

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Terbarukan dan Kincir Angin

2.1.1 Pentingnya Pengembangan Energi Terbarukan sebagai Alternatif Energi Fosil



Gambar 2. 1 Energi Terbarukan
Sumber : (*Galista Meirina Sari, 2023*)

Energi terbarukan mencakup sumber energi yang dapat diperbarui secara alami dan tidak akan habis, seperti matahari, angin, air, biomassa, dan panas bumi (Kelvin *et al.*, 2024). Sumber energi ini menjadi semakin penting di tengah kekhawatiran akan keterbatasan energi fosil dan dampak negatif penggunaannya terhadap lingkungan. Penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO₂), yang berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Selain itu, eksplorasi bahan bakar fosil sering mengakibatkan kerusakan lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air, deforestasi, serta polusi udara.

Pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu langkah strategis untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mendukung keberlanjutan energi jangka panjang. Energi terbarukan menawarkan berbagai keuntungan, termasuk dampak lingkungan yang lebih rendah dan sumber daya yang melimpah serta tidak terbatas. Penggunaan energi angin, sebagai

salah satu bentuk energi terbarukan, semakin populer karena tidak menghasilkan emisi langsung dan dapat digunakan di berbagai lokasi, baik di pedesaan maupun di perkotaan(Bararah and Al Aminah, 2023). Oleh karena itu, peralihan ke sumber energi terbarukan seperti angin menjadi prioritas dalam upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan.

2.1.2 Jenis-jenis Turbin Angin

Turbin angin merupakan perangkat yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanis, yang kemudian dapat dikonversi menjadi energi listrik. Berdasarkan orientasi porosnya, turbin angin dapat dibedakan menjadi dua jenis utama:

1. Turbin Angin Horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine/HWT)

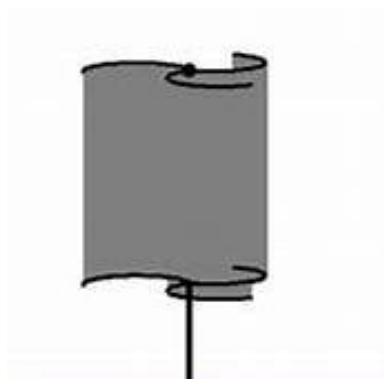


Gambar 2. 2 Turbin Angin Horizontal

Sumber : *(Ideen Sadrehaghghi, 2024)*

Turbin angin horizontal memiliki poros rotor yang sejajar dengan tanah, sehingga baling-balingnya perlu diarahkan agar selalu menghadap ke arah angin. (Ginting, 2024) Jenis turbin ini paling umum digunakan di ladang angin besar karena efisiensinya yang tinggi dalam mengonversi energi angin pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Sistem pengaturan arah angin (yaw system) biasanya diperlukan agar turbin selalu berorientasi terhadap arah angin optimal.

2. Turbin Angin Vertikal (Vertical Axis Wind Turbine/VWT)



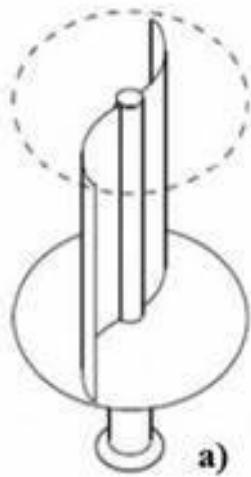
Gambar 2. 3 Turbin Angin Vertikal
Sumber : (*Ideen Sadrehaghghi, 2024*)

Turbin angin vertikal memiliki poros rotor yang tegak lurus terhadap tanah dan mampu menangkap angin dari segala arah. Desain ini lebih fleksibel dan tidak memerlukan sistem pengaturan arah angin (Saputra, 2016). Meskipun efisiensi turbin vertikal umumnya lebih rendah dibandingkan dengan turbin horizontal, mereka memiliki keuntungan dalam hal kemudahan instalasi dan kemampuan untuk bekerja dalam kondisi angin yang bervariasi, termasuk angin turbulen atau tidak teratur. Turbin angin tipe Savonius adalah salah satu contoh turbin vertikal yang banyak digunakan, terutama untuk aplikasi skala kecil.

2.1.3 Turbin Angin Tipe Savonius

Turbin angin tipe Savonius adalah jenis turbin vertikal yang didesain untuk memanfaatkan angin dengan kecepatan rendah dan kondisi angin yang tidak stabil. Desain turbin Savonius umumnya terdiri dari dua atau tiga setengah silinder yang dipotong memanjang dan dipasang secara berlawanan arah(Alit, Nurchayati and Pamuji, 2016). Ketika angin bertiup, sisi cekung dari rotor menangkap angin lebih baik dibandingkan sisi cembung, sehingga menghasilkan gaya putar yang menyebabkan rotor berputar. Perbedaan tekanan antara sisi cekung dan sisi cembung menciptakan gaya dorong yang menggerakkan rotor.

Savonius



Gambar 2. 4 Turbin Angin Savonius

Sumber : (*Junior, Tangkuman and Arungpadang, 2022*)

Desain Savonius memiliki konstruksi yang sederhana dan biaya pembuatan yang relatif rendah, menjadikannya ideal untuk digunakan di daerah dengan angin berkecepatan rendah atau sebagai solusi energi skala kecil. Prinsip kerjanya memungkinkan turbin ini untuk beroperasi secara efisien dalam berbagai kondisi angin, termasuk angin turbulen atau angin yang berubah-ubah arah. Hal ini membuatnya cocok untuk aplikasi seperti pompa air, sistem ventilasi, dan pembangkit listrik daya rendah di daerah pedesaan atau terpencil. Selain itu, turbin Savonius dapat digunakan dalam lingkungan perkotaan, di mana angin sering kali tidak stabil dan berfluktuasi.

2.2 Konverter Daya dan Aplikasinya dalam Sistem Energi Terbarukan

Konverter daya adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah bentuk energi listrik dari satu jenis ke jenis lain, baik itu mengubah tegangan, frekuensi, atau bentuk arus (AC ke DC atau sebaliknya). Dalam sistem energi terbarukan, seperti energi angin dan surya, konverter daya memainkan peran penting dalam mengatur dan mengoptimalkan aliran energi agar dapat digunakan secara efisien(Effendi, 2024). Sistem pembangkit energi terbarukan

sering kali menghasilkan tegangan dan arus listrik yang tidak stabil, sehingga diperlukan konverter daya untuk menstabilkan keluaran energi agar sesuai dengan kebutuhan beban atau sistem penyimpanan energi.

2.2.1 Jenis-jenis Konverter Daya

Konverter daya dapat dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan fungsinya dalam mengubah bentuk atau karakteristik listrik. Dua jenis utama konverter daya yang sering digunakan adalah konverter AC-DC dan konverter DC-DC (Sapteka, 2019).

1. Konverter AC-DC (Rectifier)

Konverter AC-DC digunakan untuk mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Dalam sistem energi terbarukan, seperti kincir angin dengan generator AC, rectifier diperlukan untuk mengubah tegangan keluaran AC dari generator menjadi tegangan DC yang dapat disimpan dalam baterai atau digunakan untuk mengisi perangkat lain yang memerlukan arus DC. Ada berbagai jenis rectifier, seperti rectifier gelombang setengah dan gelombang penuh, dengan konfigurasi yang berbeda tergantung pada kebutuhan tegangan dan arus keluaran.

2. Konverter DC-DC

Konverter DC-DC digunakan untuk mengubah tegangan DC dari satu level ke level lainnya, baik untuk menaikkan (boost converter) atau menurunkan tegangan (*boost converter*). Dalam sistem energi terbarukan, seperti energi angin, keluaran tegangan dapat bervariasi tergantung pada kondisi sumber daya alam (misalnya, kecepatan angin), sehingga diperlukan konverter DC-DC untuk menstabilkan tegangan keluaran agar sesuai dengan kebutuhan sistem. Ada beberapa jenis konverter DC-DC selain buck dan boost converter, seperti buck-boost converter dan cuk converter, yang dapat digunakan untuk aplikasi khusus.

3. Konverter AC-AC dan DC-AC (Inverter)

Selain konverter AC-DC dan DC-DC, terdapat juga konverter AC-AC yang mengubah karakteristik AC, seperti tegangan dan frekuensi, serta inverter (DC-AC) yang mengubah arus DC menjadi arus AC. Inverter sering digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya dan angin untuk mengubah tegangan DC yang disimpan dalam baterai menjadi tegangan AC yang dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga atau disalurkan ke jaringan listrik.

2.2.2 Peran Konverter Daya dalam Sistem Kincir Angin

Dalam sistem energi angin, konverter daya memainkan peran penting untuk mengelola aliran energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin, terutama dalam mengatur tegangan dan frekuensi keluaran agar sesuai dengan kebutuhan beban atau sistem penyimpanan energi(Aryanto, Mara and Nuarsa, 2013). Beberapa peran utama konverter daya dalam sistem kincir angin adalah sebagai berikut:

1. Mengatur Tegangan Keluaran

Generator yang digunakan pada turbin angin menghasilkan tegangan yang bergantung pada kecepatan angin. Fluktuasi kecepatan angin menyebabkan tegangan keluaran dari generator menjadi tidak stabil. Konverter daya, terutama konverter DC-DC seperti *boost converter*, digunakan untuk menurunkan tegangan keluaran yang tidak stabil menjadi level yang lebih rendah dan lebih stabil, sesuai dengan kebutuhan perangkat yang terhubung. Misalnya, *boost converter* dapat digunakan untuk mengatur tegangan keluaran agar sesuai dengan tegangan operasi baterai penyimpanan.

2. Menstabilkan Aliran Energi

Ketika turbin angin beroperasi, perubahan kondisi angin dapat menyebabkan variasi signifikan pada tegangan dan arus yang dihasilkan. Konverter daya membantu dalam

menstabilkan aliran energi ini dengan mengatur parameter-parameter listrik sehingga keluaran energi menjadi lebih konsisten dan dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti pengisian baterai atau suplai ke jaringan listrik. Stabilitas ini sangat penting untuk menjaga kualitas energi yang disalurkan dan menghindari kerusakan pada peralatan elektronik yang terhubung.

3. Mengonversi Energi untuk Penyimpanan atau Penggunaan Langsung

Dalam sistem turbin angin yang terintegrasi dengan penyimpanan energi, konverter daya mengubah tegangan keluaran dari generator angin ke level yang sesuai untuk pengisian baterai. Sebagai contoh, setelah rectifier mengubah keluaran AC dari generator menjadi DC, *boost converter* dapat digunakan untuk menurunkan tegangan agar sesuai dengan tegangan baterai penyimpanan. Jika energi akan digunakan secara langsung, inverter dapat mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC yang sesuai untuk peralatan listrik rumah tangga.

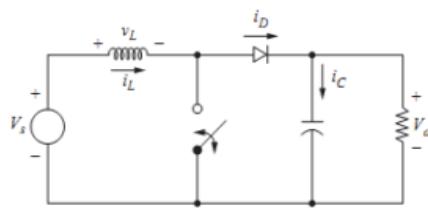
4. Mendukung Pengelolaan Jaringan Listrik Hibrida

Dalam beberapa sistem energi terbarukan, turbin angin diintegrasikan dengan jaringan listrik konvensional atau dengan sumber energi terbarukan lainnya (seperti energi surya). Konverter daya dalam hal ini digunakan untuk mengatur aliran listrik antara turbin angin, sistem penyimpanan energi, dan jaringan listrik, memastikan bahwa energi dapat didistribusikan secara efisien dan sesuai dengan kebutuhan. Konverter daya juga dapat membantu menyesuaikan frekuensi keluaran dengan frekuensi jaringan listrik, sehingga energi yang dihasilkan dapat disalurkan ke jaringan dengan aman.

2.3 Boost Converter

Boost converter merupakan rangkaian regulator tegangan yang memiliki rata-rata tegangan keluaran lebih tinggi dari tegangan masukannya. Rangkaian ini biasa disebut Step-Up Chopper.

Rangkaian boost converer bekerja secara periodik saat sakelar terbuka dan tertutup. Komponen yang digunakan untuk menyusun rangkaian boost converter yaitu dioda frekuensi tinggi, induktor, kapasitor, dan beban resistor. Sakelar yang digunakan harus memiliki respon yang cepat saat keadaan on atau off oleh karena itu sakelar yang digunakan adalah sakelar dengan bahan semikonduktor seperti MOSFET.



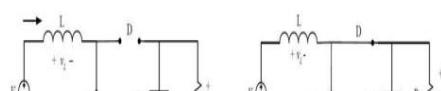
Gambar 2. 5 Rangkain Boost Converter
Sumber: (Nugraha and Sutikno, 2021)

Boost converter bekerja pada dua mode. Mode pertama adalah saat MOSFET on, tegangan induktor sama dengan tegangan masukan. Dioda dalam kondisi pra-tegangan mundur. Induktor akan mulai menyimpan energi dalam bentuk energi magnetik. Energi yang tersimpan pada kapasitor digunakan untuk mensuplai beban

Mode kedua adalah saat MOSFET off. Dioda pada kondisi pra-tegangan maju. Energi yang tersimpan pada induktor akan dialirkan melalui dioda untuk mengisi kapasitor dan mensuplai beban.

2.3.1 Prinsip Kerja Boost Converter

Kemampuan boost converter untuk menaikkan tegangan dc berkaitan dengan lamanya waktu pensaklaran (switch duration) yaitu ton dan toff. Ketika saklar atau switch mosfet kondisi tertutup (ton), arus akan mengalir dari sumber ke induktor sehingga menyebabkan energi akan tersimpan dalam induktor. Saat saklar mosfet dalam kondisi terbuka (toff) maka arus yang ada di induktor akan mengalir ke beban melewati dioda sehingga menyebabkan energi yang tersimpan



dalam induktor menurun. Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian boost converter pada saat saklar on dan off [2].

Gambar 2. 6 Prinsip kerja boost

Sumber : (Rendi Febrianto, 2018)

Pada gambar 2.6 menunjukkan bahwa saat toff, beban disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan induktor yang sedang melepaskan energinya. Kondisi ini yang menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter ini sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar, yang disebut dengan duty cycle.

2.3.2 Komponen Utama Boost Converter

Menurut (Nugraha and Sutikno, 2021). Komponen utama dalam *boost converter* adalah sebagai berikut:

1. Induktor (L)

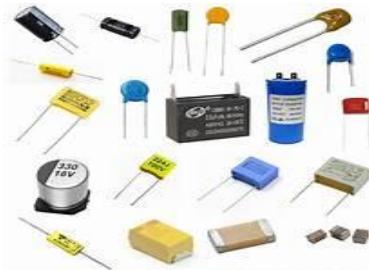
Induktor digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan magnet selama siklus on dan melepas energi tersebut selama siklus off. Induktor membantu menghaluskan aliran arus dan mengurangi fluktuasi tegangan keluaran. Nilai induktansi mempengaruhi besar kecilnya riak arus (current ripple) dan respon dinamis sistem.



Gambar 2. 7 Induktor
Sumber : (Nugraha and Sutikno, 2021)

2. Kapasitor (C)

Kapasitor berfungsi sebagai filter yang membantu menstabilkan tegangan keluaran dengan menyerap fluktuasi tegangan yang mungkin terjadi akibat penyaklaran. Kapasitor juga bekerja sama dengan induktor untuk mengurangi riak tegangan (voltage ripple) dan menjaga tegangan keluaran agar tetap stabil.



Gambar 2. 8 Kapasitor
Sumber : (*Nugraha and Sutikno, 2021*)

3. Sakelar (Switch)

Biasanya berupa transistor MOSFET, sakelar elektronik ini berfungsi untuk mengatur aliran arus dengan cara membuka dan menutup sirkuit secara cepat. Duty cycle dari sakelar menentukan level tegangan keluaran yang dihasilkan. Pengaturan duty cycle yang tepat sangat penting untuk mencapai tegangan keluaran yang diinginkan.



Gambar 2. 9 Switch
Sumber : (*Nugraha and Sutikno, 2021*)

4. Dioda Bebas (Freewheeling Diode)

Dioda bebas digunakan untuk memberikan jalur aliran arus saat sakelar dalam kondisi off. Hal ini mencegah arus dari induktor berhenti tiba-tiba, yang dapat menyebabkan tegangan berlebih dan kerusakan komponen.



Gambar 2. 10 Dioda
Sumber : (Nugraha and Sutikno, 2021)

5. Mosfet

Adalah rangkaian elektronika yang berfungsi untuk menaikkan tegangan DC (DC-DC) dari tegangan input menjadi tegangan output yang lebih tinggi. Rangkaian ini menggunakan MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) sebagai sakelar utama yang dikendalikan oleh sinyal PWM (Pulse Width Modulation) untuk mengatur tegangan output.



Gambar 2. 11 Mosfet

Sumber: (Nugraha and Sutikno, 2021)

2.4 Respon Tegangan dalam Sistem Konverter Daya

Respon tegangan dalam sistem konverter daya, seperti *boost converter*, merupakan karakteristik penting yang menentukan seberapa baik konverter tersebut dapat menjaga tegangan keluaran tetap stabil dan sesuai dengan kebutuhan beban (Rahmawati *et al.*, 2021). Respon tegangan yang baik mencakup kemampuan untuk meminimalkan fluktuasi tegangan dan mempertahankan stabilitas saat terjadi perubahan beban atau variasi sumber daya. Bagian ini membahas faktor-faktor yang mempengaruhi respon tegangan serta teknik optimasi yang digunakan untuk meningkatkan performa sistem.

2.4.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Respon Tegangan

Respon tegangan keluaran pada variasi lilitan induktansi pada *boost converter* dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kualitas dan stabilitas tegangan keluaran (*B.J. Chalmers, et al., 2020*). Beberapa faktor utama yang berperan adalah:

1. Nilai Induktansi (L)

Jumlah lilitan langsung mempengaruhi nilai induktansi yaitu kehalusan tegangan output dimana semakin besar induktansi (lebih banyak lilitan), ripple tegangan makin kecil, untuk respon transien induktor besar memperlambat respon sistem terhadap beban atau tegangan input

2. Frekuensi Swiching

Pada frekuensi switching tinggi, induktansi yang lebih kecil masih bisa menghasilkan ripple yang rendah, jika jumlah lilitan meningkat (induktansi besar), tetapi frekuensi switching rendah maka respon tegangan bisa menjadi terlalu lambat.

3. Kecepatan dan Karakteristik Beban

Beban resistif atau variatif merupakan beban yang berubah ubah (seperti beban motor) menyebabkan variasi arus yang harus di tanggapi oleh induktor. Semakin besar induktansi maka semakin lambat arus menyesuaikan, yang bisa menimbulkan delay atau under/overshoot tegangan.

4. Tegangan Input dari Turbin Savonius

Tegangan dari turbin angin savonius bersifat fluktuatif dan tidak stabil (tergantung kecepatan angin). Induktansi yang lebih besar membantu menyaring fluktuasi input, tetapi juga bisa memperlambat respon terhadap perubahan input mendadak .

5. Resistansi Seri dan Impedansi Parasit

Komponen dalam sirkuit *boost converter* tidak ideal dan memiliki beberapa efek parasit seperti resistansi seri (ESR) pada kapasitor atau induktansi parasit pada jalur konduktor. Efek ini dapat mempengaruhi kinerja sistem dan menyebabkan respon tegangan menjadi kurang optimal. Sebagai contoh, ESR yang tinggi pada kapasitor dapat menyebabkan riak tegangan yang lebih besar.

2.4.2 Teknik Optimasi Respon Tegangan

Untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi respon tegangan dalam sistem konversi daya (Nurhandayani and Rivai, 2019). Beberapa teknik optimasi dapat diterapkan, di antaranya:

1. Penggunaan Kontrol Loop Tertutup (Closed-Loop Control)

Menggunakan loop kontrol tertutup yang dilengkapi dengan umpan balik (feedback) dapat membantu meningkatkan stabilitas tegangan keluaran. Teknik ini memungkinkan konverter untuk menyesuaikan duty cycle secara dinamis berdasarkan perubahan tegangan keluaran yang diukur, sehingga tegangan keluaran dapat lebih cepat kembali ke level yang diinginkan setelah terjadi gangguan atau perubahan beban.

2. Pemilihan Kapasitor dan Induktor yang Tepat

Pemilihan nilai kapasitansi dan induktansi yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan respon tegangan. Kapasitor dengan ESR rendah dapat membantu mengurangi riak tegangan, sementara induktor dengan induktansi yang sesuai dapat mengurangi riak arus dan meningkatkan stabilitas. Penggunaan komponen dengan spesifikasi yang lebih baik dapat memberikan performa yang lebih optimal.

3. Peningkatan Frekuensi Saklar

Meningkatkan frekuensi penyaklaran dapat mengurangi riak tegangan dan meningkatkan kecepatan respon sistem terhadap perubahan beban atau tegangan input. Namun, peningkatan

frekuensi saklar juga dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya pada saklar, sehingga perlu mempertimbangkan kompromi antara stabilitas tegangan dan efisiensi.

4. Teknik Kompensasi Aktif

Teknik ini melibatkan penambahan komponen aktif seperti kontroler yang dapat menyesuaikan parameter sistem secara real-time untuk memperbaiki respon terhadap perubahan kondisi. Contohnya, teknik kontrol prediktif dapat digunakan untuk memperkirakan perubahan beban dan menyesuaikan duty cycle sebelum fluktuasi tegangan terjadi.

5. Desain Tata Letak yang Baik

Tata letak komponen yang baik pada papan sirkuit cetak (PCB) dapat membantu mengurangi efek impedansi parasit yang disebabkan oleh panjang jalur konduktor dan kapasitansi antara jalur. Mengatur komponen dengan tata letak yang kompak dan mengoptimalkan jalur arus dapat meningkatkan kinerja dan stabilitas tegangan keluaran.

6. Penggunaan Filter Pasif Tambahan

Filter pasif seperti rangkaian LC (induktor-kapasitor) atau kapasitor tambahan dapat digunakan untuk mengurangi riak tegangan lebih lanjut. Filter ini membantu menghaluskan tegangan keluaran, sehingga meningkatkan kualitas daya yang disalurkan ke beban.

2.4 Kajian Pustaka

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Singh, B., & Verma, K.	" <i>Boost converter Control for Wind Energy Systems</i> "	Mengembangkan kontrol loop tertutup untuk <i>boost converter</i> dalam sistem energi angin yang meningkatkan stabilitas tegangan dan efisiensi pada berbagai kondisi kecepatan angin.
2	Sahu, A., & Behera, R.	" <i>Performance Analysis of Savonius Wind Turbine at Low Wind Speeds</i> "	Menunjukkan bahwa turbin Savonius dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan angin rendah, tetapi memiliki efisiensi yang lebih rendah dibandingkan turbin horizontal.
3	Zhang, Y., & Lee, F. C.	" <i>Impact of Component Placement on the Efficiency of DC-DC Converters</i> "	Menunjukkan bahwa penempatan komponen seperti induktor dan kapasitor sangat mempengaruhi efisiensi konversi daya dan stabilitas tegangan keluaran pada konverter DC-DC.
4	Kumar, N., & Gupta, A.	" <i>Optimization Techniques for Voltage Ripple Reduction in Boost converters</i> "	Mengkaji teknik optimasi untuk mengurangi riak tegangan, termasuk penggunaan filter pasif tambahan dan penyesuaian frekuensi switching pada <i>boost converter</i> .
5	Lee, C. Y., & Chen, H. C.	" <i>Design of a Boost converter for Renewable Energy Applications</i> "	Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan komponen dengan spesifikasi yang tepat, seperti induktor dengan nilai induktansi tinggi, dapat meningkatkan stabilitas tegangan keluaran.
6	Salunkhe, S., & Banerjee, R.	" <i>Analysis of Wind Energy Systems Using Vertical Axis Wind Turbines</i> "	Turbin angin vertikal, seperti tipe Savonius, dapat digunakan untuk aplikasi skala kecil dan cocok di daerah dengan angin yang tidak stabil atau turbulen.
7	Rahman, S., & Shafiq, U.	" <i>The Role of Switching Frequency in Boost converter Performance</i> "	Meningkatkan frekuensi switching dapat mengurangi riak tegangan dan meningkatkan respon sistem

			terhadap perubahan beban, meskipun berisiko menambah rugi-rugi daya.
8	Basu, A., & Deb, A.	"Effect of Inductor and Capacitor Values on DC-DC Converter Efficiency"	Memperlihatkan bahwa nilai induktor dan kapasitor yang dipilih secara tepat dapat mengoptimalkan efisiensi konverter DC-DC, termasuk <i>boost converter</i> , dalam aplikasi energi terbarukan.
9	Patel, J., & Srivastava, V.	"Voltage Regulation Techniques for <i>Boost converters</i> in Renewable Energy Systems"	Menjelaskan berbagai teknik regulasi tegangan untuk meningkatkan stabilitas tegangan keluaran pada sistem konversi daya di pembangkit listrik berbasis energi terbarukan.
10	Choudhury, T., & Ali, M.	"Component Placement Strategies for Reducing EMI in DC-DC Converters"	Penelitian ini membahas bagaimana penempatan komponen dapat mengurangi gangguan elektromagnetik (EMI) dan meningkatkan kinerja keseluruhan konverter daya.