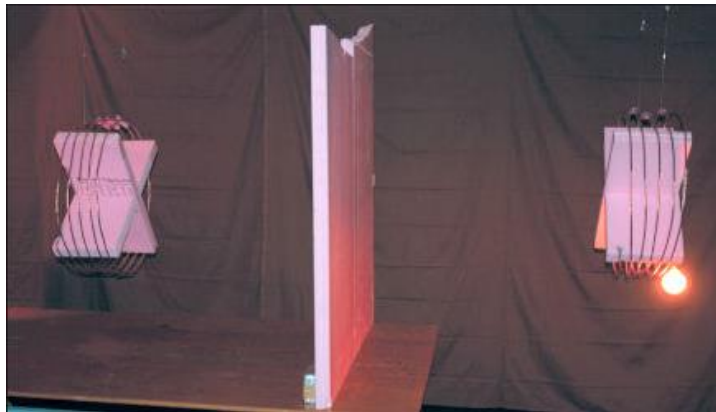


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transfer Energi Listrik Tanpa Kabel

Transfer energi listrik tanpa kabel adalah proses transmisi energi listrik dari satu tempat ke tempat lain melalui media udara tanpa menggunakan kabel. Transfer energi listrik tanpa kabel memanfaatkan dua rangkaian kumparan dimana salah satu rangkaian kumparan berperan sebagai pengirim (*transmitter*) dan kumparan lain sebagai penerima (*receiver*).

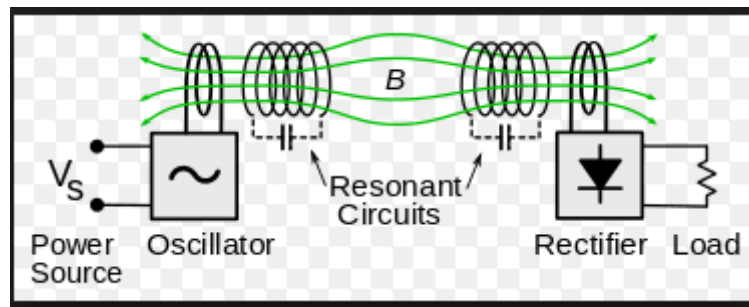


Gambar 2.1 Percobaan Transfer Energi Tanpa Kabel

(sumber : <http://www.gazettenucleaire.org/~resol/Autres/electricitesansfil2007.html> diakses pada 25 Juli 2016, pukul 23.58 WIB)

Dengan transfer energi listrik tanpa kabel, energi listrik bisa ditransmisi dengan memanfaatkan metode induktif *coupling* untuk jarak yang pendek, resonansi induksi untuk jarak yang menengah, dan gelombang elektromagnetik untuk jarak jauh.

(sumber : Rahman, Syed, dkk. 2014. *Design And Construction of Wireless Power Transfer System Using Magnetic Resonant Coupling*. American Journal of Electromagnetics and Applications, 2 (2): 11 - 15)



Gambar 2.2 Skema sederhana transfer energi tanpa kabel dengan prinsip resonansi induktif (sumber: <http://www.gazettenucleaire.org/~resosol/Autres/electricitesansfil2007.html> diakses pada 25 Juli 2016, pukul 23.58 WIB)

Transfer energi listrik tanpa kabel menggunakan metode resonansi induktif merupakan transfer energi listrik tanpa kabel untuk jarak menengah. Metode ini bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetik, apabila sumber tegangan menyalurkan arus bolak-balik (AC) ke rangkaian kumparan pengirim maka kumparan pengirim akan menghasilkan medan magnetik di sekeliling kumparan. Medan magnet pada kumparan akan menciptakan garis-garis gaya medan magnetik. Kumparan pengirim yang menghasilkan medan magnet kemudian menginduksi (induksi bersama) kumparan penerima dengan syarat kumparan penerima harus berada di area garis gaya medan magnetik kumparan pengirim. Hasil induksi bersama menghasilkan medan magnet di kumparan penerima dan arus listrik juga mengalir di kumparan penerima.

Pada rangkaian pengirim terjadi perubahan nilai tegangan sehingga menimbulkan perubahan medan listrik yang mengalir di rangkaian pengirim. Perubahan medan listrik terhadap waktu akan menimbulkan perubahan garis medan magnet di sekitar kumparan pengirim. Perubahan nilai medan magnet pada kumparan pengirim menciptakan berubahnya medan yang diinduksi pada kumparan penerima. Perubahan tersebut menghasilkan perubahan medan magnet di kumparan penerima. Medan magnet pada kumparan penerima yang berubah-ubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik dan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian kumparan penerima.

(sumber : Kesler, Dr. Moris.2013. *Highly Resonant Power Transfer: Safe, Efficient, and Over Distance*. Witricity Corporation)

2.1.1 Gaya Gerak Listrik (GGL)

Gaya gerak listrik (GGL) adalah suatu kemampuan untuk membuat kedua ujung sebuah logam yang diletakkan dalam medan listrik memiliki beda potensial yang tetap harganya. Prosesnya adalah sebagai berikut, apabila sebatang logam diletakkan dalam medan listrik, maka elektron bebas akan mendapat gaya medan listrik. Akibatnya elektron bebas terkumpul pada salah satu ujung logam, maka ujung logam yang lain menjadi positif.

Selanjutnya dalam logam akan muncul medan listrik induksi. Makin banyak muatan induksi yang terkumpul pada ujung logam, maka makin besar pula kuat medan listrik induksinya. Akhirnya kuat medan listrik induksi akan sama dengan kuat medan listrik dari luar. Pada keadaan ini potensial listrik pada kedua ujung logam akan sama besar, sehingga elektron bebas akan berhenti mengalir.

GGL juga didefinisikan sebagai kerja (dW) yang dilakukan untuk memindahkan pengangkut-pengangkut muatan (dq) dalam medan listrik. Jika GGL dilambangkan dengan ϵ , maka dapat dinyatakan dengan :

$$\epsilon = \frac{dW}{dq} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: ϵ = Gaya gerak listrik (Joule/ coulumb)

Apabila gaya gerak listrik ini terjadi pada suatu kumparan maka terdapat beda potensial diantara ujung-ujung kumparan menyebabkan timbulnya arus listrik yang mengalir pada kumparan tersebut, dimana dalam hukum ohm dijelaskan bahwa tegangan berbanding lurus terhadap arus listrik dikalikan dengan tahanan, persamaannya adalah sebagai berikut.

$$V = I.R \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan : V = Tegangan listrik (volt)

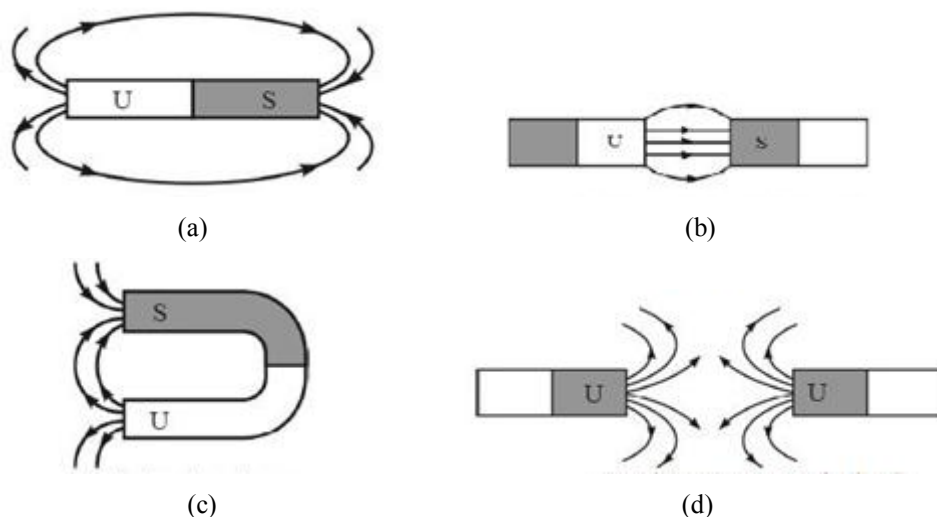
I = Arus Listrik (A)

R = Tahanan (Ω)

(sumber: Karim, Saeful dan Sunardi. 2006. *Penentuan Elektromotansi Termal Beberapa Jenis Termokopel dengan Pasangan Logam yang bervariasi*. Jurnal Pengajaran MIPA, Vol. 8 No. 25: 17 - 19.)

2.1.2 Garis Gaya Magnet (GGM)

Garis gaya magnet (GGM) adalah arah medan magnet yang berupa garis-garis yang menghubungkan kutub-kutub magnet. Setiap magnet memiliki kutub magnet yang saling berlawanan, yaitu kutub utara (U) dan kutub selatan (S), yang keduanya memiliki energi untuk menarik sekeping besi atau semacamnya. Sama halnya dengan muatan listrik, kutub yang senama saling tolak-menolak dan kutub yang berlawanan saling tarik-menarik. Daerah di antara kutub utara dan kutub selatan disebut medan magnet. Medan magnet memiliki energi untuk menarik sekeping logam atau semacamnya. Medan magnet tersusun dari garis-garis yang keluar dari kutub utara menuju kutub selatan, demikian arah medan magnet juga dari kutub utara ke kutub selatan. Semakin kuat kemagnetan, semakin banyak jumlah garis gaya magnetnya.



Gambar 2.3 (a) Arah garis gaya magnet batang, (b) Arah garis gaya dua kutub magnet yang tidak sejenis, (c) Arah garis-garis gaya magnet U, (d) Arah garis gaya dua kutub magnet yang sejenis.

(Sumber: <http://fisikazone.com/gejala-kemagnetan-dan-cara-membuat-magnet/garis-gaya-magnet/>, diakses pada Selasa, 28 Juni 2016, pukul 08:00 WIB)

Jumlah garis gaya magnet yang keluar dari kutub utara suatu magnet disebut fluks magnet (*magnetic flux*), yang dinyatakan dengan simbol π (phi). Satuan internasional untuk fluks magnet adalah *Weber* (Wb). Satu Weber sama dengan 10^8 garis gaya magnet. Satuan cgs untuk fluks magnet adalah Maxwell. Satu Maxwell sama dengan 10^{-8} Weber.

(sumber: Nugroho, Wahyudianto Bagus, dkk.. 2014. *Kajian Teknis Gejala Magnetisasi pada Linier Generator untuk Alternatif Pembangkit Listrik*. Jurnal TEKNIK POMITS, Vol. 3 No. 1: 96 - 98.)

Gaya yang timbul akibat interaksi kawat berarus listrik di dalam medan magne disebut Gaya Lorentz. Besarnya gaya ini ditentukan oleh 3 hal, yaitu besarnya arus yang mengalir pada kawat, panjang kawat, dan besarnya medan magnet yang berada di sekitar kawat. Secara matematis, gaya Lorent (F) dirumuskan sebagai berikut.

$$F = B \cdot I \cdot \ell \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

F = gaya Lorentz (N)

I = besar arus (Ampere);

B = besarnya medan magnet (Tesla); dan

ℓ = panjang kawat (meter).

Kuat medan magnet untuk kawat melingkar dapat dihitung dengan persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2a} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

B : Kuat medan magnet (T)

a : Jari-jari lingkaran yang terbentuk oleh kawat (m)

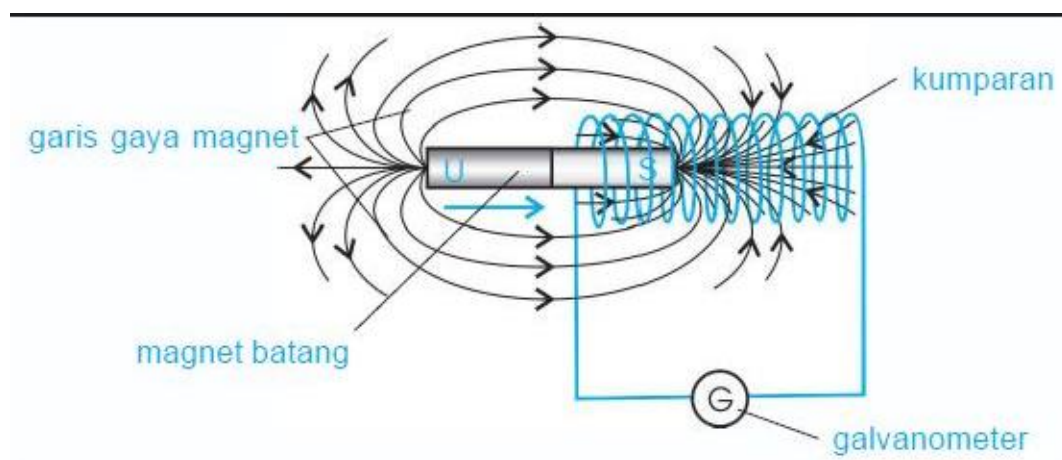
i : Kuat arus listrik (A)

μ_0 : Permeabilitas adalah ukuran kemampuan bahan untuk membentuk medan magnet di dalamnya ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m).

(sumber: <http://fisikastudycenter.com/rumus-fisika/269-rumus-kuat-medan-magnetik>, diakses pada Rabu, 13 Juli 2016, pukul 13.00 WIB)

2.1.3 Konversi GGL ke GGM dan GGM ke GGL

Kemagnetan dan kelistrikan merupakan dua gejala alam yang prosesnya dapat dibolak-balik. Tahun 1821, Michael Faraday (1791-1867) membuktikan bahwa perubahan medan magnet dapat menimbulkan arus listrik melalui percobaan sederhana yaitu menggerakkan magnet masuk dan keluar terhadap suatu kumparan, maka akan terbentuk garis-garis gaya magnet dan galvanometer akan mengukur arus listrik pada kawat tersebut, seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Percobaan Faraday.

(sumber : <http://www.berpendidikan.com/2015/10/gaya-gerak-listrik-ggl-induksi-pada-kumparan-oleh-faraday.html> diakses Selasa, 28 Juni 2016 pukul 08:17 WIB)

(sumber : Hanenergini, Sri. 2009. *Jendela Iptek : Energi*. PT Balai Pustaka: Jakarta)

Selanjutnya, untuk membuktikan bahwa GGL dapat menimbulkan GGM, Hans Christian Oersted (1777- 1851) melakukan percobaan sebagai berikut.



Gambar 2.5 (a) Percobaan Oestred Untuk Membuktikan GGL dapat Menimbulkan GGM
 (Sumber: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308233-S42660-Potensi%20medan.pdf> diakses
 Selasa, 28 Juni 2016 pukul 08:45 WIB)

Pada gambar 2.5 (a) saat kawat tidak dialiri arus jarum kompas pada posisi sejajar dengan kawat.



Gambar 2.5 (b) Percobaan Oestred Untuk Membuktikan GGL dapat Menimbulkan GGM
 (Sumber: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308233-S42660-Potensi%20medan.pdf> diakses
 Selasa, 28 Juni 2016 pukul 08:45 WIB)

Pada Gambar 2.5 (b) saat arus listrik dialiri dari kutub selatan ke kutub utara, maka jarum magnet menyimpang ke kanan.



Gambar 2.5 (c) Percobaan Oestred Untuk Membuktikan GGL dapat Menimbulkan GGM
(Sumber: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308233-S42660-Potensi%20medan.pdf> diakses
Selasa, 28 Juni 2016 pukul 08:45 WIB)

Pada Gambar 2.5 (c) saat arus listrik dialiri dari kutub utara ke kutub selatan, maka jarum magnet menyimpang ke kiri.

Penyimpangan kutub magnet tersebut menunjukkan adanya medan magnet di sekitar kawat beraliran arus listrik.

(sumber : Nugroho, Arie Prasetyo, dkk..2015. *Fisika : Peminatan Matematika dan Ilmu-Ilmu Alam*. CV Mediatama : Jakarta)

Melalui kedua percobaan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa dapat dilakukan konversi dari induksi GGL menjadi GGM maupun sebaliknya. Prinsip ini digunakan pada sistem transfer energi listrik tanpa kabel, dimana terjadi perubahan dari GGL menjadi GGM pada rangkaian pengirim kemudian terjadi perubahan dari GGM ke GGL pada rangkaian penerima.

2.1.4 Induktansi Sebuah Solenoid

Induktansi yang berada pada kumparan yang berbentuk solenoid dapat dihitung hubungan fluks yang dibangkitkan oleh arus yang diberikan dalam gulungan solenoid. Hubungan fluks untuk bagian solenoid tersebut adalah sebagai berikut.

$$\Phi_B = (NI)(BA) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dengan magnitudo B diberikan oleh:

$$B = \mu_0 \cdot I \cdot N \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan demikian, induktansi persatuan panjang dekat pusat solenoid panjang adalah sebagai berikut.

$$\frac{L}{l} = \mu_0 \cdot N^2 \cdot A \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

Φ_B : Fluks magnetik (Weber)

N : Jumlah lilitan

L : Induktansi (H)

B : Kuat Medan magnet (T)

A : Luas Penampang (m^2)

μ_0 : Permeabilitas adalah ukuran kemampuan bahan untuk membentuk medan magnet di dalamnya ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m).

(sumber: Paul A. Tipler. 2001. Fisika Edisi 3 Jilid 2. Jakarta. Hal : 298. Penerbit Erlangga)

2.1.5 Induktansi Bersama

Induktansi bersama adalah arus yang berubah-ubah dalam sebuah kumparan menginduksi kumparan lain yang berada dalam medan magnet yang ditimbulkannya. Interaksi magnetik diantara dua kawat yang mentransfer arus tetap dimana arus pada suatu kumparan menimbulkan medan magnet yang memberikan gaya pada arus dalam kumparan lainnya. Arus yang mengalir dalam kumparan membentuk fluks magnetik B dan menginduksi kumparan lainnya yang berada dalam daerah fluks magnetik B. Menurut hukum Faraday, perubahan fluks ini dapat magnetik ini dapat mengalirkan arus di kumparan lainnya. Adapun hukum Faraday adalah sebagai berikut.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

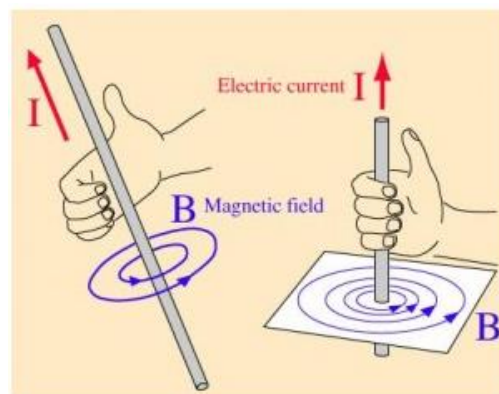
ε : GGL induksi (V)

N : Banyak lilitan

$\Delta\Phi_B$: Perubahan Fluks Magnetik (Weber)

Δt : Selang waktu (s)

Tanda negatif pada N sesuai dengan hukum Lenz yang mengatakan efek induksi cenderung melawan perubahan yang menyebabkannya. Dengan aturan tangan kanan dapat diketahui arah medan listrik terhadap arah arus listrik. Caranya sederhana yaitu dengan mengacungkan jari jempol tangan kanan sedangkan keempat jari lain menggenggam. Arah jempol adalah arah arus dan arah ke empat jari lain adalah arah medan listrik yang mengitarinya.



Gambar 2.6 Kaidah Tangan Kanan

(Sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/definisi-dan-prinsip-kerja-induktor/> diakses pada Rabu 10 Agustus 2016 pukul 13:37 WIB)

Jika arah arusnya berlawanan, kedua kawat tembaga tersebut saling menjauh. Tetapi jika arah arusnya sama ternyata keduanya berdekatan saling tarikmenarik. Hal ini terjadi karena adanya induksi medan listrik. Dikenal medan listrik dengan simbol B dan satuannya Tesla (T).

(Sumber : <http://fisikazone.com/hukum-lenz/> diakses pada Rabu, 10 Agustus 2016, pukul 13:54 WIB)

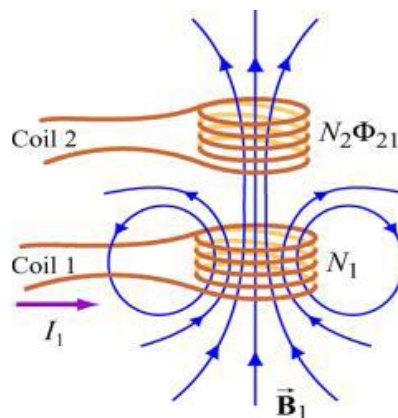
2.1.6 Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik

Resonansi induktif medan elektromagnetik digunakan untuk meningkatkan *bandwith* gelombang medan elektromagnetik dengan menggunakan frekuensi yang sama antara sinyal pengirim dan sinya penerima sehingga jarak pengirim energi listrik tanpa kabel menjadi lebih jauh dengan efisiensi daya yang lebih tinggi.

(sumber : Soljac Marin, dkk. 2007. *Wireless Power Transfer via Strongly Magnetic Resonance*. SCIENCE Journal, Vol. 317, Cambridge, Massachusetts, USA)

Resonansi bersama adalah dua sistem dengan frekuensi resonansi yang sama akan menghasilkan resonansi magnetik yang kuat dan membentuk sebuah sistem resonansi magnetik. Satu resonator dapat dihubungkan dengan pasokan listrik terus-menerus untuk berperan sebagai sumber energi dan yang lainnya mengkonsumsi energi, sehingga sistem pengiriman energi ini dapat terwujud.

(Sumber : Supriyanto, Toto dan Asri Wulandari. 2015. *Rancang Bangun Wireless Power Transfer (WPT) Menggunakan Metode Multi-Magnetik Resonator Coupling*. Jurnal POLITEKNOLOGI Vol. 14 No. 2 ,Mei 2015)

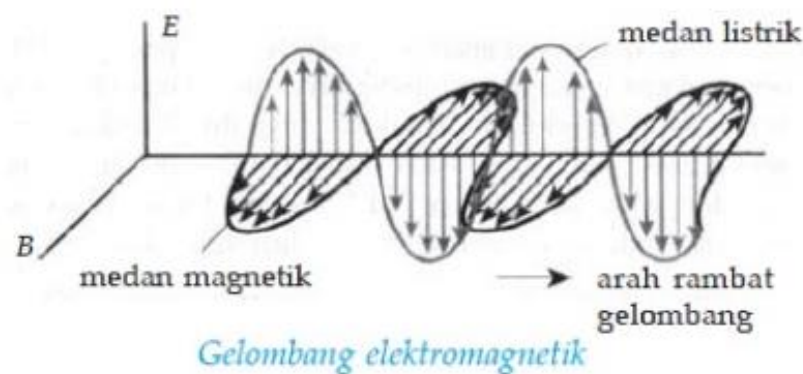


Gambar 2.7 Prinsip Resonansi Bersama

(sumber: Panggabean, Berri, dkk. 2014. *Perancangan Sistem Transfer Energi Secara Wireless dengan menggunakan Teknik Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik*. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung.)

Gambar 2.7 menunjukkan prinsip kerja resonansi bersama. Apabila suatu kumparan dengan nilai frekuensi resonansi tertentu dialiri arus listrik sebesar I_1 , maka pada kumparan tersebut akan terbentuk medan magnet sebesar B_1 . Jika kumparan lain (kumparan kedua) yang memiliki frekuensi resonansi yang sama atau mirip dengan kumparan pertama, diletakkan dalam medan magnet ini maka kumparan kedua tersebut akan terinduksi dan arus juga akan mengalir pada kumparan tersebut.

Medan elektromagnetik itu sendiri merupakan bidang energi yang dapat memberikan energi untuk digunakan dalam proses terjadinya aliran listrik. Medan magnet aman dan lebih sesuai untuk digunakan sebagai media pengiriman energi dalam perpindahan energi resonansi secara magnetis. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walaupun tidak ada medium dan terdiri dari medan listrik dan medan magnetik.



Gambar 2.8 Gelombang Elektromagnetik

(Sumber :<http://fisikazone.com/hipotesis-maxwell/hipotesis-maxwell/> diakses Selasa 28 Juni 2016, pukul 09:55 WIB)

Gelombang elektromagnetik mengandung energi. Energi dari gelombang elektromagnetik itu secara terus menerus dikonsumsi. Jika terdapat suatu medan magnetik non-radiasi dengan frekuensi resonansi tertentu, kumparan pengirim akan terus mengumpulkan energi, tegangan penerima akan naik, dan energi yang diterima dapat disalurkan ke beban setelah dikonversi dengan rangkaian tambahan (penyearah).

(sumber : H. Hayt, William, *Elektromagnetika*, Jakarta :Erlangga)

2.2 Rangkaian Pengirim (*Transmitter*)

Rangkaian pengirim adalah gabungan dari beberapa komponen yang berfungsi untuk mengirimkan energi listrik menuju rangkaian penerima, tanpa perantara kabel. Rangkaian pengirim pada sistem transfer energi listrik tanpa kabel dihubungkan dengan pasokan listrik 220 volt AC. Rangkaian pengirim terdiri atas beberapa rangkaian yaitu transformator *step-down*, rangkaian

penyearah (*rectifier*), rangkaian penguat AC, dan kumparan pengirim (*transmitter coil*).

2.2.1 Transformator *Step-Down*



Gambar 2.9 Transformator *Step-Down*

(Sumber : <http://www.berpendidikan.com/2015/10/macam-macam-dan-ciri-ciri-transformator-trafo-step-up-step-down.html> dikases Rabu, 29 Juni 2016 pukul 00:53 WIB)

Transformator *step-down* disebut juga trafo penurun tegangan berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik agar menghasilkan tegangan yang dibutuhkan oleh proyek elektronika. Ciri-ciri trafo *step-down* adalah sebagai berikut.

- Jumlah kumparan primer selalu lebih besar dari lilitan kumparan sekunder ($N_p > N_s$).
- Tegangan primer selalu lebih besar dari tegangan sekunder ($V_p > V_s$).
- Kuat arus primer selalu lebih kecil dari kuat arus sekunder ($I_p < I_s$).

(sumber : Wijaya, Agung. 2008. *IPA TERPADU*. Grasindo : Jakarta)

Hubungan antara tegangan, jumlah lilitan dan arus yang mengalir dituliskan dalam persamaan berikut.

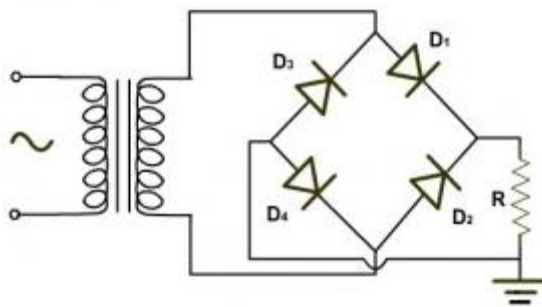
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \dots\dots\dots (2.9)$$

(Sumber : Prasodjo, Budi, dkk..2007.*Fisika : Teori dan Aplikasi*. Yudhistira: Jakarta)

2.2.2 Rangkaian Penyearah (*Rectifier*)

Rectifier atau disebut dengan penyearah gelombang adalah suatu bagian dari rangkaian catu daya yang berfungsi sebagai pengubah sinyal AC (*Alternating Current*) menjadi sinyal DC (*Direct Current*).

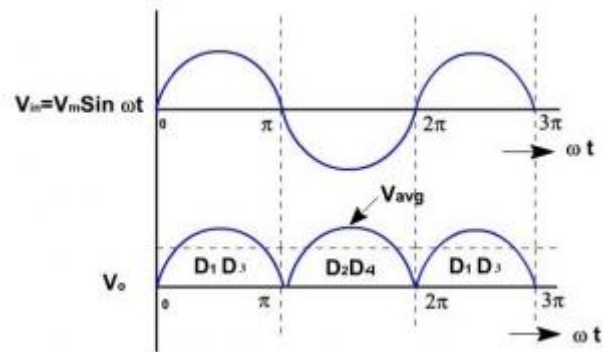
Terdapat berbagai macam penyearah yang telah dikenal luas, salah satunya adalah penyearah gelombang penuh (*Full Wave Rectifier*). Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 dioda adalah jenis *rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian catu daya karena memberikan kinerja yang lebih baik dari jenis penyearah lainnya. Penyearah Gelombang Penuh 4 dioda ini juga sering disebut dengan *Bridge Rectifier* atau Penyearah Jembatan.



Gambar 2.10 Penyearah Gelombang Penuh

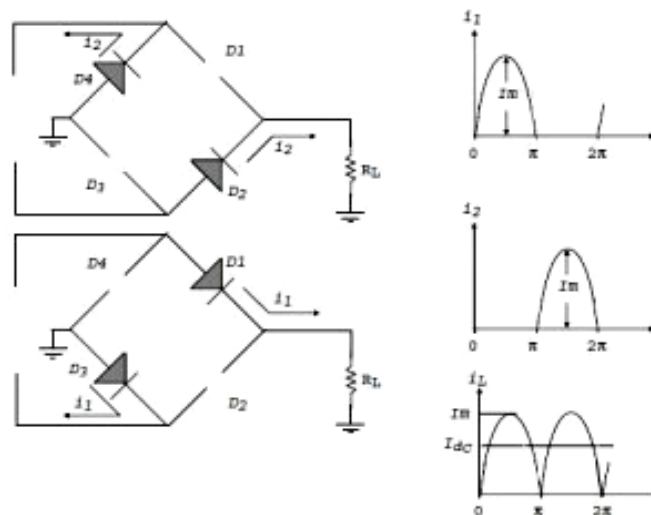
(Sumber :<http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/> diakses pada Rabu 29 Juni 2016 pukul 01:34 WIB)

Berdasarkan gambar 2.10, jika transformer mengeluarkan tegangan output sisi sinyal positif (+) maka tegangan output maka D1 dan D4 akan berada dalam kondisi *forward* bias sehingga melewati sinyal positif tersebut sedangkan D2 dan D3 akan menghambat sinyal sisi negatifnya. Kemudian pada saat output transformer berubah menjadi sisi sinyal negatif (-), maka D2 dan D3 akan berada dalam kondisi *forward* bias sehingga melewati sinyal sisi positif (+) tersebut sedangkan D1 dan D4 akan menghambat sinyal negatifnya. Berikut adalah gambar sinyal hasil penyearah gelombang penuh.



Gambar 2.11 Bentuk Sinyal Hasil Penyearah Gelombang Penuh

(sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/>
diakses pada Rabu 29 Juni 2016 pukul 01:34 WIB)

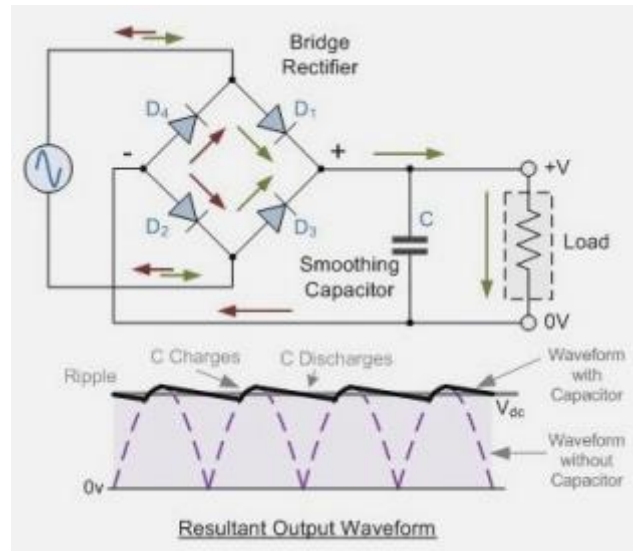


Gambar 2.12 Proses Penyearah Gelombang Penuh

(Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/>
diakses pada Rabu 29 Juni 2016 pukul 01:34 WIB)

Arah arus i_1 dan i_2 yang melewati R_L sebagaimana terlihat pada gambar 2.12 penyearah gelombang penuh dengan sistem jembatan adalah sama, yaitu dari ujung atas R_L menuju *ground*. Dengan demikian arus yang mengalir ke beban (i_L) merupakan penjumlahan dari dua arus i_1 dan i_2 , dengan menempati paruh waktu masing-masing.

Agar tegangan penyearahan gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC maka dipasang filter kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah seperti terlihat pada gambar 2.13 sebagai berikut.



Gambar 2.13 Penyearah Dilengkapi Filter Kapasitor

(Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/> diakses pada Rabu 29 Juni 2016 pukul 01:34 WIB)

Fungsi kapasitor pada rangkaian diatas untuk menekan ripple yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (*Direct Current*) yang dapat diformulasikan dengan persamaan 2.10 sebagai berikut

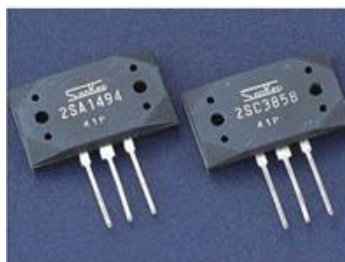
$$V_{dc} = \frac{2V_{max}}{\pi} \dots \dots \dots (2.10)$$

Kemudian untuk nilai ripple tegangan yang ada dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{ripple} = \frac{I_{load}}{fC} \dots \dots \dots (2.11)$$

2.2.3 Rangkaian Penguat AC

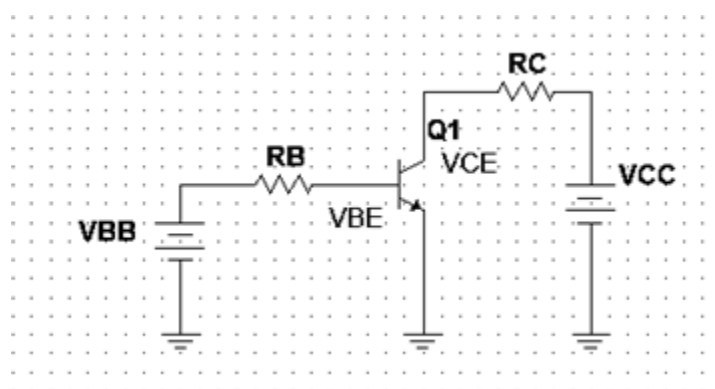
Prinsip kerja penguat AC dengan transistor adalah arus bias base-emiter yang kecil mengatur besar arus kolektor-emiter. Adapun transistor yang digunakan pada penguat terdapat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Transistor 2SA1494-2SC3858

(Sumber : <http://sanken.com/transistor-2SA1494-2SC3858-product/> diakses pada Rabu 29 Juni 2016 pukul 01:34 WIB)

Penguat *common* emitor digunakan sebagai penguat tegangan. Pada rangkaian ini, emitor ditanahkan, input adalah basis, dan output adalah kolektor.



Gambar 2.15 Rangkaian Penguat Transistor tipe *Common Emitor*

(sumber : <http://elka.fi.itb.ac.id/wp-content/uploads/Modul-5-Transistor-Sebagai-Penguat.pdf> diakses pada 25 Juli 2016 pukul 23.41 WIB)

Sifat-sifat penguat common emitor yaitu sinyal output berbeda fasa 180 derajat, memungkinkan adanya osilasi akibat *feedback*, dan untuk mencegahnya sering dipasang *feedback* negatif. Penguat tipe common emitor sering dipakai sebagai penguat audio (frekuensi rendah) dengan stabilitas penguatan rendah karena tergantung stabilitas suhu dan bias transistor.

Pada rangkaian penguat emitor ditanahkan seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.15, tegangan V_{BB} akan menyebabkan panjar maju hubungan basis dan emitor pada transistor. Mengatur arus yang masuk pada basis dapat dilakukan dengan mengatur V_{BB} dan R_B . Penentuan besar kecilnya nilai arus yang masuk

pada basis akan mempengaruhi arus yang dihasilkan pada kolektor. Arus pada basis dapat dihitung dengan persamaan 2.12 sebagai berikut.

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan nilai V_{BE} bergantung pada jenis transistor yang digunakan (untuk transistor 2SC3858, $V_{BE} = 6$ V). Arus pada kolektor ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut.

$$I_C = \beta_{DC} \times I_B \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana β_{DC} merupakan penguatan pada transistor yang digunakan (untuk transistor 2SC3858, $\beta_{DC} = 50$).

(sumber : <http://elka.fi.itb.ac.id/wp-content/uploads/Modul-5-Transistor-Sebagai-Penguat.pdf> diakses pada 25 Juli 2016 pukul 23.41 WIB)

2.2.4 Kumbaran Pengirim (*Transmitter Coil*)

Kumbaran pengirim adalah tembaga yang berbentuk solenoid dengan panjang, luas, dan diameter yang telah ditentukan untuk menginduksi kumbaran penerima. Kumbaran pengirim ini berfungsi sebagai penghasil fluks magnetik disekitar rangkaian pengirim.



Gambar 2.16 Contoh Kumbaran Pengirim

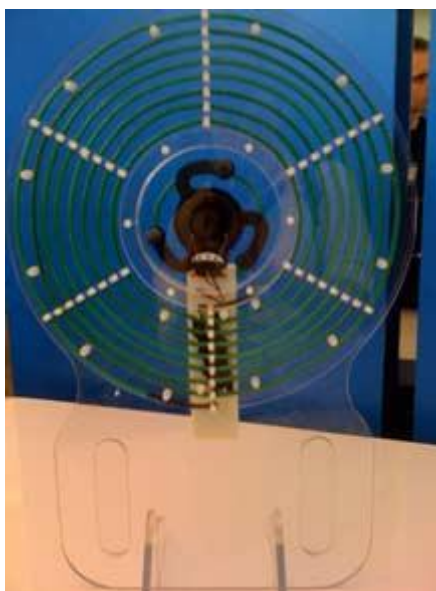
(sumber : <http://news.mit.edu/2007/wireless-0607>, diakses pada tanggal 27 April 2016 pukul 18.45 WIB)

2.3 Rangkaian Penerima (*Receiver*)

Rangkaian Penerima adalah gabungan beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi satu rangkaian dan berfungsi untuk menerima energi listrik yang ditransfer oleh rangkaian pengirim. Komponen-komponen tersebut terdiri dari kumparan penerima (*receiver coil*), rangkaian penyearah (*rectifier*), dan beban (*load*) listrik DC (*LED ARRAY 5 Watt*).

2.3.1 Kumparan Penerima (*Receiver Coil*)

Kumparan penerima adalah tembaga yang berbentuk solenoid dengan panjang, luas, dan diameter yang telah ditentukan agar bisa diinduksi oleh kumparan pengirim. Kumparan penerima ini berfungsi sebagai penerima fluks magnetik yang dihasilkan disekitar rangkaian pengirim.



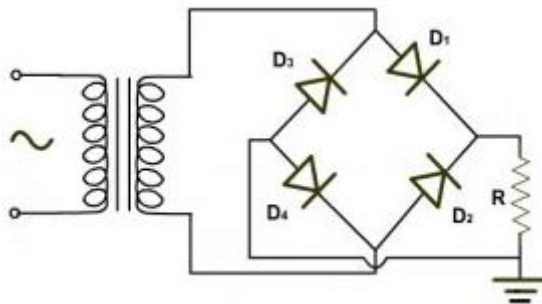
Gambar 2.17 Contoh Kumparan Penerima

(sumber : <http://news.mit.edu/2007/wireless-0607>, diakses pada tanggal 27 April 2016 pukul 18.45 WIB)

2.3.2 Rangkaian Penyearah (*Rectifier*)

Penyearah gelombang (*rectifier*) adalah bagian dari *power supply* / catu daya yang berfungsi untuk mengubah sinyal tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*). Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat

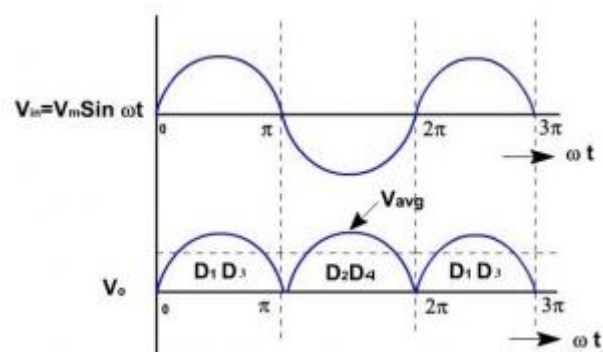
penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.18 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

(sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/>, diakses pada tanggal 10 April 2016 pukul 02.00 WIB)

Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda pada gambar 2.14 dimulai pada saat output tegangan transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi *forward* bias dan D2, D3 pada posisi *reverse* bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan di lewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka D2, D4 pada posisi *forward* bias dan D1, D2 pada posisi *reverse* bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.19 Grafik Sinyal Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

(Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/>, diakses pada tanggal 10 April 2016 pukul 02.00 WIB)

2.3.3 Konduktivitas Kawat Kumparan

Konduktivitas adalah kemudahan – kemudahan suatu material untuk meneruskan arus listrik. Satuan konduktivitas adalah (ohm meter). Konduktivitas merupakan sifat listrik yang diperlukan dalam berbagai pemakaian sebagai penghantar tenaga listrik dan mempunyai rentang harga yang sangat luas. Logam atau material yang merupakan penghantar listrik yang baik, memiliki konduktivitas listrik dengan orde 10^7 (Ω /meter) dan sebaliknya material isolator memiliki konduktivitas yang sangat rendah, yaitu antara 10^{-10} sampai dengan 10^{-20} (Ω /meter). Diantara kedua sifat ekstrim tersebut, ada material semi konduktor yang konduktivitasnya berkisar antara 10^{-6} sampai dengan 10^{-4} (Ω /meter). Berbeda pada kabel tegangan rendah, pada kabel tegangan menengah untuk pemenuhan fungsi penghantar dan pengamanan terhadap penggunaan, ketiga jenis atau sifat konduktivitas tersebut diatas digunakan semuanya.

Tabel 2.1 Konduktivitas Logam-logam Kawat Penghantar

(Sumber: <https://www.scribd.com/doc/194353382/kawat-penghantar>)

Jenis Logam	Konduktivitas (Ω /meter).
Perak (Ag)	$6,8 \times 10^7$
Tembaga (Cu)	$6,0 \times 10^7$
Emas (Au)	$4,3 \times 10^7$
Alumunium (Ac)	$3,8 \times 10^7$
Kuningan (70% Cu – 30%Zn)	$1,6 \times 10^7$
Besi (Fe)	$1,0 \times 10^7$
Baja Karbon (Ffe – C)	$0,6 \times 10^7$
Baja Tahan Karat (Ffe – Cr)	$0,2 \times 10^7$

Konduktivitas logam penghantar sangat dipengaruhi oleh unsur – unsur pepadu, impurity atau ketidaksempurnaan dalam kristal logam, yang ketiganya banyak berperan dalam proses pembuatan pembuatan penghantar itu sendiri. Unsur – unsur pemandu selain mempengaruhi konduktivitas listrik, akan mempengaruhi sifat – sifat mekanika dan fisika lainnya. Logam murni memiliki konduktivitas listrik yang lebih baik dari pada yang lebih rendah kemurniannya.

Akan tetapi kekuatan mekanis logam murni adalah rendah. Penghantar tenaga listrik, selain mensyaratkan konduktivitas yang tinggi juga membutuhkan sifat mekanis dan fisika tertentu yang disesuaikan dengan penggunaan penghantar itu sendiri.

Selain masalah teknis, penggunaan logam sebagai penghantar ternyata juga sangat ditentukan oleh nilai ekonomis logam tersebut dimasyarakat. Sehingga suatu kompromi antara nilai teknis dan ekonomi logam yang akan digunakan mutlak diperhatikan. Nilai kompromi termurahlah yang akan menentukan logam mana yang akan digunakan. Pada saat ini, logam tembaga dan aluminium adalah logam yang terpilih diantara jenis logam penghantar lainnya yang memenuhi nilai kompromi teknis ekonomis termurah.

Dari jenis-jenis logam penghantar pada tabel 2.1., tembaga merupakan penghantar yang paling lama digunakan dalam bidang kelistrikan. Pada tahun 1913, oleh *International Electrochemical Commission* (IEC) ditetapkan suatu standar yang menunjukkan daya hantar kawat tembaga yang kemudian dikenal sebagai *International Annealed Copper Standard* (IACS). Standar tersebut menyebutkan bahwa untuk kawat tembaga yang telah dilunakkan dengan proses anil (annealing), mempunyai panjang 1 m dan luas penampang 1 mm², serta mempunyai tahanan listrik (*resistance*) tidak lebih dari 0.017241 ohm pada suhu 20°C, dinyatakan mempunyai konduktivitas listrik 100% IACS.

Akan tetapi dengan kemajuan teknologi proses pembuatan tembaga yang dicapai dewasa ini, dimana tingkat kemurnian tembaga pada kawat penghantar jauh lebih tinggi jika dibandingkan pada tahun 1913, maka konduktivitas listrik kawat tembaga sekarang ini bisa mencapai diatas 100% IACS. Untuk kawat aluminium, konduktivitas listriknya biasa dibandingkan terhadap standar kawat tembaga. Menurut standar ASTM B 609 untuk kawat aluminium dari jenis EC grade atau seri AA 1350, konduktivitas listriknya berkisar antara 61.0 – 61.8% IACS, tergantung pada kondisi kekerasan atau temper. Sedangkan untuk kawat penghantar dari paduan aluminium seri AA 6201, menurut standar ASTM B 3988 persaratan konduktivitas listriknya tidak boleh kurang dari 52.5%

IACS. Kawat penghantar 6201 ini biasanya digunakan untuk bahan kabel dari jenis *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC).

Disamping persyaratan sifat listrik seperti konduktivitas listrik diatas, kriteria mutu lainnya yang juga harus dipenuhi meliputi seluruh atau sebagian dari sifat – sifat atau kondisi berikut ini, yaitu sebagai berikut.

1. komposisi kimia.
2. Sifat tarik seperti kekuatan tarik (*tensile strength*) dan regangan tarik (*elongation*).
3. Sifat bending.
4. Diameter dan variasi yang diijinkan.
5. Kondisi permukaan kawat harus bebas dari cacat, dan lain-lain.

(Sumber : Astuti, Irnin. 2015. *Penentuan Konduktivitas Termal Logam Tembaga, Kuningan, dan Besi dengan Metode Gandengan*. Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika ke-6. Vol. 6 No.1 ISSN : 2303 – 7827)

2.3.4 LED Array

Light Emitting Diode atau sering disingkat dengan *LED* adalah komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. *LED* merupakan keluarga dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor. Warna-warna Cahaya yang dipancarkan oleh *LED* tergantung pada jenis bahan semikonduktor yang dipergunakannya. *LED* juga dapat memancarkan sinar inframerah yang tidak tampak oleh mata seperti yang sering kita jumpai pada Remote Control TV ataupun Remote Control perangkat elektronik lainnya.

Bentuk *LED* mirip dengan sebuah bohlam (bola lampu) yang kecil dan dapat dipasangkan dengan mudah ke dalam berbagai perangkat elektronika. Berbeda dengan Lampu Pijar, *LED* tidak memerlukan pembakaran filamen sehingga tidak menimbulkan panas dalam menghasilkan cahaya. Oleh karena itu, saat ini *LED* (*Light Emitting Diode*) yang bentuknya kecil telah banyak digunakan sebagai lampu penerang dalam LCD TV yang mengganti lampu *tube*.



Gambar 2.20 LED Array

(Sumber : <http://tokopedia.com>, diakses pada Rabu, 29 Juni 2016 pukul 01:51 WIB)

LED merupakan keluarga dari dioda yang terbuat dari semikonduktor. Cara kerjanya pun hampir sama dengan Dioda yang memiliki dua kutub yaitu kutub Positif (P) dan Kutub Negatif (N). LED hanya akan memancarkan cahaya apabila dialiri tegangan maju (bias *forward*) dari anoda menuju ke katoda.

Adapun karakteristik dari *led array* yang digunakan ditunjukkan pada tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Karakteristik *led Array (White 5050 SMD Led)*

(sumber : www.wayjun.com/5050smdled/, diakses pada Rabu, 13 Juli 2016 pukul 02.00 WIB)

<i>Items</i>	<i>Symbol</i>	<i>Absolute Maximum Rating</i>	<i>Unit</i>
<i>Power Dissipation</i>	PD	450	mW
<i>Forward Current (DC)</i>	IF	150	mA
<i>Peak Forward Current</i>	IFP	300	mA
<i>Reverse Voltage</i>	VR	5	V
<i>Operation Temperature</i>	Topr	-40 ~ + 95	⁰ C
<i>Storage Temperature</i>	Tstg	-40 ~ + 100	⁰ C
<i>Soldering Temperature</i>	Tsol	<i>Reflow Soldering : 240⁰C/10sec</i> <i>Hand Soldering : 350⁰C/3sec</i>	