

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

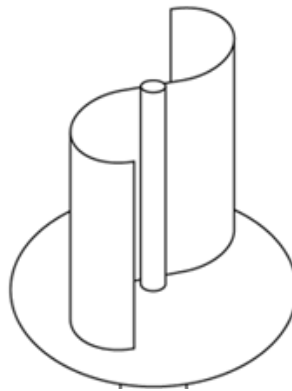
2.1.1 Turbin Angin Sumbu Vertikal (*Savonius*)

Turbin angin merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Angin memiliki energi kinetik karena bergerak dari tekanan udara tinggi ke tekanan udara rendah. Energi gerak inilah yang dimanfaatkan oleh turbin angin untuk menghasilkan putaran mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Secara prinsip kerja, turbin angin bekerja ketika angin mengenai baling-baling (*blade*) sehingga baling-baling tersebut berputar. Putaran baling-baling diteruskan melalui poros (*shaft*) menuju generator. Generator kemudian mengubah energi mekanik dari putaran tersebut menjadi energi listrik. Semakin besar kecepatan angin, maka semakin besar pula energi yang dapat dihasilkan oleh turbin.

Turbin angin memiliki beberapa komponen utama, yaitu baling-baling, hub, poros, generator, dan menara (*tower*). Baling-baling berfungsi menangkap energi angin. Hub menghubungkan baling-baling dengan poros. Poros meneruskan putaran ke generator. Generator berfungsi menghasilkan listrik, sedangkan menara berfungsi menopang turbin agar berada pada ketinggian tertentu sehingga mendapatkan angin yang lebih stabil dan lebih kuat. Berdasarkan arah sumbunya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Turbin sumbu horizontal merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi. Sedangkan turbin sumbu vertikal dapat menerima angin dari berbagai arah sehingga cocok digunakan di daerah dengan arah angin yang berubah-ubah.

Daya yang dihasilkan turbin angin sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan angin, luas sapuan baling-baling, serta efisiensi generator. Kecepatan angin menjadi faktor paling dominan karena daya angin berbanding lurus dengan pangkat tiga dari kecepatan angin. Artinya, jika kecepatan angin meningkat dua kali lipat, maka daya yang dihasilkan dapat meningkat hingga delapan kali lipat. Dalam penerapannya pada sistem Penerangan Jalan Umum

(PJU), turbin angin biasanya dihubungkan dengan generator permanen (PMG), penyearah (*rectifier*), *charge controller*, dan baterai sebagai penyimpan energi. Energi listrik yang tersimpan di baterai kemudian digunakan untuk menyalakan lampu pada malam hari. Sistem ini termasuk dalam energi terbarukan yang ramah lingkungan dan tidak menghasilkan polusi. Dengan demikian, turbin angin dapat disimpulkan sebagai perangkat konversi energi yang memanfaatkan sumber daya alam berupa angin untuk menghasilkan energi listrik. Penggunaannya sangat cocok untuk daerah yang memiliki potensi angin cukup, serta dapat dikombinasikan dengan sistem lain seperti panel surya untuk meningkatkan kestabilan pasokan energi.



Gambar 2.1 Baling - Baling Savonius

(Sumber: https://ejournal.up45.ac.id/index.php/Jurnal_ENGINE/article/view/1620/989)

Turbin angin adalah alat yang berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Pada penelitian ini digunakan turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius. Turbin ini bekerja berdasarkan prinsip gaya hambat (*drag force*) sehingga tetap dapat berputar pada kecepatan angin yang relatif rendah. Turbin Savonius dipilih karena memiliki konstruksi yang sederhana, tidak bergantung pada arah datangnya angin, serta memiliki torsi awal yang cukup besar sehingga sesuai digunakan pada sistem pembangkit listrik skala kecil (Firman, 2024).

Tabel 2.1 Kecepatan Angin

Kecepatan Angin	Tegangan Perkiraan	Arus Perkiraan
0,65 m/s	0,02 V	0,60 A
6,54 m/s	10 V	4,53 A

Sumber : <https://jurnal.unipasby.ac.id/tibuana/article/view/2206/1939>

Turbin angin berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran. Dalam sistem ini, turbin angin memiliki keterkaitan langsung dengan generator melalui poros. Putaran yang dihasilkan oleh turbin akan diteruskan ke generator untuk dikonversi menjadi energi listrik. Kecepatan putaran turbin dipengaruhi oleh kecepatan angin yang mengenainya, sehingga semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar putaran turbin yang dihasilkan. Hal tersebut menyebabkan generator berputar lebih cepat sehingga energi listrik yang dihasilkan juga meningkat (Nurdiyanto et al., 2016).

2.1.2 Generator



Gambar 2.2 Generator

(Sumber <https://www.scribd.com/document/413336903/HoHsingHVP-70Manual-pdf>)

Generator merupakan komponen yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik arus searah (DC). Pada penelitian ini, generator digunakan untuk mengonversi energi mekanik yang dihasilkan dari putaran turbin angin *Savonius* menjadi energi listrik sebagai sumber daya pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU). Generator yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan keluaran 12 V DC dengan daya 100 Watt (Astara et al., 2025).

Prinsip kerja generator yaitu ketika poros generator diputar oleh turbin angin,

magnet permanen di dalam generator menghasilkan perubahan medan magnet pada kumparan sehingga menghasilkan tegangan dan arus listrik DC pada terminal keluaran. Energi listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke *Wind Charge Controller* (WCCB) untuk mengatur proses pengisian baterai dan melindungi baterai dari kondisi *overcharge* maupun *over-discharge*, sebelum disimpan pada baterai sebagai sumber energi untuk menyalakan lampu Penerangan Jalan Umum (PJU).

2.1.3 Solar Charger Controller



Gambar 2.3 SCC (Solar Charger Controller)

(Sumber <https://taffware.com/product/taffware-solar-charger-controller-dual-usb-10a-12v-24v-rbl-006a/>)

Solar Charge Controller (SCC) merupakan komponen yang berfungsi mengatur dan mengontrol proses pengisian baterai dari sumber energi listrik yang dihasilkan oleh generator turbin angin. Pada penelitian ini, SCC digunakan untuk menjaga kestabilan tegangan dan arus pengisian agar sesuai dengan karakteristik baterai 12 V sehingga proses pengisian berlangsung dengan aman dan efisien.

SCC bekerja dengan mengatur aliran energi listrik dari generator menuju baterai sehingga proses pengisian dapat berlangsung secara optimal. Selain itu, komponen ini memiliki beberapa fungsi penting, yaitu:

- 1) Mengatur tegangan dan arus pengisian baterai 12 V.
- 2) Mencegah *overcharge* (pengisian berlebih) pada baterai.
- 3) Melindungi baterai dari *over-discharge* (pengosongan berlebih).

- 4) Menjaga kestabilan sistem pengisian agar baterai memiliki umur pakai yang lebih lama.

Dalam sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis turbin angin, *Solar Charge Controller* (SCC) berperan sebagai pusat pengendali proses pengisian baterai dengan menghubungkan generator dan baterai. Oleh karena itu, penggunaan SCC sangat penting untuk meningkatkan keamanan, kestabilan, dan keandalan sistem secara keseluruhan.

2.1.4 Baterai VRLA SMT



Gambar 2.4 baterai VRLA SMT

(Sumber : <https://samoto.co.id/products/e-bike-smt-6-dzf-20/>)

Baterai merupakan komponen yang berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh generator turbin angin. Energi listrik yang tersimpan di dalam baterai kemudian digunakan untuk menyuplai beban, seperti lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) pada malam hari atau ketika turbin angin tidak menghasilkan energi listrik. Dengan demikian, baterai berperan penting dalam menjaga kontinuitas pasokan energi pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) berbasis energi terbarukan.

Pada penelitian ini digunakan baterai SMT-POWER tipe SMT 6-DZF-20 dengan spesifikasi 12 V 20 Ah. Baterai ini memiliki kapasitas yang cukup untuk

menyimpan energi listrik hasil pembangkitan generator serta dapat digunakan sebagai sumber daya bagi lampu Penerangan Jalan Umum sesuai kebutuhan sistem. Selain itu, baterai ini memiliki konstruksi tertutup (*sealed*) sehingga lebih aman dan memerlukan perawatan yang relatif rendah.

Dalam sistem ini, baterai memiliki peran sebagai penyimpan energi listrik sekaligus sumber daya utama ketika generator tidak menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, keberadaan baterai sangat penting untuk menjaga keberlangsungan, kestabilan, dan keandalan sistem Penerangan Jalan Umum berbasis turbin angin.

2.1.5 Photocell (Sensor Cahaya)



Gambar 2.5 Photocell (Sensor Cahaya)

(Sumber : <https://l1nq.com/ieyyjd2>)

Photocell merupakan sensor cahaya yang berfungsi untuk mengontrol nyala dan mati lampu secara otomatis berdasarkan intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi tingkat pencahayaan sehingga dapat mengatur aliran listrik ke lampu sesuai kondisi siang dan malam. Pada siang hari, *photocell* mendeteksi adanya cahaya matahari sehingga arus listrik ke lampu diputus dan lampu dalam keadaan mati. Sebaliknya, pada malam hari ketika intensitas cahaya rendah, *photocell* mendeteksi kondisi gelap dan secara otomatis menghubungkan arus listrik dari baterai ke lampu sehingga lampu dapat menyala. Dalam sistem ini, *photocell* memiliki peran penting dalam mengatur waktu operasional lampu secara otomatis tanpa memerlukan pengendalian manual. Selain itu, *photocell* juga berperan dalam menghubungkan baterai dengan lampu sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien dan sistem dapat bekerja secara optimal

sesuai kebutuhan pencahayaan (Dermawan et al., 2018).

2.1.6 Lampu LED 30 Watt

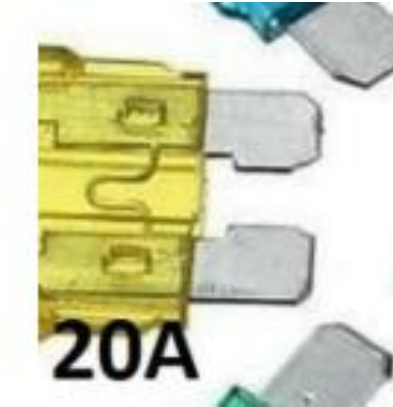


Gambar 2.6 LED 30 W

(Sumber <https://www.hongzhunled.com/led-street-light/cobra-head-led-street-light.html>)

Lampu LED 30 W digunakan sebagai beban utama pada sistem penerangan. Lampu LED dipilih karena memiliki konsumsi daya yang rendah, namun tetap mampu menghasilkan tingkat pencahayaan yang cukup terang dan efisien. Lampu LED berfungsi sebagai keluaran (*output*) utama yang menghasilkan penerangan jalan. Dalam sistem ini, lampu LED menerima suplai energi dari baterai sebagai sumber daya utama serta dikendalikan oleh *photocell* yang berfungsi mengatur kondisi nyala dan padam lampu berdasarkan intensitas cahaya lingkungan, sehingga sistem dapat bekerja secara otomatis dan lebih efisien dalam penggunaan energi. Lampu jalan LED umumnya menggunakan daya 30 W hingga 200 W, tergantung pada jenis jalan dan tinggi tiang. Jalan lingkungan biasanya menggunakan lampu LED berdaya 30–60 W, sedangkan jalan arteri atau protokol menggunakan lampu LED berdaya 90–200 W agar distribusi cahaya lebih merata. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih lampu LED 30 W karena sesuai digunakan pada sistem Penerangan Jalan Umum di jalan lingkungan dengan tetap memberikan pencahayaan yang memadai dan konsumsi energi yang lebih hemat (Edy Sumarno, et al., 2023)

2.1.7 Fuse DC



Gambar 2.7 Fuse Blade

(Sumber : <https://www.gridoto.com/read/223077147/jangan-asal-colok-bisa-kebakaran-beda-warna-beda-ukuran-pada-sekring-mobil-dan-motor>)

Sekering dipasang sebagai sistem proteksi untuk mencegah kerusakan akibat arus berlebih atau hubungan singkat (korsleting). Komponen ini akan putus secara otomatis apabila arus listrik yang mengalir melebihi batas yang telah ditentukan, sehingga dapat memutus rangkaian dan mencegah kerusakan pada komponen lain.

Dalam sistem ini, sekering berfungsi untuk melindungi komponen dari kerusakan akibat korsleting. Sekering dipasang pada jalur baterai dan beban sebagai pengaman tambahan dalam sistem kelistrikan, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan keandalan sistem secara keseluruhan.

2.2 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas pemanfaatan energi angin sebagai sumber listrik alternatif untuk sistem penerangan jalan umum (PJU). Penelitian-penelitian ini menjadi referensi dalam proyek akhir ini karena berkaitan dengan turbin angin, sistem baterai, dan sistem kontrol penerangan.

Penelitian oleh Qory Hidayati et al., (2023) membahas peningkatan kebutuhan energi listrik pada sistem Penerangan Jalan Umum (PJU) seiring bertambahnya aktivitas masyarakat dan pembangunan fasilitas umum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerangan jalan memiliki peran penting dalam mendukung keamanan, keselamatan, serta kenyamanan pengguna jalan, terutama pada malam hari. Namun, sistem PJU konvensional masih cenderung boros energi listrik dan memerlukan biaya operasional yang cukup besar. Selain itu, penggunaan energi listrik yang masih bergantung pada sumber energi fosil juga memberikan

dampak negatif terhadap lingkungan.

Dalam permasalahan lain, Daru, (2023) melakukan pengujian eksperimental terhadap turbin angin sumbu vertikal tipe Savonius pada kecepatan angin rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa turbin ini mampu bekerja pada kondisi angin rendah dan tidak terlalu bergantung pada arah angin. Akan tetapi, penelitian tersebut belum mengintegrasikan turbin dengan sistem lampu otomatis dan sistem penyimpanan energi secara lengkap.

Saragih dan Siregar, (2021) melakukan pengujian lapangan terhadap turbin angin skala kecil untuk penerangan area publik. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu menyalakan lampu LED berdaya rendah, tetapi belum menggunakan sensor cahaya untuk pengendalian lampu secara otomatis.

Anjani et al., (2024) meneliti sistem penyimpanan energi menggunakan baterai melalui pengujian proses charging dan monitoring tegangan. Hasilnya menunjukkan bahwa baterai mampu menjaga kestabilan suplai listrik. Namun, sistem tersebut belum dilengkapi mekanisme pemutusan beban otomatis saat baterai dalam kondisi hampir habis.

Al Hafiz et al., (2023) merancang sistem proteksi overcharge dan overdischarge melalui rangkaian kontrol tegangan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu menjaga kondisi baterai agar tidak cepat rusak. Namun, penelitian ini belum mengintegrasikannya dalam sistem PJU berbasis turbin angin secara menyeluruh.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Fokus Penelitian	Hasil Utama	Kelemahan Penelitian
1	Fitrian dkk (2023)	Analisis kebutuhan daya PJU energi terbarukan	Energi terbarukan dapat mengurangi listrik konvensional	Belum membahas sistem pengisian dan proteksi baterai
2	Usman dkk (2023)	Pengujian turbin Savonius kecepatan rendah	Turbin mampu bekerja pada angin rendah	Belum terintegrasi dengan sistem lampu dan baterai
3	Putra dkk (2023)	Uji lapangan turbin skala kecil	Mampu menyalakan lampu LED	Belum menggunakan sensor cahaya otomatis
4	Anjani dkk (2024)	Pengujian sistem penyimpanan baterai	Tegangan baterai stabil saat <i>charging</i>	Belum ada sistem pemutusan beban otomatis

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat dilihat bahwa sebagian

besar penelitian masih berfokus pada satu aspek tertentu, seperti kinerja turbin, sistem baterai, atau proteksi tegangan secara terpisah. Belum banyak penelitian yang menggabungkan seluruh komponen tersebut menjadi satu sistem PJU mandiri yang terintegrasi, mulai dari turbin angin sumbu vertikal, sistem pengisian baterai, proteksi baterai, hingga kontrol lampu otomatis berbasis sensor cahaya.

Oleh karena itu, pada Proyek Akhir ini dilakukan perancangan sistem PJU berbasis turbin angin sumbu vertikal yang mengintegrasikan sistem pembangkitan, penyimpanan energi, proteksi baterai, serta kontrol lampu otomatis dalam satu kesatuan sistem. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa sistem yang lebih terintegrasi dan aplikatif untuk penerangan jalan berbasis energi terbarukan.