

BAB II

PENDEKATAN PEMECAHAN MASALAH

A. Media Penyimpan Energi

Menurut Wikipedia (2019), media penyimpan energi adalah alat penyimpan suatu energi yang dihasilkan pada satu waktu tertentu untuk digunakan di lain waktu. Penyimpanan energi melibatkan konversi energi dari bentuk-bentuk yang sulit disimpan ke bentuk yang lebih mudah disimpan atau lebih ekonomis.

Sejarah penyimpanan energi listrik dimulai saat ditemukannya baterai pada pertama kalinya. Pada saat itu baterai digunakan secara terbatas karena kapasitasnya kecil dan biaya pembuatannya yang mahal dibandingkan dengan energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik. Baterai menyimpan energi kimia yang dapat diubah secara langsung menjadi energi listrik dengan menghubungkan kedua kutub baterai dengan peralatan listrik. Selain baterai, kemudian ditemukanlah kapasitor yang mempunyai fungsi sama dengan baterai yaitu untuk penyimpan energi listrik. Metode penyimpanan energi secara garis besar dapat dibagi menjadi beberapa jenis, di antaranya adalah sebagai berikut:

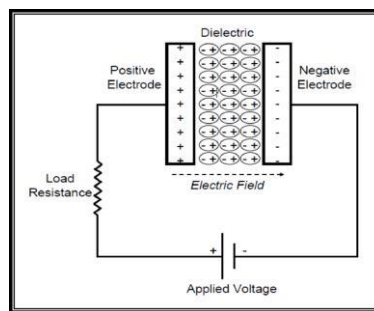
1. Mekanis
 - a. *Compressed Air Energy Storage (CAES)*
 - b. *Flywheel Energy Storage*
 - c. *Hydraulic Accumulator*

- d. *Pumped Storage Hydroelectricity*
- 2. Elektrik
 - a. Kapasitor
 - b. Superkapasitor
 - c. *Superconducting Magnetic Energy Storage (SMES)*
- 3. Panas
 - a. *Liquid Nitrogen Engine*
 - b. *Cryogenic Energy Storage, liquid air energy storage (LAES)*
 - c. *Steam accumulator*
 - d. *Thermal energy storage*
- 4. Elektrokimia (*Battery Energy Storage System, BESS*)
 - a. *Fuels cell*
 - b. *Flow Battery*

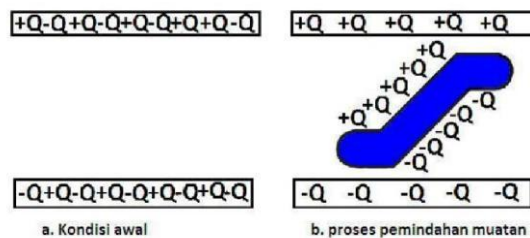
B. Kapasitor

Kapasitor banyak digunakan dalam sirkuit elektronik dan mengerjakan berbagai fungsi. Pada dasarnya kapasitor merupakan alat penyimpan muatan listrik yang dibentuk dari dua permukaan (piringan) yang berhubungan, tetapi dipisahkan oleh suatu penyekat. Bila elektron berpisah dari satu pelat ke pelat yang lain, akan terdapat muatan di antara mereka pada medium penyekat tadi. Muatan ini disebabkan oleh muatan positif pada pelat yang kehilangan elektron dan muatan negatif pada pelat yang memperoleh elektron (Woollard, 2006: 26).

Apabila sebuah kapasitor disambungkan ke sebuah listrik DC seperti yang terlihat pada Gambar 1 (Bishop, 2002: 40), elektron-elektron akan berkumpul pada pelat yang tersambung ke terminal negatif sumber. Elektron-elektron ini akan menolak elektron-elektron yang ada pada pelat di seberangnya. Elektron-elektron yang tertolak akan mengalir menuju terminal positif sumber seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Rangkaian sederhana kapasitor terhubung dengan sumber DC (Bishop, 2002: 40)



Gambar 2. Ilustrasi pemindahan muatan dalam kapasitor (Sumber : <https://djukarna.wordpress.com/tag/kapasitor/>)

Sebuah kapasitor yang disambungkan ke sebuah sumber daya dengan seketika akan menjadi bermuatan. Tegangan antara kedua pelatnya adalah sama dengan tegangan sumber daya. Ketika kapasitor tersebut dilepaskan dari sumber daya, kapasitor tetap mempertahankan muatannya. Inilah alasan mengapa kapasitor dapat menyimpan muatannya (Bishop, 2002: 40).

1. Kapasitansi

Muatan (Q) diukur dengan satuan *coulomb* dan kapasitor yang memperoleh muatan listrik akan mempunyai tegangan antar terminal sebesar V (volt). Kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan disebut *kapasitansi* (C). Kapasitansi ini diukur berdasarkan besar muatan yang dapat disimpan pada suatu kenaikan tegangan, persamaannya dinyatakan oleh persamaan (1) (Woollard, 2006: 26).

$$\text{Kapasitansi, } C = \frac{\text{muatan, } Q}{\text{tegangan, } V} \quad (1)$$

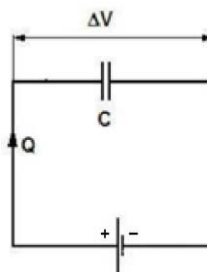
Atau persamaan (1) dapat disederhanakan menjadi persamaan (2).

$$C = Q/V \quad (2)$$

2. Hubungan Seri dan Paralel

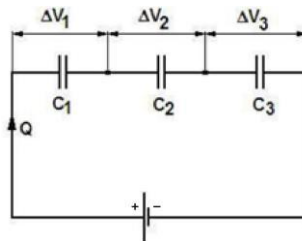
Bila sebuah kapasitor dihubungkan dengan sebuah sumber tegangan DC seperti terlihat pada Gambar 3 di bawah, maka besar kapasitas kapasitor dapat dinyatakan dengan persamaan (3).

$$C = Q/V \quad (3)$$



Gambar 3. Rangkaian kapasitor sederhana (Floyd, 2001: 385)

Bila beberapa buah kapasitor dipasang seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan, maka akan terjadi proses pembagian tegangan pada tiap kapasitor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian kapasitor tersusun seri (Floyd, 2001: 397)

Maka besar tegangan total pada rangkaian seri kapasitor di atas adalah pada persamaan (4).

$$\Delta V_{total} = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 \quad (4)$$

Karena tegangan adalah muatan dibagi dengan kapasitas.

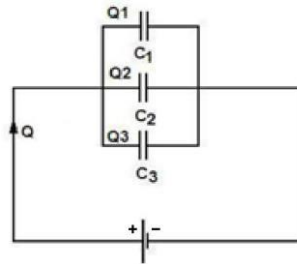
$$\Delta V = \frac{Q}{C} \quad (5)$$

Setelah di substitusi persamaan (5) ke persamaan (4) maka didapat persamaan (6).

$$\frac{Q}{C_{total}} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \quad (6)$$

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (7)$$

Sebaliknya bila beberapa kapasitor di paralelkan, maka tegangan yang terjadi di kaki tiap-tiap kapasitor akan sama, namun muatan yang diisikan ke kapasitor akan terbagi ke masing-masing kapasitor. Rangkaian kapasitor terhubung paralel ke sumber daya DC diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kapasitor tersusun paralel
(Floyd, 2001: 400)

Maka jumlah muatan yang disimpan di dalam kapasitor tersusun paralel adalah pada persamaan (8).

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (8)$$

Karena,

$$\Delta V = \frac{q}{c} \quad (9)$$

Persamaan (9) disubstitusikan ke dalam persamaan (8) maka didapat hasil seperti persamaan (10).

$$\Delta V \cdot C_{total} = \Delta V \cdot C_1 + \Delta V \cdot C_2 + \Delta V \cdot C_3 \quad (10)$$

Atau persamaan (10) dapat disederhanakan menjadi persamaan (11).

$$C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (11)$$

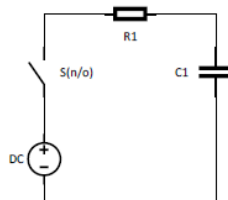
3. Pengisian dan Pengosongan Muatan Pada Kapasitor

a. Pengisian Muatan Pada Kapasitor

Jika suatu kapasitor dengan kapasitansi C dihubungkan dengan suatu sumber tegangan V maka setelah beberapa waktu kapasitor akan terisi oleh muatan sebesar:

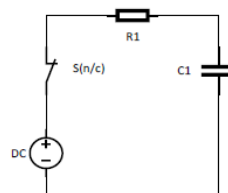
$$Q = C \cdot V \quad (12)$$

Jika ada sebuah kapasitor dalam keadaan kosong dan belum dihubungkan dengan sumber tegangan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kapasitor dalam keadaan kosong dan belum dihubungkan dengan sumber tegangan
(<https://rpprastio.wordpress.com/2013/04/16/pengisian-muatan-ke-dalam-kapasitor/>)

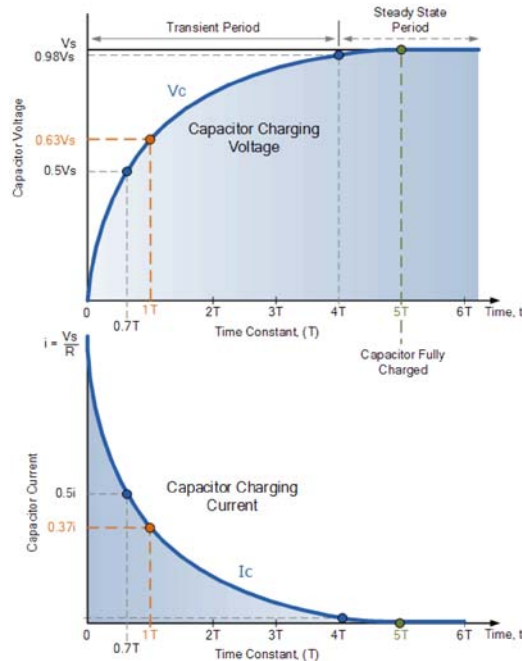
Kemudian saklar ditutup sehingga kapasitor terhubung dengan sumber tegangan seperti terlihat pada Gambar 7. Kapasitor akan segera terisi muatan tetapi tidak langsung penuh. Perlu beberapa waktu agar kapasitor terisi penuh.



Gambar 7. Pengisian kapasitor
(<https://rpprastio.wordpress.com/2013/04/16/pengisian-muatan-ke-dalam-kapasitor/>)

Ketika muatan mulai memenuhi kapasitor, beda tegangan pada kaki kapasitor akan terus bertambah dan beda tegangan pada sumber akan menyamai beda tegangan pada kapasitor, hal ini akan mengakibatkan arus yang mengalir dalam rangkaian juga akan berkurang terhadap waktu. Pada suatu kapasitor terisi muatan penuh dan tidak ada lagi aliran arus selama kapasitor tidak

mengalami kebocoran di antara kedua pelat. Grafik pengisian dari sebuah kapasitor dapat diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kurva pengisian kapasitor
(Sumber : https://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_1.html)

Saat kapasitor sedang diisi melalui sebuah sumber DC, kurva pengisianannya adalah kenaikan eksponensial seperti pada Gambar 8. Kurva ini bergantung kepada nilai arus pengisian serta waktu selama pengisian berlangsung.

Untuk persamaan tegangan dari pengisian kapasitor saat t detik adalah pada persamaan (13).

$$V_{C(t)} = V_{in} \times \{(V_{C(0)} - V_{in})e^{-\frac{t}{RC}}\} \quad (13)$$

Di mana V_{in} : tegangan input dari sumber, $V_{C(0)}$: tegangan awal kapasitor, R: hambatan yang disusun seri dengan kapasitor untuk mengatur waktu pengisian konstan, dan t: waktu pengisian dari 0 detik.

Apabila sebelum pengisian tidak terdapat adanya tegangan awal pada kapasitor, $V_c(0) = 0V$, maka persamaan (13) menjadi persamaan (14).

$$V_{C(t)} = V_{in} \times (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (14)$$

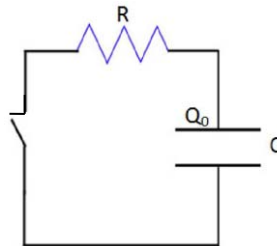
Lalu untuk persamaan arus pada pengisian kapasitor adalah pada persamaan (15).

$$I_{C(t)} = \left(\frac{V_{in}}{R}\right)e^{-\frac{t}{RC}} \quad (15)$$

b. Pengosongan Muatan Pada Kapasitor

Jika ada sebuah kapasitor dalam keadaan penuh dan belum dihubungkan dengan beban R, sehingga tegangan antara kedua kaki kapasitor adalah seperti diperlihatkan pada persamaan (16).

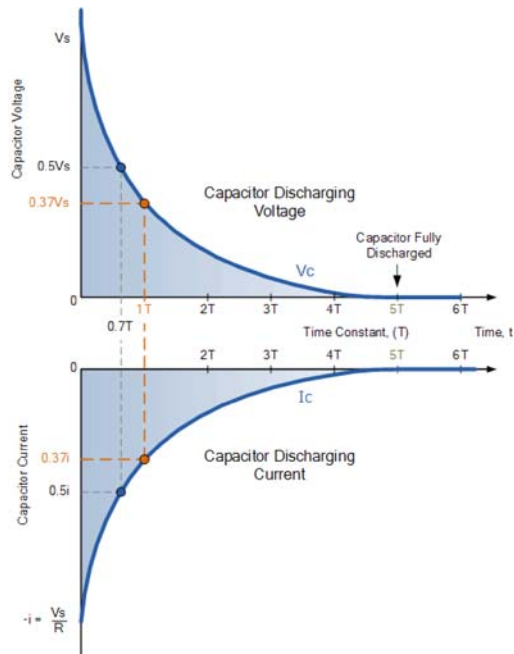
$$V_0 = \frac{Q_0}{C} \quad (16)$$



Gambar 9. Kapasitor terisi penuh dan terhubung ke beban (<https://rpprastio.wordpress.com/2013/04/21/pengosongan-muatan-kapasitor/>)

Ketika saklar ditutup seperti pada Gambar 9, maka muatan dalam kapasitor akan segera mengalir dalam rangkaian. Hal ini mengakibatkan muatan dalam kapasitor berkurang. Muatan yang bergerak dalam rangkaian tak lain adalah arus listrik yang mengalir.

Grafik pengosongan dari sebuah kapasitor dapat kita lihat dari Gambar 10.



Gambar 10. Kurva pengosongan kapasitor
(Sumber : https://www.electronics-tutorials.ws/rc/rc_2.html)

Saat kapasitor sedang melepaskan muatan melalui sebuah tahanan yang terhubung seri dengan kapasitor, maka kurva pengosongan kapasitor adalah penurunan ekponensial yang ditentukan oleh nilai tahanan dari resistor.

Persamaan tegangan pada kedua kaki kapasitor adalah pada persamaan (17).

$$V_{C(t)} = V_s \times e^{-\frac{t}{RC}} \quad (17)$$

Di mana V_s : tegangan awal kapasitor

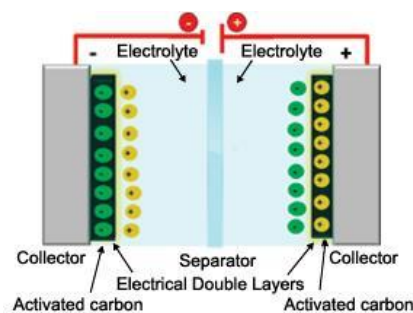
Kemudian untuk persamaan arus yang mengalir dalam rangkaian adalah pada persamaan (18).

$$I = \left(\frac{V_s}{R}\right)e^{-\frac{t}{RC}} \quad (18)$$

C. Superkapasitor

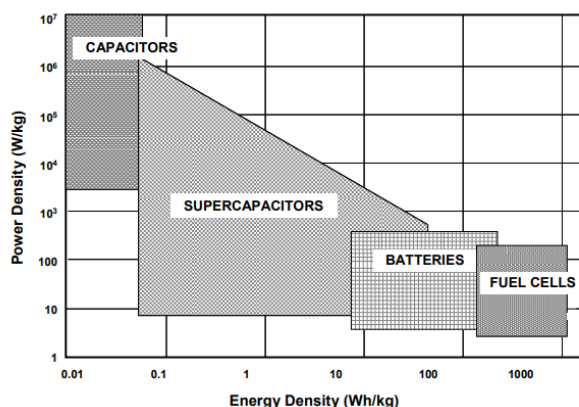
Superkapasitor merupakan salah satu devais penyimpan energi yang memanfaatkan nanopori karbon sebagai material penyusun elektroda untuk menghasilkan luas permukaan yang besar. Luas permukaan yang besar diperlukan untuk tempat penyimpanan muatan yang berupa ion-ion elektrolit (Rosi et al, 2013). Luas permukaan elektroda pada superkapasitor dapat diperbesar karena *range* dari jarak antara layer superkapasitor berada pada skala nanometer, sehingga didapat suatu kapasitansi yang besar untuk ukuran devais yang sama dengan kapasitor konvensional (Conway, 1999).

Konstruksi superkapasitor terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan dengan separator semi permeabel yang memungkinkan pergerakan ion-ion elektrolit di antara kedua permukaan elektroda (Pandolfo et al, 2006). Superkapasitor bekerja berdasarkan prinsip dari kapasitansi dua lapisan pada permukaan elektroda/elektrolit di mana listrik diisi dengan mengakumulasi di permukaan elektroda dan ion-ion dari seberang akan mengisi pada permukaan elektrolit (Kötz & Carlen, 1999).



Gambar 11. Konstruksi superkapasitor
(<https://www.murata.com/en-eu/products/emiconfun/capacitor/2015/03/24/20150324-p1>)

Superkapasitor memiliki siklus hidup yang lama yaitu lebih dari 500,000 siklus (Zhou, 2015). Superkapasitor menempati wilayah antara kapasitor konvensional dan baterai (Halper & Ellenbogen, 2006). Baterai mampu dalam menyediakan energi yang besar, namun kurang dalam hal kerapatan daya. Superkapasitor menyediakan kerapatan daya yang besar dan kurang dalam menyimpan energi dibandingkan baterai, hal ini diperlihatkan pada Gambar 12 yang merupakan gambar perbandingan antara kerapatan daya dan kerapatan energi untuk beberapa media penyimpan energi (Halper & Ellenbogen, 2006; Lele & Arora, 2018).



Gambar 12. Perbandingan kerapatan energi terhadap kerapatan daya (Halper & Ellenbogen, 2006; Lele & Arora, 2018)

1. Perbedaan antara Superkapasitor, Kapasitor dan Baterai

Superkapasitor dikenal juga dengan ultrakapasitor. Superkapasitor memanfaatkan material permukaan elektroda yang besar dan penyekat elektroda yang tipis untuk mendapatkan kapasitansi yang lebih besar dari kapasitor konvensional biasa (Zubieta & Bonert, 2000).

Superkapasitor memiliki keunggulan dibandingkan dengan baterai, keunggulan tersebut di antaranya adalah *life cycle* yang lebih panjang, impedansi yang rendah, waktu *charge* dan *discharge* yang cepat dan memiliki rating *charge* dan *discharge* yang tinggi. Namun, superkapasitor juga memiliki kekurangan, superkapasitor memiliki tegangan yang rendah dibandingkan dengan baterai, *self-discharge* yang tinggi dan memerlukan kontrol elektronik yang rumit (Nugroho, 2011).

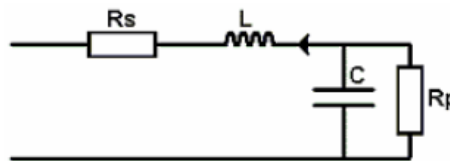
Seperti pada baterai, superkapasitor memiliki sebuah penyekat di dalamnya, memisahkan bagian pelat-pelatnya, di mana ini lebih mirip pada baterai daripada dielektrik pada kapasitor konvensional. Superkapasitor tidak bergantung pada pengaruh kimia sehingga bersifat *reversible* dan memiliki hingga ratusan ribu siklus pengisian (Buchmann, 2010). Perbandingan antara kapasitor konvensional, baterai dan superkapasitor (Zhang et al, 2009) diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan baterai, kapasitor konvensional dan superkapasitor (Zhang et al, 2009)

Basis	Battery	Electrostatic Capacitor	Supercapacitor
Discharging time	0.3-3 hrs	10^{-3} - 10^{-6} s	0.3-30 s
Charging time	1-5 hrs	10^{-3} - 10^{-6} s	0.3-30 s
Energy density (Wh/kg)	10-100	<0.1	1-10
Specific Power (Wh/kg)	50-200	>10,000	≈1000
Charge-discharge efficiency	0.7-0.85	≈1	0.85-0.98
Number of cycles	500-2000	>500,000	>100,000

2. Rangkaian Ekuivalen Superkapasitor

Karakteristik elektrik dari sebuah superkapasitor adalah lebih kompleks dari sebuah kapasitor konvensional. Kapasitor konvensional yang ideal menyimpan dan mengubah semua energi tanpa adanya rugi-rugi (Faranda, Gallina & Son, 2007). Namun sebenarnya kapasitor konvensional akan mengalami rugi-rugi berdasarkan tahanan dalam dan arus bocor. Rangkaian ekuivalen untuk kapasitor konvensional dapat juga diterapkan pada superkapasitor. Bentuk asli dari rangkaian ekuivalen superkapasitor diperlihatkan pada Gambar 13 (Tallner & Lannetoft, 2005).

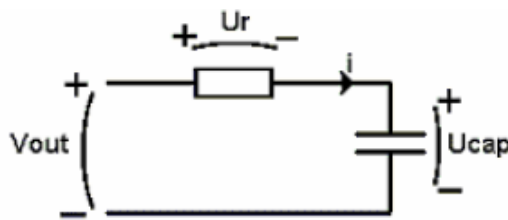


Gambar 13. Rangkaian ekuivalen superkapasitor (Tallner & Lannetoft, 2005)

Rangkaian tersebut terdiri dari 4 elemen rangkaian ideal, kapasitansi dalam (C), sebuah tahanan seri R_s (ESR), tahanan paralel (R_p) dan induktor (L). Tahanan seri (ESR) memberikan rugi energi selama pengisian dan pengosongan. Tahanan paralel (R_p) membuat rugi energi berdasarkan pengosongan kapasitor itu sendiri. Komponen terakhir, sebuah induktor kecil (L) merupakan hasil dari konstruksi fisik dari superkapasitor.

Tahanan paralel (R_p) sangat mungkin bisa diabaikan karena pada waktu percobaan berlangsung R_p sangat kecil dibandingkan waktu

pengosongan superkapasitor sendiri dan juga arus pengisian dan pengosongan superkapasitor hanya berasal dari sumber DC, maka induktor (L) juga bisa diabaikan. Hasil dari rangkaian ekuivalen yang lebih sederhana dari superkapasitor diperlihatkan pada Gambar 14 (Tallner & Lannetoft, 2005).



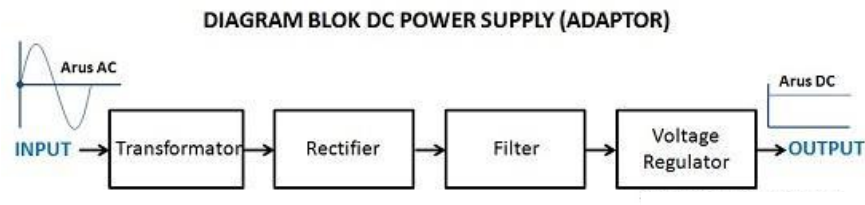
Gambar 14. Rangkaian ekuivalen superkapasitor yang disederhanakan (Tallner & Lannetoft,2005)

D. DC Power Supply

Catu daya DC atau *DC power supply* adalah suatu perangkat elektronika yang mengubah arus listrik bolak-balik (AC) menjadi arus listrik searah (DC). Dalam dunia elektronika, catu daya menjadi bagian terpenting yang berfungsi sebagai sumber tenaga listrik. Selain itu, catu daya juga dapat digunakan sebagai pemasok energi listrik untuk satu atau lebih beban listrik.

Sebuah *DC power supply* pada dasarnya memiliki 4 komponen utama yaitu transformator, *rectifier*, *filter* dan *voltage regulator*. Transformator yang digunakan pada *DC power supply* adalah *step down transformer* yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan elektronika yang terdapat pada rangkaian *DC power supply*. Penyearah gelombang (*rectifier*) berfungsi untuk mengubah gelombang AC menjadi gelombang DC setelah tegangannya diturunkan

oleh transformator. Penyaring (*filter*) berfungsi untuk meratakan atau membuang riak gelombang hasil penyearahan gelombang AC dari transformator oleh dioda penyearah. *Voltage regulator* berfungsi untuk mengatur tegangan *output* agar stabil dan tidak terpengaruh oleh suhu, arus beban, dan tegangan *input* yang berasal dari *output filter*. Gambar 15 memperlihatkan blok diagram *DC power supply* dan Gambar 16 menunjukkan gambar pencatu daya *DC/DC power supply*.



Gambar 15. Blok diagram *DC power supply*
 (Sumber: <https://teknikelektronika.com/prinsip-kerja-dc-power-supply-adaptor/>)



Gambar 16. *DC power supply*/catu daya DC

Tabel 2. Spesifikasi *DC power supply*

Merk	Prottek PL-3005S
Tegangan	0 ~ 30Vdc
Arus	0 ~ 5A

E. Penurun Tegangan DC

Modul LM2596 merupakan sebuah konverter DC yang berfungsi merubah daya listrik searah (DC) tetap menjadi daya listrik DC yang dapat diatur/dikendalikan. Ada beberapa jenis konverter DC-DC antara lain *Boost Converter* untuk menaikkan tegangan, *Buck Converter* untuk menurunkan tegangan, *Buck-Boost Converter* untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Modul LM2596 merupakan konverter berupa *Buck Converter*.

Terkadang saat pengerjaan rangkaian elektronika atau modul-modul mikrokontroler terdapat perbedaan tegangan kerja antar modul sehingga membutuhkan sebuah modul regulator untuk menyesuaikan tegangannya. Modul LM2596 ini dapat digunakan untuk mengatasi perbedaan tegangan kerja yang dibutuhkan dengan tegangan yang tersedia yaitu dengan menurunkan tegangan ke tegangan yang lebih rendah.

Modul LM2596 dibuat dari bahan solid kapasitor dan PCB yang berkualitas untuk menjamin kualitas tegangan yang dibutuhkan. Pada Modul LM2596 dilengkapi juga dengan potensiometer yang digunakan untuk menyesuaikan tegangan output yang diinginkan. Perhatikan pada tanda input dan output, serta polaritas positif dan negatif jangan sampai terbalik karena akan merusak modul. Gambar 17 merupakan gambar modul LM2596.



Gambar 17. Modul *step down* DC LM2596
(Sumber: www.jogjarobotika.com)

Tabel 3. Spesifikasi modul *step down* DC LM2596

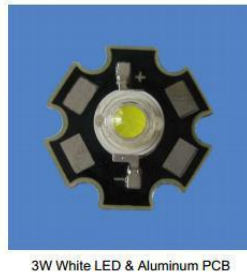
<i>Input voltage</i>	DC 3V-40V
<i>Output voltage</i>	DC 1.5V-35V (tegangan output harus lebih rendah dengan selisih minimal 1.5V)
Arus max	3 A
Ukuran <i>board</i>	42 mm x 20 mm x 14 mm

F. HPL (*High Power LED*)

High Power LED adalah salah satu jenis LED yang memancarkan cahaya dengan arus tinggi. LED dengan daya rendah umumnya memiliki daya 0.1 W dan beroperasi dengan arus sebesar 20 mA, tetapi daya *High Power LED* dapat mencapai 1W, 2W bahkan sampai 10W dan beroperasi dengan rentang arus berkisar 10 mA sampai beberapa ratus miliampere. Karena kendala efisiensi konversi fluks dan biayanya yang tinggi, *High Power LED* umumnya digunakan dalam beberapa pencahayaan khusus hanya untuk jangka pendek dan tujuan jangka panjang untuk pencahayaan umum.

Keuntungan menggunakan *High Power LED* yaitu konsumsi daya yang rendah, sedikit menghasilkan panas, panjang umur hidupnya, respon yang cepat, arah sebaran yang baik dan lain sebagainya. Sedangkan kelemahan *High Power LED* adalah efisiensi konversi dari arus ke cahaya masih rendah dan biayanya yang tinggi. Pada *High Power LED* telah

dituliskan terminal positif dan negatifnya, sehingga mempermudah pengguna saat merangkai. Tegangan kerja untuk HPL (*High Power LED*) tergantung pada warna dan daya yang dibutuhkan.



Gambar 18. *High Power LED* 3 W dan pendingin
(Sumber: www.wayjun.com)

G. Persamaan Linear

Persamaan linear adalah sebuah persamaan aljabar, yang setiap sukunya mengandung konstanta atau perkalian konstanta dengan variabel tunggal. Suatu persamaan dikatakan linear karena hubungan matematisnya dapat digambarkan sebagai garis lurus dalam sistem koordinat kartesius. Bentuk umum persamaan linear adalah: $y = mx + c$. Di mana m adalah gradien garis dan c adalah titik potong garis dengan sumbu y .

1. Gradien garis

Gradien garis adalah kemiringan garis. Nilai gradien menunjukkan seberapa miring sebuah garis. Semakin besar nilai gradien, garisnya akan semakin curam dan semakin kecil nilai gradien, garisnya akan semakin landai.

a. Gradien garis yang melalui dua titik

Apabila sebuah titik melalui dua garis (x_1, y_1) dan (x_2, y_2) maka gradiennya bisa dicari dengan persamaan (19):

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (19)$$

b. Gradien garis dari persamaan garis

- Persamaan garis dengan bentuk $y = mx$ atau $y = mx + c$, gradiennya adalah m yaitu koefisien x .
- Persamaan garis dengan bentuk $ax + by + c = 0$, gradiennya bisa dicari dengan persamaan (20):

$$m = -\frac{a}{b} \quad (20)$$

c. Hubungan gradien dua garis

- Jika dua buah garis sejajar, maka gradien kedua garis tersebut adalah sama ($m_1 = m_2$).
- Jika dua buah garis berpotongan tegak lurus maka gradiennya adalah -1 yang merupakan hasil perkalian kedua gradien garis tersebut ($m_1 \times m_2 = -1$).

2. Menentukan Persamaan Garis

a. Persamaan garis yang melalui titik (x_1, y_1) dan bergradien m

Rumus menentukan persamaan garis melalui titik (x_1, y_1) dan bergradien m adalah pada persamaan (21):

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (21)$$

b. Persamaan garis melalui dua titik

Rumus untuk menentukan persamaan garis melalui dua titik merupakan perluasan dari persamaan (21). Gradien (m) dapat kita peroleh dari rumus gradien garis yang melalui dua titik yaitu pada persamaan (19).

Lalu m pada persamaan (21) di substitusi dengan persamaan (19), akan menjadi persamaan (22):

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (22)$$

Setelah disederhanakan akan diperoleh persamaan (23):

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (23)$$