

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan dan Peranannya

2.1.1 Pengertian Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang dapat diperbarui secara alami dan tidak habis karena penggunaannya, seperti sinar matahari, angin, air, dan panas bumi. Sumber energi ini terus ada karena siklus alami di bumi, misalnya siklus hidrologi yang menjaga air tetap tersedia, atau siklus matahari yang memberikan sinar setiap hari(Sumiati, 2012). Berbeda dengan energi fosil (seperti batu bara, minyak, dan gas alam) yang terbentuk dalam waktu jutaan tahun, energi terbarukan dapat diproduksi secara berkelanjutan tanpa menguras sumber daya alam.



Gambar 2. 1 Energi Terbarukan
Sumber : (*Nabeshima et al., 2004*)

Energi terbarukan sangat penting dalam konteks modern karena banyak negara berupaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang tidak hanya terbatas, tetapi juga menjadi penyebab utama dari polusi udara dan perubahan iklim. Selain itu, banyak teknologi energi terbarukan yang menghasilkan

emisi karbon sangat sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali, menjadikannya pilihan yang lebih bersih dibandingkan bahan bakar fosil.

2.1.2 Manfaat dan Tantangan Penggunaan Energi Terbarukan

1. Manfaat Energi Terbarukan:

- a. Ramah Lingkungan: Penggunaan energi terbarukan mengurangi emisi gas rumah kaca yang merupakan penyebab utama perubahan iklim. Misalnya, energi surya dan angin tidak menghasilkan polusi udara atau air selama operasi.
- b. Sumber Daya yang Berkelaanjutan: Sumber energi seperti angin, sinar matahari, dan air dapat diperbarui dan tidak akan habis. Hal ini menjadikannya pilihan yang lebih berkelanjutan untuk jangka panjang dibandingkan energi fosil.
- c. Mengurangi Ketergantungan pada Energi Impor: Dengan memanfaatkan sumber energi lokal, negara dapat mengurangi ketergantungan pada impor energi, yang juga dapat meningkatkan keamanan energi nasional.
- d. Dukungan Ekonomi Lokal: Pengembangan teknologi energi terbarukan dapat menciptakan lapangan kerja di sektor energi, konstruksi, dan manufaktur, serta mendorong pertumbuhan ekonomi lokal.

2. Tantangan Energi Terbarukan:

- a. Variabilitas Sumber Daya Alam: Sumber energi seperti angin dan matahari sangat bergantung pada kondisi cuaca. Ketika angin berhenti bertiup atau matahari tidak bersinar, pembangkitan energi dapat terhenti.

- b. Biaya Awal yang Tinggi: Pemasangan teknologi energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin memerlukan investasi awal yang besar, meskipun biaya operasional dan pemeliharaannya rendah.
- c. Integrasi dengan Jaringan Listrik: Memasukkan energi terbarukan ke dalam jaringan listrik memerlukan teknologi dan infrastruktur tambahan untuk mengelola fluktuasi daya dan penyimpanan energi.
- d. Dampak Lingkungan Lokal: Meskipun energi terbarukan lebih ramah lingkungan, ada beberapa dampak potensial seperti gangguan terhadap habitat satwa liar oleh turbin angin atau perubahan ekosistem air oleh pembangkit listrik tenaga air.

2.1.3 Peran Energi Angin dan Energi Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan

Pada sistem pembangkitan energi terbarukan, khususnya yang menggunakan turbin angin Savonius, *buck converter* berperan penting dalam menurunkan dan mengatur tegangan yang dihasilkan agar sesuai dengan kebutuhan beban yang terhubung. Sistem turbin angin Savonius menghasilkan daya listrik yang bervariasi tergantung pada kecepatan angin, yang pada gilirannya menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran. Variasi beban yang terjadi pada sistem juga dapat mempengaruhi bagaimana *buck converter* merespons perubahan tersebut, sehingga sangat penting untuk memahami peranan variasi beban dalam konteks regulasi tegangan.

1. Variasi Beban dalam Sistem

Variasi beban merujuk pada perubahan daya yang ditarik oleh perangkat atau komponen yang terhubung ke *buck converter*. Beban yang dapat bervariasi termasuk peralatan rumah tangga, perangkat industri, atau sistem penyimpanan energi seperti baterai yang dihubungkan ke sistem pembangkitan turbin angin. Beban ini bisa berubah-ubah sesuai dengan kebutuhan pengguna, waktu, atau kondisi operasional lainnya. Misalnya, pada waktu tertentu, beban yang terhubung ke sistem mungkin membutuhkan lebih banyak daya (beban tinggi), sementara pada waktu lain beban bisa lebih rendah.

2. Pengaruh Variasi Beban pada Regulasi Tegangan

Buck converter dirancang untuk mengubah tegangan dari sumber daya (seperti keluaran turbin angin) menjadi tegangan yang lebih rendah dan stabil, yang diperlukan oleh beban. Namun, variasi beban dapat menyebabkan fluktuasi dalam arus yang ditarik dari konverter. Ketika beban meningkat (misalnya, lebih banyak perangkat yang digunakan), arus yang ditarik dari *buck converter* juga akan meningkat. Sebaliknya, ketika beban berkurang, arus yang ditarik akan menurun.

Perubahan dalam arus ini berpotensi menyebabkan perubahan tegangan keluaran, yang memengaruhi stabilitas sistem. Dalam *buck converter*, tegangan keluaran harus dijaga agar tetap stabil meskipun terjadi variasi arus. Jika variasi beban terlalu besar, *buck converter* mungkin tidak dapat mempertahankan tegangan keluaran yang diinginkan, yang dapat mengakibatkan ketidakstabilan dalam sistem pembangkitan energi atau bahkan kerusakan pada perangkat yang terhubung.

3. Tantangan yang Dihadapi *Buck Converter*

Salah satu tantangan utama yang dihadapi *buck converter* dalam sistem turbin angin Savonius adalah kemampuannya untuk merespons variasi beban yang cepat dan dinamis. Sistem turbin angin, terutama jenis Savonius, memiliki karakteristik keluaran daya yang tidak stabil dan bergantung pada kecepatan angin. Ketika kecepatan angin berubah, daya yang dihasilkan oleh turbin juga akan berfluktuasi. Ditambah dengan variasi beban yang terjadi secara bersamaan, *buck converter* harus mampu menjaga tegangan keluaran tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan beban.

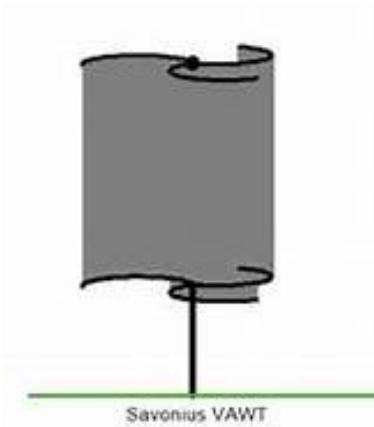
4. Peranan dalam Sistem Turbin Angin Savonius

Dalam konteks sistem turbin angin Savonius, peranan *buck converter* sangat penting untuk memastikan bahwa daya yang dihasilkan oleh turbin dapat digunakan dengan efisien. Tanpa pengaturan tegangan yang tepat, variasi beban yang terjadi dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan. Selain itu, tegangan yang tidak stabil dapat merusak perangkat yang terhubung, seperti peralatan rumah tangga atau perangkat elektronik lainnya.

Buck converter yang efektif harus dapat merespons variasi beban dengan cepat dan mengatur tegangan keluaran dengan baik, meskipun terjadi fluktuasi pada kecepatan angin dan konsumsi daya. Oleh karena itu, penting untuk memahami bagaimana variasi beban mempengaruhi kinerja *buck converter* dalam menjaga regulasi tegangan, serta teknik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kestabilan sistem, seperti penggunaan kontrol feedback atau teknik manajemen daya lainnya.(Soto *et al.*, 2007).

2.2 Turbin Angin Savonius

2.2.1 Prinsip Kerja Turbin Angin Savonius



Gambar 2. 2 Kincir Angin Tipe Savonius
Sumber : (*Rudianto and Ahmadi, 2016*)

Turbin angin Savonius merupakan jenis turbin angin sumbu vertikal yang menggunakan gaya dorong angin untuk memutar rotor. Desainnya biasanya terdiri dari dua atau lebih bilah berbentuk setengah silinder yang dipasang berlawanan arah (Siregar and Lubis, 2019). Ketika angin mengenai salah satu sisi bilah, gaya dorong yang dihasilkan membuat rotor berputar. Karena bilah berbentuk cekung, udara yang mengalir melewati sisi dalam memberikan gaya dorong lebih besar dibandingkan sisi luar, sehingga menciptakan rotasi.

2.2.2 Karakteristik Desain dan Aplikasi Turbin Angin Savonius

1. Desain Sederhana: Kincir Savonius memiliki struktur yang sederhana dan tidak memerlukan banyak komponen bergerak, sehingga biaya pembuatan dan perawatannya relatif rendah.
2. Kecepatan Angin Rendah: Kincir ini sangat cocok digunakan di daerah dengan kecepatan angin rendah hingga sedang, seperti perkotaan atau pedesaan yang tidak memiliki angin kencang.

3. Sumbu Vertikal: Karena sumbunya vertikal, kincir ini tidak memerlukan mekanisme untuk mengarahkan bilah ke arah angin, yang menjadikannya lebih praktis untuk lingkungan dengan angin yang berputar.

2.2.3 Keunggulan dan Kelemahan Turbin Angin Savonius

1. Keunggulan:
 - a. Dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah.
 - b. Biaya pembuatan dan pemeliharaan yang lebih rendah.
 - c. Tidak memerlukan orientasi terhadap arah angin.
2. Kelemahan:
 - a. Efisiensi konversi energi lebih rendah dibandingkan dengan turbin sumbu horizontal.
 - b. Kecepatan rotasi lebih rendah sehingga memerlukan mekanisme peningkatan kecepatan jika ingin digunakan untuk pembangkit listrik.

2.2.4 Studi Literatur tentang Efisiensi dan Performa Turbin Angin Savonius

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa modifikasi pada desain bilah, seperti menambah pengarah angin, dapat meningkatkan efisiensi kincir Savonius. Variasi jumlah bilah juga mempengaruhi kinerja, dengan tiga bilah biasanya menunjukkan performa lebih baik dibandingkan dua bilah (Setyawan *et al.*, 2020).

2.3 Variasi Beban Terhadap Tegangan Pada Buck Converter

Buck converter adalah perangkat konversi daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sumber daya tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah dan stabil, sesuai dengan kebutuhan beban. Dalam konteks sistem pembangkitan energi, seperti turbin angin Savonius, *buck converter* memainkan peran penting

dalam memastikan bahwa tegangan keluaran tetap terjaga meskipun terjadi variasi beban. Variasi beban dapat mempengaruhi kinerja *buck converter*, terutama dalam menjaga stabilitas tegangan keluaran.

2.3.1 Dasar Teori Dan Variasi Beban

Variasi beban dalam konteks *buck converter* merujuk pada perubahan dalam daya yang ditarik oleh beban yang terhubung ke konverter. Beban ini bisa berupa peralatan listrik, perangkat elektronik, atau sistem penyimpanan energi (seperti baterai) (Rudianto and Ahmadi, 2016). Beban yang terhubung ke *buck converter* akan menarik arus listrik dari konverter, dan ketika beban berubah (misalnya, saat lebih banyak perangkat digunakan atau ketika beban dikurangi), arus yang ditarik juga akan berubah. Perubahan ini dapat menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran jika *buck converter* tidak dapat mengatur tegangan dengan baik.

2.3.2 Faktor-faktor yang Di Pengaruhi Oleh Variasi Beban

Untuk memahami pengaruh variasi beban, perlu dipahami bahwa tegangan keluaran *buck converter* bergantung pada dua faktor utama::

1. Arus yang ditarik oleh beban: Semakin besar arus yang ditarik, semakin besar tegangan yang dibutuhkan untuk menjaga kestabilan sistem.
2. Kecepatan respons konverter: *Buck converter* harus dapat menyesuaikan dengan cepat terhadap perubahan arus untuk menjaga tegangan tetap stabil.

Ketika beban meningkat (misalnya, lebih banyak perangkat yang menggunakan daya), arus yang ditarik akan meningkat. Jika *buck converter* tidak dapat merespons dengan cepat, tegangan keluaran dapat turun. Sebaliknya, jika beban berkurang,

arus yang ditarik juga akan menurun, dan *buck converter* harus menyesuaikan tegangan agar tetap stabil.

2.3.3 Cara Kerja Variasi Beban pada Buck Converter

Buck converter menggunakan teknik *switching* untuk mengubah tegangan dari sumber daya tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah. Proses ini melibatkan elemen-elemen utama seperti transistor (biasanya MOSFET), induktor, kapasitor, dan dioda. Berikut adalah cara kerja dasar *buck converter* yang berhubungan dengan variasi beban:

1. Sumber Daya dan Switching:

Buck converter menerima input tegangan dari sumber daya (misalnya, turbin angin Savonius) yang memiliki tegangan lebih tinggi. Transistor di dalam buck converter berfungsi sebagai saklar yang membuka dan menutup secara cepat untuk mengontrol aliran energi dari sumber daya ke beban. Proses switching ini menghasilkan pulsa-pulsa tegangan yang diubah menjadi tegangan DC yang lebih rendah melalui induktor dan kapasitor.

2. Pengaruh Beban pada Arus:

Ketika beban bertambah (misalnya, perangkat tambahan dihubungkan), arus yang ditarik dari *buck converter* akan meningkat. Sebagai respons, *buck converter* akan mencoba menyesuaikan dengan perubahan arus ini. Jika beban meningkat terlalu cepat atau terlalu banyak, konverter mungkin kesulitan untuk menjaga tegangan keluaran tetap stabil.

3. Peran Induktor dan Kapasitor:

Induktor di dalam buck converter menyimpan energi dalam bentuk medan magnet ketika arus mengalir melaluinya. Kapasitor berfungsi untuk meratakan tegangan keluaran dan mengurangi fluktuasi. Ketika beban meningkat, kapasitor akan melepaskan energi untuk menjaga tegangan tetap stabil. Sebaliknya, jika beban berkurang, kapasitor akan mengisi ulang dirinya.

4. Regulasi Tegangan dengan Teknik Kontrol:

Untuk memastikan bahwa tegangan keluaran tetap stabil meskipun terjadi variasi beban, *buck converter* biasanya dilengkapi dengan sistem kontrol, seperti kontrol PWM (Pulse Width Modulation). Kontrol ini mengatur durasi waktu transistor berada dalam keadaan "on" dan "off" untuk mengatur jumlah energi yang diteruskan ke beban. Dengan mengatur rasio siklus kerja (*duty cycle*), *buck converter* dapat menyesuaikan dengan perubahan beban dan menjaga tegangan keluaran tetap konstan.

5. Stabilitas Tegangan dalam Kondisi Beban Berubah:

Ketika terjadi perubahan beban (misalnya, penurunan atau peningkatan daya yang ditarik), buck converter akan merespons untuk menyesuaikan tegangan keluaran. Namun, respons ini membutuhkan waktu dan ketepatan. Jika *buck converter* tidak cukup cepat atau akurat dalam menyesuaikan, fluktuasi tegangan dapat terjadi, yang dapat memengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan..

2.3.4 Pengaruh Variasi Beban terhadap *Buck Converter*

Variasi beban dapat mempengaruhi beberapa aspek kinerja *buck converter*, antara lain:

1. Kestabilan Tegangan: Perubahan beban dapat menyebabkan fluktuasi tegangan keluaran jika *buck converter* tidak dapat menyesuaikan secara cepat.
2. Efisiensi Sistem: Variasi beban yang besar dapat menurunkan efisiensi *buck converter* karena konverter mungkin bekerja di luar kapasitas optimalnya.
3. Respon Dinamis: Buck converter harus mampu memberikan respons dinamis terhadap perubahan beban untuk memastikan tegangan keluaran tetap stabil.
4. Variasi beban memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja buck converter, terutama dalam hal regulasi tegangan. *Buck converter* harus dapat merespons perubahan beban dengan cepat dan efektif untuk menjaga kestabilan tegangan dan efisiensi sistem. Penggunaan kontrol yang tepat, seperti PWM, dan pemilihan komponen yang sesuai dapat membantu mengurangi dampak negatif dari variasi beban pada tegangan keluaran.(Rosid, 2023).

2.4 Buck Converter

2.4.1 Pengertian dan Fungsi *Buck Converter*

Buck converter adalah jenis konverter DC-DC (*Direct Current to Direct Current*) yang dirancang untuk mengubah tegangan input yang lebih tinggi menjadi tegangan output yang lebih rendah secara efisien. Fungsi utama dari *buck converter* adalah untuk mengatur atau menurunkan tegangan input sesuai dengan kebutuhan spesifik beban. Konverter ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik,

termasuk di sistem energi terbarukan, perangkat elektronik konsumen, sistem kontrol daya, dan aplikasi industri(Rahman and Syahputra, 2024).



Gambar 2. 3 Buck Konverter
Sumber : (*Purnama, Hantoro and Nugroho, 2013*)

Buck converter bekerja dengan cara "memotong" atau mengubah tegangan input dalam siklus tertentu, sehingga hanya sebagian energi yang diteruskan ke beban dalam bentuk tegangan output yang lebih rendah. Dengan demikian, konverter ini sangat efektif untuk menyesuaikan tegangan dari sumber daya yang bervariasi agar sesuai dengan tegangan kerja perangkat elektronik yang membutuhkan pasokan listrik stabil dan efisien.

2.4.2 Prinsip Kerja Buck Converter

Prinsip kerja buck converter melibatkan beberapa komponen utama, yaitu saklar elektronik (biasanya berupa transistor atau MOSFET), dioda, induktor, dan kapasitor. Fungsi masing-masing komponen dijelaskan sebagai berikut:

1. Saklar Elektronik: Berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus dari tegangan input. Saklar ini dikontrol oleh sinyal PWM (Pulse Width Modulation), yang mengatur berapa lama saklar berada dalam posisi

ON atau OFF selama satu siklus. Rasio waktu ON terhadap total waktu siklus disebut "*duty cycle*" dan menentukan besarnya tegangan output.

2. Dioda: Mengarahkan arus ketika saklar elektronik berada dalam posisi OFF, sehingga arus tetap mengalir melalui beban dan induktor. Dioda bertindak sebagai jalur alternatif untuk arus saat saklar terbuka.
3. Induktor: Berfungsi untuk menyimpan energi dalam bentuk medan magnet ketika saklar elektronik dalam posisi ON dan melepaskan energi tersebut saat saklar berada dalam posisi OFF. Induktor membantu meratakan tegangan output dan mengurangi fluktuasi.
4. Kapasitor: Berperan untuk menyaring (*filtering*) tegangan output agar tetap stabil dan halus dengan menyerap fluktuasi yang dihasilkan oleh proses *switching*.

A. Proses Kerja:

Ketika saklar elektronik dalam posisi ON, tegangan input diterapkan pada induktor, menyebabkan arus meningkat dan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Arus juga mengalir melalui beban.

- a. Ketika saklar dalam posisi OFF, induktor melepaskan energi yang tersimpan untuk mempertahankan arus melalui beban. Pada saat ini, dioda berfungsi sebagai jalur aliran arus dari induktor ke beban.
- b. Duty cycle (ratio waktu ON terhadap waktu total siklus) menentukan besarnya tegangan output, yang umumnya lebih rendah dari tegangan input.

2.4.3 Aplikasi Buck Converter dalam Sistem Energi Terbarukan

Dalam sistem energi terbarukan, buck converter digunakan untuk menyesuaikan tegangan output dari sumber energi turbin angin sebelum disalurkan ke beban atau sistem penyimpanan energi. Berikut beberapa aplikasi spesifiknya:

Turbin Angin: Tegangan yang dihasilkan oleh generator turbin angin juga bisa bervariasi tergantung kecepatan angin. Buck converter dapat digunakan untuk mengatur tegangan tersebut agar sesuai dengan tegangan operasi beban.

2.4.4 Pengaruh Variasi Tegangan Input terhadap Kinerja Buck Converter

Variasi tegangan input pada buck converter dapat memengaruhi efisiensi dan kestabilan tegangan output. Beberapa faktor yang harus diperhatikan adalah:

1. Duty Cycle: Ketika tegangan input meningkat, duty cycle perlu disesuaikan agar tegangan output tetap stabil. Jika *duty cycle* tidak dikontrol dengan benar, tegangan output bisa mengalami fluktuasi yang signifikan.
2. Efisiensi Konversi: Pada kondisi input yang berfluktuasi, buck converter mungkin bekerja di luar rentang efisiensi optimalnya, menyebabkan peningkatan kerugian daya dan panas.
3. Respons Dinamis: Buck converter harus dapat merespons perubahan tegangan input secara cepat untuk menjaga kestabilan output, terutama ketika digunakan dalam aplikasi dengan perubahan beban yang cepat atau fluktuasi sumber daya (Purnama, Hantoro and Nugroho, 2013).

2.5 Regulasi Tegangan Pada Buck Converter

2.5.1 Pengertian regulasi tegangan dan Prinsip kerja

Regulasi tegangan merupakan proses mengatur dan mempertahankan tegangan dalam jaringan listrik dalam batas yang aman dan stabil. Prinsip

kerja regulasi tegangan adalah untuk mengontrol dan menstabilkan tegangan listrik output dengan cara mengatur perbedaan antara tegangan input dan output.

Adapun rumus regulasi daya yang dapat digunakan untuk mencari regulasi tegangan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Regulasi tergangan} = \left(\frac{V_{in} - V_{out}}{V_{out}} \right) \times 100\%$$

Dimana:

$V-in$ = tegangan keluaran tanpa beban

$V-out$ = tegangan keluaran saat berbeban

2.5.2 Faktor Yang Mempengaruhi Regulasi Tegangan

a. Beban

Perubahan beban dapat mempengaruhi tegangan keluaran.

b. Faktor Daya

Faktor daya yang rendah dapat menyebabkan regulasi tegangan yang buruk.

c. Resistansi dan Reaktansi

Resistansi dan reaktansi pada saluran transmisi dan transformator dapat mempengaruhi regulasi tegangan.

d. Kecepatan Putar Generator

Kecepatan putar generator dapat mempengaruhi tegangan keluaran.

e. Arus Medan

Arus medan pada generator dapat mempengaruhi tegangan keluaran.

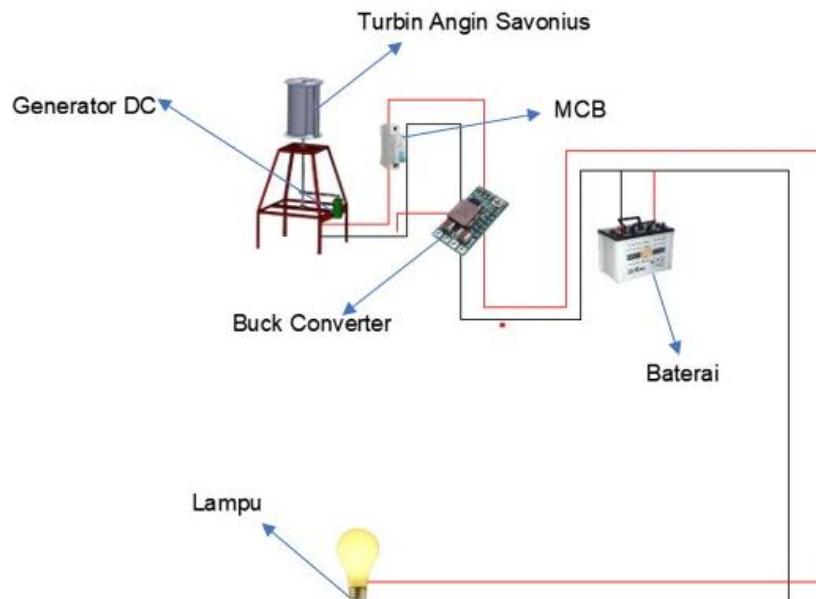
f. Kualitas Komponen

Kualitas komponen seperti transformator, regulator tegangan, dan kapasitor dapat mempengaruhi regulasi tegangan.

g. Desain Sistem

Desain sistem listrik, termasuk konfigurasi jaringan dan pemilihan komponen, dapat mempengaruhi regulasi tegangan.

2.6 Komponen Dan Alur Alat



Gambar 2. 4 Alur Alat

2.6.1 Komponen

1. Turbin Angin Savonius

Turbin ini merupakan sumber energi mekanik utama dalam sistem. Turbin Savonius dirancang untuk menangkap energi angin, terutama pada kecepatan angin rendah hingga sedang. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin akan diteruskan ke generator.

2. Generator DC

Generator DC mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin menjadi energi listrik berupa arus searah (DC). Tegangan yang dihasilkan oleh generator akan bervariasi sesuai dengan kecepatan putaran turbin dan kondisi angin.

3. Buck Converter

Buck converter digunakan untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan DC dari generator agar sesuai dengan kebutuhan sistem. Buck converter juga berfungsi untuk mengurangi tegangan ripple yang dapat memengaruhi performa perangkat elektronik yang terhubung.

4. MCB (Miniature Circuit Breaker)

Komponen ini bertindak sebagai pengaman dalam sistem listrik. Jika terjadi arus berlebih atau korsleting, MCB akan memutuskan aliran listrik untuk melindungi komponen lain dalam rangkaian.

5. Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin. Energi ini dapat digunakan untuk kebutuhan beban (seperti lampu) ketika kecepatan angin rendah atau saat turbin tidak beroperasi.

6. Lampu (Beban)

Lampu digunakan sebagai beban listrik dalam sistem ini. Energi listrik dari baterai atau langsung dari buck converter digunakan untuk menyalaikan lampu.

2.6.2 Alur Kerja Sistem

1. Energi angin menggerakkan turbin Savonius, yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik.
2. Energi mekanik ini diteruskan ke generator DC, yang mengubahnya menjadi energi listrik berupa arus searah (DC).
3. Tegangan dari generator DC disalurkan ke buck converter untuk diturunkan dan distabilkan.

4. Aliran listrik melewati MCB sebagai pengaman sistem sebelum disalurkan ke baterai untuk penyimpanan atau langsung ke beban (lampu).
5. Baterai menyediakan daya listrik untuk beban ketika turbin angin tidak menghasilkan energi.

2.7 Kajian Pustaka

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Variabel yang Digunakan
1	Frans L.B (2019)	Pengaruh Variasi Beban pada Regulasi Tegangan pada <i>Buck Converter</i> dalam Sistem Turbin Angin Savonius	Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi beban terhadap kestabilan tegangan pada buck converter.	Beban (variasi arus), Tegangan Keluaran, Efisiensi, Kecepatan Angin, Sistem Turbin Angin Savonius
2	Smith et al. (2020)	<i>Study on the Load Variation Effects in DC-DC Converters for Wind Power Systems</i>	Penelitian ini menguji variasi beban pada buck converter yang terhubung dengan sistem turbin angin. Hasil menunjukkan bahwa variasi beban mempengaruhi kestabilan tegangan keluaran secara signifikan.	Beban, Tegangan Keluaran, Arus, Turbin Angin, Sistem Konversi Daya DC-DC
3	Zhang & Li (2018)	<i>Impact of Load Variation on Voltage Regulation in Wind Energy Systems with DC-DC Converters</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi beban dapat menyebabkan fluktuasi tegangan, namun penggunaan teknik kontrol PWM dapat mengurangi dampaknya.	Beban, Tegangan Keluaran, Teknik Kontrol PWM, Arus, Sistem Turbin Angin
4	Pradhan et al. (2019)	<i>Performance of Buck Converters under Load Variations in Renewable Energy Systems</i>	Penelitian ini mengevaluasi kinerja buck converter dalam mengatur tegangan pada sistem pembangkitan energi terbarukan, termasuk turbin angin.	Beban, Tegangan Keluaran, Kecepatan Angin, Efisiensi, Sistem Penyimpanan Energi

5	Kumar & Singh (2021)	<i>Dynamic Behavior of DC-DC Buck Converter under Load Fluctuations in Wind Turbine Systems</i>	Penelitian ini meneliti perilaku dinamis buck converter ketika terjadi fluktuasi beban pada sistem turbin angin, menunjukkan pentingnya desain kontrol yang tepat.	Beban, Tegangan Keluaran, Arus, Fluktuasi Beban, Sistem Turbin Angin
6	Ali & Sharma (2017)	<i>A Comparative Study of Load Regulation in DC-DC Converters for Wind Power Generation</i>	Penelitian ini membandingkan berbagai jenis konverter daya DC, termasuk buck converter, dalam menghadapi variasi beban pada sistem pembangkitan turbin angin.	Beban, Tegangan Keluaran, Arus, Konverter DC, Sistem Turbin Angin
7	Lee et al. (2015)	<i>Voltage Regulation in Wind Energy Systems with Variable Load Conditions</i>	Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi beban terhadap stabilitas tegangan pada sistem pembangkitan angin, dan menemukan bahwa penggunaan teknik kontrol adaptif dapat meningkatkan regulasi tegangan.	Beban, Tegangan Keluaran, Arus, Teknik Kontrol Adaptif, Turbin Angin
8	Li & Wang (2022)	<i>Study of Load Regulation in DC-DC Converters for Off-Grid Wind Power Systems</i>	Penelitian ini meneliti pengaruh variasi beban pada konverter buck yang digunakan dalam sistem pembangkitan energi angin off-grid.	Beban, Tegangan Keluaran, Efisiensi, Sistem Pembangkitan Energi Angin Off-Grid
9	Tanaka & Matsuda (2019)	<i>Influence of Load Changes on Voltage Stability in DC-DC Converters</i>	Penelitian ini menguji dampak perubahan beban pada kestabilan	Beban, Tegangan Keluaran, Sistem Turbin Angin,

		<i>for Wind Turbine Systems</i>	tegangan keluaran buck converter yang digunakan dalam sistem turbin angin.	Arus, Efisiensi Sistem
10	Patel et al. (2018)	<i>Load Variations and Their Impact on the Performance of DC-DC Converters in Wind Power Applications</i>	Penelitian ini mengevaluasi pengaruh variasi beban terhadap performa buck converter dalam aplikasi pembangkitan energi angin.	Beban, Tegangan Keluaran, Arus, Kecepatan Angin, Efisiensi Sistem

Perbedaan utama antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan adalah fokus pada integrasi *buck converter* dalam sistem turbin angin Savonius dan analisis mendalam mengenai pengaruh variasi beban terhadap regulasi tegangan dalam konteks tersebut. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih banyak meneliti variasi beban dan regulasi tegangan pada sistem konverter daya DC-DC yang terhubung dengan sumber energi terbarukan lainnya, seperti sistem tenaga surya atau grid, dengan asumsi beban yang relatif konstan atau sedikit berubah. Namun, penelitian ini akan lebih terfokus pada sistem turbin angin Savonius, yang memiliki karakteristik fluktuasi daya yang lebih besar dan lebih kompleks, serta pengaruh variasi beban terhadap kestabilan tegangan pada buck converter yang digunakan untuk mengonversi daya dari turbin angin tersebut. Selain itu, penelitian ini juga akan mengeksplorasi metode dan teknik kontrol yang lebih spesifik untuk mengoptimalkan regulasi tegangan dalam menghadapi variasi beban yang lebih dinamis pada sistem turbin angin Savonius, yang belum banyak dibahas dalam literatur sebelumnya.