

**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MINI
TENAGA SURYA DAN TENAGA BAYU BERBASIS IoT**

*Design of Mini Hybrid Power Plant Based on Solar and Wind Energy with IoT
Integration*

SKRIPSI

**Disusun sebagai syarat kelulusan pendidikan pada program studi strata 1
Teknik Elektro Universitas Sangga Buana YPKP**

Oleh :

Muhammad Rahadian Dzulfikar Rizal

2114227035




PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP – BANDUNG

2024

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR LEMBAR PENGESEHAN	
	Jl. PH. H. Mustofa No.68 Cikutra, Cibeunying Kidul – Bandung 40124	No. Revisi	
		Berlaku Efektif	

LEMBAR PENGESEHAN

SKRIPSI

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MINI TENAGA SURYA DAN TENAGA BAYU BERBASIS IoT

*Design of Mini Hybrid Power Plant Based on Solar and Wind Energy with IoT
Integration*

Disusun oleh :

MUHAMMAD RAHADIAN DZULFIKAR RIZAL

2114227035

Telah disetujui dan disahkan sebagai Skripsi Program S1 Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP

Bandung, Maret 2024


Disahkan oleh :

Pembimbing



Ivany Syarif, ST., MT.

(NIK : 432.200.122)

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN	
	Jl. PH. H. Mustofa No.68 Cikutra, Cibeunying Kidul – Bandung 40124	No. Revisi	
		Berlaku Efektif	

Penguji I



Dr. Hartuti Mistialustina, S.T., M.T.

(NIK : 432.200.103)

Penguji II



Hardy Purnama Nurba, S.T., M.T.

(NIK : 432.200.215)

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Ivany Syarief, ST., MT.

(NIK : 432.200.122)

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN	
	Jl. PH. H. Mustofa No.68 Cikutra, Cibeunying Kidul – Bandung 40124	No. Revisi	
		Berlaku Efektif	

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Nama : Muhammad Rahadian Dzulfikar Rizal
 NIM : 2114227035
 Alamat : Jl. Iskandar Blok B.13 No.4, Tangerang Kota – Banten
 No Telp : +62859-1069-86070
 Email : kuliahlagi2022@gmail.com

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan karya orisinil saya sendiri, dengan judul :

PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MINI TENAGA SURYA DAN TENAGA BAYU BERBASIS IoT

*Design of Mini Hybrid Power Plant Based on Solar and Wind Energy with IoT
Integration*

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidak aslian karya ini.



Bandung, Maret 2024



Muhammad Rahadian Dzulfikar Rizal

2114227035

ABSTRAK

Instrumen keselamatan penerbangan adalah perangkat atau system yang dirancang untuk meningkatkan keselamatan operasi penerbangan. Adapun salah satunya ialah instrumen pencahayaan lapangan terbang atau *Airfield Lighting* yaitu merupakan sistem pencahayaan yang dipasang di dan sekitar area lapangan terbang untuk memberikan panduan visual kepada pilot semasa fase pendaratan, lepas landas, pergerakan di darat pada siang atau malam hari dalam kondisi cuaca cerah maupun buruk. Tujuannya adalah untuk meningkatkan keselamatan operasi pesawat dan memberikan panduan yang diperlukan untuk navigasi di sekitar bandara.

Satu dari sekian banyak *airfield lighting* adalah *runway guard light*. Lampu ini memiliki fungsi vital sebagai penanda untuk pilot maupun pekerja area *airside* bahwa mereka akan memasuki jalur landasan pacu aktif. Mengingat pentingnya peran dari jenis lampu sinyal ini maka diharapkan performansi yang harus handal dan dapat diharapkan untuk terus beroperasi sesuai Annex 14 Aerodromes yang diterbitkan oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Untuk itu desain yang akan dibuat mengadopsi sistem *hybrid* dengan menggabungkan tenaga surya dan tenaga bayu. Panel surya akan dipasang dengan motorisasi, kincir angin juga akan didesain sedemikian rupa kemudian keduanya dipantau besaran tegangan dan arus yang keluar untuk dapat bergantian secara manual dan otomatis. Besaran tegangan dan arus akan diproses untuk menentukan dari pembangkit mana yang akan mensuplai baterai sehingga baterai tidak terputus dan selalu terisi penuh. Angka-angka pengukuran yang timbul beserta kontrolisasinya akan dapat diakses pengguna melalui suatu aplikasi yang terhubung internet.

Luaran yang diharapkan dari penelitian ini adalah kehandalan dari lampu RGL tersebut tercapai serta mewujudkan kemudahan operator dalam mengontrol, merawat serta memantau yang mana lokasi penempatan lampu tersebut begitu jauh dari ruang *standby* operator. Kemudian sistem ini juga dapat diadopsi untuk diaplikasikan di rumah tangga sebagai transisi energi terbarukan yang memiliki nilai manfaat dan nilai ekonomi.

Kata kunci : PLTS, PLTB

ABSTRACT

Aviation safety instruments are devices or systems designed to improve the safety of flight operations. One of them is the airfield lighting instrument or Airfield Lighting, which is a lighting system installed in and around the airfield area to provide visual guidance to pilots during the landing, takeoff and ground movement phases during the day or night in clear or bad weather conditions. The aim is to improve the safety of aircraft operations and provide the necessary guidance for navigation around the airport.

One of the many airfield lighting is the runway guard light. This light has a vital function as a marker for pilots and airside area workers that they will enter an active runway. Considering the important role of this type of signal light, it is hoped that its performance must be reliable and can be expected to continue operating in accordance with Annex 14 Aerodromes published by ICAO (International Civil Aviation Organization). For this reason, the design that will be made adopts a hybrid system by combining solar power and wind power. The solar panels will be installed with motorization, the windmill will also be designed in such a way that both the voltage and current output will be monitored to be able to alternate manually and automatically. The voltage and current will be processed to determine which generator will supply the baterai so that the baterai is not disconnected and is always fully charged. The resulting measurement figures and their control will be accessible to users via an internet-connected application.

The expected outcome of this research is that the reliability of the RGL lamp is achieved and makes it easier for operators to control, maintain and monitor where the location of the lamp is far from the operator's standby room. Then this system can also be adopted for application in households as a renewable energy transition that has benefits and economic value.

Key words: solar energy, wind energy, renewable energy

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**PERANCANGAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID MINI TENAGA SURYA DAN TENAGA BAYU BERBASIS IoT**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung.

Penulis mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Bapak Ivany Syarief, ST., MT. selaku Pembimbing Skripsi, atas bimbingan, arahan dan masukan yang berharga sepanjang penulis menulis skripsi ini.

Kepada istri saya Shella Frisca Valencia serta ananda Byantara Vallerian Dhaniswara yang selalu mendampingi dan mendukung untuk menuntaskan pendidikan ini sebaik mungkin.

Selanjutnya penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan dan motivasi selama penulis menyelesaikan penulisan ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi perbaikan dan pengembangan ilmu pengetahuan di masa mendatang.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bermanfaat bagi pembacanya. Penulis mengharapkan doa restu dari keluarga, teman-teman dan semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandung, Maret 2024

Muhammad Rahadian Dzulfikar Rizal
2114227035

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I – PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penulisan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Pengumpulan Data	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II – LANDASAN TEORI	6
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	6
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu	7
2.3 Generator	10
2.4 <i>Internet of Things</i>	11
2.5 Kondisi Saat Ini	13

BAB III – METODE PERANCANGAN.....	15
3.1 Waktu dan Tempat.....	16
3.2 Desain Penelitian.....	17
3.2.1 <i>Runway Guard Light</i>	17
3.2.2 Turbin Angin.....	18
3.2.2.1 Kendala Dalam Desain Turbin.....	22
3.2.3 <i>Hybrid</i>	23
3.2.4 <i>Internet of Things</i>	25
BAB IV – DATA DAN ANALISIS.....	30
4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya.....	30
4.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu.....	33
4.3 <i>Hybrid</i>	36
4.4 Pengujian <i>Internet of Things</i>	40
BAB V – PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	45
PLAGIARISME.....	48

DAFTAR GAMBAR

BAB II

Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	6
Gambar 2.2 Kincir Angin Sudu Archimedes.	9
Gambar 2.3 <i>Archimedes Screw</i>	10
Gambar 2.4 Bagian-Bagian <i>Archimedes Windmill</i>	10
Gambar 2.5 Generator.....	11
Gambar 2.6 NodeMCU ESP 8266.	12
Gambar 2.7 Tampilan Lokasi Gardu Listrik di Bandara Soekarno-Hatta.	13
Gambar 2.8 Kegiatan Inspeksi.	14

BAB III

Gambar 3.1 Blok Diagram Perencanaan Penelitian.....	15
Gambar 3.2 <i>Runway Guard Light</i>	17
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> PLTB	18
Gambar 3.4 Blok Diagram Langkah Pembuatan 3D Printing.....	18
Gambar 3.5 Ilustrasi <i>Software</i> Autodesk Fusion.....	19
Gambar 3.6 Pengaturan 3D Printer.	19
Gambar 3.7 Proses Pencetakan 3D Printing.	20
Gambar 3.8 Kincir Archimedes.	20
Gambar 3.9 Ilustrasi Rangka Turbin Angin.....	21
Gambar 3.9 Pengujian Kincir Angin Archimedes.	22

Gambar 3.10 <i>Flowchart Hybrid</i>	23
Gambar 3.11 Rangkaian IoT yang Digunakan.....	27
Gambar 3.12 Rangkaian Skematik IoT.....	28
Gambar 3.13 Contoh Tampilan Thingspeak Melalui <i>Smartphone</i> dan <i>Web</i>	29

BAB IV

Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> PLTS.....	30
Gambar 4.2 Grafik Korelasi Tren Tegangan Panel Surya 1.	31
Gambar 4.3 Grafik Korelasi Tren Tegangan Panel Surya 2.	32
Gambar 4.4 Kegiatan Uji Laboratorium Panel Surya.	33
Gambar 4.5 Kegiatan Uji Laboratorium Turbin Archimedes.	34
Gambar 4.6 Grafik Korelasi Tren Tegangan PLTB.....	35
Gambar 4.7 Grafik Tegangan Keluaran <i>Hybrid</i>	37
Gambar 4.8 Rumus Prosentase Pengisian Baterai.	38
Gambar 4.9 Grafik Pengisian Baterai dengan <i>Hybrid</i>	39

DAFTAR TABEL

BAB III

Tabel 3.1 Komponen <i>Internet of Things</i> yang Digunakan.....	25
--	----

BAB IV

Tabel 4.1 Hasil Uji Laboratorium Panel Surya 1	31
--	----

Table 4.2 Hasil Uji Laboratorium Panel Surya 2.....	32
---	----

Tabel 4.3 Hasil Uji Laboratorium Turbin Archimedes.....	34
---	----

Tabel 4.4 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Keluaran Melalui <i>Hybrid</i>	37
--	----

Tabel 4.5 Hasil Uji Laboratorium Pengisian Baterai Sistem <i>Hybrid</i>	38
---	----

Tabel 4.6 Hasil Uji Laboratorium Sistem <i>Internet of Things</i>	40
---	----



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan energi akan listrik tumbuh dengan rata-rata mencapai 6,5% setiap tahun sampai pada tahun 2020. Kondisi tersebut akan menimbulkan masalah jika dalam penyediaan energi listrik lebih kecil dari kapasitas yang dibutuhkan. Pemanfaatan pembangkit dengan energi primer yang bersifat terbarukan memiliki posisi yang sangat penting dalam mengatasi permasalahan kekurangan energi listrik. Selain itu penggunaan energi terbarukan, dalam hal ini kincir angin dan panel surya merupakan jenis pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara serta suara seperti pada pembangkit konvensional, contohnya pembangkit listrik tenaga uap [1].

Di bandar udara Soekarno-Hatta sudah mengoperasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebanyak 720 *solar panel system* dengan kapasitas 241 *kilo watt per peak* (kWp) sebagai penerapan konsep *Green Airport* yang mana itu adalah pengaplikasian dari program Energi Baru Terbarukan (EBT) di sektor kebandarudaraan nasional. Hal ini sejalan dengan upaya Kementerian BUMN dalam Percepatan Pengembangan dan Pemanfaatan Energi Surya di BUMN.

Adapun bandara Soekarno-Hatta merupakan pengelola kebandar-udaraan juga memiliki kewajiban akan menjaga keselamatan penerbangan itu sendiri. Di dalam dunia penerbangan, terdapat sebuah sistem keselamatan penerbangan disebut dengan *airfield lighting system* atau sistem penerangan landasan. Salah satu jenis lampu dari sistem tersebut dikenal dengan *runway guard light* yang berfungsi sebagai pengingat setiap personel bahwa mereka menuju ke *runway* yang sedang aktif dilakukan penerbangan pesawat. Hal ini penting, karena syarat untuk menara pengawas memberikan izin kepada pilot pesawat terbang untuk melakukan pergerakan terbang landas maupun pendaratan adalah *runway clear* tanpa ada hambatan. Dengan adanya pemasangan lampu ini juga untuk menghindarkan

adanya kejadian tabrakan yang melibatkan pesawat dengan objek lain yang pastinya mengakibatkan banyak korban jiwa.

Saat ini pasokan listrik untuk lampu tersebut telah mendapatkan teknologi *renewable energy* dari panel surya namun dengan ini dijumpai beberapa kendala antara lain penerimaan sinar puncak yang tidak tercapai, untuk itu penulis berinisiatif untuk melakukan suatu inovasi tepat guna yang dapat dipalikhaskan tidak hanya di bandar udara namun juga di semua tempat.

Perancangan prototipe pembangkit listrik *hybrid* energi matahari dan angin yang dapat di monitoring melalui jaringan internet merupakan perancangan alat yang memanfaatkan energi terbarukan yaitu energi matahari dan angin sebagai sumber energi listrik. Perancangan alat ini memanfaatkan energi matahari yang memiliki potensi energi radiasi rata-rata sebesar 2,267 kWh/m² setiap hari. Potensi energi angin yang tidak terlalu besar sekitar 2-8 m/s, dapat dimanfaatkan menghasilkan energi listrik dari sebuah kincir angin. Alat ini dilengkapi dengan rangkaian *baterai charge regulator hybrid* yang berfungsi sebagai pengatur tegangan input dari panel surya maupun kincir angin dengan kapasitas arus yang mampu dilewati sebesar 10 ampere [2].

Pembangkit listrik *hybrid* membutuhkan komponen penyimpanan energi seperti *baterai* atau aki sehingga perlu menggunakan sistem pengisian daya *baterai* yang terkontrol menggunakan *baterai unit charge controller* (BUCC) atau yang umum digunakan adalah *solar charge controller* (SCC). Pembangkit listrik *hybrid* menggunakan panel surya monocrystalline 100 watt peak dan kincir angin enam sudu dengan generator DC 100 watt sebagai komponen konversi energi. SCC akan menjaga besar tegangan yang masuk ke *baterai* atau aki. Jika *baterai* sudah mendekati penuh maka arus yang masuk ke SCC akan menurun, tegangan perlahan meningkat mendekati kondisi tegangan *floating* sehingga daya yang masuk ke *baterai* menjadi terhenti [3].

Pengukuran metering serta status keluaran listrik terpakai akan dikirim melalui internet dan dapat dipantau secara langsung *real time* oleh operator melalui gawai yang ada. Begitupun dengan berbagai alarm dan peringatan. Dengan desain yang

direncanakan maka pengguna akan merasakan kemudahan dalam mengoperasikan rancangan pembangkit *hybrid* mini tenaga surya dan tenaga bayu ini.

Dengan adanya pencampuran pembangkit listrik surya dan bayu ini diharapkan dapat menjawab kendala tersebut terutama di sisi optimalisasi penyerapan energi terbarukan dan penghematan biaya sebagai sarana pemasangan pembangkit listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah pada penelitian ini meliputi :

1. Bagaimana mendesain pembangkit listrik *hybrid* mini yang menggabungkan tenaga surya dan bayu?
2. Bagaimana implementasi sistem berbasis IoT dapat meningkatkan efisiensi dan kontrol pada pembangkit listrik *hybrid* mini?
3. Apa potensi penerapan dan manfaat dari sistem ini dalam konteks praktis?

1.3 Tujuan Penelitian

Capaian yang ingin diraih dari karya tulis ini adalah sebagai berikut :

1. Merancang sistem pembangkit listrik *hybrid* mini berbasis energi surya dan bayu yang menggunakan teknologi IoT.
2. Mengevaluasi kinerja system *hybrid* dalam kualitas pembangkitan tenaga listrik berdasarkan model yang telah dibuat.

1.4 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis memberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

1. Lingkup penelitian

Fokus penelitian terletak pada pengembangan sistem pembangkit listrik *hybrid* mini secara spesifik yang mengintegrasikan energi surya dan energi bayu.

2. Variable yang diperhatikan

Parameter yang menjadi perhatian khusus dalam penelitian ini adalah membandingkan besar arus pengisian serta waktu pengisian *baterai* dengan menggunakan sistem *hybrid* maupun *non-hybrid*.

3. Waktu penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Elektro Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung, dilaksanakan sepanjang Januari 2024 hingga Maret 2024. Pengambilan sampel dilakukan tiga kali di masing-masing metode sistem.

4. Batasan umum

Mekanisme desain turbin merupakan lintas keilmuan sehingga masih luas ruang untuk perbaikan desain demi mencapai keefisienan catu daya listrik.

1.5 Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan laporan tugas penelitian, pengumpulan data didapat dengan metode :

1. Studi literatur

Tinjauan mendalam tentang teknologi terkini dalam pembangkit listrik berbasis surya, bayu dan IoT.

2. Eksperimen dan implementasi

Perancangan pembangunan, dan pengujian prototipe sistem *mini hybrid*.

3. Pengamatan dan pengukuran

Pemantauan langsung kinerja sistem, termasuk ketersediaan energi dari sumber surya dan bayu serta respons sistem terhadap variasi lingkungan.

4. Wawancara dan kuesioner

Untuk mendapatkan perspektif dari ahli energi terbarukan atau pengguna potensial terhadap aplikabilitas dan manfaat dari sistem ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

BAB I – PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang secara umum, tujuan perancangan, batasan masalah, metode pengumpulan data dan sistematika penulisan.

BAB II – KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas penelitian-penelitian sebelumnya sebagai pembandingan dengan penelitian yang akan dilakukan serta teori-teori dasar yang mencakup penelitian yang akan dilakukan.

BAB III – METODE PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan tentang perencanaan perancangan pembangkit listrik *hybrid* mini yang meliputi jenis komponen-komponen pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga bayu serta teknologi IoTnya.

BAB IV – DATA DAN ANALISIS

Bab ini menjelaskan tentang pendokumentasian, pemantauan, pengukuran serta perhitungan atas perancangan pembangkit listrik *hybrid* mini serta penganalisaan berdasarkan standar yang berlaku di Indonesia.

BAB V – PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang dibuat berdasarkan hasil perancangan yang didapat serta saran untuk memperbaharui dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Merupakan daftar sumber literatur yang menjadi dasar serta mendukung data dalam perancangan penelitian ini.

LAMPIRAN

Menampilkan data-data dukung yang dapat melengkapi penjabaran dalam karya tulis tugas akhir ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Ketergantungan terhadap sumber energi fosil sebagai bahan bakar pembangkit listrik masih mendominasi sebagian besar sistem pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia. Usaha dalam rangka mengurangi fosil sebagai bahan bakar pembangkit dan beralih menggunakan energi baru terbarukan diupayakan oleh pemerintah dengan diterbitkannya aturan mengenai Kebijakan Energi Nasional. Komitmen pemerintah dalam rangka mendukung Kebijakan Energi Nasional, tercapainya 23% penggunaan energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 diwujudkan dengan berbagai macam kebijakan maupun regulasi, salah satunya pada pengembangan PLTS di Indonesia. Adanya kepastian dan payung hukum pelaksanaan pengembangan PLTS diharapkan mampu memberi kesempatan seluas luasnya untuk memaksimalkan potensi energi surya yang ada di Indonesia. Regulasi dari sisi teknis maupun fiskal harus terus diperbarui untuk mendukung investasi pada pengembangan PLTS [4].



Gambar 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Peningkatan peranan Energi Baru Terbarukan (EBT) dalam bauran Energi Nasional yang menjadi program pemerintah, terutama penggunaan PLTS Atap sebagaimana terlihat instalasinya pada gambar di atas, yang bertujuan penghematan / mengurangi tagihan listrik bulanan dan membuka peran serta masyarakat dalam pemanfaatan dan pengelolaan energi terbarukan. Sistem PLTS Atap skala rumah tangga merupakan solusi dalam partisipasi masyarakat dalam penggunaan energi

terbarukan. Sistem PLTS Atap meliputi modul surya, baterai, kontrol panel surya, inverter dan sambungan listrik. Untuk skala rumah tangga katagori sedang menggunakan daya 1300 watt, dengan spesifikasi panel surya 2 buah masing-masing 250 wp, baterai 2 buah masing-masing 100 Ah, kontrol panel surya 130 dan inverter 1300 watt. Biaya investasi awal untuk pembuatan PLTS Atap 10 sampai dengan 15 juta rupiah. Biaya beban listrik yang dibayarkan perbulan sebelum pemakain PLTS Atap berkisar 300 sampai dengan 400 ribu rupiah, setelah penggunaan PLTS Atap biaya beban listrik perbulan 200 sampai dengan 300 ribu rupiah, penghematan rata-rata perbulan 100 ribu rupiah, jika diperhitungkan biaya investasi akan kembali dalam 1 tahun, rata-rata umur material dari PLTS berkisar 20 tahun. Penghematan biaya beban listrik berkisar Rp. 22.800.000,- dalam 20 tahun. Secara ekonomis nilai ini masih sangat kecil, tetapi sudah berhasil melakukan penghematan biaya beban listrik per bulan, dan meningkatkan pemanfaatan energi terbarukan [5].

Adapun panel surya yang telah terpasang pada lampu *runway guard light* di bandara Soekarno-Hatta memiliki tegangan keluaran 12VDC. Lokasi tersebut merupakan lahan terbuka sehingga paparan sinar matahari dapat diterima dengan optimal. Selama langit tidak mendung dan siang hari, besar kemungkinan panel surya akan mencapai potensi puncak dayanya.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Untuk mengkonversikan energi kinetik dari angin menjadi listrik perlu adanya turbin angin. Energi baru dan terbarukan telah menjadi tren energi hijau dalam sistem ketenagalistrikan ke depan. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) merupakan salah satu pusat pembangkit listrik dengan sumber energi utama yang bebas polusi dan ramah lingkungan [6].

Dalam merencanakan pembuatan suatu PLTB harus mengetahui terlebih dahulu karakter angin yang tersedia pada suatu daerah. Adapun jenis-jenis karakter angin ialah :

1. Intermiten; dimana harapannya akan selalu ada aliran angin walaupun tidak kontinyu atau ketersediaan angin

2. Kecepatan angin; setiap daerah bervariasi, daerah yang tidak memiliki hambatan seperti dataran tinggi atau pantai tentu memiliki kecepatan angin yang tinggi pula.
3. Densitas angin; merupakan energi yang terkandung pada aliran angin melalui penampang yang tegak lurus pada satu waktu. Densitas ini merupakan indeks yang digunakan untuk mengevaluasi kelayakan sumber energi angin.

Tipe turbin angin; untuk daerah yang memiliki aliran udara kencang dan arah yang tetap seperti di pegunungan dan pantai serta menginginkan kapasitas daya yang relatif besar maka turbin angin horizontal yang sesuai. Jika di dataran rendah semisal di perkotaan dengan kecepatan angin rendah, arah yang bervariasi dan kapasitas yang relatif kecil maka turbin angin sumbu vertikal lebih sesuai [7].

Terdapat beberapa jenis sudu pada kincir angin yang umumnya digunakan untuk menghasilkan energi dari angin. Berikut adalah beberapa jenis sudu yang umum digunakan :

1. Sudu hemisferis : sudu ini memiliki bentuk menyerupai setengah bola. Mereka biasanya digunakan pada kincir angin modern karena efisiensi yang relatif tinggi
2. Sudu sembilu : sudu ini memiliki bentuk yang menyerupai bilah pisau. Mereka umumnya lebih efisien daripada sudu tradisional dan sering digunakan pada kincir angin modern
3. Sudu daun : sudu ini memiliki bentuk yang mirip dengan daun pohon. Mereka dapat lebih efisien dalam menghasilkan energi dari angin pada kecepatan rendah
4. Sudu silinder : sudu ini memiliki bentuk silinder dengan ujung runcing. Mereka umumnya digunakan pada kincir angin kecil atau prototipe eksperimental
5. Sudu tanpa angin : ini adalah sudu yang dirancang khusus untuk kincir angin tanpa baling-baling, biasanya menggunakan sistem vertikal untuk menangkap angin dari berbagai arah.

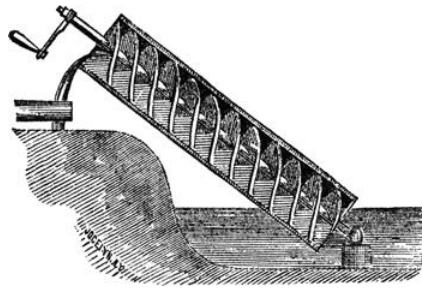
Setiap sudu memiliki kelebihan dan kelemahan tersendiri tergantung pada aplikasi dan kondisi penggunaannya. Pemilihan sudu yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi kincir angin dalam menghasilkan energi dari angin [8].

Sudu kincir angin yang berbentuk spiral sering disebut sebagai sudu Archimedes atau sudu heliks, untuk detail modelnya dapat dilihat pada gambar 2.2. Bentuk spiral ini memungkinkan sudu untuk menangkap energi dari angin dengan lebih efisien. Keuntungan dari sudu heliks adalah bahwa mereka dapat menghasilkan energi bahkan ketika angin bertiup dalam berbagai arah, karena mereka tidak memerlukan penyesuaian arah. Jenis ini juga cenderung lebih tenang daripada sudu tradisional karena desainnya yang mengurangi turbulensi. Desain kincir ini tidak dibuat sebagaimana desain yang konvensional melainkan dengan rotor unik berbentuk spiral, desain ini membantu turbin menyesuaikan sendiri akan arah dan kecepatan angin yang berhembus menerpanya dan memastikan dapat menangkap sekecil mungkin energi angin yang didapat sepanjang waktu. Bentuk rotornya memanjang dari ujung ke ujung berbentuk kerucut spiral yang dapat memutar dan menangkap angin dari sudut 60° dari sumbu [8].



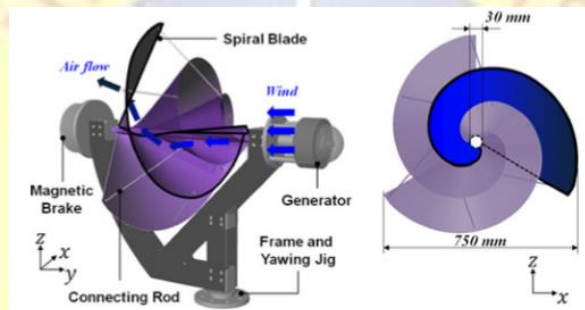
Gambar 2.2 Kincir Angin Sudu Archimedes.

Awalnya prinsip dari model kincir angin ini mengadopsi dari sebuah pompa air sekrup yang digunakan untuk mengangkat air dari dataran rendah ke dataran yang lebih tinggi dengan cara memutar sekrup atau ulir tersebut. Pompa sekrup ini juga merupakan salah satu jenis pompa tertua yang pernah dikembangkan [9].



Gambar 2.3 Archimedes Screw.

Secara umum, *Archimedes Wind Mill (AWM)* terdiri dari tiga sudu spiral, generator, rem magnetik, *frame* dan *yawing jig*. Sudu spiral yang berjumlah tiga dan diposisikan sepanjang poros ini sangat berbeda dengan sudu kincir angin secara umum [9].



Gambar 2.4 Bagian-Bagian Archimedes Windmill.

Rencana peletakan PLTB di area *airside* bandara Soekarno-Hatta sangatlah disarankan, disebabkan desain turbin Archimedes ini tidaklah tinggi dan besar sehingga tidak menjadi halangan/*obstacle*. Angin berhembus dengan kuat sepanjang waktu dengan arah yang tetap, sesuai dengan kebutuhan turbin angin ini.

2.3 Generator

Dalam kehidupan era modern, listrik telah menjadi salah satu penyokong suplai energi untuk memenuhi semua kebutuhan manusia sehari-hari. Listrik bisa dihasilkan dari konversi energi alam seperti cahaya matahari, angin, batu bara dan sebagainya. Generator telah menjadi mesin pembaruan modern yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator dengan sistem kerja yang memanfaatkan lilitan kawat sebagai penghantar listrik dan stator serta rotor

yang bekerja terus menerus untuk mengkonversi energi gerak menjadi energi listrik [10].



Gambar 2.5 Generator.

Ada banyak jenis generator yang dipakai untuk mengkonversi energi angin yang didapat turbin angin menjadi listrik salah satunya *Permanent Magnet Synchronous Machine* (PMSM) seperti yang dilukiskan pada gambar di atas. Dalam penelitian ini PMSM dipilih sebagai generator karena memiliki keunggulan diantaranya bentuk dan ukuran generator simpel, kecil dan ringan, perawatan mudah, energi yang dihasilkan signifikan, mengikuti kondisi lingkungan, gangguan elektromagnetis lebih kecil, ramah lingkungan, gelombang tegangan lebih berkualitas meski terjadi perubahan pembebanan

2.4 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah istilah yang menjelaskan antara hubungan suatu benda dengan benda (*things*) yang lain melalui jaringan nirkabel seperti internet tanpa memerlukan interaksi dengan manusia. *Internet of Things* merupakan salah satu *trend* dalam dunia teknologi yang dapat diterapkan dalam setiap bidang kehidupan [11]. Dengan memanfaatkan teknologi IoT ini, kita dapat memanfaatkannya dalam bidang *control* dan *monitoring* suatu peralatan yang mana itu akan memudahkan seorang operator dalam mengoperasikan alat tersebut. Dalam konteks ini, sistem berbasis IoT yang diusulkan memfasilitasi pengguna energi untuk mengetahui energi yang diterima, diproses hingga dikonsumsi secara langsung (*real time*) melalui sebuah gawai sehingga memungkinkan untuk dilakukan pengaksesan data kapan saja dan dimana saja. Contoh teknologi yang

menggunakan IoT saat ini adalah pengiriman data dari jarak jauh secara langsung dengan memanfaatkan gawai genggam (*smartphone*).

Penelitian ini mendesain sebuah pembangkit *hybrid* yang parameter-parameternya akan selalu terpantau dan secara otomatis tampilan *metering*nya muncul pada layar gawai operator. Titik pengukuran diklasifikasikan dalam beberapa kategori yang akan diberikan sebuah alamat IP tersendiri. Perancangan ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32. NodeMCU ESP32 yang sudah dilengkapi dengan *wifi* dan *firmware*nya bersifat *open source*. Modul *wifi* pada NodeMCU ESP32 berfungsi sebagai penghubung antara *smartphone* dengan objek/sensor.

NodeMCU ESP32 yang digunakan yaitu merupakan pengembangan dari modul ESP8266 dengan *firmware* berbasis e-Lua. Versi ini telah dilengkapi dengan *micro usb port* dengan fungsi input program dan suplai tegangan DC 5 Volt, diilustrasikan pada gambar 2.6 yang menjelaskan setiap pin yang dimilikinya. NodeMCU ESP32 versi ini juga dilengkapi dengan tombol *flash* dan *reset*. Bahasa Lua sendiri merupakan bahasa yang memiliki logika dan pemrograman yang sama dengan bahasa C. Namun, berbeda pada *sintaknya*. Sedangkan, hal yang paling menarik, yaitu NodeMCU ESP32 ini mendukung Arduino IDE yang merupakan *software* untuk mengaplikasikan program dari mikrokontroler Arduino [12].



Gambar 2.6 NodeMCU ESP32.

Untuk mengendalikan NodeMCU ESP32 pada penelitian ini, kita membutuhkan aplikasi yang disebut dengan Thingspeak. Thingspeak sendiri yaitu

platform berbasis *web* dan bisa diakses melalui *Personal Computer / smartphone* yang berfungsi sebagai pengendali *arduino* dan mikrokontroler lainnya [13].

2.5 Kondisi Saat Ini

Penempatan lampu *runway guard light* berada di titik-titik persimpangan antara *taxiway* dan landasan pacu, dan di beberapa titik lagi antara titik *intersection* percabangan antara jalur akses dengan *taxiway* yang disebut lampu *warning light* yang mana memiliki spesifikasi sama. Lampu-lampu sinyal ini memiliki konsep yang sama yakni membatasi pergerakan di jalur pesawat.

Sebaran catu daya listrik di bandara Soekarno-Hatta disuplai dari setiap gardu listrik yang berada di masing-masing terminal (terdapat Terminal 1, Terminal 2, Terminal 3 dan Cargo Village), daerah perkantoran dan gardu listrik daerah *airside*. Lampu RGL dan *warning light* merupakan jenis lampu yang dipasang di area *airside* namun lampu-lampu ini tidak termasuk dalam gugusan lampu pendaratan pesawat, letak pemasangannya juga terpisah jauh dari gugusan lampu pendaratan pesawat yang disuplai langsung dari gardu-gardu listrik *airside*.



Gambar 2.7 Tampilan Lokasi Gardu Listrik di Bandara Soekarno-Hatta.

Pada umumnya, setiap ruang jaga unit-unit *Electrical* memiliki layar monitor yang menampilkan gardu-gardu listrik seperti pada gambar 2.7. Dikarenakan letak dari gardu listrik yang tidak menjangkau area dari titik-titik tersebut maka lampu-lampu *runway guard light* dan *warning light* dicatu oleh pembangkit listrik mandiri terbarukan, yakni panel surya. Adapun kondisi di lapangan lampu tersebut mengalami ketidak-handalan ketika telah memasuki malam hari. Hal ini disebabkan

oleh faktor hilangnya sumber tenaga utama yakni matahari, lemahnya kontrol peralatan karena kondisi peralatan tidak dapat dimonitor dari ruang *standby* teknisi secara *real time* walaupun telah dilakukan perawatan secara berkala sebagaimana didokumentasikan pada gambar 2.8.



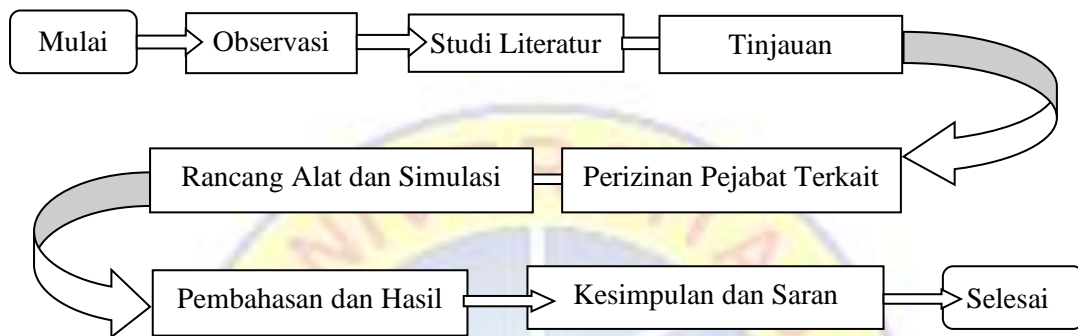
Gambar 2.8 Kegiatan Inspeksi.

Inovasi yang diajukan oleh penulis adalah bertujuan untuk menormalisasi peralatan sesuai standar yang ada sehingga lampu tersebut dapat beroperasi secara terus menerus. Disamping itu, dengan adanya monitoring yang dapat dipantau setiap waktu maka operator dapat mengetahui kondisi peralatan yang berada di lapangan serta dapat menentukan langkah yang diambil apabila terjadi anomali. Ada beberapa gagasan yang akan dituangkan dalam proyek ini untuk meminimalisir terputusnya catu daya listrik dalam konteks energi terbarukan berkelanjutan yang akan dijelaskan lebih rinci pada bab-bab berikutnya.

BAB III

METODE PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah perencanaan, perancangan serta pembuatan prototipe yang nantinya diimplementasi di lapangan.



Gambar 3.1 Blok Diagram Perencanaan Penelitian.

Observasi adalah penulis memeriksa dan mencari permasalahan di tempat kerja yang memiliki potensi untuk dilakukan penyempurnaan. Saat ini yang menjadi *concern* adalah *runway guard light*. Kondisi saat ini adalah lampu tersebut padam tidak beroperasi ketika malam hari.

Penulis kemudian melakukan studi literatur dan tinjauan pustaka dimana muncul sebuah gagasan yang ekonomis dan bernilai investasi bagus dalam jangka panjang yakni pembuatan pembangkit listrik bersistem campuran/*hybrid*.

Ide tersebut disampaikan kepada pejabat yang bertanggung jawab akan keberadaan peralatan tersebut di unit yang dipimpinnya. Disertai juga dengan surat pengantar penelitian dari Universitas sebagai *legal permit*.

Project ini dimulai dengan pemodelan dari desain PLTB yang sesuai dengan lokasi pemasangan dengan memenuhi kaidah-kaidah yang telah dihimpun dari berbagai sumber. Sedangkan untuk PLTSnya menggunakan yang telah tersedia di lapangan. Di sisi lain, dipersiapkan juga dengan sistem *hybridnya*. Kemudian dilakukan uji terhadap tegangan pembangkit. Ketika semua komponen utama

bekerja sesuai konsep dan desain, maka selanjutnya diambil data secara keseluruhan. Pemodelan sistem IoT dilakukan setelah semua sistem catu daya berjalan baik sebagaimana fungsinya. Sistem IoT ini berfungsi guna melakukan pengiriman data dan pemantauan parameter yang dapat diakses melalui *web* / aplikasi *gadget* (detail dijelaskan di sub BAB 3.2 Desain Penelitian).

Tolak ukur atas keberhasilan desain ini adalah dengan adanya pengukuran parameter, hasil dari pengukuran ini kemudian dianalisa. Hasil yang didapat dari analisa akan mempengaruhi kesimpulan di akhir karya tulis ini.

3.1 Waktu dan Tempat

Untuk implementasi *project* ini menggunakan beban *runway guard light* yang dipasang di daerah *airside* bandar udara internasional Soekarno-Hatta. Pengujian dilakukan di laboratorium Elektro Universitas Sangga Buana YPKP – Bandung. Peralatan tidak dapat serta merta dipasang di lapangan walaupun implementasinya adalah berdasar studi lapangan dikarenakan harus mengurus izin kepada unit dinas yang bertanggung jawab atas lampu RGL tersebut serta harus mendapat izin perusahaan.

Hasil pengukuran lapangan dan uji laboratorium akan dibandingkan dengan hasil pengukuran yang ditampilkan melalui *web*. Serta melihat sistem IoT tersebut mampu menunjukkan pembangkit mana yang sedang bekerja melalui sistem *hybrid*.

Pada kesempatan lain akan dilakukan pengukuran serta pemantauan dikala pengisian baterai hanya menggunakan salah satu pembangkit, pengamatan dilakukan di siang dan malam hari.

3.2 Desain Penelitian

Dalam bab ini peneliti akan menjabarkan tentang jenis dan langkah yang akan dilakukan dalam proyek penelitian.

3.2.1 *Runway Guard Light*

Berdasarkan Peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara Nomor: KP 29 Tahun 2015; *Runway guard light (RGL)* merupakan sistem penerangan yang dibutuhkan penerbang maupun pengemudi kendaraan untuk memberikan peringatan bahwa posisi saat ini sedang mendekati dan akan memasuki landasan pacu (*runway*) yang aktif [14].

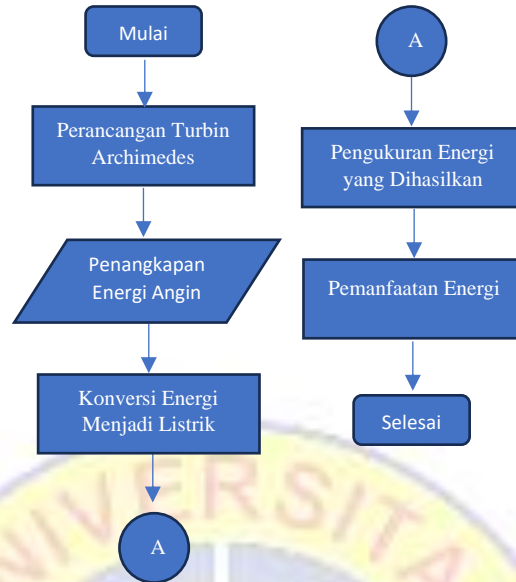


Gambar 3.2 *Runway Guard Light*.

Kondisi RGL saat ini di bandara Soekarno-Hatta menggunakan panel surya berkedudukan tetap. Sistem ini sudah bagus karena dengan adanya pemasangan panel surya tersebut, lampu ini dapat bekerja secara otonom, namun kondisi ini tetap menemukan celah untuk ketidak-handalan catu daya listrik.

Sebagaimana ditampilkan dalam gambar 3.2, bahwa sering kali ditemukan RGL dalam kondisi padam saat senja tiba yakni ketika penyerapan energi panel surya tidak optimal sehingga menyebabkan masa otonomi tidak panjang/lama. Kemudian ketidak-adaannya sistem pemantauan secara otomatis menyebabkan operator tidak mengetahui kondisi status lampu tersebut di lapangan.

3.2.2 Turbin Angin



Gambar 3.3 *Flowchart* PLTB

Demikian *flowchart* untuk mempermudah memahami kinerja PLTB pada umumnya. Angin yang berhembus ditangkap oleh turbin angin yang akan langsung dikonversikan menjadi listrik oleh generator. Hasil dari konversi tersebut dapat langsung disimpan melalui media baterai atau dapat langsung dimanfaatkan dalam sebuah instalasi listrik.

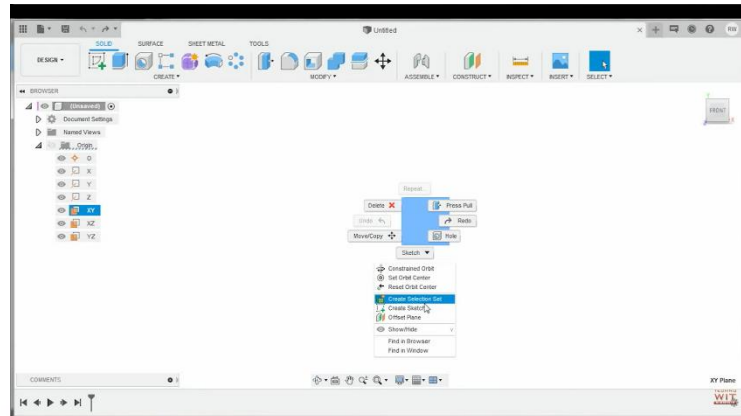
Turbin angin direncanakan dipasang menggunakan pondasi tersendiri berdekatan dengan *runway guidance light* dengan ketinggian satu setengah meter di atas tanah. Bahan pembuatan kincir Archimedes untuk turbin angin berasal dari plastik berdiameter 50cm yang dibuat dengan pencetak 3D Printer.



Gambar 3.4 Blok Diagram Langkah Pembuatan 3D Printing.

Model daripada kincir Archimedes dibuat pada *software* Autodesk Fusion untuk membuat sketsa. Dalam sketsa ini kita dapat menentukan tebal material,

sudut kemiringan bidang, tinggi dan lebarnya model. Langkah ini biasa disebut sebagai *3D modelling*.



Gambar 3.5 Ilustrasi *Software* Autodesk Fusion.

Langkah berikutnya adalah *slicing*; langkah ini adalah kita mengimport data desain konsep sketsa hasil dari *3D modelling* untuk mendapatkan format *file* lain yang dapat dibaca oleh 3D printer. Umumnya ekstensi filenya *.gcode* .

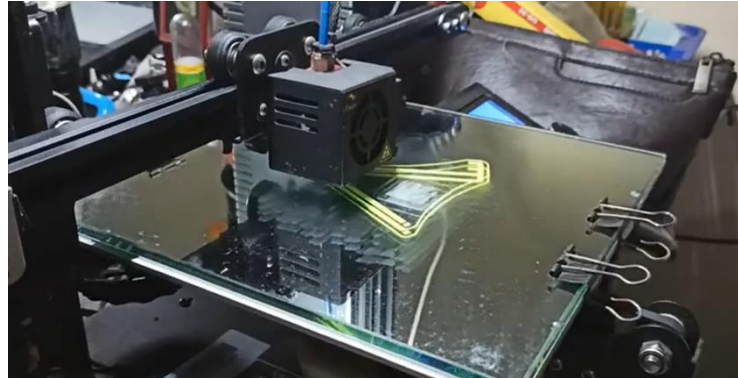
Setelah langkah-langkah tersebut dilalui, maka desain konsep yang ada siap untuk dicetak menggunakan 3D printer.



Gambar 3.6 Pengaturan 3D Printer.

Nozzle pada 3D printer dipanaskan hingga 200°C agar material plastik sebagai bahan bakunya mencair sehingga dapat dibentuk, hal ini juga sebagai pencegahan material plastic tersebut mendingin sehingga dapat menyumbat lobang *nozzle*.

Setelah hal itu dilaksanakan, *file* yang telah *dislicing* dapat dipindahkan ke penyimpanan data portabel. Kemudian data tersebut dimasukkan ke 3D Printer untuk diproses.



Gambar 3.7 Proses Pencetakan 3D Printing.

Setelah model kincir Archimedes selesai dicetak, model dapat diambil dengan cara *scrapping*. Kemudian perapihan dapat dilakukan dengan memotong plastik menggunakan tang potong.

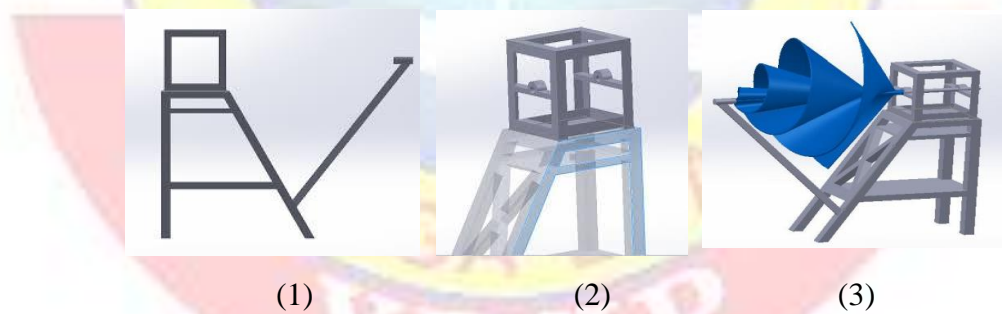


Gambar 3.8 Kincir Archimedes.

Setelah kincir selesai dibuat, kini saatnya membuat kerangka sebagai badan penahan daripada kincir angin itu sendiri dan generator DC. Rangka turbin terdiri dari rangka atas dan rangka bawah. Rangka atas terbuat dari plastik siku dengan tebal 4 mm yang dibuat juga dengan 3D Printing, dan rangka bawah terbuat dari

besi siku dengan tebal 4 mm dan besi hollow [15]. Gambar 3.8 adalah penjas dari desain rangka dari turbin Archimedes tersebut, dimana :

1. Tampak samping dari penampang rangka atas dan bawah. Rangka terdiri dari bagian atas yang berfungsi sebagai *holder* dari turbin angin sedangkan rangka bawah berfungsi sebagai penahan beban keseluruhan dari turbin angin, generator hingga rangka itu sendiri. Sehingga rangka bawah harus dibuat dengan kuat tanpa harus menjadi berat
2. Model tiga dimensi untuk memperjelas konsep dari rangka keseluruhan. Rangka atas berbentuk kubus dengan lobang bearing sebagai wadah batang sumbu dari turbin agar dapat berputar pada porosnya, dengan penambahan bearing akan mengurangi gaya gesek yang dapat menambah daya hambat putarnya. Rangka bawah berbentuk prisma segi empat dengan keempat sisinya yang tidak simetris untuk kebutuhan keseimbangan dan kekuatan komposisi struktur badan keseluruhan
3. Adalah ilustrasi lengkap akan arsitektur turbin angin Archimedes yang penulis desain untuk *project* ini



Gambar 3.9 Ilustrasi Rangka Turbin Angin.

Langkah pemasangan atau kegiatan *assembling* merupakan suatu proses penggabungan komponen-komponen atau bahan menjadi satu kesatuan dengan memperhatikan urutan yang telah ditentukan sehingga menjadi sebuah sistem yang siap digunakan sesuai dengan yang diperhitungkan dan tujuan yang telah direncanakan.

Langkah pemasangan yang dilakukan diuraikan sebagai berikut :

1. Mempersiapkan gambar rancangan
2. Mempersiapkan alat dan bagian turbin
3. Memasang rangka atas turbin dengan rangka bawah turbin
4. Memasukan poros turbin yang sudah terpasang rotor turbin, ke dalam lubang bantalan pertama. Setelah itu memasukan poros turbin ke lubang bantalan kedua
5. Memeriksa rangkaian sebelum dioperasikan [15].



Gambar 3.10 Pengujian Kincir Angin Archimedes.

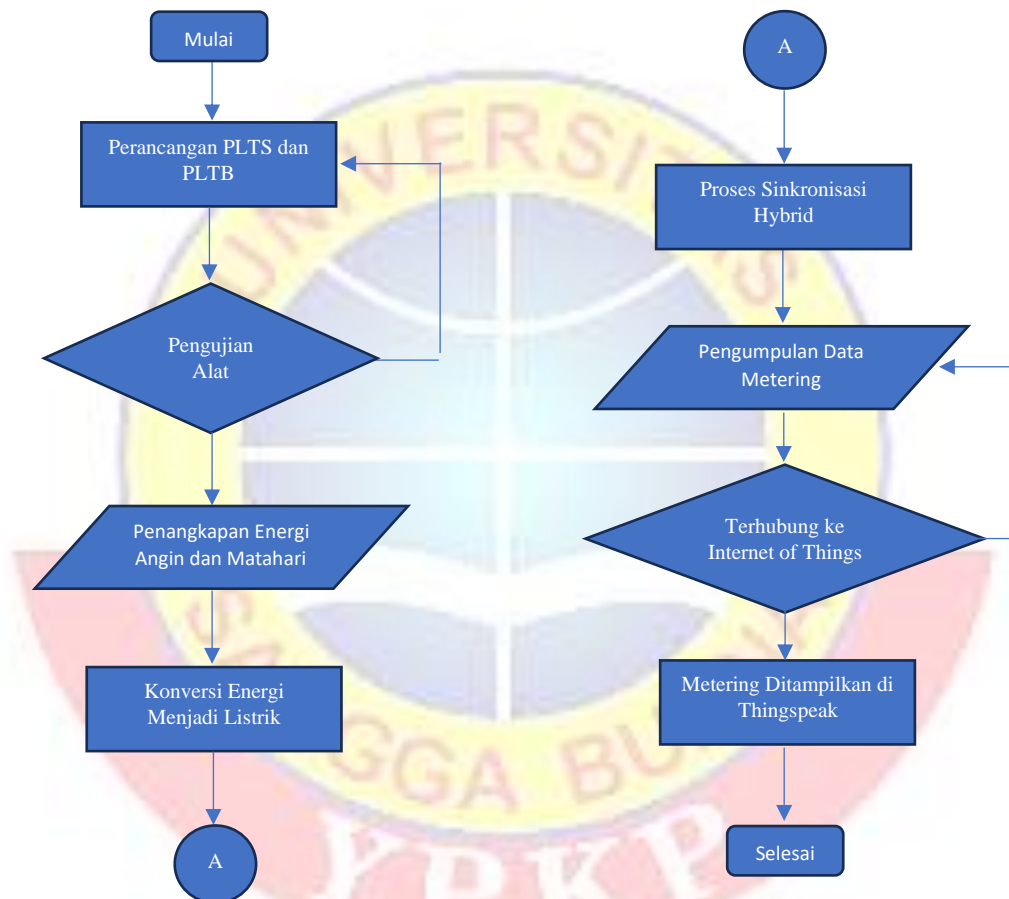
3.2.2.1 Kendala Dalam Desain Turbin

Saat dimulai pengerjaan *project* ini, hal pertama yang dilakukan adalah pendesainan turbin Archimedes seperti yang dijelaskan pada subbab 3.2.2 . Namun sebuah kendala terjadi pada saat pencetakan desain turbin Archimedes yang telah dibuat. Desain dibuat dengan diameter 50 cm namun spesifikasi kapasitas 3D Printer yang digunakan ternyata tidak mampu mencetak dengan ukuran tersebut, hasilnya yang dicetak oleh *printer* yang digunakan oleh penulis adalah berdiameter 15 cm. Hal tersebut berpengaruh besar pada kemampuan turbin menangkap kekuatan dan arah angin yang berhembus. Pengaruh tersebut disebabkan oleh faktor lebar dan luasan dari bilah sudu serta sudut dari sudu yang memotong arah angin.

Menurut kalkulasi, diameter 50 cm tersebut mampu menangkap angin dengan baik sehingga mampu memutar generator untuk menghasilkan tegangan sekurang-kurangnya 12V seperti spesifikasi panel surya di lapangan. Tentunya dengan berkurangnya ukuran turbin, maka daya yang dihasilkannya juga turut jauh berkurang. Hal ini nanti akan dibuktikan pada BAB IV tentang data dan analisa.

Untuk daripada itu, perancangan pembangkit *hybrid* tetap dilanjutkan namun tidak berpancang pada kondisi di lapangan dengan beban lampu *runway guard light*. Sehingga perancangan ini akan diuji terlebih dahulu di laboratorium dengan memperhatikan penyesuaian tegangan keluaran turbin agar konsep *hybrid* tetap tercapai.

3.2.3 Hybrid



Gambar 3.10 *Flowchart Hybrid*

Flowchart di atas menjelaskan bahwa terjadi penyerapan dua energi yakni angin dan matahari melalui rancangan turbin angin dan panel surya. Dua energi tersebut dikonversi menjadi listrik dan diambil data pengukurannya guna dikirimkan melalui IoT. Dalam *project* ini telah ditentukan pembuatan turbin angin sebagai pelengkap dari panel surya, kedua jenis pembangkit ini diuji untuk mendapatkan data tegangan listrik keluaran.

Pertama kali yang diuji adalah turbin angin hingga didapat data tegangannya. Turbin angin diuji dengan angin buatan dari *blower* keong yang tersedia di laboratorium. *Blower* tersebut ditiupkan dengan jarak bervariasi, dan dengan sudut berubah-ubah untuk melihat kemampuan turbin dalam menangkap energi angin.

Kedua panel surya diuji untuk mendapatkan data tegangannya dengan sumber cahaya yang berubah-ubah. Cahaya yang digunakan berupa cahaya buatan yang diberikan dengan jarak berubah-ubah.

Kemudian ditentukan panel surya mana yang dapat dan sesuai untuk dapat dihybridkan dengan turbin angin tersebut. Mengingat adanya kendala saat pembuatan turbin, sehingga untuk menguji sistem *hybrid* maka panel suryanya yang disesuaikan. Hal ini juga disebabkan oleh keterbatasan waktu dalam penulis membuat prototipe dan menyusun penulisan ini serta keterbatasan sumber daya meliputi lintas keilmuan dan 3D Printer yang tersedia di sekitar penulis.

Teori-teori tentang parallel tegangan DC digunakan sebagai pertimbangan utama dalam uji sistem *hybrid* ini sehingga pengambilan data turbin angin serta panel surya teramat penting. Harapannya adalah sistem ini benar akan memperbaiki kualitas tegangan keluaran sehingga menjaga catu daya pada peralatan. Selain berupa tabel angka, penulis akan menyertakan grafik yang dapat dilihat di BAB IV untuk mempermudah melihat hasil uji laboratorium.


3.2.4 Internet of Things

Untuk menerapkan teknologi IoT pada rancangan ini maka dibutuhkan beberapa komponen, yakni :

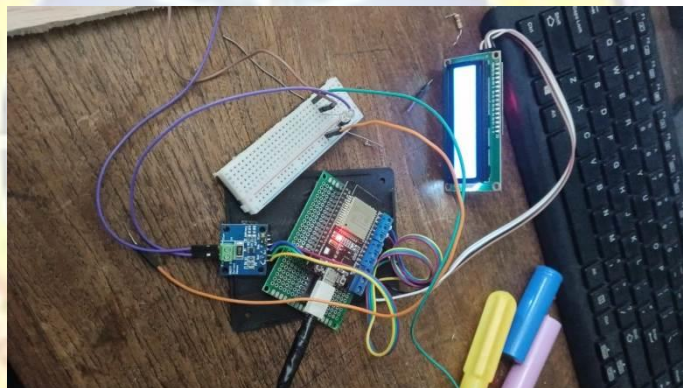
Tabel 3.1 Komponen *Internet of Things* yang Digunakan [16].

Gambar Komponen	Nama Komponen	Deskripsi Komponen
	Sensor INA219	Berfungsi untuk mengukur parameter tegangan, arus
	Modul WiFi NodeMCU ESP32	Adalah platform opensource seperti Arduino yang terdiri dari beberapa mikroprosesor. Perangkat ini juga merupakan papan pengembangan (development board) yang pada prinsipnya digabungkan dengan perangkat WiFi ESP8266 untuk terhubung ke internet melalui titik akses via hotspot atau membuat TCP/IP
	Adaptor DC 12V 1A	Rangkaian elektronik yang mengubah tegangan AC tinggi menjadi tegangan DC rendah.

		<p>Adaptor bisa dikatakan sebagai pengganti tegangan DC yang berasal dari baterai</p>
	<p>LCD 16x4</p>	<p>Modul elektronik yang digunakan untuk menampilkan data dengan menggunakan kristal cair yang berfungsi sebagai bahan untuk menampilkan data dalam bentuk tulisan atau gambar</p>
	<p>Inter-Integrated Circuit (I2C)</p>	<p>Sebuah alat yang berfungsi untuk mengirim dan menerima data melalui dua saluran. I2C dapat dikatakan sebagai penghemat pin LCD</p>
	<p>Thingspeak</p>	<p>Merupakan sebuah layanan server yang memiliki lingkungan mobile user baik Android maupun iOS yang dapat digunakan untuk kendali Aplikasi ini merupakan platform yang memungkinkan kita untuk membuat antarmuka grafis untuk sebuah proyek</p>

	<p>Software Arduino (IDE)</p>	<p>Arduino IDE (Integrated Development Environment) adalah lingkungan terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Arduino menggunakan Bahasa pemrograman sendiri yang mirip Bahasa C</p>
---	---------------------------------------	--

Seluruh komponen tersebut dirangkai menjadi satu sesuai dengan gambar di bawah ini :

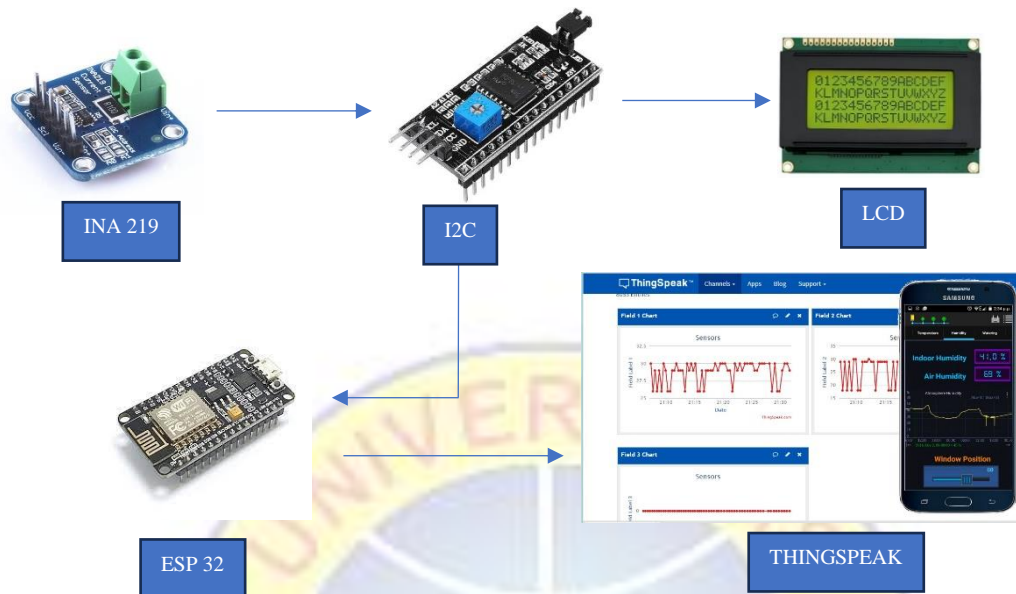


Gambar 3.11 Rangkaian IoT yang Digunakan [16].

Apabila alat ini telah jadi maka dapat dihubungkan dengan rangkaian yang sudah beroperasi dengan menghubungkan *current transformer* di kabel keluaran menuju lampu *runway guard light* sehingga akan termonitor berapa besar arus yang dikonsumsi. Sedangkan kabel masukan dihubungkan dengan output dari PLTB ke arah lampu *runway guard light*.

Dalam uji laboratorium, kabel keluaran dari turbin angin dan panel surya disatukan kemudian diparalel dengan kabel sensor INA219 untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan.

Berikut adalah rangkaian skematik dari *internet of things* yang penulis aplikasikan ke dalam *project* ini :



Gambar 3.12 Rangkaian Skematik IoT [16].

Penjelasannya adalah sebagai berikut :

1. Adaptor dihubungkan dengan sumber listrik yang ada guna mengaktifkan NodeMCU ESP32
2. Sensor INA219 akan membaca arus dari *hybrid*
3. Kemudian hasil pembacaan dikirim ke NodeMCU ESP32
4. NodeMCU ESP32 akan menampilkan pembacaan melalui LCD
5. NodeMCU ESP32 juga akan mengirimkan data pembacaan melalui jaringan WiFi melalui ESP32 agar dapat ditransfer ke *web* yang menyiarkan Thingspeak

Selanjutnya kita persiapkan *widget* di Thingspeak sebagai instrumen metering.

1. Pertama-tama kita aktifkan *hotspot portable*, pastikan SSID dan sandi yang digunakan sama seperti yang ada di *coding program* yang telah dimasukkan ke NodeMCU ESP32

2. Kemudian tunggu proses terhubung dengan perangkatnya
3. Nanti akan muncul nama perangkat yang terhubung
4. Buka Thingspeak pada *browser*. Kita dapat membuat dan mengatur terlebih dahulu parameter pembacaannya
5. Data akan ditampilkan dalam antarmuka Thingspeak



Gambar 3.13 Tampilan Thingspeak Melalui *Smartphone* dan *Web*.

BAB IV DATA DAN ANALISIS

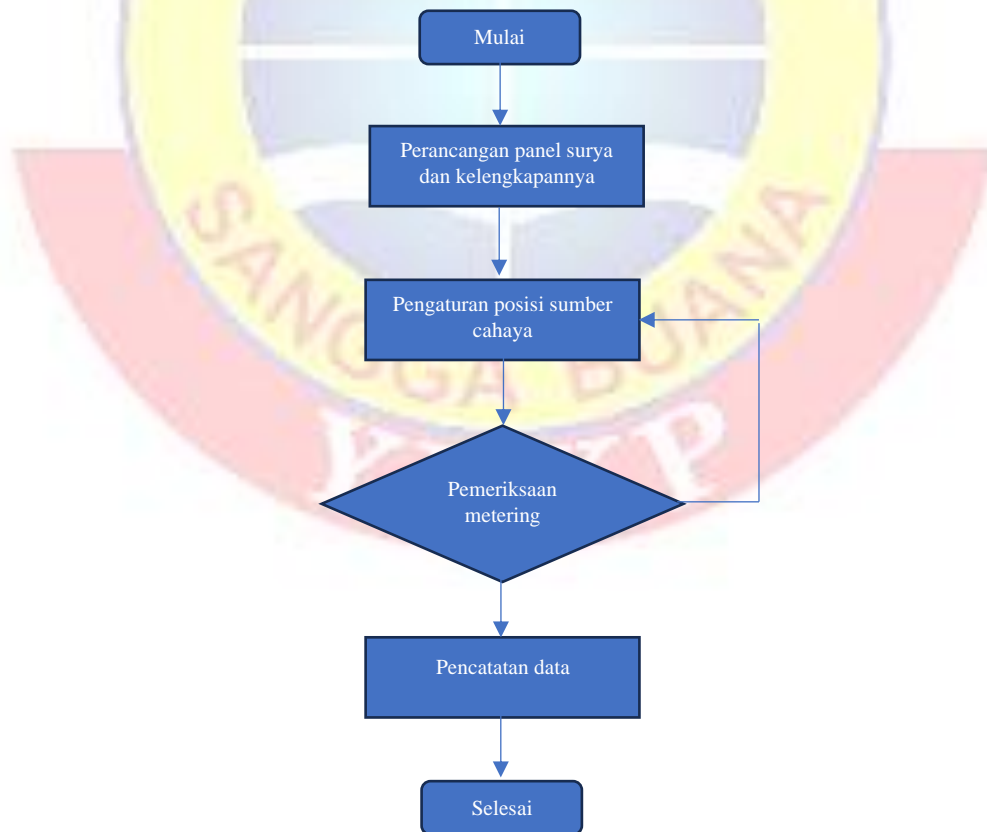
Dalam bab ini akan dituliskan hasil data ukur yang didapat dari uji laboratorium, berlokasi di Laboratorium Teknik Elektro – Universitas Sangga Buana YPKP, Bandung.

4.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Simulasi rangkaian PLTS menggunakan prototipe panel surya berukuran :

1. Dimensi : 11 x 6,8 cm
2. Tegangan : 5V
3. Arus : 60mA
4. Daya : 0,3W

Dengan sumber cahaya lampu LED 5W 90 lumens.

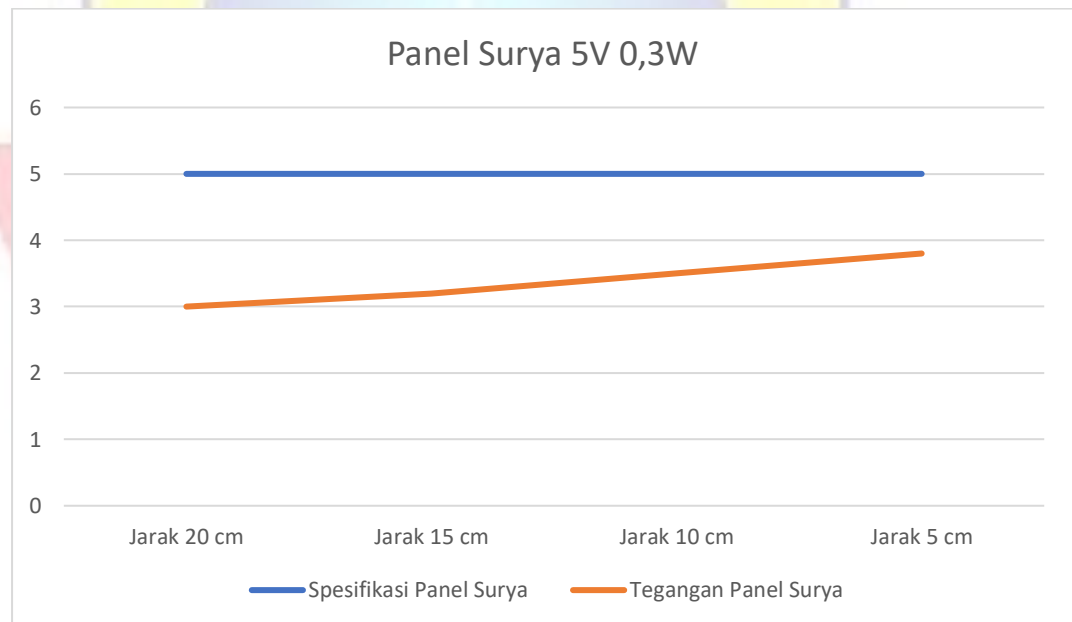


Gambar 4.1 *Flowchart* PLTS

Table 4.1 Hasil Uji Laboratorium Panel Surya 1.

No.	Jarak (cm)	Tegangan pada Panel Surya (V)	Intensitas Cahaya Lampu (lm)
1	20	3,0	90
2	15	3,2	90
3	10	3,5	90
4	5	3,8	90

Catatan : watt meter persegi (W/m^2) adalah satuan untuk mengukur flux energi matahari yang diterima oleh permukaan yang ditempatkan tegak lurus terhadap sinar matahari. Pengukuran intensitas cahaya dalam W/m^2 memberikan informasi tentang jumlah energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi listrik oleh sel surya.



Gambar 4.2 Grafik Korelasi Tren Tegangan Panel Surya 1.

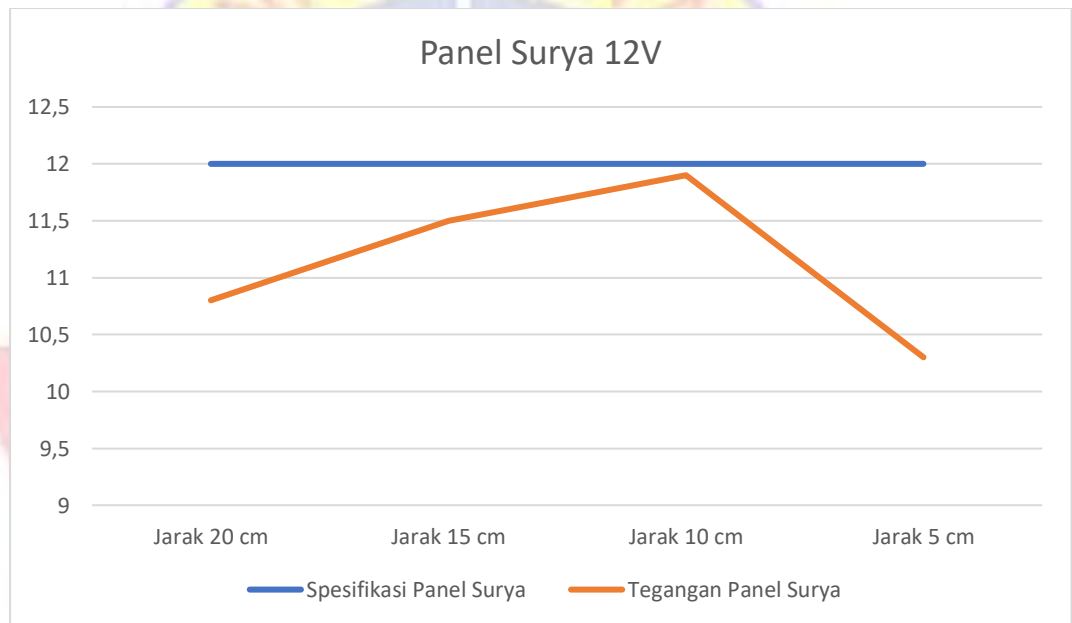
Simulasi rangkaian PLTS menggunakan prototipe panel surya berukuran :

1. Dimensi : 11,5 x 8,5 cm
2. Tegangan : 12 V
3. Daya : 1,5 W

Dengan sumber cahaya lampu LED 5W 90 lumens.

Tabel 4.2 Hasil Uji Laboratorium Panel Surya 2.

No.	Jarak (cm)	Tegangan pada Panel Surya (V)	Intensitas Cahaya Lampu (lm)
1	20	10,8	90
2	15	11,5	90
3	10	11,9	90
4	5	10,3	90



Gambar 4.3 Grafik Korelasi Tren Tegangan Panel Surya 2.

Pada tabel 4.1 dan grafik 4.2, tegangan yang dihasilkan oleh panel surya memiliki karakter meningkat dengan konstan seiring dengan dipangkasnya jarak panel surya dengan sumber cahaya. Sedangkan apabila kita memperhatikan yang terjadi pada tabel 4.2 dan grafik 4.3, tegangan yang dihasilkan menurun menjauhi tegangan nominal spesifikasi panel surya. Hal ini penulis simpulkan bahwa penyebabnya adalah sebaran sumber cahaya tidak merata terhadap permukaan panel surya sehingga tegangan yang dihasilkannya pun tidak menjadi semakin baik

walaupun dekat dengan sumber cahaya. Hal ini berkaitan dengan keefektifitasan panel surya dalam menyerap sinar matahari.

Berdasarkan hasil ukur tersebut maka dapat disimpulkan bahwa intensitas cahaya matahari berpengaruh terhadap kinerja panel surya (terlepas kondisi fisik panel surya yang mempengaruhi *margin error* atas efisiensi panel surya yang tidak dapat diukur menggunakan multimeter). Selain intensitas, juga sebaran cahaya pada permukaan panel surya juga menjadi faktor keefektifan panel surya dalam memproduksi energi listrik.



Gambar 4.4 Kegiatan Uji Laboratorium Panel Surya.

4.2 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Metode uji laboratorium menggunakan *blower* keong dengan spesifikasi sebagai berikut :

1. Dimensi : 2,5 inch
2. Daya : 260 W
3. Kecepatan : 3000rpm

Menggunakan *blower* keong seperti gambar 4.5 sebagai imitasi angin dengan cara *blower* dihembuskan dengan jarak dan kecepatan tertentu untuk mendapatkan angka yang dimasukkan ke kolom Kecepatan Angin pada tabel. Kemudian *blower* dihembuskan dari arah depan, serong dan samping sebagai simulasi arah angin yang

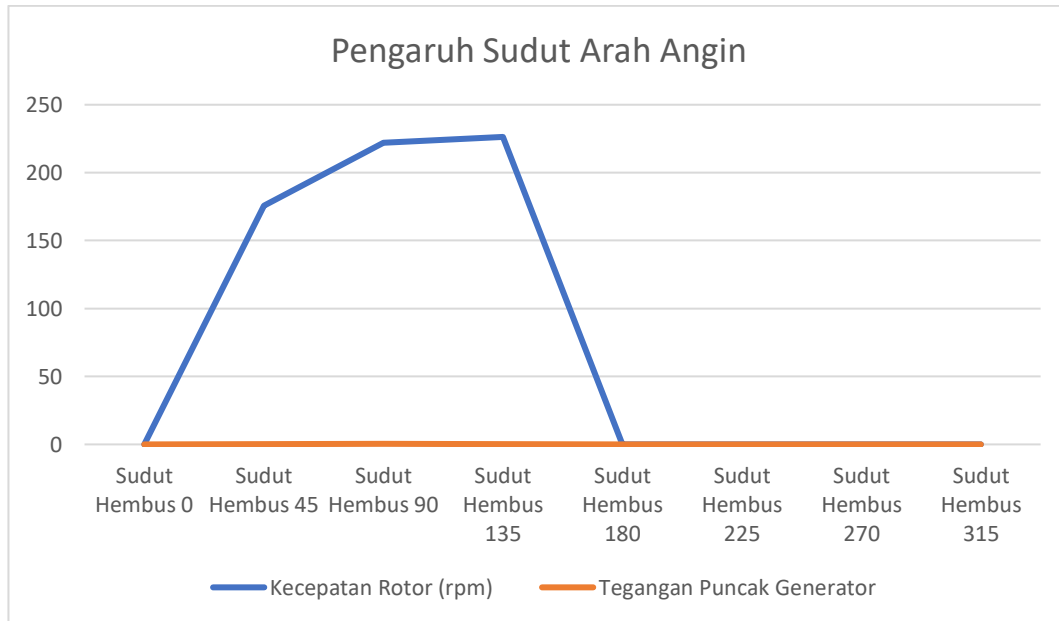
angkanya sebagai masukan di kolom Sudut Hembus pada tabel. *Blower* tersebut dihidupkan selama beberapa saat untuk mendapatkan putaran stabil generator, selang waktu ini dicatat pada kolom Durasi di tabel. Selanjutnya multimeter dihubungkan pada terminal keluaran positif-negatif untuk dilakukan pengukuran yang mana hasilnya sebagai masukan kolom Tegangan Generator pada tabel.

Tabel 4.3 Hasil Uji Laboratorium Turbin Archimedes.

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Rotor (rpm)	Sudut Hembus (°) Dan Jarak (cm)	Durasi (menit)	Tegangan Puncak Generator (V)
1		-	0 / 10	-	-
2		175,5	45 / 10	02:50	0,309
3		221,9	90 / 10	07:46	0,430
4		226,3	135 / 10	02:00	0,381
5		-	180 / 10	-	-
6		-	225 / 10	-	-
7		-	270 / 10	-	-
8		-	315 / 10	-	-



Gambar 4.5 Kegiatan Uji Laboratorium Turbin Archimedes.



Gambar 4.6 Grafik Korelasi Tren Tegangan PLTB.

Apabila dicermati dari tabel 4.3 dan grafik 4.5 di atas, ada banyak penjelasan mengapa hasil dari turbin angin tersebut hanya menghasilkan tegangan kecil. Turbin angin merupakan lintas keilmuan daripada ilmu elektro ke ilmu mekanik sehingga penulis hanya menduga dan berhipotesa yakni :

1. Desain luasan permukaan turbin angin kurang lebar untuk memudahkan menangkap angin
2. Dimensi turbin angin kurang besar untuk dapat menangkap angin yang cukup guna memutar generator yang memiliki magnet permanen yang secara tidak langsung menyebabkan pengereman mekanis/magnetis terhadap putaran
3. Generator yang digunakan memiliki spesifikasi :
 - a. Tegangan : 12V / 24V
 - b. Daya : 40 W
 - c. Kecepatan : 3000rpm / 5000rpm

Spesifikasi tersebut memiliki makna bahwa untuk mencapai tegangan keluaran 12VDC maka generator minimal memiliki putaran 3000rpm, dan 5000rpm untuk menghasilkan 24VDC

4. Terkait landasan teori yang menyebutkan bahwa, “Sudu kincir angin yang berbentuk spiral sering disebut sebagai sudu Archimedes atau sudu heliks. Bentuk spiral ini memungkinkan sudu untuk menangkap energi dari angin

dengan lebih efisien. Keuntungan dari sudu heliks adalah bahwa mereka dapat menghasilkan energi bahkan ketika angin bertiup dalam berbagai arah, karena mereka tidak memerlukan penyesuaian arah [8]” adalah kurang tepat karena berdasarkan tabel 4.3 dan grafik 4.5 dalam pemasangan turbin angin Archimedes (heliks) ini harus memotong arah angin dengan arah sudu-sudunya.

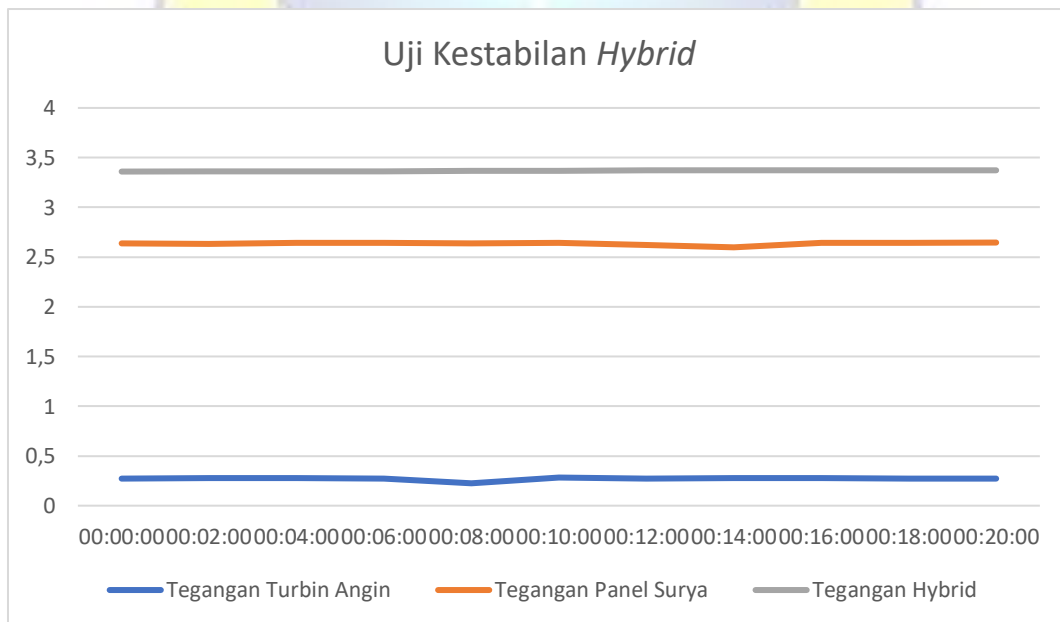
4.3 *Hybrid*

Hasil pengujian terhadap turbin angin pada pembahasan sebelumnya memengaruhi pemilihan komponen pada sistem *hybrid* yang akan penulis lakukan dengan pertimbangan :

1. Sistem *hybrid* harus memiliki lebih dari satu sumber pembangkit
2. Masing-masing pembangkit saling memiliki peran dalam pencatutan daya secara otomatis (karena *hybrid* berbeda dengan *change over system*)
3. Untuk menjadi *hybrid*, kedua pembangkit akan disatukan sehingga harus memenuhi kaidah paralel tegangan searah, yakni ;
 - a. Tegangan yang serupa, sehingga tidak timbul beda potensial antara satu dan lainnya
 - b. Urutan fasa yang sejajar
4. Untuk itu penulis memilih menggunakan panel surya 5V dan turbin angin yang memiliki beda tegangan yang tidak terlampau jauh

Tabel 4.4 Hasil Uji Laboratorium Tegangan Keluaran Melalui *Hybrid*.

No.	Tegangan Turbin Angin (V)	Tegangan Panel Surya (V)	Durasi (menit)	Tegangan <i>Hybrid</i> (V)
1	0,274	2,637	00:00:00	3,360
2	0,277	2,635	00:2:00	3,364
3	0,276	2,640	00:4:00	3,363
4	0,274	2,644	00:6:00	3,362
5	0,225	2,637	00:8:00	3,369
6	0,283	2,644	00:10:00	3,370
7	0,274	2,620	00:12:00	3,371
8	0,274	2,598	00:14:00	3,373
9	0,278	2,769	00:16:00	3,373
10	0,274	2,644	00:18:00	3,372
11	0,273	2,646	00:20:00	3,372



Gambar 4.7 Grafik Tegangan Keluaran *Hybrid*

Dengan dihubungkannya rangkaian menjadi *hybrid*, muncul suatu koreksi tegangan yang lebih stabil. Tidak rendah seperti tegangan keluaran terendah, tidak tinggi seperti tegangan tertinggi.

Kemudian akan dilakukan uji pengisian baterai menggunakan *hybrid* dengan rata-rata tegangan 3,375 VDC (berdasar tabel 4.4). Untuk pengujian ini digunakan baterai 1,2VDC 900mAh. Dalam uji kali ini, penulis akan menggunakan kapasitas baterai untuk menghitung berapa lama baterai akan terisi penuh.

Kapasitas baterai dalam mAh (miliampere-hour) menunjukkan berapa banyak arus yang dapat ditarik dari baterai dalam satu jam. Dalam hal ini, baterai memiliki kapasitas 900mAh yang berarti dapat mengalirkan 900mA (0,9 A) arus dalam satu jam.

Tingkat pengisian baterai dapat dihitung dengan menggunakan rumus [17] :

$$\text{Tingkat Pengisian (\%)} = \frac{\text{Kapasitas Baterai Terisi}}{\text{Kapasitas Baterai Total}} \times 100\%$$

Gambar 4.8 Rumus Prosentase Pengisian Baterai.

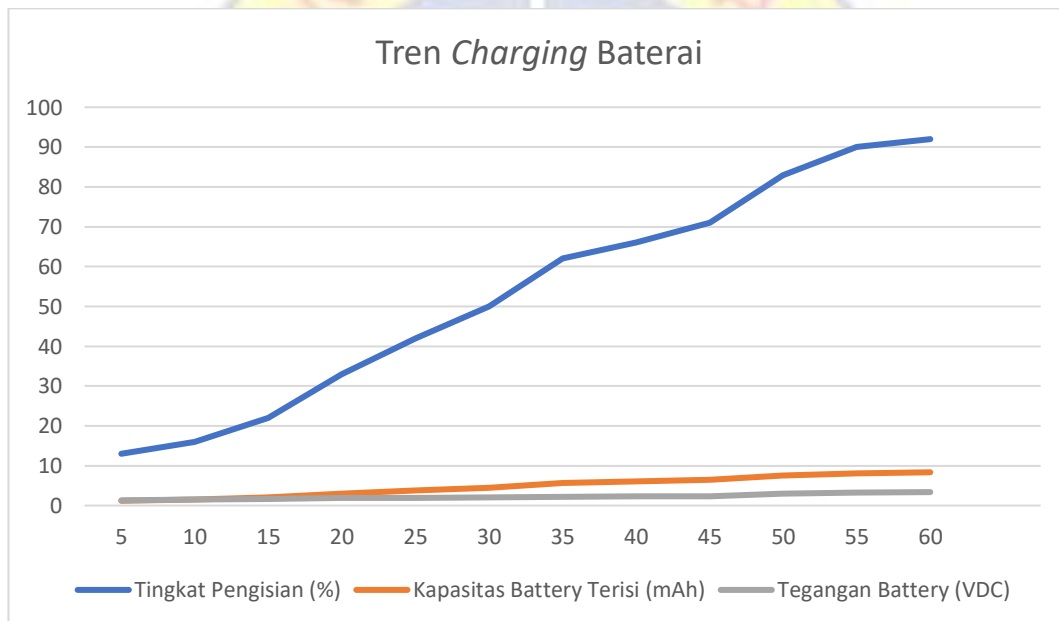
Berikut tabel yang memuat data pengisian baterai melalui panel surya :

Tabel 4.5 Hasil Uji Laboratorium Pengisian Baterai Melalui Sistem *Hybrid*

No.	Waktu (menit)	Tegangan Baterai (VDC)	Kapasitas Baterai Terisi (mAh)	Tingkat Pengisian (%)
1	0	1,114	0	0
2	5	1,301	120	13
3	10	1,488	150	16
4	15	1,643	201	22
5	20	1,875	300	33
6	25	1,929	382	42
7	30	2,072	450	50
8	35	2,215	566	62
9	40	2,250	600	66
10	45	2,265	643	71
11	50	3	750	83

12	55	3,242	810	90
13	60	3,375	835	92

Tabel 4.5 menggambarkan proses *charging* dengan membandingkan praktek uji laboratorium dan rumus dasar pengisian baterai. Proses tersebut dilakukan selama 60 menit hingga tidak terjadi perubahan. Hipotesa penulis tentang baterai yang tidak terisi 100% dikarenakan tegangan baterai telah mencapai nilai maksimalnya yakni sama dengan tegangan *chargingnya*. Hal ini dilakukan untuk menghindari kerusakan baterai yang disebabkan oleh *overcharging*, kerusakan ini dapat menyebabkan kebakaran atau ledakan. Tegangan maksimal baterai umumnya ditetapkan dalam spesifikasi baterai dan diatur oleh BMS pada pengisian baterai lithium.



Gambar 4.9 Grafik Pengisian Baterai dengan *Hybrid*

Telah dilakukan juga perbandingan pengisian baterai menggunakan panel surya dan hasilnya tidak banyak perbedaan karena tegangan rata-rata panel surya yang didapat adalah 3,020 VDC (dengan kata lain sama-sama memiliki tegangan 3DC).

Dapat diperhatikan pada gambar 4.8, garis biru pada grafik tersebut menunjukkan prosentase pengisian baterai. Walaupun tren grafiknya menaik

namun dapat diperhatikan bahwa grafiknya tidak rata. Hal ini dapat disebabkan karena pembangkitan energi yang dihasilkan turbin angin dan panel surya sangat fluktuatif namun dengan adanya sistem *hybrid* tersebut menjadikan kualitas tegangan keluarannya tetap baik. Alasan lainnya adalah pengisian baterai ini tidak menggunakan suatu alat yang dinamakan *baterai management system* (BMS) dikarenakan penulis tidak menggunakan baterai lithium.

4.4 Pengujian *Internet of Things*

Pemanfaatan IoT disini sebagai monitoring sehingga perlu diuji keakuratan dan kecepatan dalam pembaruan pengukuran dari waktu ke waktu.

Tabel 4.6 Hasil Uji Laboratorium Sistem *Internet of Things*.

No.	Jenis Pengukuran	Pengukuran dengan Multimeter	Monitoring Internet of Things	Durasi (menit)	Keterangan
1	Tegangan Panel Surya	2,571	0,568	1	IoT delay
		2,577	2,577	3	IoT akurat
2	Tegangan Turbin Angin	0,222	0,211	1	IoT delay
		0,238	0,238	3	IoT akurat
3	Tegangan Hybrid	2,620	2,620	1	IoT akurat
		3,271	3,271	3	IoT akurat

Pengujian tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi IoT sebagai monitoring cukup akurat untuk digunakan di dunia nyata / lapangan kerja sehingga hal ini akan sangat membantu sebuah grup operator untuk mengetahui kondisi peralatan di lapangan tanpa harus datang ke lokasi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari *project* ini, dalam merakit sebuah PLTB tentunya harus mengetahui karakteristik angin di suatu wilayah. Berbekal data tersebut, kita dapat mendesain dan merancang model turbin yang sesuai agar tingkat keefisienan dalam menangkap hembusan angin tinggi. Tak lepas dari itu diuji pula kemampuan turbin angin terhadap kemampuannya dalam memutar generator hingga mampu memproduksi tegangan sesuai *data sheet*nya. Kemudian persiapan dalam PLTS adalah penyesuaian dengan tegangan yang dihasilkan oleh generator PLTB, lalu dilakukan uji produksi listriknya dalam sehari penuh. Dengan memahami kaidah syarat paralel tegangan searah, dibuatkan kontrol penstabil tegangan agar ketika dihybridkan tidak muncul simpang tegangan yang lebar.

Dengan adanya *internet of things monitoring* ini diharapkan kondisi riil peralatan di lapangan dapat terinformasikan secara langsung dan akurat ke unit yang menanganinya sehingga kontrol dalam hal keandalan perangkat dapat terukur dan dilaksanakan melalui konsep perawatan preventif, perawatan prediktif, perawatan korektif. Hal ini akan membuat suatu peralatan mencapai keefisienan dalam hal nilai asetnya karena dengan prediksi yang tepat berdasar nilai pengukuran yang dikirimkan melalui *internet of things*, dapat meningkatkan nilai *mean time between failures*nya (MTBF) atau rata-rata waktu antara kegagalannya.

Keberhasilan uji laboratorium ini menunjukkan bahwa adanya keunggulan akan pemanfaatan energi terbarukan bersistem *hybrid* untuk kebutuhan rumah tangga. Secara nilai ekonomis tentunya dapat bersaing dibandingkan membeli di pasaran, jika memang tersedia. Hal ini dapat mulai memangkas kebergantungan masyarakat akan perusahaan penyedia listrik dan juga membantu bumi untuk mengurangi polusinya.

5.2 Saran

Berdasarkan uji laboratorium turbin angin, PLTB tersebut harus memberikan putaran sebesar 3000rpm untuk mencapai 12V; dan 5000rpm untuk mendapatkan 24V. Dengan ditemukannya kendala pada saat uji laboratorium dalam hal produksi energi tersebut maka prototipe ini sementara tidak dapat dipasang di lapangan (Bandara Internasional Soekarno – Hatta) sebagai pencatu daya lampu *runway guard light* hingga dilakukan penyempurnaan. Penyempurnaan dapat dilakukan dalam desain turbin angin, hal ini disebabkan kemampuan turbin angin dalam pembangkitan energi listrik memiliki banyak variabel. Hal ini berbeda dengan panel surya yang telah memiliki nilai tetap. Kemajuan ilmu pengetahuan selalu berkembang dalam hal peningkatan efisiensi model turbin namun model mutakhirpun dapat gagal apabila aplikasinya salah. Apabila desain sudu kurang sesuai maka turbinpun menemukan hambatan dalam menghasilkan gaya kinetik untuk menghasilkan kekuatan mekanik guna memproduksi listrik. Faktor besarnya energi yang dihasilkan PLTB selain kecepatan angin, sudut hembusan angin juga mempengaruhi efisiensi turbin angin. Untuk memperbesar efisiensi tersebut dapat dilakukan dengan memperlebar *blade* dari sudu turbin.

Penerapan *internet of things* di masa mendatang sangat memungkinkan tidak hanya sebatas *monitoring meter* saja namun juga dapat mengirimkan parameter-parameter sensor hingga pengendali penggerak.

Manfaat teknologi pembangkit *hybrid* ini akan sangat membantu pengeluaran tagihan listrik bulanan dalam rumah tangga, tergantung dari kemampuan pembangkit tersebut dalam watt sehingga dapat dihitung berapa persen perangkat listrik yang dapat disuplai oleh *renewable energy* ini alih-alih PLN. Selama pembangkit ini dikonsumsi pribadi (*offgrid*) maka tidak perlu izin dan patuh terhadap peraturan-peraturan terkait pembangkit *ongrid*. Pengurangan daya dari PLN ke pembangkit *hybrid* ini tentunya akan menimbulkan penghematan secara signifikan. Penerapan dan penghitungan efisiensi ini belum sempat dilakukan oleh penulis disebabkan keterbatasan prototipe yang telah dibuat oleh penulis seperti yang telah dijelaskan di BAB-BAB sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Murdani, “Analisa perbandingan arus dan tegangan pada pembangkit listrik tenaga angin dan pembangkit listrik tenaga surya,” *Skripsi*, p. 67, 2019.
- [2] A. Noviyanto, D. Notosudjono, and D. Bangun Fidriansyah, “Perancangan Sistem Monitoring Prototipe Pembangkit Hybrid PLTS dengan PLTB Berbasis Internet of Things (IoT),” *Jurnal Online Mahasiswa Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018.
- [3] K. Jumaida, W. Yandi, D. Irwansyah, and M. Y. Puriza, “Studi Kinerja Dan Efisiensi Sistem Pengecasan Baterai Pada Pembangkit Hybrid Surya Dan Angin Di Universitas Bangka Belitung,” *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat 2021*, pp. 199–203, 2020.
- [4] H. Bayu and J. Windarta, “Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 2, no. 3, pp. 123–132, Oct. 2021, doi: 10.14710/jebt.2021.10043.
- [5] Z. Tharo and H. Hamdani, “Analisis Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap Skala Rumah Tangga,” *JOURNAL OF ELECTRICAL AND SYSTEM CONTROL ENGINEERING*, vol. 3, no. 2, pp. 65–71, 2020, [Online]. Available: <https://www.ojs.uma.ac.id/index.php/jesce/article/view/3266>
- [6] I. P. Riasa, R. S. Hartati, I. B. G. Manuaba, and D. A. S. Santiari, “Pengaruh PLTB Sidrap Terhadap Sistem Kelistrikan Sulawesi Selatan,” *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 1, p. 27, Oct. 2020, doi: 10.24843/mite.2020.v19i01.p04.
- [7] Rakhman dNet, Indonesia. *Cari tahu yuk, Gimana Angin Bisa Jadi Energi Listrik? - Pusat Listrik Tenaga Bayu - PLTB*, (Sep. 12, 2020).
- [8] Renewed Energy, “The Game-Changing Wind Innovation You Need to See The Archimedes LIAM F1 Small Wind Turbine.”
- [9] Elvin, F. I. Wibisono, M. F. Zidny, and A. A. Hamonangan, “Smart Archimedes Airfoil Wind Turbin,” Depok, Mar. 2020.
- [10] D. Supriyatna, “Analysis of Power Efficiency Produced by AC and DC Generators: A Literature Review,” *MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 261–268, Mar. 2023, doi: 10.46574/motivection.v5i2.211.
- [11] Utomo Budiyanto, Titin Fatimah, and Pipin Farida Ariyani, “Pengenalan Internet of Things (IoT) sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Pegawai Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan,” *KRESNA: Jurnal Riset dan Pengabdian Masyarakat*, vol. 1, no. 1, pp. 82–86, Nov. 2021, doi: 10.36080/jk.v1i1.6.
- [12] R. N. K. Susanto, Basworo Ardi Pramono, “Rancang Bangun Automasi Lampu Rumah Dengan Perintah Suara Berbasis Mikrokontroler Nodemcu,” *Prosiding SNATIF ke-5 Tahun 2018*, 2018.
- [13] M. F. Pela and R. Pramudita, “SISTEM MONITORING PENGGUNAAN DAYA LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS PADA RUMAH DENGAN

MENGGUNAKAN APLIKASI BLYNK,” *Infotech: Journal of Technology Information*, vol. 7, no. 1, pp. 47–54, Jun. 2021, doi: 10.37365/jti.v7i1.106.

- [14] Rossi Peter Simanjuntak, Rahman Aulia, and Susi Diriyanti, “Sistem Monitoring Runway Guard Light Menggunakan Power Line Carrier di Bandara Kualanamu Deli Serdang,” *Jurnal Teknik dan Keselamatan Transportasi*, vol. 5, pp. 109–110, Jun. 2022.
- [15] F. G. Sumarno, Supriyo, A. Vito Kristian, V. A. Noorendrassari, M. Nulur Falah, and M. L. Hilmawan, “RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN ARCHIMEDES DENGAN DUA SUDU,” *Eksergi Jurnal Teknik Energi*, vol. 16, pp. 49–59, May 2020.
- [16] Energi Nusantara, “Alat Monitoring Tegangan dan Arus PLTS dari Handphone | NodeMCU & Blynk.”
- [17] F. V. P. Robinson, “Power electronics converters, applications and design,” *Microelectronics J*, vol. 28, no. 1, 1997, doi: 10.1016/s0026-2692(97)87859-7.



LAMPIRAN

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <hd44780.h>
#include <hd44780ioClass/hd44780_I2Cexp.h>
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>

const char *ssid = "Infinix HOT 20 5G";
const char *password = "asdfghjkl";
const char *thingSpeakApiKey = "HP0CLRAK7U7RGHT6";
const unsigned long channelNumber = 2462283;

Adafruit_INA219 ina219;
hd44780_I2Cexp lcd;
WiFiClient client;

void setup() {
  Serial.begin(115200);

  // Inisialisasi WiFi
  connectToWiFi();

  // Inisialisasi ThingSpeak
  ThingSpeak.begin(client);

  // Inisialisasi INA219
  if (!ina219.begin()) {
    Serial.println("Failed to find INA219 chip");
    while (1) { delay(10); }
  }

  // Inisialisasi LCD
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Hello!");
  delay(2000);
}

void connectToWiFi() {
  Serial.print("Connecting to WiFi");
  WiFi.begin(ssid, password);
```

```

int attempts = 0;
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED && attempts < 20) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
    attempts++;
}

if (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    Serial.println("\nFailed to connect to WiFi. Please check your
credentials.");
    while (1) { delay(10); }
}

Serial.println("\nWiFi connected");
}

void loop() {
    float busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
    float current_mA = ina219.getCurrent_mA();

    // Tampilkan data di Serial Monitor
    Serial.print("Bus Voltage: "); Serial.print(busvoltage);
Serial.println(" V");
    Serial.print("Current: "); Serial.print(current_mA);
Serial.println(" mA");
    Serial.println("");

    // Tampilkan data di LCD hanya jika Serial Monitor aktif
    if (Serial) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Volt: ");
        lcd.print(busvoltage, 2);
        lcd.print(" V");

        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Amp: ");
        lcd.print(current_mA, 2);
        lcd.print(" mA");
    }

    // Kirim data ke ThingSpeak
    ThingSpeak.setField(1, String(busvoltage));
    ThingSpeak.setField(2, String(current_mA));
    int response = ThingSpeak.writeFields(channelNumber,
thingSpeakApiKey);

```

```
if (response == 200) {  
    Serial.println("Data terkirim ke ThingSpeak!");  
} else {  
    Serial.println("Gagal mengirim data ke ThingSpeak. Error code: "  
+ String(response));  
}  
  
delay(2000);  
}
```

