakan berbagai data dari hasil pengamatan, wawancara, dan dokumentasi, Selanjutnya, data tersebut dikelompokkan ke dalam tiga wadah, yakni data kondisi PLTH, kinerja PLTH, dan efisiensi. Lebih lengkapnya diuraikan seperti berikut.

4.1.1. Kondisi PLTH

Ada dua jenis turbin yang dimiliki PLTH Bayu Baru, yakni turbin angin dan panel surya. Turbin angin yang digunakan PLTH Bayu Baru adalah type 3 Blades Upwind dengan type axis horizontal yang dipasang pada tower setinggi 15m. Berikut ini merupakan spesifikasi dari masing-masing turbin angin yang dimiliki oleh PLTH Bayu Baru.



Gambar 4. 1. 2,5 kW Wind Turbin
(Sumber: Dok. Pribadi)

Tabel 4. 1. Spesifikasi 2.5 kW Wind Turbin

Asset	LAPAN
Amount	6 units
Max power	2,5 kW
Blade Number	3 Pcs
Cut In	5 m/s
Voltage system	240 V
Tower Type,Tower Height	Lattice, 15 m
Generator	Permanent magnet sycrunous machine; 3 phase; AC
Blade materials	Polyester resin Reinforced
Controler	Off-grid, manual break
Generator Body materials	Fe (Besi)
Type	Horizontal Axis

**Gambar 4. 2.** 1 kW Wind Turbin
(Sumber: Dok. Pribadi)**Tabel 4. 2.** Spesifikasi 1 kW Wind Turbin

Asset	LAPAN
Amount	5 units
Max power	1 kW
Blade Diameter	3,24 m
Blade Number	3
Swept Area (m²)	8.240616
Cut In	4 m/s
Voltage System	48 V
Tower Type,Tower Height	Lattice, 15 m
Generator	Permanent magnet; 3 phase; AC
Blade materials	Polyester resin Reinforced
Controler	Off-grid, Manual Break
Generator Body materials	Fe (Besi)
Type	Horizontal Axis



Gambar 4. 3. 1 kW Wind Turbin
(Sumber: Dok. Pribadi)

Tabel 4. 3. Spesifikasi 1 kW Wind Turbin

Max power	1 kW
Amount	20 units
Blade Diameter	2,71 m
Blade Number	3
Swept Area (m²)	5.7651
Cut In	3 m/s
Cut Off	12 m/s
Voltage System	240 V
Tower Type, Tower Height	Lattice, 15 m
Generator	Permanent magnet sycrunous machine; 3 phase; AC
Blade materials	Polyester resin Reinforced
Controler	Off-grid, Manual Break
Generator Body materials	
Type	Horizontal Axis

PLTH Bayu Baru memiliki 150 units solar cell pada sistem 240V dan 88 units solar cell pada sistem 48V dengan masing-masing spesifikasi sebagai berikut:



Gambar 4. 4. Panel Surya sistem 240 V / 15 kW
(Sumber: Dok. PLTH)

Tabel 4. 4. Spesifikasi Panel Surya sistem 240 V / 15 kW

Sistem Penyusunan	
Units	150
Seri	20
Paralel	7
Electrical Spesification	
Brand	ELSOL
Type	Es100236-pcm Polycrystalline
Maximum power	100 Wp
short Circuit Current (Isc)	6,5 A
max current (Imp)	5,82 A
Voc	21,75 V
System Voltage	12 V
Nominal Voltage	17,24 V
Maximum system voltage	1000 V DC
Pysical Spesification	
Length	670 mm
Width	1180 mm
Depth	35 mm
Weight	9,2 KG
Temperatur	-40°C up to 50°C



Gambar 4. 5. Panel Surya sistem 48 V / 10 kW
(Sumber: Dok. PLTH)

Tabel 4. 5. Spesifikasi Panel Surya sistem 48 V / 10 kW

Sistem Penyusunan	
Units	48
Seri	2
Paralel	24
Electrical Spesification	
Brand	Skytech
Type	SIP 220 Polycrystalne
Maximum power (Vmp)	220 Wp
short Circuit Current (Isc)	7,93 A
Max Current (Imp)	7,39 A
Voc	36,4 V
System Voltage	48 V
Nominal Voltage	29,82 V
Pysical Spesification	
Length	1637 mm
Width	987 mm
Depth	45 mm
Weight	19 Kg
Temperatur	25 °C



Gambar 4. 6. Panel Surya sistem 48 V / 2 kW
(Sumber: Dok. PLTH)

Tabel 4. 6. Spesifikasi Panel Surya sistem 48 V / 2 kW

Sistem Penyusunan	
Units	20
Seri	2
Paralel	10
Electrical Spesification	
Brand	Shinyoku SYK-100W
Type	MonoCrystalyne
Maximum power	100 Wp
short Circuit Current (Isc)	3,64 A
Max Current (Imp)	2,93 A
Open Circuit Voltage (Voc)	40,2 V
Nominal Voltage	34,2 V
Maximum System Voltage	1000 V DC
Pysical Spesification	
Length	1580 mm
Width	808 mm
Depth	35 mm
Weight	15 Kg
Temperatur	-40° up to 85°C



Gambar 4. 7. Panel Surya sistem 48 V / 2 kW
(Sumber: Dok. Pribadi)

Tabel 4. 7. Spesifikasi Panel Surya sistem 48 V / 2 kW

Sistem Penyusunan	
Units	20
Seri	20
Paralel	-
Electrical Spesification	
Brand	Shinyoku
Type	SY-100P PolyCrystalyne
Maximum power	100 Wp
short Circuit Current	6,17 A
Max Current	5 A
Voc	22,36 V
Nominal Voltage	18 V
Maximum system Voltage	1000 V dc
Pysical Spesification	
Length	1150 mm
Width	670 mm
Depth	35 mm
Weight	15 Kg
Temperatur	-40° up to 85°C

PLTH Bayu Baru memiliki 3 sistem penyimpanan baterai yakni Grup Barat, Grup Timur, Grup KKP.

1. Grup Barat



Gambar 4. 8. Baterai Grup Barat
(Sumber: Dok. Pribadi)

Grup barat memiliki kapasitas energi berupa 20 unit baterai dengan kapasitas 100 ah/12 volt dan 40 unit 180 ah/12 volt serta terdapat proses pengisian dan pengosongan (*charging* atau *discharging*). Baterai tersebut dipasang dalam 4 rangkaian parallel, dimana setiap rangkaian berisi 20 unit baterai yang dipasang seri. Jenis aki atau baterai yang digunakan pada pembangkit listrik di PLTH grup barat ini adalah aki basah atau *lead acid*. Tegangan sebenarnya pada baterai 12 V adalah 13,8-14,7 V. Berikut adalah tabel spesifikasi dari baterai grup barat.

Tabel 4. 8. Tabel Spesifikasi Baterai Grup Barat

Type	Lead acid, ILTT 24048
Rated voltage	12 V
Ampere hour	180 Ah

2. Grup KKP



Gambar 4. 9. Baterai Penyimpanan KKP
(Sumber: Dok. Pribadi)

Baterai grup KKP sistem ini merupakan penyimpanan dari grup kkp dan grup timur system 48 V. Baterai tersebut dipasang 2 rangkaian yang dipasang parallel, dimana setiap rangkaian berisi 24 unit baterai yang dipasang seri. Jenis aki atau baterai yang digunakan pada pembangkit listrik di PLTH grup barat ini adalah aki kering. Spesifikasi dari baterai grup KKP dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Gambar 4. 10. Spesifikasi dari Baterai Grup KKP

Tipe	GFMU-C Series/GFMU-1000 2V1000Ah
Rated voltage	2V
Rated capacity at 25° C (77° F)	10 hours rate (100.0A, 1.80V) 1000Ah 20 hours rate (50.3A, 1.85V) 1006Ah 120 hours rate (10.0A, 1.85V) 1200Ah
Internal resistance	0,17 mΩ for fully charged battery at 25° C (77° F)
Self discharge rate	< 1 % per month at 25° C (77° F)
Maximum discharge current	5000A (5s) at 25° C (77° F)
Temperature range	Discharge : -20 ± 50° C Charge : -15 ± 50° C Storage : -15 ± 50° C

Charging method:	Maximum charging current : 150 A
constant voltage at 25°C (77° F)	Temperature compensation : -3,5mV/°C/cell Cyclic use : 2,34- 2,38V/cell Floating use : 2,24-2,28V/cell

4.1.2. Kinerja PLTH

4.1.2.1. Produksi dan Distribusi Energi di PLTH Bayu Baru Pandansimo

PLTH Bayu Baru mampu mendistribusikan total beban sebanyak 90 kW, hal ini dapat dijelaskan secara detail pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.14 .Tabel Beban PLTH Bayu Baru

Grup 1	Tegangan Sistem 2	Generator 3	Jumlah 4
Barat	240V	Turbin Angin 1KW/240V (<i>Lattice</i>)	21 unit
	120 V	Panel Surya 15kW/120V	150 unit @100Watt/ 12V
Timur	48 V	Turbin Angin 1 kW (<i>Triangle</i>)	4 unit
		Turbin Angin 1 kW (<i>Lattice</i>)	2 unit
		Turbin Angin 2,5 KW/240V (<i>Lattice</i>)	2 unit
	240 V	Turbin Angin 10 kW/240V (<i>Lattice</i>)	1 unit
		Turbin Angin 10 kW/240V (<i>Triangle</i>)	1 unit
		Turbin Angin 5 kW/240V (<i>Lattice</i>)	1 unit
		Panel surya 4 kW/240V	40 unit @100W
120 V	Turbin Angin 2 kW/120V (<i>Lattice</i>)	2 unit	
KKP atau grup tengah	48V	Panel Surya10 kW/48V	48 unit @220W/24V

Berdasarkan tabel data di atas dapat dijelaskan bahwa PLTH Bayu Baru mendistribusikan energi listrik menjadi 3 grup yakni grup barat, grup timur dan KKP. Grup barat memiliki tegangan sistem sebesar 240 V dan 120 V, grup timur memiliki tegangan sistem sebesar 48 V, 240 V, dan 120 V, dan grup KKP dengan tegangan sistem sebesar 48 V.

4.1.2.2. Pemanfaatan Hasil Produksi Energi PLTH Bayu Baru

Hasil produksi energi di PLTH Bayu Baru dimanfaatkan untuk warung kuliner, penerangan jalan umum.

Tabel 4.15. Pemanfaatan Hasil Produksi PLTH Bayu Baru

Inverter <i>1</i>	Grup <i>2</i>	Beban <i>3</i>	Klasifikasi <i>4</i>
3,5 kW/48V (1 Phase)	Grup timur	20 warung kuliner 14 lampu PJU	Jenis Beban Primary Load dengan sumber daya 8 unit turbin angin dan 40 unit @100 watt panel surya
3,5 kW/48V (1 Phase)	Grup tengah	20 warung kuliner 14 lampu PJU	Jenis Beban Primary Load dengan sumber daya 48 unit @220Watt panel surya
3,5 kW/120V (1 Phase)	Grup barat	20 warung kuliner 14 lampu PJU	Jenis Beban Primary Load dengan sumber daya 21 unit turbin angin
5 kW/240 V (1 Phase)	Kantor	Lampu, TV, dispenser	Jenis Beban Primary Load dengan sumber daya 5 unit turbin angin
2 kW/48 V (1 Phase)	Grup timur	20 warung kuliner 14 lampu PJU	Jenis Beban Primary Load dengan sumber

			daya 2 unit turbin angin
2 KW/48 V (1 Phase)	Grup tengah	20 warung kuliner 14 lampu PJU	Jenis Beban Primary Load dengan sumber daya 48 unit @220Watt panel surya
2 KW/240 V (1 Phase)	Grup barat	20 warung kuliner 14 lampu PJU	Jenis Beban Primary Load dengan sumber daya 150 unit @100Watt panel surya

Pemanfaatan hasil produksi daya listrik pada PLTH Bayu Baru yakni grup timur menggunakan inverter 3,5 kW/48V 1 phase dengan beban 20 warung kuliner dan 14 lampu PJU, grup tengah 3,5 kW/48V 1 phase dengan beban 20 warung kuliner dan 14 lampu PJU 2 KW/48 V (1 Phase) dengan beban berupa 20 warung kuliner dan 14 lampu PJU, grup barat 3,5 kW/48V 1 phase dengan beban 20 warung kuliner dan 14 lampu PJU dan 2 KW/48 V (1 Phase) dengan beban berupa 20 warung kuliner dan 14 lampu PJU.

4.1.2.3. Perawatan dan Kendala

Perawatan turbin angin dan panel surya beserta jaringan PLTH dengan pembersihan PV secara rutin, monitoring dan pemeliharaan turbin angin, perbaikan komponen-komponen control. Kegiatan-kegiatan seperti itu dilaksanakan setiap hari secara bergiliran sesuai jadwal yang disusun bersama.

Kendala yang dihadapi dalam proses pembangkitan yakni adanya kerusakan beberapa alat operasional pembangkit listrik seperti inverter tentu menjadi penghambat untuk mendapatkan energi yang maksimal, cuaca yang buruk menyebabkan energi yang dihasilkan kurang maksimal, kurangnya tenaga ahli.

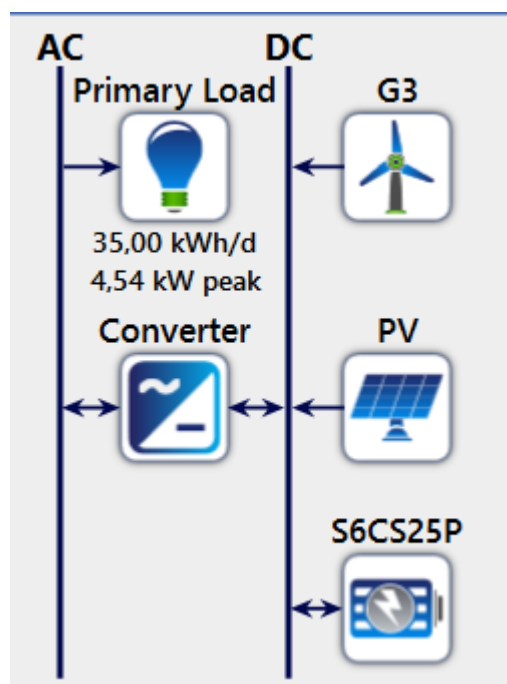
Pemerintah Indonesia belum mensejajarkan penggunaan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Pemerintah sudah seharusnya meninggalkan energi berbahan fosil yang kotor dan beralih ke energi terbarukan

4.1.3. Efisiensi

Ada dua hal yang disajikan pada perhitungan efisiensi PLTH Bayu Baru, yakni perhitungan efisiensi dan hasil perhitungan ekonomi. Uraian selengkapnya disajikan sebagai berikut.

4.1.3.1. Perhitungan Efisiensi PLTH pada Software HOMER Pro

Pemodelan merupakan skema komponen pada PLTH Bayu Baru. Ada beberapa bagian dari pemodelan tersebut. Bagian-bagian itu dirangkai sedemikian rupa sehingga sesuai dengan komponen pembangkitan yang ada di PLTH Bayu Baru. Adapun untuk lebih jelasnya, disajikan gambar model seperti berikut.



Gambar 4. 11. Skema Pemodelan PLTH Bayu Baru

Berdasarkan gambar tersebut dapat dijelaskan bagian-bagian rangkaian secara rinci.

1. Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan dalam perhitungan ini yakni 3 kW dari manufaktur Bergey Windpower

2. PhotoVoltaic

PhotoVoltaic yang digunakan dalam pemodelan ini menggunakan SM500 dengan kapasitas 10 Kw merupakan jenis *monocrystalline* dari manufaktur SolarMax.

3. Battery

Battery yang digunakan yakni Generic Lead Acid 6CS25P atau aki basah dengan kapasitas maksimal 83.4 Ah, tegangan: 12v, pengisian daya maksimal sebesar 1 Ah

4. Inverter

Inverter yang digunakan yakni Conext SW4048.

Data yang diperoleh dari PLTH Bayu Baru Selanjutnya diolah menggunakan *software* HOMER Pro adapun hasil dari perhitungan data tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

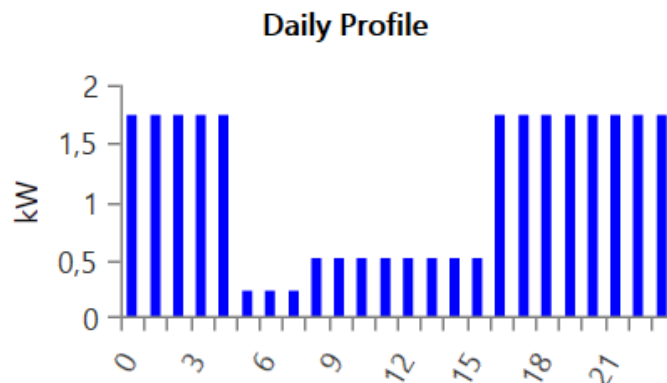
Tabel 4. 9 Data Rata-Rata Beban

Hour	Load (Kw)	Hour	Load (Kw)
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>2</i>
0	1,732	12	0,520
1	1,732	13	0,520
2	1,732	14	0,520
3	1,732	15	0,520
4	1,732	16	1,732
5	0,240	17	1,732
6	0,240	18	1,732

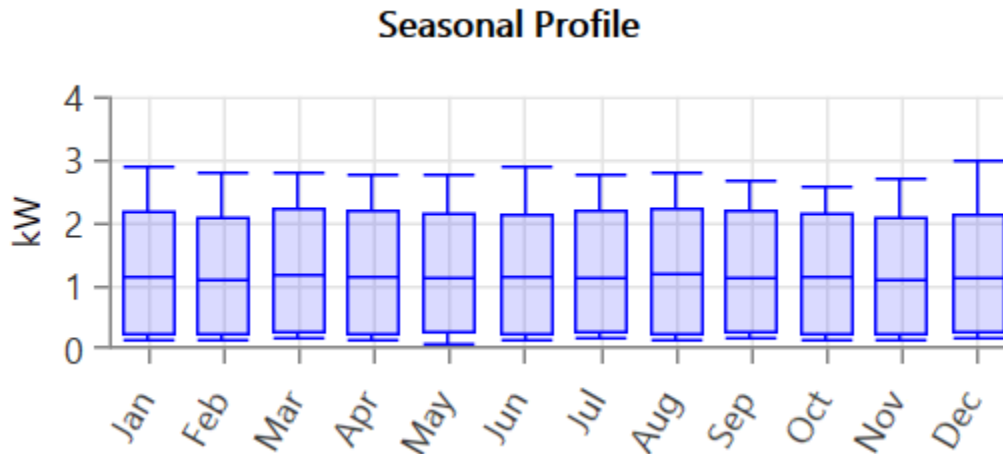
7	0,240	19	1,732
8	0,520	20	1,732
9	0,520	21	1,732
10	0,520	22	1,732
11	0,520	23	1,732

Beban terbesar yakni pada pukul 16.00 WIB hingga pukul 04.00 WIB yakni

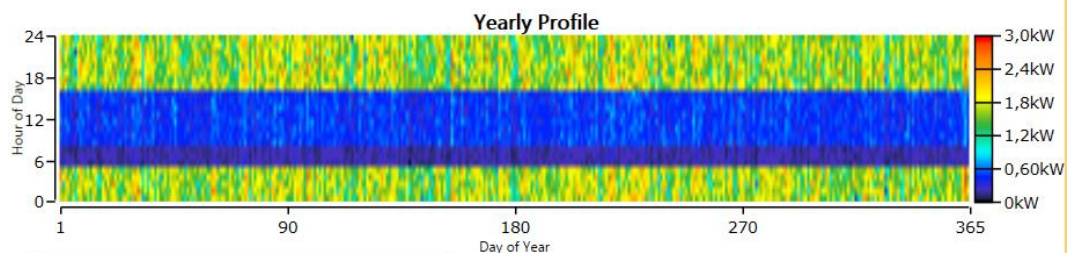
1,732 kW.



Gambar 4. 12. Grafik Beban Listrik Harian pada PLTH Bayu Baru



Gambar 4. 13. Grafik Beban Listrik Musiman pada PLTH Bayu Baru



Gambar 4. 14. Grafik Beban Listrik Tahunan pada PLTH Bayu Baru

Tabel 4. 10. Rata-Rata Beban Listrik Tahunan pada PLTH Bayu Baru

Metric	Baseline	Scaled
1	2	4
Average (kWh/d)	27,4	35
Average (kW)	1,14	1,46
Peak (kW)	2,56	3,82
Load Factor	38	38

Rata-rata beban listrik pada PLTH Bayu Baru yakni 27,4 kWh/hari dengan puncak beban 2,56 kW dan terdiri dari 38 faktor beban.

Radiasi matahari (*Solar SourceI*) di daerah PLTH Bayu Baru Pandansimo menurut Homer Pro dalam satu tahun dapat dilihat pada grafik dan tabel dibawah ini.

**Gambar 4. 15.** Radiasi Matahari pada PLTH Bayu Baru**Tabel 4. 11.** Tabel Radiasi Matahari pada PLTH Bayu Baru

Month	Clearness Index	Daily Radiation kWh/m ² /day
1	2	3
January	0,417	4,505
February	0,460	4,981
March	0,570	5,988
April	0,595	5,797
May	0,571	5,052
June	0,548	4,581
July	0,560	4,795
August	0,548	4,501
September	0,423	4,296
October	0,413	4,406
November	0,449	4,839
December	0,437	4,701

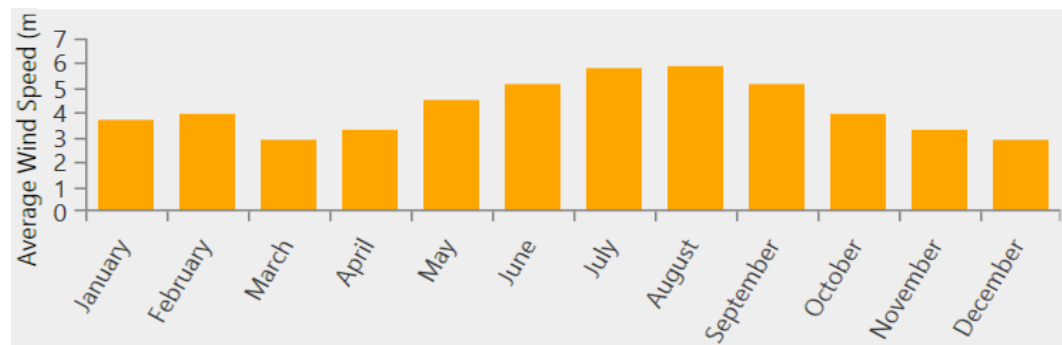
Dari tabel tersebut dapat diketahui indeks kecerahan tertinggi (*Clearness Index*) pada Bulan April sebesar 0,595 dengan radiasi harian (*Daily Radiation*) sebesar 5,797 kWh/m²/day.

Tabel 4. 12. Tabel Index Ekonomi PV pada PLTH Bayu Baru

Kapasitas <i>1</i>	Capital <i>2</i>	Replacement <i>3</i>	Perawatan <i>4</i>
10 kW	\$6.900	\$6.900	\$0

Capital (\$) adalah harga modal pembangunan dari panel surya. *Replacement* (\$) adalah biaya pengganti dari panel surya. O&M (\$/y) adalah biaya perawatan. Biaya modal sebesar \$6.900 atau Rp. 99.394.500 berdasarkan kurs pada Tanggal 17 Maret 2020 sebesar Rp.14.405 per \$1.

Kecepatan angin (*Wind Source*) selama satu tahun menurut HOMER Pro dapat dilihat pada grafik dan tabel dibawah ini.



Gambar 4. 16. Kecepatan Angin pada PLTH Bayu Baru

Tabel 4. 13. Tabel Kecepatan Angin pada PLTH Bayu Baru

Month <i>1</i>	Average Wind Speed (m/s) <i>2</i>
January	3,730
February	3,920
March	2,890
April	3,290
May	4,520
June	5,130
July	5,800
August	5,910
September	5,130
October	3,970

November	3,300
December	2,860

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa kecepatan angin terbesar selama satu tahun yakni pada Bulan Agustus sebesar 5,910 m/s.

Tabel 4. 14. Tabel Index Ekonomi Turbin pada PLTH Bayu Baru

Kapasitas <i>1</i>	Capital <i>2</i>	Replacement <i>3</i>	Perawatan <i>4</i>
3 kW	\$11.000	\$7.000	\$200

Capital (\$) adalah harga modal dari turbin angin. *Replacement* (\$) adalah biaya pengganti dari turbin angin. O&M (\$/y) adalah biaya perawatan. Biaya modal sebesar \$11.000 atau Rp.158.455.000 berdasarkan kurs pada Tanggal 17 Maret 2020 sebesar Rp.14.405 per \$1, sedangkan biaya perawatan pada turbin angin \$200 atau Rp. 2.881.000 setiap tahun.

Tabel 4. 15. Index Ekonomi Battery

Capital <i>1</i>	Replacement <i>2</i>	Perawatan <i>3</i>
\$1.200	\$1.100	\$50

Pada gambar di atas juga memperlihatkan Quantity, Capital (\$), Replacement (\$), dan O&M (\$/y). Quantity adalah jumlah dari baterai. Capital (\$) adalah harga dari baterai. Replacement (\$) adalah biaya pengganti dari baterai. Anggaran modal baterai yakni \$1.200 atau Rp.17.286.000.

Tabel 4. 16. Index Ekonomi Converter

Kapasitas <i>1</i>	Capital <i>2</i>	Replacement <i>3</i>	Perawatan <i>4</i>
10 kW	\$12.500	\$12.500	\$100

Pada tabel di atas juga disajikan kapasitas atau size (kW), Capital (\$), Replacement (\$), dan O&M (\$/y). Size (kW) adalah daya yang dikeluarkan converter sesuai dengan spesifikasinya. Capital (\$) adalah harga dari converter. Replacement (\$) adalah biaya pengganti dari converter. O&M (\$/y) adalah biaya

perawatan pada converter. Biaya modal pada converter yakni \$12.500 atau Rp. 180.062.500.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Kinerja PLTH Bayu Baru

PLTH Bayu Baru menggunakan *renewable energy* matahari, angin dan berkombinasi dengan *Diesel-Generator Set* sehingga menjadi suatu pembangkit yang kompleks dalam rangka untuk dapat mensuplai kebutuhan energi listrik baik sebagai penerangan rumah atau kebutuhan listrik lain seperti TV, pompa air, serta kebutuhan industri kecil di daerah tersebut. Dengan adanya kombinasi dari sumber-sumber energi tersebut diharapkan dapat menyediakan satu daya listrik yang kontinyu dengan efisien yang paling optimal.

PLTH Bayu Baru memiliki 34 turbin angin serta 238 panel surya dengan kapasitas total produksi 90KW. Energi yang dihasilkan dari turbin-turbin tersebut didajikan satu dalam gardu induk sebelum didistribusikan untuk dimanfaatkan. Energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk berbagai kegiatan di pantai baru seperti penerangan warung di sekitar pantai, penerangan jalan umum, pompa air ikan, dan juga perairan pada pertanian lahan pasir.

PLTH bekerja dengan menggabungkan energi matahari, angin dan diesel. Pemanfaatan energi bergantung dari bentuk beban atau *fluktuasi* pemakaian energi selama 24 jam. Produksi dan distribusi beban tidak merata untuk setiap waktunya. Pada saat-saat tertentu dihasilkan energi besar dan pada saat yang berbeda dihasilkan energi listrik kkecil. Begitu pula pemanfaatan energinya, ada kalanya

diperlukan energi listrik yang banyak dan pada saat yang lain, energi listrik yang dibutuhkan sedikit. Pemakaian energi ini sangat dipengaruhi oleh penyediaan energi. Agar fluktuasi produksi tidak berpengaruh terhadap distribusi serta pemanfaatannya, maka kombinasi sumber energi antara sumber energi terbarukan dengan *Diesel Generator* merupakan salah satu solusi paling cocok untuk sistem pembangkit listrik yang terisolir dengan jaringan yang lebih besar seperti jaringan PLN. Pada umumnya PLTH bekerja sesuai urutan yaitu pada kondisi beban rendah, maka beba disuplai 100% dari baterai dan PV module, selama kondisi baterai masih penuh sehingga diesel tidak perlu beroperasi. Untuk beban diatas 75% beban *inverter* (tergantung pada *setting parameter*) atau kondisi baterai sudah kosong sampai level yang diisyaratkan, diesel mulai beroperasi untuk mensuplai beban sehingga sebagian mengisi baterai sampai beban diesel mencapai 70-80% kapasitasnya (tergantung *setting parameter*). Pada kondisi ini *Hibrid Controller* bekerja sebagai *charger* untuk mengisi baterai. Pada kondisi beban puncak baik *diesel* maupun *inverter* akan beroperasi dua-duanya untuk mencapai paralel sistem apabila kapasitas terpasang diesel tidak mampu sampai beban puncak. Jika kapasitas *genset* cukup untuk mecapai puncak, *inverter* tidak akan beroperasi paralel dengan genset.

Sistem Proteksi pada PLTH terdiri dari setiap unit PLTB telah dilengkapi dengan penangkal petir yang ditempatkan pada rumah turbin angin dan menara yang dihubungkan ke grounding system dengan merger maksimum 2 ohm. konstruksi struktur PLTB menggunakan bahan hot deep galvanis tahan karat. Turbin angin telah dilengkapi dengan alat proteksi over speed yaitu pitch blade

kontrol untuk mengatur sudut bilah kipas dan Yaw arm untuk memutar turbin sesuai dengan pergerakan angin, semua sistem pengereman atau pengaturan kecepatan putaran kincir yang terdapat pada turbin angin PLTH Grup Barat menggunakan electronic brake system yaitu sistem Pulse Width Modulation (PWM) atau modulasi lebar pulsa, proteksi over speed berdasarkan setting kontrol tungan sebesar 290 V pada tegangan kerja 240V. Semua sistem proteksi telah menggunakan sistem intelligent control full automatically sebagai perlindungan terhadap over voltage dan over load yang dipasang pada panel kontrol, selain itu untuk tiap panel kontrol dipasang MCB dan sekering sebagai perlindungan terhadap arus lebih akibat pembebanan. Sedangkan untuk PLTS, sistem proteksi yang terpasang adalah penangkal petir dan grounding. Dalam satu lokasi array tiap ujung dipasang penangkal petir dan tiap panel surya dihubungkan ke grounding.

4.2.2. Efisiensi PLTH

Total 90 KW yang ada di PLTH hanya 75 KW yang beroperasi. Ada beberapa turbin angin yang tidak dioperasikan dikarenakan masih dalam masa pemeliharaan atau perbaikan dan ada yang sedang tidak beroperasi dikarenakan permintaan listrik dari konsumen pedagang di Pantai Baru sudah dapat terpenuhi. Jika dipaksakan untuk dioperasikan secara keseluruhan akan melampaui kapasitas sistem, kelebihan kapasitas itu akan terbuang begitu saja. Hal ini dikarenakan saat energi yang dibangkitkan jauh lebih banyak daripada sistem yang di pakai oleh konsumen, energi sisa pembangkitan akan masuk ke baterai. Jika baterai sudah tidak sanggup

lagi menerima energi listrik maka energi listrik tersebut akan dibuang untuk melindungi baterai agar tidak penuh 100%.

PLTH Pandansimo sendiri adalah pembangkit *Off Grid*, sehingga akan disayangkan jika pembangunan PLTH dengan kapasitas yang terlalu besar dari permintaan energi listrik yang tentunya membutuhkan modal yang sangat besar. Hal ini membuat pembalikan modal dari PLTH akan sangat lambat. Saat ini PLTH Pandansimo sendiri sudah beroperasi selama 11 tahun, jika hal tersebut terjadi dengan *project lifetime* PLTH 15 tahun dan jika selama 15 tahun tersebut belum terjadi profit (balik modal) maka dapat dikatakan PLTH Pandansimo tidak mendapatkan keuntungan.

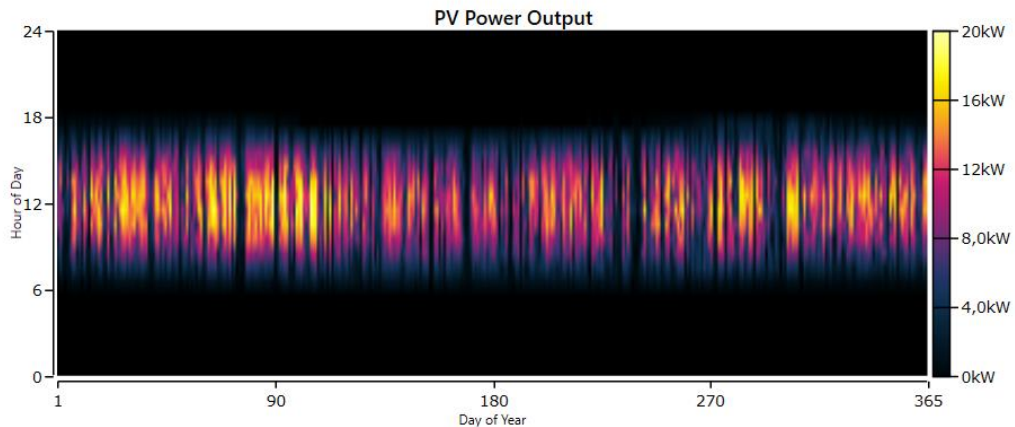
4.2.2.1. Hasil Perhitungan

Setelah dilakukan perhitungan data pada PLTH menggunakan *software* HOMER maka hasil yang diperoleh dapat dijelaskan di bawah ini.

Tabel 4. 17. PV Power

Rated Capacity	18,8kW
Maximum Output	19,7kW
Mean Output	3,15kW
Hours of Operation	4,380hr/yr
Total Production	27,555 kWh/yr

Berdasarkan perhitungan HOMER nilai daya panel surya yang digunakan untuk kebutuhan yaitu sebesar 18,8 kW. Daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya yaitu sebesar 19,7 kW. Rata-rata daya dan energi yang dihasilkan oleh panel surya adalah sebesar 3,15kW. Selama satu tahun panel surya beroperasi selama 4,380 jam/tahun. Total energi yang dihasilkan oleh panel surya yaitu 27,555 kWh/tahun. Grafik output daya PV dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

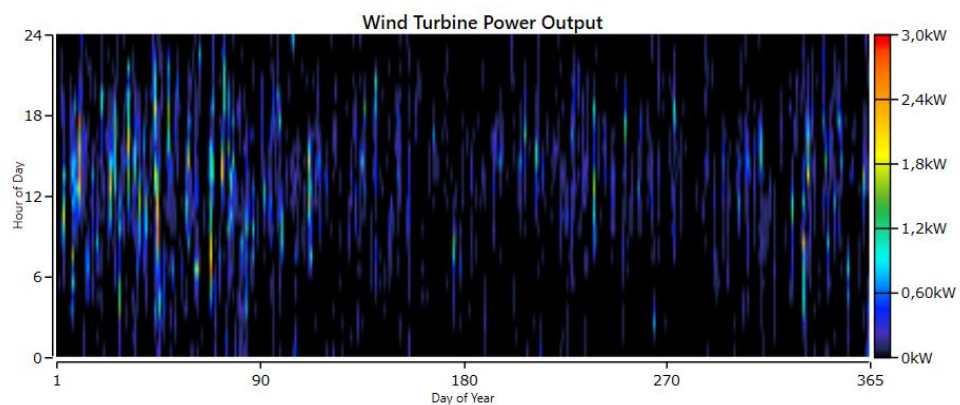


Gambar 4. 17. PV Power Output

Tabel 4. 18. Turbin Power

Rated Capacity	3kW
Maximum Output	2,91kW
Mean Output	0,0841kW atau 7,55kWh/day
Hours of Operation	4,559 hr/yr
Total Production	737 kWh/yr

Total kincir angin yang digunakan untuk kebutuhan 3kW. Daya maksimal yang dihasilkan oleh kincir angin yaitu sebesar 2,91 kW. Rata-rata daya dan energi yang dihasilkan oleh kincir angin adalah sebesar 0,0841 kW. Kincir angin beroperasi selama 4,559 jam/tahun. Total energi yang dihasilkan oleh kincir angin yaitu 737 kWh/tahun.



Gambar 4. 18. Output Turbin Angin

Tabel 4. 19. Total Energi

Energy In	27.555kWh/yr
Energy Out	12.773kWh/yr
Losses	2.644kWh/yr

Total energi yang diproduksi oleh PLTH sebesar 27.555kWh/yr, yang dapat didistribusikan sebesar 12.773kWh/yr dengan Losses 2.644kWh/yr.

Istilah efisiensi mempunyai pengertian yang sudah pasti, yaitu menunjukkan adanya perbandingan antara keluaran (*output*) dan masukan (*input*) (Ghiselli dan Brown, 1955). Oleh karena itu efisiensi energi pada PLTH Bayu Baru Pandansimo Bantul dapat diperoleh sebagai berikut:

$$EFF = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$EFF = \frac{12.773}{27.555} \times 100\%$$

$$EFF = 44,52\%$$

Penilaian efisiensi dapat dikatakan sangat efisien apabila hasil perhitungannya di bawah 60% (Cicilia, Murni, dan Engka, 2019). Berdasarkan pendapat tersebut maka PLTH Bayu Baru dapat dikatakan **EFISIEN**.

Total biaya *Net Present Cost* (NPC) adalah semua biaya dan hasil yang terjadi selama proyek berlangsung. Besarnya NPC termasuk biaya komponen, biaya pengganti komponen, pemeliharaan bahan bakar, biaya penalti emisi, suku bunga per tahun, dan lain-lain. Total NPC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_N = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i,Rproj)}$$

Dengan :

$C_{ann,tot}$ = total biaya tahunan (\$/tahun)

CRF = faktor penutupan modal

i = suku bunga (%)

R_{Proj} = lama waktu suatu proyek

N = Jumlah tahun

Cost of Energy (COE) adalah biaya rata-rata listrik yang dikeluarkan per kWh, ketika sistem menghasilkan energi listrik. Besarnya COE dihitung dari *total annualized cost* dibagi dengan besarnya *consumption energy* (kWh/yr).

$$COE = \frac{\text{total annualized cost}}{\text{consumption energy kWh/yr}}$$

Total NPC dan COE pada PLTH berdasarkan perhitungan menggunakan *Software Homer pro* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Total NPC:	\$250.229
Levelized COE:	\$2

Gambar 4. 19. NPC dan COE

Nilai NPC pada PLTH sebesar \$250.229 sama dengan Rp.3.604.548.745 dengan COE sebesar \$2/kWh atau Rp.28.810/kWh.

4.3. Kelemahan Penelitian

Adapun kelemahan pada penelitian ini yakni:

1. Pengambilan data tidak dilakukan secara otomatis menggunakan data logger.
2. Belum terdapat teori mengenai efisiensi PLTH secara terperinci.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasannya penelitian ini dapat disimpulkan, sebagai berikut.

1. PLTH Bayu Baru memiliki 34 turbin angin serta 238 panel surya dengan kapasitas total produksi 90kW namun hanya dibangkitkan sebesar 75kW
2. Total energi yang diproduksi oleh PLTH sebesar 27.555kWh/yr, yang dapat didistribusikan sebesar 12.773kWh/yr dengan Losses 2.644kWh/yr. Efisiensi energi pada PLTH Bayu Baru sebesar 44,52% yang berarti efisien.
3. Nilai NPC pada PLTH sebesar \$250.229 sama dengan Rp.3.604.548.745 dengan COE sebesar \$2/kWh atau Rp.28.810/kWh.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dapat disarankan, sebagai berikut ini.

1. Perawatan alat-alat seperti panel surya, dan kincir angin dilakukan secara berkala agar diperoleh barang inventaris yang terawat.
2. Perlunya penambahan baterai agar ketika daya listrik dihasilkan melimpah dapat disimpan sehingga lebih efisien.
3. Adanya data logger sehingga pengambilan data dapat dilakukan secara otomatis di PLTH Pandansimo.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, S. (2016). Pengelolaan Dana Ketahanan Energi. *Mineral & Energi, Vol.14 No.2*, 4.
- Adzikri, F., Notosudjono, D., & Suhendi, D. (2017). Strategi Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Elektro. Vol 1 No 1*, 1-13.
- Afifuddin. (2009). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: CV Pustaka Setia.
- Ananta, H., & Isdiyarto. (2014). Rancang Bangun Kapasitor Bank untuk Efisiensi Daya Listrik pada Industri Kecil. *Jurnal Sains dan Teknologi (Sainteknol) Vol 12, No 1 (2014)*, 9-15.
- Ansori, M., & Iswati, S. (2017). *Metodologi Penelitian Kuantitatif Edisi 2*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Arikunto, S. (2013). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Azwar, S. (2010). *Metode Penelitian Cetakan ke-10*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- BPS. Bantul (2017). *Luas Wilayah, Jumlah Penduduk, dan Rata-rata Jiwa per Km² menurut Desa di Kabupaten Bantul*. Retrieved from [bantulkab.bps.go.id: https://bantulkab.bps.go.id/dynamictable/2018/10/30/36/luas-wilayahjumlah-penduduk-dan-rata-rata-jiwa-per-km-sup-2-sup-menurut-desa-dikabupaten-bantul-2017.html](https://bantulkab.bps.go.id/dynamictable/2018/10/30/36/luas-wilayahjumlah-penduduk-dan-rata-rata-jiwa-per-km-sup-2-sup-menurut-desa-dikabupaten-bantul-2017.html)
- BPS Bantul (2019, Oktober 16). *Population, Population Growth Rate, Percentage Distribution of Population, Population Density, and Population Sex Ratio By Subdistrict, 2000¹, 2010² and 2018³*. Retrieved from <https://bantulkab.bps.go.id/>
<https://bantulkab.bps.go.id/statictable/2019/10/16/18/penduduk-laju-pertumbuhan-distribusi-persentase-penduduk-kepadatan-penduduk-rasio-jenis-kelamin-penduduk-menurut-kecamatan-2000-2010-dan-2018-.html>

- Bachtiar, A., & Hayattul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(1), 35-45.
- Caraka, R. E., & Ekacitta, P. C. (2016). Simulasi Kalkulator Energi Baru Terbarukan (Ebt) Guna Memenuhi Ketahanan Energi di Indonesia. *Statistika. Vol 16 No 2*, 77-88.
- Cicilia, V. S., Murni, S., & Engka, D. M. (2019). Analisis Efisiensi dan Efektivitas Serta Kemandirian Pengelolaan Keuangan Daerah di Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pembangunan dan Keuangan Daerah*.
- DEPDIKNAS. (2020). *Kamus Besar Bahasa Indonesia KBBI*. Retrieved from kbbi.kemdikbud.go.id.
- Deshmukh, M., & Deshmukh, S. (2006). Modeling of Hybrid Renewable Energy Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12, 235-249.
- Diansyah, Y. N. (2018). *Analisis Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Berbasis pada Beban di PLTH Bayu Baru Pandansimo, Bantul, DIY. S1 Thesis*. Yogyakarta: UMY.
- Dinas Sumber Daya Air. (2013). *Jaringan Listrik*. Retrieved from <https://bantulkab.go.id/>: <https://bantulkab.go.id/jaringan-listrik>
- Djojodiharjo, & Darwin. (1980). *Analisa Data Angin di Beberapa Tempat Indonesia*. Jakarta: LAPAN.
- Elinur, Priyarsono, D., Tambunan, M., & Firdaus, M. (2010). Perkembangan Konsumsi dan Penyediaan Energi. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, Vol 2, No 1, 97-119.
- Fadillah, M. B. (2015). Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah PLN Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Vol.2 No.2*, hal. 1.
- Ghiselli, E., & Brown, C. (1955). *Personnel and Industrial Psychology*. New York: Mc-Graw Hill.
- Gie, T. L. (1976). *Garis Besar Estetik (Filsafat Keindahan)*. Yogyakarta: Penerbit Kaya.
- Gie, T. L. (1998). *Unsur-unsur Administrasi*. Yogyakarta: Kencana.

- Habib, M., Said, S., El-Hadidy, M., & Al-Zaharna, I. (1999). Optimization Procedure of a Hybrid Photovoltaic Wind Energy System. *Energy*, 919-929.
- Hamdi. (2016). *Energi Terbarukan*. Jakarta: Kencana.
- Hasibuan, M. S. (2005). *Manajemen*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Herlina. (2009). *Analisis Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan*. *SI Thesis*. Jakarta: UI.
- <http://etcgreen.com/>. (2020). *Horizontal Axis Wind Turbine*. Retrieved from <http://etcgreen.com/horizontal-axis-wind-turbine-2mw/>
- <https://www.selfsufficientaus.com.au/>. (2020). *Vertical Axis Wind Turbine*. Retrieved from <https://www.selfsufficientaus.com.au/products/r-x-vertical-axis-wind-turbine-600-w-12-24-v>
- Isdiyarto, Ananta, H., & Purbawanto, S. (2014). Model Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Surya Skala Kecil untuk Daerah Perbukitan. *Journal UNNES Saintekno* Vol. 12 No.1 , 16-22.
- Kananda, K., & Nazir, R. (2013). Konsep Pengaturan Aliran Daya Untuk PLTS Tersambung ke Sistem Grid pada Rumah Tinggal. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 2(2), 65-71.
- Kementrian ESDM. (2016). Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. *Jurnal Energi Edisi 2*, 1-100.
- Kenfack, J., Lewetchou K., J., Bossou, O. V., & Tchaptchet, E. (2016). How can we promote renewable energy and energy efficiency in Central. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1217-1224.
- Kenfack, J., K., J. L., Bossou, O. V., & Tchaptchet, E. (2017). How can we promote renewable energy and energy efficiency in Central Africa? A Cameroon case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1217–1224.
- Makhrus, M. A. (2019). *Pengembangan Modul Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru Pandansimo di Smk Muhammadiyah 3 Yogyakarta*. *SI Thesis*. D.I. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Makhrus, M. A. (2019). *PENGEMBANGAN MODUL SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HYBRID (PLTH) BAYU BARU PANDANSIMO DI SMK*

- MUHAMMADIYAH 3 YOGYAKARTA. *Tugas Akhir*. D.I. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Margono, S. (2010). *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Jakarta : Rineka Cipta.
- Mineral, K. E. (2018). *Summary RUPTL PT PLN (PERSERO) 2018-2027*. Jakarta: Kementrian ESDM.
- Mulyadi. (2007). *Sistem Pengendalian Manajemen*. Yogyakarta: UPP AMP YKPN.
- Naim, M., & Wardoyo, S. (2017). Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS On Grid 1500 Watt dengan Back Up Battery di Desa Timampu Kecamatan Towuti. *Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(2), 11-17.
- Nasional, D. E. (2019). *Indonesia Energy Outlook*. Jakarta: Kementrian ESDM.
- Novikov, A. M., & Novikov, D. A. (2013). *Research Methodology: From Philosophy of Science to Research Design*. New York: CRC Press.
- Nurhuda, M. (2018). *Mendulang Energi Gratis dengan Teknologi Tepat Guna*. Malang: Indonesia.
- P3TKEBT. (2014). *Peta Potensi Angin di Indonesia*. Retrieved from www.p3tkebt.esdm.go.id .
- Pradityo, J., Winardi, B., & Nugroho, A. (2015). Evaluasi dan Optimasi Sistem Off Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) Bayu Baru, Bantul, D.I. Yogyakarta. *TRANSIENT, VOL.4, NO. 3 ISSN: 2302-9927*, 558-564.
- Raditya, G. (2017, Juli 25). *Efisiensi Pada Panel Surya: Apakah Penting?* Retrieved from Janaloka.com: <https://janaloka.com/efisiensi-pada-panel-surya/#:~:text=Rumus%20Pmax%20%3D%20Vmp%20x%20Imp&text=S%20bagai%20contoh%20%20sebuah%20panel%20surya,ataupun%20stiker%20produk%20panel%20surya>.
- Rahmawati, Y., & Sujito. (2019). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Rekioua, D. (2020). *Hybrid Renewable Energy*. Switzerland, AG: Springer Nature.
- Riduwan. (2010). *Skala Pengukuran Variabel-variabel Penelitian*. Bandung: Alfabeta.

- Riyanto, B. (2010). *Dasar-Dasar Pembelanjaan Perusahaan, ed. 4*. Yogyakarta: BPFE-Yogyakarta.
- Sedo Energy. (2007). The Sustainable Energy Development Office.
- Santosa, H. I.-2. (2017). *Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu dan Surya di Plth Pantai Baru. S1 Thesis*. Semarang: UNNES.
- Saputra, M. (2016). Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah. *Jurnal Mekanova Vol 2. No. 1*, 74-83.
- Saputra, M. (2018). *Analisis Keandalan Komponen-Komponen Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di PLTH Bayu Baru Pantai Baru Bantul, D.I. Yogyakarta. S1 Thesis*. Yogyakarta: UMY Yogyakarta.
- Setiawan, I. K., Kumara, I. N., & Sukerayasa, I. W. (2014). Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli. *Teknologi Elektro*, 27.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV Alfabeta.
- Sunardiyo, S., Primadiyono, Y., Suprpto, E., & Widodo, D. A. (2018). Penerapan Otomatisasi Peralatan Kelistrikan Sebagai Upaya Efisiensi Energi di Pompa “Aswaja” Banaran Gunungpati Semarang. *SNKPPM 1 (1)* (pp. 31-33). Semarang: UNNES.
- Tim Cakrawala Buana. (2016). *Seri Lengkap; Atlas Indonesia dan Dunia*. Sleman: Genesis Learning.
- Ushiyama, I. &. (1988). Optimum design configurations and performance of Savonius rotors. *Wind Engineering*, 59-75.
- Usman, M. K. (2014). Reevaluasi Keluaran Daya dan Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Kawasan Pantai Baru Pandansimo. *ASEAN Journal of Systems Engineering, Vol. 2, No.2*, 55-58.
- Usman, M. K., Kamal, S., & Setiawan, A. A. (2014). Reevaluasi Keluaran Daya dan Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid di Kawasan Pantai Baru Pandansimo. *ASEAN Journal of Systems Engineering, Vol. 2, No.2*, 55-58.
- Viantus, I., Priyatman, H., & Hiendro, A. (2016). Analisis Efisiensi pada Rancang Bangun Solar Home System. 1-11.

- Wagner, H.-J., & Mathur, J. (2018). *Introduction to Wind Energy Systems: Basics, Technology and Operation 3rd Edition*. Switzerland: Springer.
- Winardi, B., Nugroho, A., & Pradityo, J. (2018). Operasi Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Bayu Baru di Bantul, D.I. Yogyakarta. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018 Tema A - Penelitian*, 1-6.
- Zohuri, B. (2018). *Hybird Energy System*. Switzerland: Springer International Publishing.