

Comparison of Buck and Synchronous Buck Converters for ANFIS-Controlled Li-Ion Fast Charging

Article History:

Received
24 February 2025
Revised
11 April 2025
Accepted
03 June 2025

**SUHARININGSIH, EPHYK SUNARNO, EKA PRASETYONO,
MOCHAMAD ARI BAGUS NUGROHO, KHAFIDZ BAYHAQI**

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Indonesia
Email: fithaqi888@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian membahas implementasi sistem fast charging pada baterai Lithium-Ion dengan membandingkan kinerja Buck Converter konvensional dan Synchronous Buck Converter. Pengisian dilakukan menggunakan metode constant current (CC) dan constant voltage (CV) dengan set point 4A dan 16,8V sebagai target yang digunakan, serta dilengkapi sensor untuk memantau tegangan dan arus selama proses pengisian. Sistem dikendalikan oleh Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) berguna menjaga kestabilan pengisian pada satu spesifikasi baterai berkapasitas tegangan penuh 4,2V dan arus 4A. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ANFIS mampu menjaga parameter pengisian dalam batas aman. Selain itu, Synchronous Buck Converter memberikan efisiensi lebih baik dibandingkan Buck Converter konvensional dalam hal efisiensi dan pengendalian fluktuasi tegangan, sehingga lebih optimal digunakan pada sistem pengisian cepat baterai Lithium-Ion.

Kata kunci: *Fast Charging, Synchronous Buck Konverter, Buck Converter, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*

ABSTRACT

The research discusses the implementation of a fast charging system on Lithium-Ion batteries by comparing the performance of conventional Buck Converters and Synchronous Buck Converters. Charging is carried out using constant current (CC) and constant voltage (CV) methods with set points of 4A and 16.8V as the targets used, and is equipped with sensors to monitor voltage and current during the charging process. The system is controlled by the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) which is useful for maintaining charging stability at one battery specification with a full capacity of 4.2V voltage and 4A current. Test results show that ANFIS is able to maintain filling parameters within safe limits. In addition, the Synchronous Buck Converter provides better efficiency than conventional Buck Converters in terms of efficiency and controlling voltage fluctuations, so it is more optimal for use in Lithium-Ion battery fast charging systems.

Keywords: *Fast Charging, Synchronous Buck Converter, Buck Converter, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*

This is an open-access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Seiring era sekarang banyak sekali bertambahnya penggunaan perangkat elektronik portabel, kebutuhan akan baterai yang dapat diisi ulang juga semakin meningkat. Namun, hal ini menimbulkan tantangan baru terkait durasi yang diperlukan untuk mengisi baterai. Sehingga, pengisian cepat atau *fast charging* untuk mempercepat proses pengisian baterai dan perbedaan antara pengisian biasa dengan *fast charging* umumnya terletak pada waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai, daya pengisian yang lebih tinggi dibandingkan dengan *charging* biasa, serta pengembangan metode pengisian (**Anshori, dkk, 2020**). Baterai *lithium-ion* adalah salah satu tipe baterai sekunder yang dapat diisi ulang dan dikenal sebagai baterai yang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan berbahaya baterai ini memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan dengan jenis baterai sekunder lainnya, antara lain stabilitas penyimpanan energi yang sangat baik (dapat bertahan hingga 10 tahun atau lebih), densitas energi yang tinggi, tidak mengalami efek memori, serta bobot yang relatif lebih ringan dibandingkan dengan jenis baterai lainnya (**Perdana, 2021**).

Terdapat beberapa metode untuk pengisian baterai secara normal, salah satunya adalah metode CC-CV (*Constant Current - Constant Voltage*). Metode ini menggabungkan pengisian dengan arus konstan (CC) dan tegangan konstan (CV) secara bergantian, dimana akan diterapkan kedalam 2 konverter untuk mengetahui proses efisiensi *charging* yang didapatkan. Saat mode CC nilai arus pengisian lebih besar dibanding dengan mode CV. Pengisi daya akan menjaga baterai pada tegangan yang stabil hingga waktu pengisian selesai (**Lin, dkk, 2008**).

Konverter DC-DC adalah suatu rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan DC yang dapat disesuaikan nilainya, dengan jenis dan pengaturan output yang diinginkan (**Kircioğlu, dkk, 2016**). Salah satu aplikasi konverter DC-DC adalah dalam sistem pengisian baterai terutama untuk baterai *lithium-ion* yang umum digunakan khususnya dalam mode *fast charging*. Dimana efisiensi konverter menjadi aspek krusial untuk memastikan proses pengisian berlangsung cepat dengan kehilangan energi yang sedikit. Salah satu jenis konverter yang umum digunakan adalah *synchronous buck converter*, yang memberikan efisiensi tinggi dengan meminimalkan kehilangan daya yang disebabkan oleh penurunan *forward voltage drop* pada dioda yang terdapat dalam *buck converter* konvensional. Dengan memanfaatkan komponen MOSFET sebagai saklar, *synchronous buck converter* dapat mencapai efisiensi antara 85% hingga 90% meskipun efisiensi terendahnya bisa turun di bawah 10% dan tergantung pada kondisi operasional yang ada. Dalam rangkaian *synchronous buck converter* menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *buck converter* konvensional, implementasinya lebih rumit karena memerlukan kontrol *switching* yang lebih akurat. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui karakteristik performa kedua konverter antara *synchronous buck converter* dan *buck converter* konvensional untuk memahami kelebihan dan kekurangan dalam aspek efisiensi daya, tingkat ripple tegangan dan arus serta menentukan topologi yang lebih optimal untuk sistem pengisian cepat pada baterai *lithium-ion* (**Hammami, dkk, 2021**) (**Infineon, 2016**) (**Zomorodi & Nazari, 2022**) (**SUSANA, dkk, 2018**).

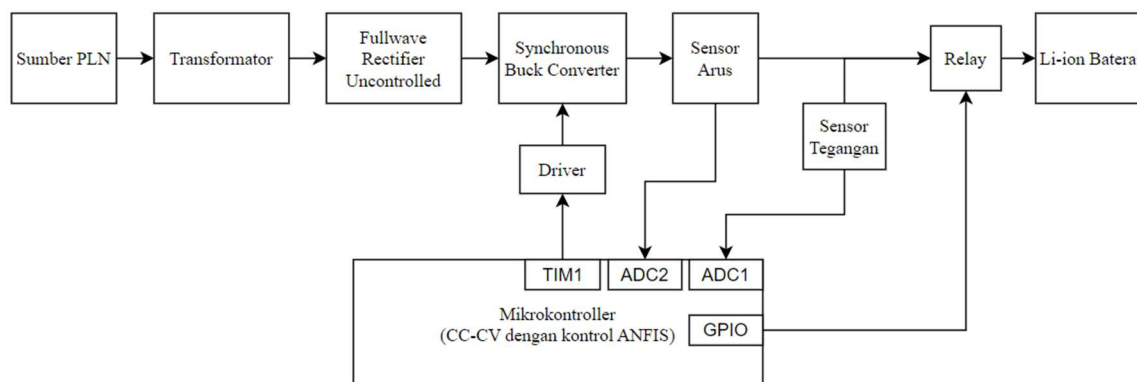
Sistem ini memanfaatkan sumber utama berupa arus bolak-balik (AC) yang terlebih dahulu diturunkan oleh transformator untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan kebutuhan. Kemudian, arus bolak-balik tersebut diubah menjadi arus searah (DC) melalui rangkaian penyearah penuh (*full-wave rectifier*) yang terdiri dari komponen dioda. Dioda memiliki sifat khusus, yaitu hanya dapat menghantarkan arus dalam satu arah, sehingga proses penyearahan arus dapat dilakukan dengan efisien (**Rojabi, dkk, 2023**) (**Paul, dkk, 2014**) (**Abbo, 2023**).

Dalam memastikan keluaran konverter tetap stabil, digunakan metode kontrol *fuzzy* yang nantinya dapat dilatih menggunakan sistem ANFIS. Untuk menjaga arus dan tegangan tetap konstan. Dengan penalaran ANFIS adalah jaringan saraf adaptif yang memiliki kemampuan untuk beradaptasi. Sistem ini didasarkan pada kesimpulan *fuzzy* (*fuzzy inference system*), yang memungkinkan untuk unggul dalam melakukan prediksi dan mengambil keputusan berdasarkan aturan yang telah ditetapkan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Sehingga dalam proses pelatihan model *Takagi-Sugeno* dipilih untuk inferensinya sebagai keluaran sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan linier. Sistem inferensi *fuzzy* adalah proses yang memetakan input ke output dengan memanfaatkan logika *fuzzy*, yang dapat memberikan dasar untuk pengambilan keputusan atau pola yang dihasilkan (Rakhmawati, dkk, 2023) (Cucu, 2021) (Ladioktaviagusdi & Sumiharto, 2015) (Triwiyatno, dkk, 2016).

2. METODOLOGI PENELITIAN

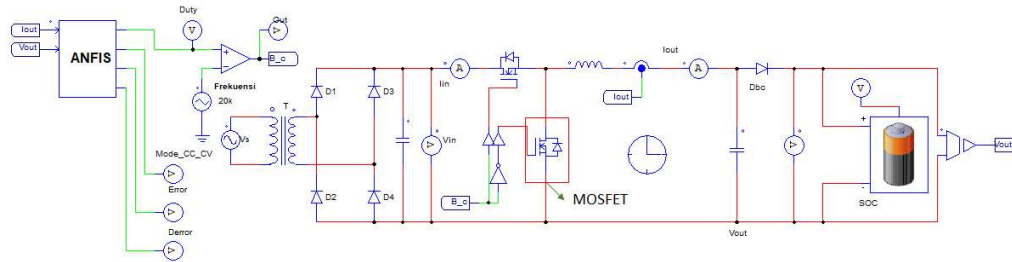
2.1. Pemodelan Sistem

Dalam pemodelan menggunakan sistem yang dirancang, berikut adalah diagram blok dalam Gambar 1 yang menggambarkan proses kerja sistem pengisian baterai *lithium-ion*. Sistem ini menggunakan metode kontrol CC-CV (*Constant Current – Constant Voltage*) yang dipadukan dengan algoritma ANFIS. Diagram ini menjelaskan interaksi antara komponen utama serta aliran sinyal dan energi dalam sistem dengan menggunakan *synchronous buck converter*.



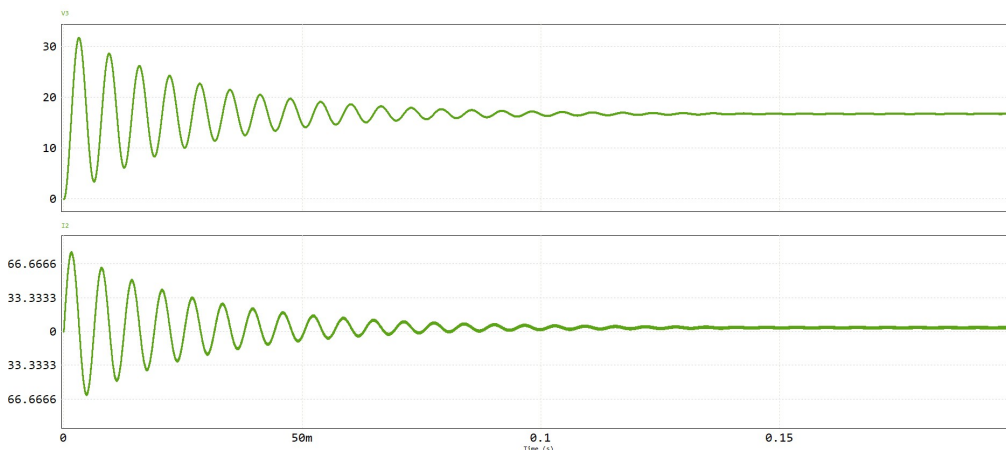
Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Proses pada Gambar 1 memanfaatkan sumber dari PLN dengan tegangan 220 Vac, diturunkan melalui transformator menjadi 18 Vac. Setelah itu, tegangan tersebut disearahkan menggunakan rangkaian *fullwave rectifier uncontrolled*, sehingga menghasilkan tegangan DC sebesar 24 Vdc. Sebagai masukan *synchronous buck converter* ataupun *buck converter* konvensional yang berfungsi menurunkan tegangan dengan efisiensi tinggi, sebelum akhirnya disalurkan ke beban baterai *lithium-ion*. Agar kestabilan konverter saat pengisian baterai cepat, menggunakan program kontrol ANFIS. Kontrol ini bertujuan untuk menentukan nilai *duty cycle* yang akan diproses menjadi konstan sebagai keluaran sinyal *Pulse Width Modulation* (*PWM*) yang melalui *driver* MOSFET untuk mengaktifkan *switching* MOSFET. Kontrol beroperasi dalam mode konstan arus dan kemudian beralih ke mode konstan tegangan. Berikut merupakan bentuk simulasi dalam membandingkan *synchronous buck converter* dan *buck converter* konvensional.



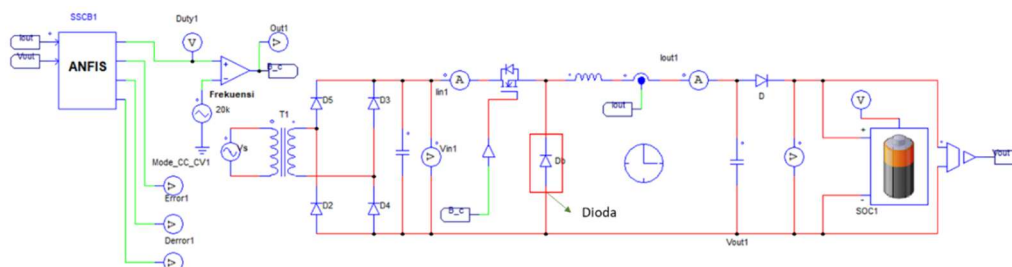
Gambar 2. Rangkaian Simulasi *Synchronous Buck Converter*

Jadi dalam Gambar 2 perbedaan saat menggunakan rangkaian *synchronous buck converter* terdapat komponen saklar *switching* MOSFET dan dalam proses kerja rangkaian tersebut menggunakan 2 komponen MOSFET dan juga tidak ada tegangan *forward* dioda ataupun *freewheeling* dioda seperti jenis germanium, silikon, maupun yang lainnya. Karena peran dioda digantikan oleh dengan 2 MOSFET yang dikendalikan oleh PWM secara *high-side* dan *low-side* bisa disebut dengan bergantian atau sinkron, sehingga kerugian daya yang dihasilkan oleh konverter jauh lebih kecil dan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Dalam komponen MOSFET memiliki nilai resistansi *on-state* yang rendah $R_{DS(on)}$, sehingga mengurangi kehilangan daya konduksi dibandingkan dengan dioda.



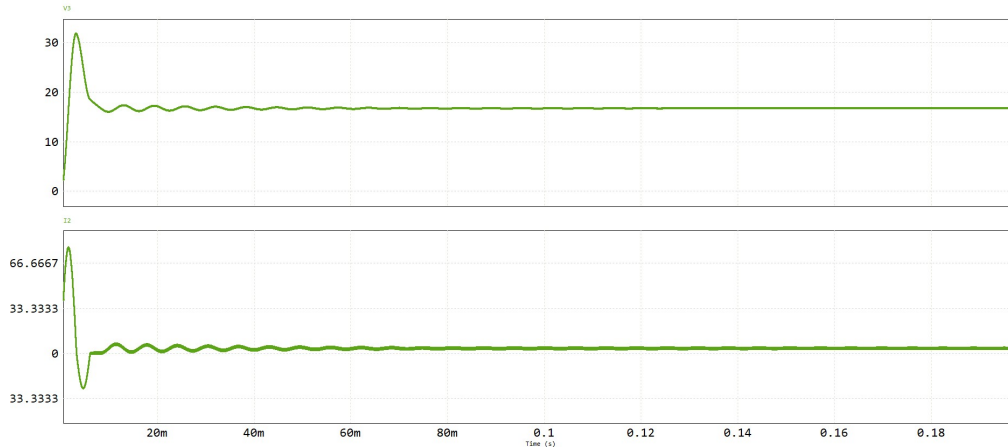
Gambar 3. Hasil Gelombang *Synchronous Buck Converter*

Kemudian terlihat dalam Gambar 3 kondisi hasil gelombang yang *synchronous buck converter* mempunyai ripple yang lebih rendah dan bisa meredam ripple antara keluaran tegangan (V_o) maupun keluaran arus (I_o), sehingga mendapatkan kondisi efisiensi yang lebih besar. Dikarenakan pengaruh kondisi nilai *duty cycle* yang tetap dan nilai frekuensi sebesar 20kHz sama juga dalam Gambar 5, tetapi dalam Gambar 3 kondisi gelombang sinyal *Pulse Width Modulation (PWM)* yang bergerak secara bergantian melalui komponen 2 MOSFET, sebaliknya jika kondisi sinyal tidak bekerja secara bergantian hasil gelombang menjadi berbeda.



Gambar 4. Rangkaian Simulasi *Buck Converter* Konvensional

Sedangkan rangkaian terlihat Gambar 4 merupakan *buck converter* konvensional dengan menggunakan komponen dioda, sehingga dalam cara kerja menggunakan tegangan *forward* dioda sebagai *freewheeling* sebesar 0,7V dengan jenis bahan silikon dan juga terdapat nilai sebesar 0,3V dengan jenis bahan germanium. Sehingga tegangan *forward* dioda berpengaruh pada setiap bahan atau spesifikasi dioda yang digunakan, Maka kerja konverter mempunyai efisiensi sedikit kurang maksimal terutama saat menggunakan beban yang lebih tinggi.



Gambar 5. Hasil Gelombang *Buck Converter* Konvensional

Jadi seperti terlihat dalam Gambar 5 hasil gelombang *buck converter* konvensional terlihat osilasi transien akibat kondisi awal yang besar baik dan setelah itu akan menjadi *steady state* dari keluaran tegangan (V_o) maupun keluaran arus (I_o). Dengan nilai frekuensi *switching* sebesar 20kHz terlihat keluaran ripple lebih besar karena adanya penurunan tegangan dan *switching loss* dari dioda. Jadi secara lingkup tujuan membandingkan suatu konverter untuk mengetahui keunggulan dan kekurangan dari kedua penggunaan konverter.

2.2. *Fullwave Rectifier Uncontrolled*

Fullwave rectifier uncontrolled merupakan penyearah gelombang penuh yang tidak terkontrol adalah suatu konversi yang tidak teratur, mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) hanya dengan memanfaatkan dioda. Secara umum, untuk penulisan Persamaan (1).

$$V_o = \frac{2 V_m}{\pi} \quad (1)$$

Ket:

V_o = Tegangan *Output* (Vdc)

V_m = Tegangan Maksimum (V)

π = phi

Pada bentuk Persamaan (1), mencari nilai V_m atau tegangan maksimum (V). Sehingga diperlukan nilai V_s atau tegangan sumber bernilai V_{ac} dari nilai sekunder transformator sebesar 18 Vac dengan dikalikan 2 dan kemudian dibagi oleh phi (π) didapatkan nilai tegangan maksimum dengan satuan Vdc. Untuk mencari nilai resistor (R) didapatkan dari hukum *ohm* dengan menggunakan persamaan.

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Ket:

R = Resistor (R)

V = Tegangan (V)
I = Arus (A)

Dalam Persamaan (2), mencari nilai resistor (R) untuk digunakan pada beban *rectifier*. Kemudian mencari nilai kapaciitor (C) sebagai filter keluaran dari *rectifier*, digunakan persamaan.

$$C = \frac{1}{2 \times f \times R \times 0.01} \quad (3)$$

Ket:

C = Kapasitor (F)
R = Resistor (Ω)

Jadi dalam Persamaan (3), jika didapatkan nilai kapasitor (C) maka selanjutnya menghitung tegangan keluaran (V_o) setelah melewati kapasitor filter. Maka menggunakan Persamaan (4).

$$V_o = V_m - \frac{V_m}{2 \times f \times R \times C} \quad (4)$$

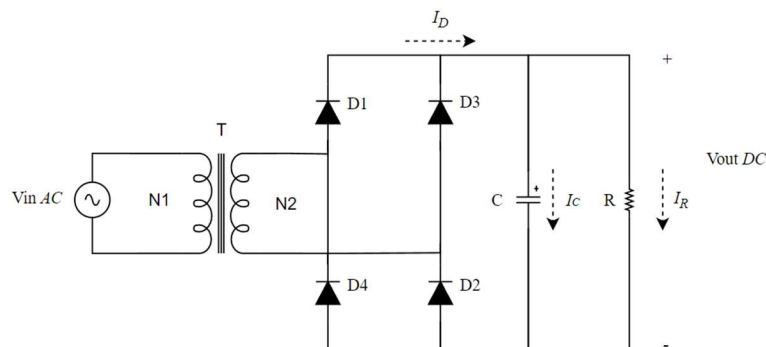
Ket:

V_o = Tegangan *Output* (V)
 V_m = Tegangan Maksimum (V)
F = Frekuensi (Hz)
R = Resistor (Ω)
C = Kapasitor (C)

Tabel 1. Parameter Fullwave Rectifier Uncontrolled

Parameter	Spesifikasi	Nilai
Tegangan <i>input</i> (AC)	V_{in}	220 V
Tegangan <i>input</i> setelah <i>step down</i> (AC)	V_{in}	18 V
Tegangan <i>output</i> (DC)	V_o	24 V
Arus <i>output</i> (DC)	I_o	3,5 A
Kapasitor	C	4700 uF
Resistor	R	350 Ω

Dalam parameter Tabel 1 merupakan hasil nilai sebagai parameter spesifikasi untuk penggunaan pada bagian rangkaian *fullwave rectifier uncontrolled*, dan berkaitan dengan proses kerja sistem dimana berguna untuk sebagai masukan sumber searah (DC) pada konverter yang akan digunakan. Kemudian

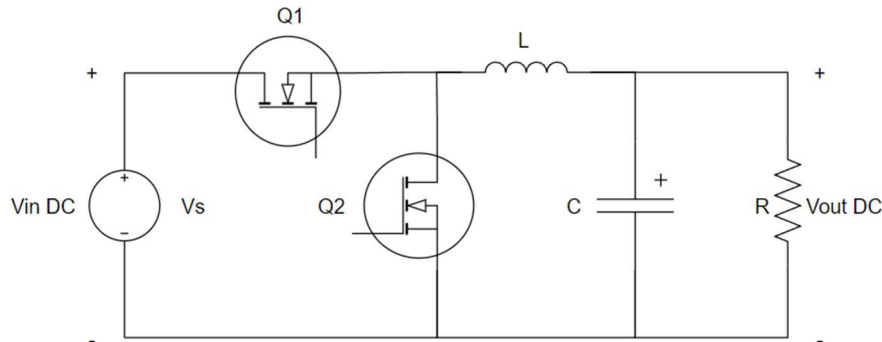


Gambar 6. Rangkaian Fullwave Rectifier Uncontrolled

Jadi dalam bentuk Gambar 6 dibutuhkan tegangan output yang diinginkan sebesar 24 Vdc

2.3. *Synchronous Buck Converter*

Konverter adalah elemen dalam sistem catu daya yang menggunakan metode pensaklaran (*Switching*) untuk mengubah daya listrik searah (DC) menjadi bentuk daya listrik DC yang berbeda.



Gambar 7. Rangkaian *Synchronous Buck Converter*

Konverter yang diterapkan adalah konverter DC-DC *synchronous buck*. Perbedaannya dengan topologi *buck* terletak pada penggantian dioda dengan MOSFET dalam konverter *synchronous buck*. Penelitian menunjukkan bahwa konverter DC-DC dengan topologi *synchronous buck* memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan topologi *buck*.

Tabel 2. Parameter *Synchronous Buck Converter*

Parameter	Spesifikasi	Nilai
Tegangan <i>input</i>	V_{in}	24 V
Tegangan <i>output</i>	V_o	16,8 V
Arus <i>output</i>	I_o	4 A
<i>Duty Cycle</i>	D	70 %
Frekuensi <i>switching</i>	f_s	20 kHz
Induktor	L	415 μ H
Kapasitor	C	4700 μ F
Ripple arus induktor	r_{IL}	20 %
Ripple tegangan <i>output</i>	r_{Vo}	0,1 %

Dalam analisis hubungan antara tegangan masukan dan keluaran, baik *buck converter* konvensional maupun *synchronous buck converter* menunjukkan hasil dan fungsi serupa. Namun, terdapat perbedaan signifikan dalam penggunaan komponen MOSFET, bertujuan untuk mengurangi kehilangan daya. Pada *buck converter* konvensional, penggunaan dioda dapat menyebabkan penurunan tegangan sebesar 0,7V. Sebaliknya, dengan menggunakan MOSFET, penurunan tegangan ditentukan oleh $R_{DS(on)}$ mempengaruhi oleh arus dalam rangkaian, sehingga *synchronous buck converter* lebih efisien dalam hal kehilangan daya dibandingkan dengan *buck converter* konvensional.

Jadi dalam pencarian nilai spesifikasi pada Tabel 2 untuk *synchronous buck converter* dan *buck converter* mempunyai kesamaan, sehingga dalam Persamaan (5) dan (6) digunakan untuk menghitung *duty cycle* (D) dan arus keluaran (I_o).

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (5)$$

$$I_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (6)$$

Ket:

D = *Duty Cycle*
 Vo = Tegangan *Output* (V)
 Vs = Tegangan Sumber (V)
 Io = Arus *Output* (A)
 Po = Daya *Output* (W)

Kemudian untuk mencari nilai induktor (L), sebelum itu diperlukan ΔI_L dengan menggunakan perhitungan Persamaan (7) dan (8).

$$\Delta I_L = r I_L \times I_{in} \quad (7)$$

$$L = \left(\frac{1}{f_s} \right) \times (V_s - V_o) \times \left(\frac{V_o + V_f}{V_s + V_f} \right) \times \frac{1}{\Delta I_L} \quad (8)$$

Ket:

ΔI_L = Delta Arus Induktor (A)
 $r I_L$ = Ripple Arus Induktor (%)
 Iin = Arus *Input* (A)
 L = Induktor (H)
 Fs = Frekuensi *Switching* (Hz)
 Vs = Tegangan Sumber (V)
 Vo = Tegangan Output (V)
 Vf = Tegangan Forward (V)

Jika ingin menemukan nilai kapasitor (C) memerlukan nilai ΔV_o , sehingga untuk mencari kapasitor (C) dan ΔV_o digunakan bentuk Persamaan (9) dan (10).

$$\Delta V_o = \pm 0,1\% \times V_o \quad (9)$$

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f_s} \quad (10)$$

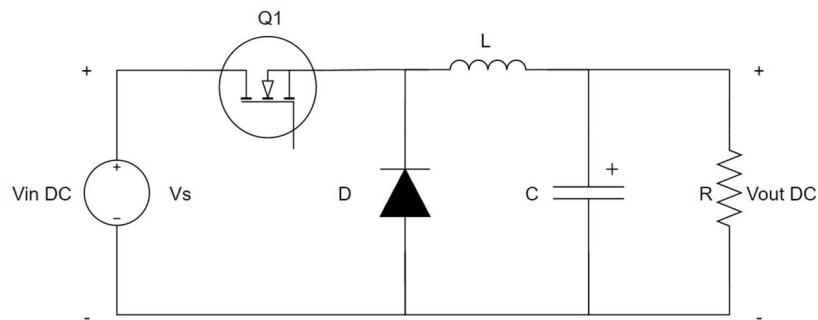
Ket:

ΔV_o = Delta Tegangan *Output* (V)
 Vo = Tegangan Output (V)
 C = Kapasitor (F)
 D = *Duty Cycle*
 R = Resistor
 Fs = Frekuensi *Switching*

2.4. Buck Converter

Buck Converter adalah salah satu topologi dasar dari konverter DC-DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan input (V_i) dari sumber tegangan DC yang lebih tinggi. Topologi *buck converter* konvensional dikenal karena efisiensinya yang tinggi dan desainnya yang sederhana terdiri dari komponen *switching* semikonduktor seperti MOSFET, dioda, serta komponen pasif seperti induktor, kapasitor, dan resistor yang berfungsi sebagai beban. Dengan adanya komponen *switching*, *buck converter* konvensional beroperasi sebagai sistem orde dua dan

menghasilkan keluaran yang bersifat non-linier dalam domain waktu. Kemudian berikut dalam Gambar 8 bentuk rangkaian *buck converter* konvensional.

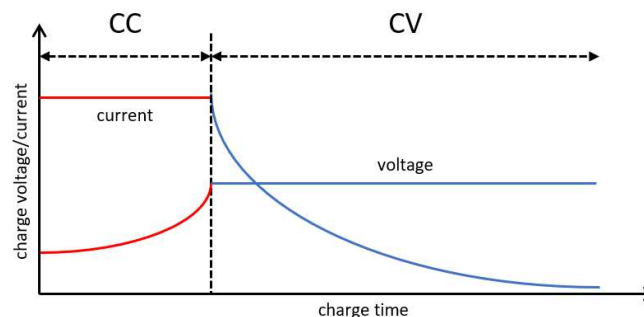


Gambar 8. Rangkaian *Buck Converter*

Jadi dari suatu rangkaian antara bentuk Gambar 7 rangkaian *synchronous buck converter* dan Gambar 8 *buck converter* konvensional, dapat dibedakan melalui komponen bawah menggunakan komponen dioda. Sehingga dalam proses kerja rangkaian topologi *buck converter* konvensional saat komponen MOSFET utama *off* mengalami penurunan tegangan *forward* dari dioda.

2.5. Fast Charging

Pengisian cepat baterai atau disebut dengan *fast charging* merupakan proses pengisian baterai menggunakan daya keluaran konverter yang tinggi, sehingga baterai dapat terisi dengan cepat. Proses ini memiliki beberapa perbedaan dibandingkan dengan pengisian baterai konvensional, antara lain durasi pengisian yang lebih singkat, kebutuhan daya pengisian yang lebih besar, serta metode pengisian yang digunakan.

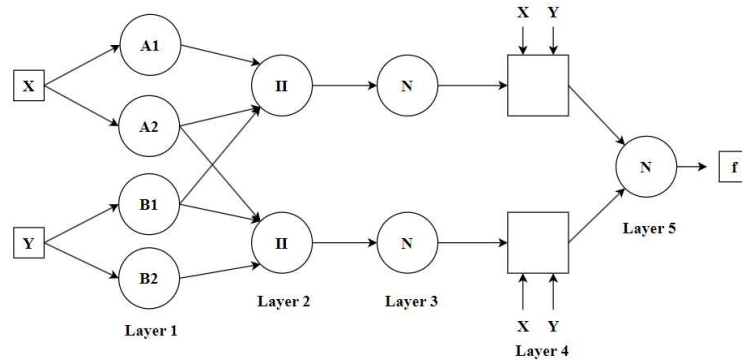


Gambar 9. Pengisian Metode CC-CV

Arus rata-rata yang diterapkan untuk pengisian ini dilakukan dengan kecepatan yang lebih tinggi dan berkisar antara 0,5C hingga 1C dengan suhu baterai saat pengisian berada di antara 10°C hingga 45°C (50°F hingga 113°F), sehingga suhu sangat perlu diperhatikan untuk kondisi kesehatan baterai yang digunakan. Kemudian dalam proses *fast charging* termasuk jenis baterai yang digunakan terdapat baterai *NiCd*, *NiMH*, dan *Li-ion*.

2.6. ANFIS

ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) adalah suatu sistem yang mengintegrasikan prinsip pembelajaran dari Jaringan Syaraf Tiruan (JST) untuk menyesuaikan fungsi keanggotaan dalam logika *fuzzy*. Penggabungan kedua jenis kontroler ini bertujuan untuk saling melengkapi keunggulan dan mengurangi kelemahan masing-masing. Dari segi fungsional, arsitektur ANFIS mirip dengan basis aturan *fuzzy* yang menggunakan model Sugeno. Dengan demikian, ANFIS dapat dipahami sebagai metode yang menerapkan algoritma pembelajaran pada sekumpulan data untuk mengoptimalkan pengaturan.

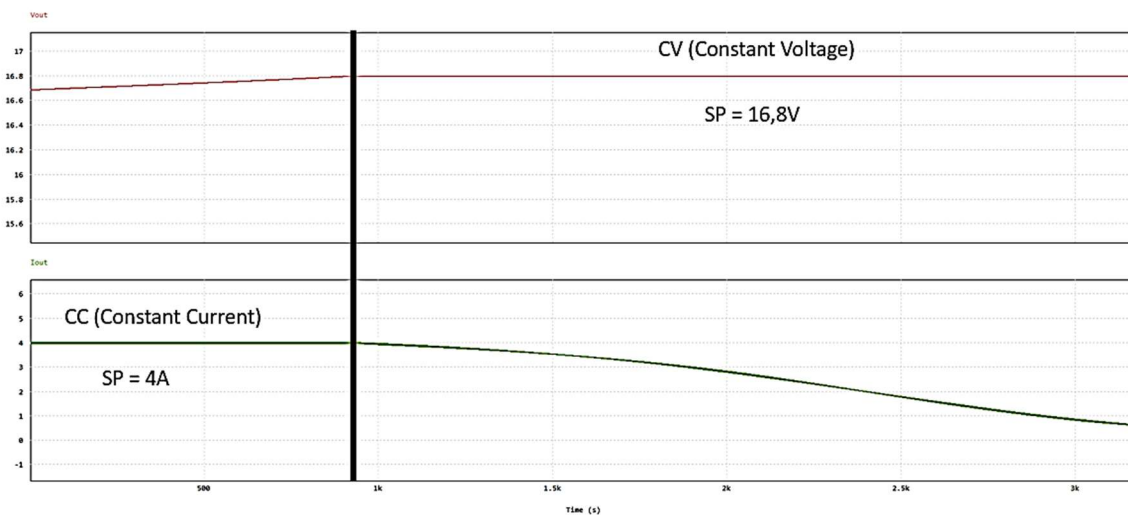


Gambar 10. Arsitektur Bentuk ANFIS

Kegunaan proses ANFIS sebagai pengaturan dan menstabilkan arus serta tegangan sesuai dengan titik pengaturan yang telah ditetapkan dengan hasil proses *learning* yang dibuat dalam tahap kontrol sebelumnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jadi berdasarkan konsep yang dibuat dalam Gambar 1 blok diagram merupakan proses perencanaan pengisian baterai secara cepat dengan menggunakan *synchronous buck converter* dan membandingkan dengan penggunaan topologi *buck converter* konvensional melalui sumber yang akan diturunkan dan disearahkan menggunakan rangkaian *fullwave rectifier uncontrolled*, sehingga nilai yang diinginkan merupakan hasil proses pengisian dengan daya efisiensi sebagai suatu pembandingan diantara penggunaan dua konverter tersebut. Sehingga berikut dalam Gambar 9 adalah hasil bentuk metode CC-CV diantara kedua topologi konverter.



Gambar 11. Grafik CC-CV

Jadi dalam data Tabel 3 yang merupakan hasil data *charging synchronous buck converter* dengan memulai proses pengisian dari *state of charge* (SOC) 60% hingga 80% menuju perpindahan mode, pada proses tersebut proses pengisian berpindah dari *constant current* (CC) ke *constant voltage* (CV) berada di SOC antara 62% hingga 68% sehingga menunjukkan proses pengisian baterai sudah mulai penuh.

Tabel 3. Data Charging Synchronous Buck Converter

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	SOC (%)	Efisiensi daya (%)
23,9	3,2	16,73	3,98	60	87,06
23,9	3	16,75	4	62	93,44
23,9	3,3	16,77	4	64	85,05
23,9	3,57	16,78	3,98	66	78,27
23,9	3,63	16,78	3,9	68	75,43
23,9	3,5	16,78	3,8	70	76,23
23,9	3,4	16,79	3,75	72	77,48
23,9	3,28	16,79	3,7	74	79,25
23,9	3,27	16,79	3,64	76	78,20
23,9	3,1	16,8	3,5	78	79,36
23,9	2,8	16,8	3,44	80	86,36
Rata-rata					81,47

Proses *fast charging* pada baterai ini dengan data dalam Tabel 3 yang merupakan hasil perolehan dari proses simulasi menggunakan *software* PSIM didapat dengan nilai efisiensi daya sebesar 81,47 % dengan menggunakan *synchronous buck converter*. Kemudian jika dibandingkan dengan data Tabel 4 untuk efisiensi daya yang didapat pengisian cepat dengan menggunakan topologi *buck converter* konvensional sedikit berbeda, dimana terdapat dalam komponen yang digunakan sehingga terdapat penurunan disisi persentase efisiensi daya.

Tabel 4. Data Charging Buck Converter

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	SOC (%)	Efisiensi daya (%)
23,9	3,3	16,74	3,98	60	84,47
23,9	3,1	16,75	4	62	90,43
23,9	3,38	16,77	4	64	83,04
23,9	3,5	16,78	3,98	66	79,84
23,9	3,64	16,78	3,94	68	76,00
23,9	3,62	16,78	3,87	70	75,06
23,9	3,43	16,79	3,78	72	77,42
23,9	3,27	16,79	3,7	74	79,49
23,9	3,27	16,79	3,64	76	78,20
23,9	3	16,8	3,56	78	83,41
23,9	2,83	16,8	3,45	80	85,69
Rata-rata					81,19

Jadi untuk Tabel 4 hasil data *charging buck converter* konvensional didapat hasil efisiensi data dengan nilai rata-rata presentase sebesar 81,19 % sehingga jika dibandingkan dengan data hasil *charging synchronous buck converter* dengan rata-rata nilai efisiensi daya sebesar 81,47% dan berbeda selisih sebesar 0,28%. Maka pada data Tabel 3 dan 4 menunjukkan proses *fast charging* untuk percobaan pertama dan apabila percobaan dilakukan kedua kalinya maka didapat perbedaan dengan hasil sebelumnya.

Tabel 5. Pengujian Kedua Data Charging Synchronous Buck Converter

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	SOC (%)	Efisiensi daya (%)
23,9	3,54	16,73	3,96	60	78,31
23,9	3,28	16,75	4	62	85,47
23,9	3,42	16,77	4	64	82,07
23,9	3,89	16,78	4	66	72,19
23,9	3,99	16,79	4	68	70,43
23,9	3,84	16,79	3,94	70	72,08
23,9	3,78	16,8	3,88	72	72,15
23,9	3,72	16,8	3,8	74	71,80
23,9	3,62	16,8	3,71	76	72,04
23,9	3,52	16,8	3,61	78	72,09
23,9	3,43	16,8	3,56	80	72,96
Rata-rata					74,69

Percobaan kedua ini untuk data *charging synchronous buck converter* mendapatkan rata-rata efisiensi bernilai 74,69% dengan pengambilan data setiap *state of charge* sama dengan sebelumnya. Jika dibandingkan dalam Tabel 6 hasil proses data *charging buck converter*.

Tabel 6. Pengujian kedua Data Charging Buck Converter

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	SOC (%)	Efisiensi daya (%)
23,9	3,08	16,72	3,92	60	89,04
23,9	3,12	16,75	4	62	89,85
23,9	3,9	16,76	4	64	71,92
23,9	3,9	16,78	4	66	72,01
23,9	3,9	16,79	4	68	72,05
23,9	3,9	16,8	3,95	70	71,19
23,9	3,86	16,8	3,88	72	70,66
23,9	3,77	16,8	3,8	74	70,85
23,9	3,67	16,8	3,71	76	71,06
23,9	3,69	16,8	3,61	78	68,77
23,9	3,43	16,8	3,49	80	71,52
Rata-rata					74,45

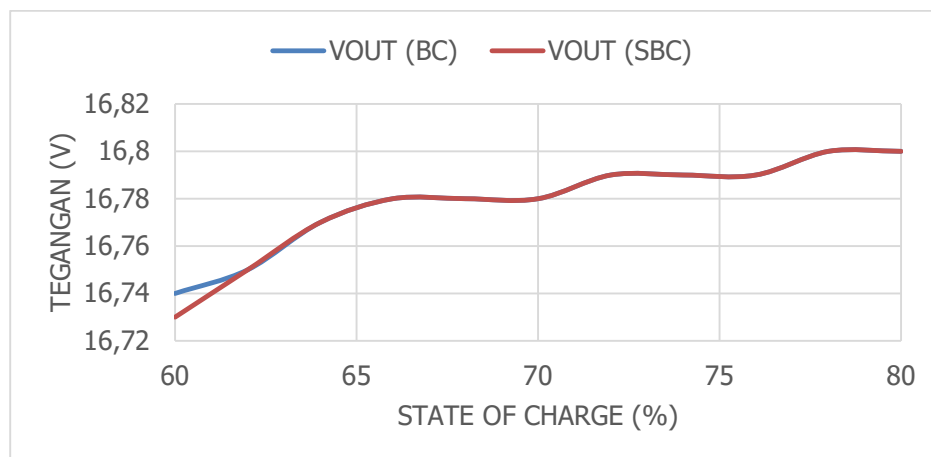
Kemudian dalam hasil data *charging buck converter* untuk percobaan kedua mendapatkan nilai rata-rata efisiensi sebesar 74,45% dan perbedaan dalam efisiensi kedua konverter yang digunakan dalam proses *fast charging* berselisih 0,24%. Kemudian jika dibandingkan kedua pengujian dapat dilihat dalam Tabel 6 terdapat perbedaan.

Tabel 7. Data Rata-rata Efisiensi Charging

Konverter	Pengujian 1	Pengujian 2
<i>Synchronous Buck Converter</i>	81,47%	74,69%
<i>Buck Converter</i>	81,19%	74,45%

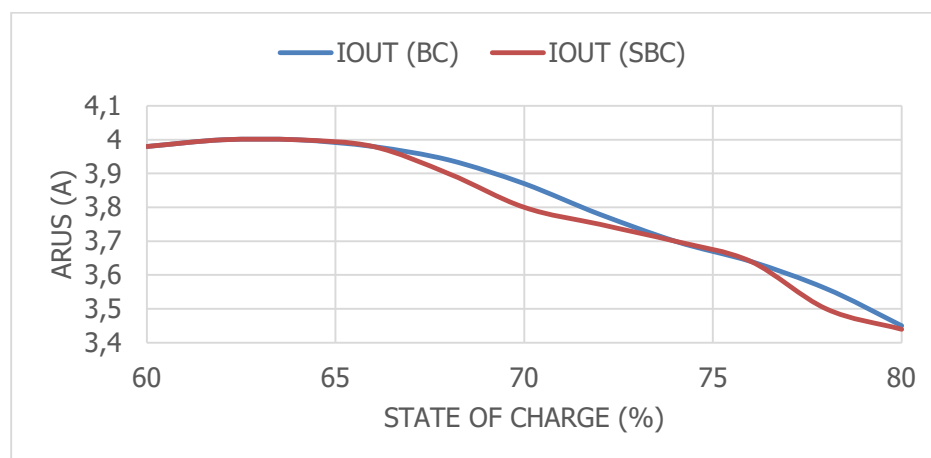
Dimana dalam Tabel 7 untuk percobaan pengujian pertama maupun yang kedua untuk *synchronous buck converter* mendapatkan hasil efisiensi lebih baik dari pada *buck converter* konvensional, jika secara perhitungan kapasitas efisiensi pengujian pertama mempunyai selisih

0,28% dan sedangkan untuk pengujian kedua mempunyai selisih 0,24% pada tiap masing-masing pengujian. Dikarenakan dari kedua konverter mempunyai perbedaan dari segi komponen maupun proses kerja konverter tersebut. Kemudian dari segi grafik CC diantara kedua konverter dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik CV *Charging Synchronous Buck Converter* Dan *Buck Converter*

Dalam respon dari kedua keluaran tegangan (Vout) menunjukkan pada proses *charging synchronous buck converter* dan *charging buck converter* konvensional sama-sama stabil diantara SOC 60% hingga 80%.



Gambar 13. Grafik CC *Charging Synchronous Buck Converter* Dan *Buck Converter*

Grafik perbandingan Gambar 13 proses pengisian baterai dengan metode *constant current* (CC) menampilkan grafik mengenai kinerja pengisian antara dua tipe konverter DC-DC, yaitu *synchronous buck converter* dan *buck converter* konvensional. Pada tipe konverter memperlihatkan pola pengisian yang mirip, dimana arus pengisian (Iout) tetap stabil pada setiap pembacaannya, kemudian mengalami penurunan yang signifikan saat baterai hampir mencapai kapasitas penuh untuk berubah ke posisi metode *constant voltage* yang merupakan ciri khas dari pengisian *constant current*. Dan berbedanya untuk arus *synchronous buck converter* pembacaan nilai arus sedikit lebih menurun dari pada *buck converter*, sehingga akan berpengaruh juga dalam stabilitas yang lebih baik disertai dengan peningkatan efisiensi. *Synchronous buck converter* umumnya menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *buck converter* konvensional, disebabkan oleh adanya transistor *switching* tambahan yang berfungsi mengurangi kerugian saat *switching*. Fluktuasi yang lebih besar dapat menunjukkan efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan *synchronous buck converter*.

4. KESIMPULAN

Penerapan *synchronous buck converter* yang dilengkapi dengan kontrol ANFIS, dalam pengisian baterai *lithium-ion* menunjukkan keuntungan yang signifikan dalam efisiensi daya dibandingkan dengan Konvensional *buck converter*. Salah satu masalah utama pada *buck converter* konvensional adalah penggunaan dioda sebagai komponen *freewheeling*, yang mengakibatkan kerugian daya yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan MOSFET pada *synchronous buck converter*. Dengan nilai $R_{DS(on)}$ yang lebih rendah pada MOSFET maka rugi-rugi daya dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan efisiensi sistem pengisian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan efisiensi daya antara kedua jenis konverter, khususnya dalam konteks pengisian baterai *lithium-ion*. Melalui simulasi software PSIM, diperoleh rata-rata efisiensi daya sebesar 81,47% untuk *synchronous buck converter*, sedangkan Konvensional *buck converter* mencapai 81,19%, dengan selisih efisiensi sebesar 0,28% sebagai bentuk hasil untuk pengujian pertama. Temuan ini menunjukkan bahwa *synchronous buck converter* memiliki keunggulan dalam efisiensi daya, yang dapat berkontribusi pada pengelolaan arus dan tegangan yang lebih baik dalam sistem pengisian baterai. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan *synchronous buck converter* dalam aplikasi yang memerlukan efisiensi daya tinggi terutama dalam sistem pengisian baterai *lithium-ion* dengan kemampuannya dalam mengurangi kerugian daya dan meningkatkan kinerja pengisian dibandingkan dengan *buck converter* konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini dari penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas penyediaan sumber daya dan bentuk fasilitas yang mendukung proses pelaksanaan penelitian.

DAFTAR RUJUKAN

- Abbo, M. A. (2023). *Simulation of Uncontrolled Full Wave Rectifier Using Source Inductance*.
- Anshori, A., Siswojo, B., & Hasanah, R. N. (2020). Teknik Fast Charging Baterai Lithium-Ion Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 7(1), 26–37. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v7i1.1384>
- Arif Rojabi, A., Fatimah Zahra, H., Afriza Fahmi, P., Fadhilaturachman, N., Nuranty Yovanka, D., & Rifyal, M. (2023). Analisis Half-Wave dan Full-Wave Rectifiers Menggunakan Circuit Lab Online. *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, 7(2), 329–333. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v7i2.205>
- Cucu, T. R. (2021). Implementasi Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Menguji Kualitas Printed Circuit Board (PCB). *Techno Xplore: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 5(2), 79–90. <https://doi.org/10.36805/technoxplore.v5i2.907>
- Hammami, Z., Hermawan, H., & Afrisal, H. (2021). Perancangan Konverter Arus Searah Tipe Synchronous Buck Berbasis Mikrokontroler Arduino Untuk Pengisian Baterai. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(4), 572–577.

- <https://doi.org/10.14710/transient.v10i4.572-577>
- Infineon. (2016). Synchronous buck converter with XMC™ Digital. *Www.Infineon.Com*, 1–45.
- Kircioğlu, O., Ünlü, M., & Çamur, S. (2016). Modeling and analysis of DC-DC SEPIC converter with coupled inductors. In *2016 International Symposium on Industrial Electronics, INDEL 2016 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/INDEL.2016.7797807>
- Ladioktaviagusdi, R. K., & Sumiharto, R. (2015). Implementasi Kontrol Model Prediksi Berbasis ANFIS Pada Mesin Penghasil Uap Air. *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 5(1), 99. <https://doi.org/10.22146/ijeis.7158>
- Lin, C. H., Chen, C. L., Lee, Y. H., Wang, S. J., Hsieh, C. Y., Huang, H. W., & Chen, K. H. (2008). Fast charging technique for Li-Ion battery charger. *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2008*, 618–621. <https://doi.org/10.1109/ICECS.2008.4674929>
- Paul, R. P., Rathod, G. B., Bareja, M., & Maru, P. (2014). Performance Comparison of Single & 3-Ø Controlled and Uncontrolled Rectifier Using. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(2), 2107–2111.
- Perdana, F. A. (2021). Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 9(2), 113. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082>
- Rakhmawati, R., Rana Khalisa Permana, Z., Prilian Eviningsih, R., & Elektronika Negeri Surabaya, P. (2023). Fast Charging on Li-ion Batteries with ANFIS Control. *Renny Rakhmawati: Fast Charging on Li-Ion ...*, 12(2), 93–100.
- Susana, R., Rosyidi, K., & Nataliana, D. (2018). Penerapan Teknik MPPT pada Modul Surya menggunakan Konverter DC-DC Topologi Synchronous Buck. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 6(3), 328. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v6i3.328>
- Triwiyatno, A., Candra, Y. A., & Setiyono, B. (2016). Pengaturan Rasio Perbandingan Udara Dan Bahan Bakar (Afr) Pada Model Mesin Bensin 4 Langkah. *Transmisi*, 18(1), 22–29. <https://ejournal.poltekbangsby.ac.id/index.php/jurnalpenelitian/article/view/21>
- Zomorodi, H., & Nazari, E. (2022). Design and Simulation of Synchronous Buck Converter in Comparison with Regular Buck Converter. *International Journal of Robotics and Control Systems*, 2(1), 79–86. <https://doi.org/10.31763/ijrcs.v2i1.538>