

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

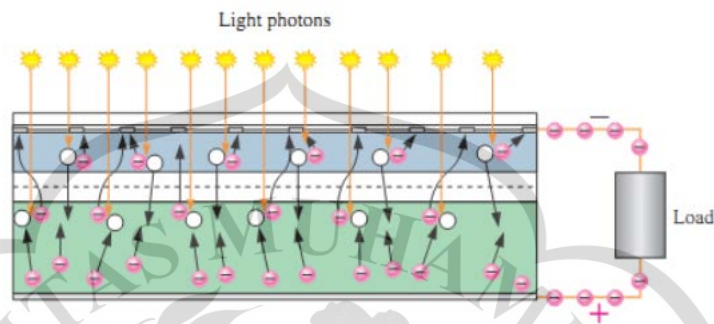
A. Tinjauan Pustaka Relevan

Menurut (Mahrubi et al., 2018). Cahaya matahari disusun dari elektron-elektron matahari memproduksi energi yang sangat mengejutkan. Pecahan kecil dari total energi matahari yang mencapai bumi cukup untuk memenuhi semua kebutuhan daya di bumi untuk waktu yang lama. Ada cukup energi matahari yang membentur bumi setiap jam untuk memenuhi kebutuhan seluruh dunia untuk waktu yang lama (Mahrubi et al., 2018).

Layer tipe-N pada *solar cell* sangat tipis dibanding daerah p untuk mengizinkan cahaya matahari menembus kedalam daerah P. Ketika photon menembus salah satu dari daerah n atau daerah p dan membentur atom silicon dekat junction pn dengan energy yang cukup untuk mengeluarkan sebuah elektron dari pita valensi dan electron menjadi sebuah electron bebas lalu meninggalkan sebuah lubang pada pita valensi dan menghasilkan sebuah pasangan electron-hole. Sejumlah energi diperlukan untuk membebaskan sebuah electron dari pita valensi atom silicon disebut band-gap energy yang besarnya adalah 1.12 eV (*electron volts*) (Mahrubi et al., 2018).

Di dalam daerah P electron bebas didorong melewati depletion region oleh medan listrik kedalam daerah N, Didalam daerah N *hole* didorong melewati depletion region oleh medan listrik kedalam daerah P, electron berakumulasi di dalam daerah N, memebentuk *negative charge* dan *hole* berakumulasi di dalam

daerah p membentuk *positive charge*, Tegangan dihasilkan antara hubungan daerah n dan daerah p seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1 (Mahrubi et al., 2018).



Gambar 2.1 Solar cell menghasilkan tegangan dan arus

Dua titik penting pada *solar cell* adalah *open-circuit voltage* (V_{oc}) dan *short-circuit current* (I_{sc}). *Open-circuit voltage* adalah tegangan maksimum pada arus nol, dan *short-circuit current* adalah arus maksimum pada tegangan nol. Untuk sebuah *solar cell silicon* umumnya V_{oc} adalah 0.6 - 0.7 V, dan I_{sc} adalah 20 - 40mA untuk setiap centimeter persegi dari area sell. Karena *solar cell silicon* umumnya menghasilkan hanya sekitar 0.5 V, maka sebuah cell-cell dihubungkan dalam hubungan seri pada sebuah modul *solar cell*. Sebuah panel adalah sebuah kumpulan dari modul-modul secara fisik dan secara elektrik yang dikelompokkan Bersama dalam sebuah struktur. Sebuah array adalah kumpulan dari panel-panel (Tanjung, 2020).

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Panel surya merupakan suatu alat yang terdiri dari sel sel surya yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik. Panel surya sering disebut dengan sel

photovoltaic. Untuk menyerap energi, panel surya bergantung pada efek photovoltaic, Penyerapan ini menyebabkan arus mengalir diantara dua lapisan bermuatan yang berlawanan

Pembangkit Listrik Tenaga Surya adalah suatu sistem yang menggunakan panel surya atau modul *fotovoltaik* untuk mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel surya terdiri dari sejumlah sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, yang mampu menghasilkan aliran listrik saat terkena cahaya matahari.

Prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga surya adalah dengan menggunakan efek *fotovoltaik*, di mana foton-foton cahaya matahari yang jatuh pada panel surya akan menghasilkan aliran listrik. Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, foton-foton tersebut mengeksitasi elektron-elektron dalam bahan semikonduktor, sehingga terjadi aliran arus listrik (Pramono, Wati, & Yadaka, 2015).



Gambar 2.2 Skematik Pembangkit Listrik Tenaga Surya

(Sumber: <https://www.andalanelektro.id/>)

1. Panel Surya

Panel surya adalah kumpulan sel surya yang ditata sedemikian rupa agar efektif dalam menyerap sinar matahari. Sedangkan yang bertugas menyerap sinar matahari adalah sel surya. Sel surya sendiri terdiri dari berbagai komponen photovoltaic atau komponen yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik. Umumnya sel surya terdiri dari lapisan silikon yang bersifat semikonduktor, metal, anti reflektif, dan strip konduktor metal. Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya

matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan didalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut (Ramadhan, Diniardi, & Mukti, 2016)

Listrik dapat diproduksi menggunakan modul surya fotovoltaik (SPV). Karakteristik operasional energi surya yang bervariasi, termasuk iradiasi, suhu lingkungan, kecepatan angin, dan sebagainya, sangat mempengaruhi tegangan output dan daya beban dari sistem berbasis SPV. Konverter daya DC-DC menciptakan tantangan tambahan untuk desain yang kuat dari konverter daya

karena mereka menyediakan tegangan konstan ke jaringan listrik (Waghmare & Chaturvedi, 2023).

Menurut (Ramadhan et al., 2016) panel surya, juga dikenal sebagai panel fotovoltaik atau panel surya fotovoltaik (PV), adalah perangkat elektronik yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Teknologi ini telah menjadi semakin populer sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan. Panel surya terdiri dari beberapa komponen utama sebagai berikut:

- a. Sel Fotovoltaik: Komponen inti yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui efek *fotovoltaik*.
- b. Kaca atau Bahan Pelindung: Lapisan pelindung di bagian atas sel *fotovoltaik* untuk melindungi dari kerusakan fisik dan cuaca.
- c. *EVA (Ethylene Vinyl Acetate)*: Lapisan bahan perekat yang mengikat sel fotovoltaik ke lapisan penutup belakang.
- d. *Backsheet*: Lapisan penutup belakang yang tahan terhadap kelembaban dan perlindungan mekanis.

2. Charge Controller

Charge controller pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah perangkat elektronik yang berfungsi mengatur dan mengendalikan aliran energi antara panel surya dan baterai. Fungsi utama *charge controller* adalah mengontrol pengisian baterai dari panel surya dan melindungi baterai dari kerusakan yang

disebabkan oleh pengisian berlebihan atau pengosongan berlebihan (Tanjung, 2020).

Menurut (Tanjung, 2020) Baterai dalam sistem panel surya harus dikontrol dengan hati-hati untuk menghindari kondisi yang merugikan seperti pengisian yang berlebih atau pengosongan baterai yang berlebihan. *Charge controller* meregulasi proses pengisian dan mencegah pengisian dan pengosongan baterai yang berlebihan. *Switch mode dc-dc converter* digunakan untuk mencocokkan keluaran dari panel surya ke beban. Beberapa tipe *dc-dc converter* diantaranya adalah *buck converter (step-down)*, *boost converter (step-up)*, dan *buck-boost converter (stepup/down/)* (Tanjung, 2020).

dan secara otomatis terhubung dan tidak terhubung dengan sebuah beban listrik dari matahari terbenam sampai matahari terbit. pengisian yang berlebihan sering terjadi selama musim panas ketika panel surya sedang beroperasi dibawah kondisi cuaca yang sangat baik, menghasilkan pembangkitan energi melebihi permintaan beban listrik. Dalam ketidakhadiran dari sebuah *charge controller*, arus dari panel surya sebanding untuk ukuran dari radiasi matahari akan mengalir kedalam baterai jika baterai tidak memerlukan pengisian.

Dalam kasus ini baterai telah terisi penuh, pengisian yang tak terregulasi akan menyebabkan tegangan baterai meningkat ke level yang sangat tinggi, menghasilkan panas, kehilangan elektrolit, menghasilkan gassing yang berlebih dan kerusakan jaringan. pengisian yang berlebihan dari baterai dapat mengurangi jangka waktu hidup baterai (*battery life*), performa baterai, dan mungkin

mengkhawatirkan untuk keamanan. Sebuah *charge controller* mencegah seperti baterai pengisian yang berlebih dengan membatasi atau memotong arus yang mengalir dari panel surya ke baterai ketika baterai telah terisi penuh.

Pengosongan yang berlebihan membawa bagian selama periode dari radiasi surya yang rendah dan kelebihan beban listrik yang digunakan, yang mana penyebab energi yang tidak cukup dari panel surya untuk menjaga baterai terisi penuh. Dalam kasus dari pengosongan yang berlebihan, reaksi kimia dalam baterai membawa bagian keluar dari grid-grid, memperlemah ikatan antara material aktif dan grid-grid. Dalam kasus yang berulang-ulang pengosongan yang berlebihan pada baterai, kehilangan *battery life* baterai dan akan terjadi kehilangan kapasitas. Perlindungan pengosongan yang berlebih diselesaikan dengan memutuskan hubungan antara *system load* ketika baterai sampai pada level tegangan rendah. Dalam sebuah *charge controller* ini dicapai dengan membuat rangkaian *open circuit* antara baterai dan beban listrik ketika baterai mencapai pada *set-point level* tegangan beban yang rendah yang telah ditentukan terlebih dahulu. Beban terhubung kembali ketika tegangan baterai naik ke tegangan tertentu.

3. Baterai

Baterai atau Akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensi yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia *reversible* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi

tenaga listrik dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, yaitu pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel. Tiap sel baterai terdiri dari dua macam elektroda yang berlainan, yaitu elektroda positif dan negatif yang dicelupkan dalam suatu larutan kimia (Yunita, 2017).

4. Proses Pengisian Baterai

Secara sederhana, proses pengisian baterai isi ulang adalah dengan memasukkan arus secara terus-menerus pada baterai sehingga tegangan bertambah hingga batas tertentu. Proses pengisian baterai secara berlebihan dapat merusak baterai sehingga umur baterai tidak dapat bertahan lama (Yunita, 2017).

5. Proses Pengosongan Baterai

Secara sederhana, proses pengosongan baterai isi ulang adalah dengan cara menghabiskan arus pada baterai sehingga muatan pada baterai berkurang yang menyebabkan tegangan baterai semakin menurun pada batas tertentu (Yunita, 2017).

6. Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (*Direct Current*) menjadi arus listrik bolak balik (*Alternating Current*). Inverter mengkonversi tegangan DC dari perangkat seperti baterai, *solar cell*, generator dc atau sumber teganganlain menjadi tegangan AC. Tegangan DC biasanya yang dipakai adalah 12 V atau 24 V dengan keluaran tegangan AC 220

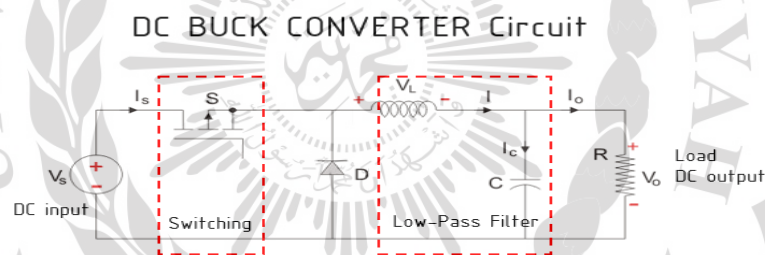
V seperti tegangan jaringan listrik PLN pada umumnya. Output suatu *inverter* dapat berupa tegangan AC dengan bentuk gelombang sinus (*sine wave*), sinus modifikasi (*sine wave modified*) dan gelombang kotak (*square wave*). *Inverter* dalam proses konversi tegangan DC menjadi tegangan AC membutuhkan suatu penaik tegangan berupa step up transformer (Yunita, 2017).

Menurut (Yunita, 2017) *Inverter* PLTS berfungsi sebagai konverter daya yang mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Fungsi utamanya adalah mengoptimalkan efisiensi dan daya yang dihasilkan oleh panel surya agar sesuai dengan standar pasokan listrik rumah tangga atau jaringan listrik umum. Cara kerja *inverter* PLTS dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. **Penyamaan Tegangan:** *Inverter* pertama-tama memastikan bahwa tegangan output DC dari panel surya sesuai dengan tegangan masukan yang diinginkan. Ini melibatkan penyamaan tegangan DC yang mungkin berbeda pada panel surya yang berbeda karena perubahan suhu dan intensitas cahaya matahari.
- b. **Konversi DC ke AC:** Setelah tegangan DC disamakan, *inverter* mengubah arus DC menjadi arus AC yang sesuai dengan tegangan dan frekuensi AC dari jaringan listrik atau perangkat yang digunakan.
- c. **Sinkronisasi dengan Jaringan Listrik:** *Inverter* juga harus sinkron dengan frekuensi dan fase jaringan listrik untuk memungkinkan injeksi daya yang aman ke jaringan atau untuk penggunaan langsung.

C. Buck Converter

Dalam *buck converter* tegangan keluaran rata-rata V_{out} lebih kecil atau sama dengan tegangan masukan V_{in} . Gambar rangkaian *buck converter* ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Operasi rangkaian dapat dibagi kedalam dua mode. Mode pertama dimulai ketika *switch on* pada $t = 0$. Arus yang masuk naik dan mengalir melalui inductor L, kapasitor C, dan resistor beban R. Mode 2 dimulai ketika *switch off* pada $t = t_1$. Diode *freewheeling* dibias *forward* dan menyebabkan energy yang tersimpan di dalam inductor mengalir melewati L, C, *load*, dan dioda. Arus inductor jatuh sampai *switch on* lagi pada siklus berikutnya (Tanjung, 2020).



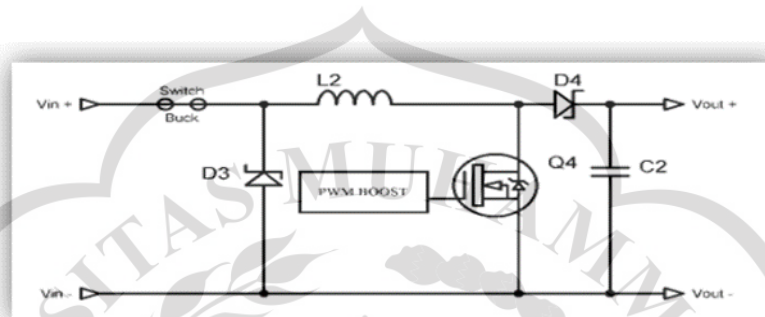
Gambar 2.3 Rangkaian Buck Converter

(Tanjung, 2020)

D. Boost Converter

Menurut (Imam Setyawan & Bambang Suprianto, 2019) Sama dengan *buck converter*, *boost converter* juga mempunyai fungsi mengubah level tegangan DC, namun dalam *boost konverter* mengubahnya ke level yang lebih tinggi. *Boost converter* menggunakan kerjanya dengan membuka dan menutup suatu *switch* secara periodik. Dikatakan sebagai *boost converter* karena tegangan keluaran dari

rangkaian ini lebih besar daripada tegangan masukannya. Suatu rangkaian *boost converter* terdiri atas induktor, kapasitor, resistor, dioda, dan *switch*. Rangkaian dari suatu *boost converter* adalah seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.4 Rangkaian *Boost Converter*

(Imam Setyawan & Bambang Suprianto, 2019)

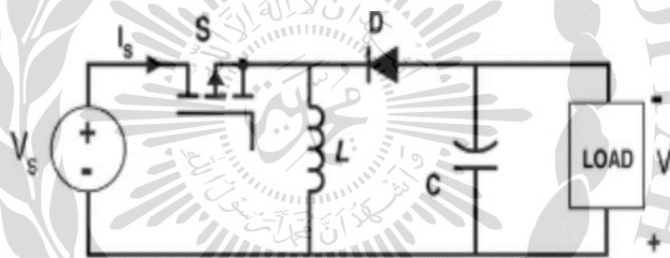
Disaat tegangan input masuk kedalam induktor dan menyebabkan kenaikan arus berdasarkan waktu. Pada kondisi *switch off* saat ujung induktor bernilai positif, *forward bias* dari dioda akan memberikan jalur agar kapasitor dalam keadaan mengisi (*charge*) dengan tegangan yang lebih besar dari tegangan input, dalam waktu yang sama arus induktor akan mengalir pada kapasitor dan beban, dan disaat *Switch on* lagi, tegangan dan arus hanya akan disuplai oleh kapasitor (Imam Setyawan & Bambang Suprianto, 2019).

Boost converter dapat menaikkan tegangan tanpa perlu menggunakan trafo. Dimana *Boost converter* memiliki efisiensi yang tinggi dan tegangan keluaran yang sensitif terhadap perubahan *duty cycle* dan sangat sulit untuk menstabilkan regulator. Arus keluaran rata-rata lebih kecil dibandingkan dengan arus induktor

yang disebabkan oleh faktor kapasitor maka diperlukan penggunaan filter kapasitor dan induktor yang lebih tinggi.

E. Buck Boost Converter

Buck-boost converter berfungsi untuk mengubah level tegangan DC, baik ke level yang lebih tinggi maupun level yang rendah. Namun *buck-boost converter* mengubah polaritas dari tegangan input terhadap output. Konverter *buck-boost* sebagai salah satu regulator mode pensaklaran menghasilkan tegangan keluar yang lebih kecil atau lebih besar dibanding tegangan masukannya (Putri & Aswardi, 2020).



Gambar 2.5 Rangkaian Buck Boost Converter

(Achmad & Nugraha, 2022)

Pada penelitian ini menggunakan rangkaian DC-DC converter sebagai *charge controller*. *Buck-boost converter* sebagai salah satu saklar regulator mode yang menghasilkan tegangan keluaran lebih kecil atau lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Keluaran dari converter ini yang akan dikendalikan oleh pulsa *PWM* untuk menjadikan kondisi saturasi dan cut-off dari komponen *MOSFET* pada rangkaian converter hingga fungsi *switching* bisa aktif.

Tegangan keluaran konverter merupakan tegangan yang akan disimpan kedalam baterai sistem PLTS. Target dari sistem pengendalian yang terhubung dengan dengan *buck-boost converter* adalah untuk selalu memaksimalkan tegangan dan arus keluaran agar selalu menghasilkan daya pada titik maksimal sehingga daya yang akan disimpan ke baterai semakin besar.

Keluaran *inverter* masih memuat harmonisa sehingga gelombangnya belum sinusoidal murni. Kualitas dari *inverter* dapat dianalisis melalui parameter berikut ini, Effisiensi merupakan perbandingan antara output dengan input. Nilai efisiensi dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\eta \frac{P_{in}}{P_{out}} \times 100$$

F. Modul *buck-boost converter XL6009*

Regulator XL6009 adalah konverter DC/DC dengan rentang input yang luas, mode arus, yang mampu menghasilkan tegangan keluaran positif atau negatif. Ini dapat dikonfigurasi sebagai pengubah tegangan *boost*, *flyback*, SEPIC, atau *inverter*. *XL6009* memiliki *MOSFET* daya tipe N dan osilator frekuensi tetap, arsitektur mode arusnya menghasilkan operasi yang stabil pada rentang tegangan pasokan dan keluaran yang luas. *Regulator XL6009* dirancang khusus untuk aplikasi perangkat elektronik portabel (KylinChip Electronic, 2020).



Gambar 2.6 Modul *buck-boost converter XL6009*

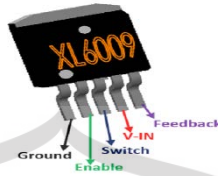
(Sumber: KylinChip Electronic, 2020)

1. Fitur Modul *Buck Boost Converter* (KylinChip Electronic, 2020)

- a. Rentang Tegangan Masukan Luas 5V hingga 32 V.
- b. Tegangan Keluaran Positif atau Negatif.
- c. Versi referensi yang dapat disesuaikan dengan 1,25V.
- d. Frekuensi *switching* tetap 400kHz.
- e. Arus *switching* maksimum 4A.
- f. PIN SW dengan proteksi terintegrasi terhadap tegangan berlebih.
- g. Regulasi garis dan beban yang sangat baik.
- h. Kemampuan shutdown TTL pada PIN EN.
- i. *MOSFET* daya yang dioptimalkan secara internal.
- j. Efisiensi tinggi hingga 94%.
- k. Kompensasi frekuensi terintegrasi.
- l. Fungsi *soft start* terintegrasi.
- m. Fungsi thermal *shutdown* terintegrasi.
- n. Fungsi batas arus terintegrasi.

G. Komponen *buck-boost converter* XL6009

1. IC XL6009



Gambar 2.7 IC XL6009

(Sumber <https://www.digikey.com/>)

Ini adalah inti dari modul, yaitu kontroler *Buck-Boost* yang dapat mengatur tegangan output dengan mengontrol *switch transistor* internalnya sesuai dengan keadaan masukan dan keluaran. IC ini memiliki berbagai fitur perlindungan seperti proteksi arus lebih, perlindungan panas, dan lain-lain.

2. Induktor (Coil)



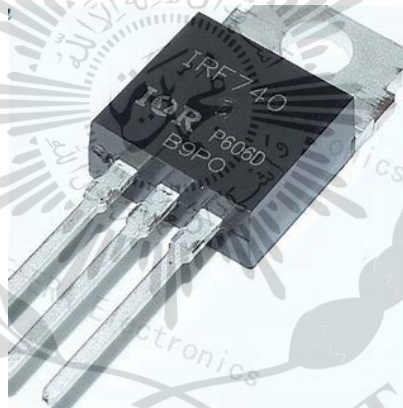
Gambar 2.8 Induktor

(Sumber <https://www.mouser.com/>)

Induktor digunakan dalam konverter ini untuk menyimpan energi selama siklus kerja *switch transistor*, dan kemudian melepaskan energi tersebut saat

transistor dalam posisi off. Hal ini memungkinkan terjadinya langkah-up (*step-up*) atau langkah-bawah (*step-down*) pada tegangan.

3. Transistor Switch



Gambar 2.9 *Transistor Switch MOSFET IRF470*

(Sumber <https://www.rs-online.com/>)

Modul XL6009 memiliki *transistor switch internal* yang dikendalikan oleh IC XL6009. Transistor ini digunakan untuk memutus dan mengalirkan aliran energi dari sumber masukan ke induktor sesuai dengan siklus kerjanya.

4. Dioda Output



Gambar 2.10 Dioda

(Sumber <https://www.rs-online.com/>)

Dioda ini berfungsi untuk mencegah arus kembali dari output ke input saat transistor dalam posisi *off*. Ini membantu menghindari aliran mundur dan melindungi komponen lainnya.

5. Kapasitor Input dan Output



Gambar 2.11 Kapasitor

(Sumber <https://www.arrow.com/>)

Kapasitor ini digunakan untuk menyaring tegangan dan mengurangi *ripple* (getaran) pada output dan input, sehingga memastikan tegangan keluaran menjadi lebih stabil dan bersih.

6. Resistor-feedback



Gambar 2.12 Resistor

(Sumber <https://www.rs-online.com/>)

Modul ini biasanya memiliki komponen *resistor-feedback* yang digunakan untuk mengatur tegangan output sesuai dengan kebutuhan.

7. Potensiometer



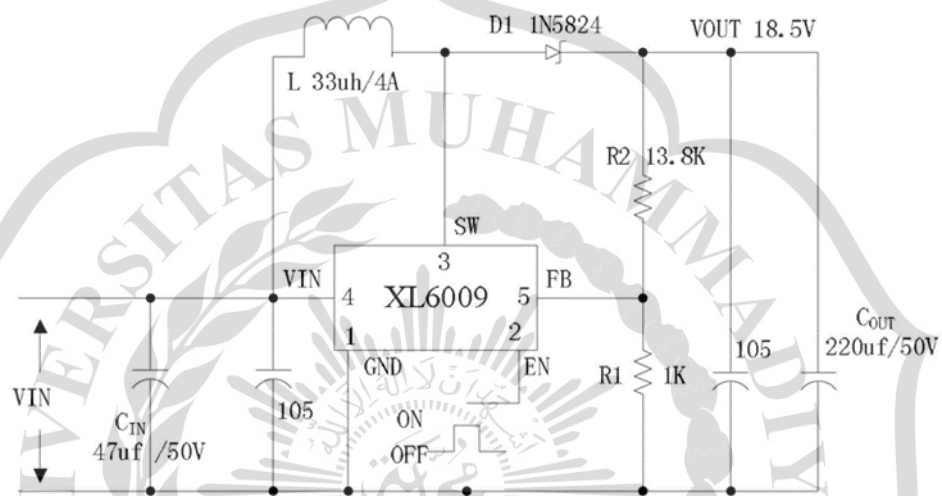
Gambar 2.13 Potensiometer

(Sumber <https://www.newark.com/>)

Potensiometer ini dapat digunakan untuk mengatur tegangan output sesuai dengan kebutuhan atau memperbaiki ketidakakuratan.

8. Komponen Perlindungan

Beberapa modul XL6009 dilengkapi dengan komponen perlindungan tambahan seperti fuse (*fusible resistor*) atau termistor untuk mencegah kelebihan arus atau suhu berlebih yang dapat merusak modul.



Gambar 2.14 Rangkaian modul buck-boost converter XL6009

(Sumber: KylinChip Electronic, 2020)