

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Pengiriman Daya Listrik Secara Nirkabel

Seorang ilmuwan dari Jerman yang bernama Michael Faraday (1791-1867) memiliki gagasan apakah medan magnet menghasilkan arus listrik? Gagasan ini didasarkan oleh adanya penemuan dari Oersted bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. Karena termotivasi oleh gagasan tersebut kemudian pada tahun 1822, Faraday memulai melakukan percobaan-percobaan. Pada tahun 1831 Faraday berhasil membangkitkan arus listrik dengan menggunakan medan magnet.

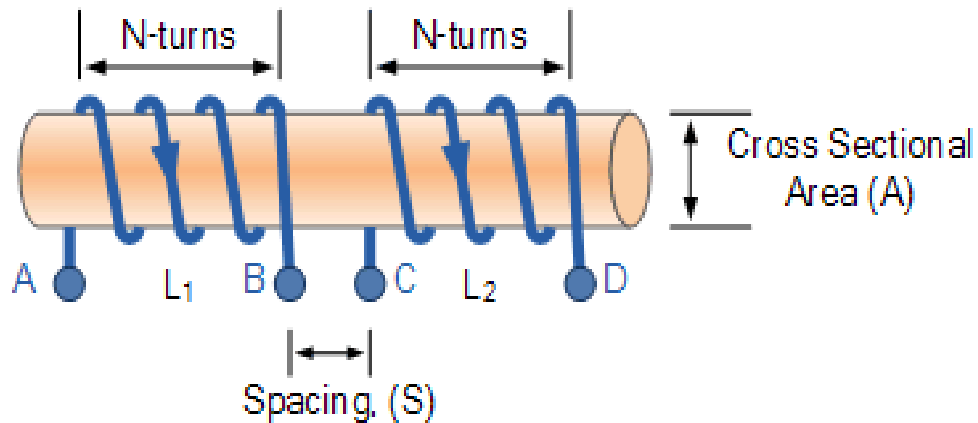
Metode pengiriman energi listrik secara nirkabel memiliki prinsip kerja yang sama seperti transformator yaitu *mutual inductance* antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnetik.

Bila Gaya Gerak Listrik (GGL) diinduksi pada rangkaian yang sama dimana arus berubah, kondisi ini disebut *Self-induction*, (L). Namun, bila GGL diinduksi ke dalam *coil* yang berdekatan yang berada di dalam garis-garis gaya medan magnet yang sama, GGL tersebut dikatakan diinduksi secara magnetis, induktif atau dengan induksi Mutual. Kemudian ketika dua kumparan dihubungkan bersama oleh fluks magnetik umum, hal ini lah disebut memiliki sifat *Mutual Inductance* atau biasa disebut Induktansi Bersama.

Induktansi Bersama mengacu pada prinsip dasar operasi transformator, motor, generator dan komponen listrik lainnya yang berinteraksi dengan medan magnet lain. Kemudian dapat didefinisikan bahwa induksi bersama sebagai arus yang mengalir dalam satu *coil* yang menginduksi tegangan pada *coil* yang berdekatan. Tetapi induktansi bersama juga bisa menjadi suatu hal yang buruk karena induktansi "nyasar" atau "kebocoran" dari *coil* dapat mengganggu pengoperasian komponen lain yang berdekatan dengan induksi elektromagnetik, jadi beberapa bentuk skrining listrik ke potensial tanah mungkin diperlukan.

Jumlah induktansi bersama yang menghubungkan satu *coil* dengan yang lain sangat bergantung pada posisi relatif kedua *coil* tersebut. Jika satu *coil* diposisikan di samping *coil* lainnya sehingga jarak fisiknya terpisah kecil.

(sumber : <http://www.electronics-tutorials.ws/inductor/mutual-inductance.html>)



Gambar 2.1. Prinsip Induktansi Bersama

(sumber : <http://www.electronics-tutorials.ws/inductor/mutual-inductance.html>)

Berdasarkan Gambar 2.1 arus yang mengalir dalam *coil* satu, L1 membentuk medan magnet di sekitar kumparan dengan beberapa garis medan magnet yang melewati *coil* dua, L2 yang memberi kita induktansi bersama. *Coil* satu memiliki arus (I_1) dan N_1 berubah sementara, *coil* dua memiliki N_2 ternyata. Oleh karena itu, induktansi bersama, dapat dirumuskan :

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{12}}{I_1} \dots \dots \dots (2.1)$$

(sumber : <http://www.electronics-tutorials.ws/inductor/mutual-inductance.html>)

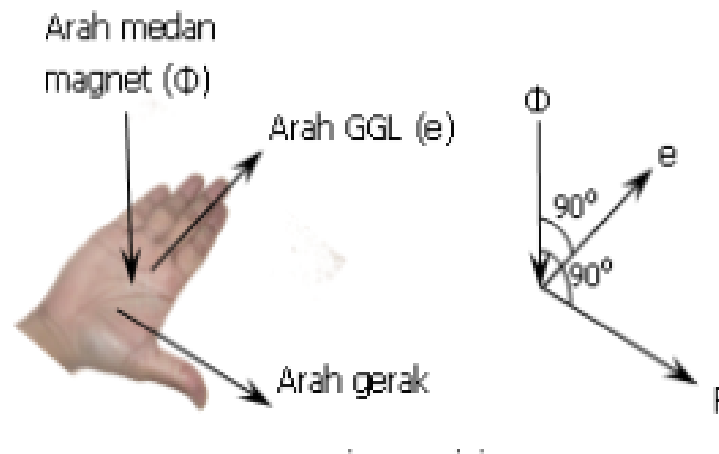
Demikian pula, fluks yang menghubungkan *coil* satu, L1 ketika arus mengalir di sekitar *coil* dua, L2 sama persis dengan fluks yang menghubungkan *coil* dua saat arus yang sama mengalir mengelilingi *coil* satu di atas, maka induktansi bersama *coil* satu dengan *coil* dua Didefinisikan sebagai M_{21} . Induktansi bersama ini benar terlepas dari ukuran, jumlah putaran, posisi relatif atau orientasi kedua gulungan., Kemudian dapat diamati bahwa induktansi diri menyatakan sebuah induktor sebagai elemen rangkaian tunggal, sementara

induktansi bersama menyatakan beberapa bentuk kopling magnetik antara dua induktor , bergantung pada jarak dan pengaturannya.

(sumber : <http://www.electronics-tutorials.ws/inductor/mutual-inductance.html>)

2.1.1 Gaya Gerak Listrik Induksi (GGL)

Gaya gerak listrik (GGL) induksi merupakan gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet , gerak GGL induksi yang terjadi ditunjukkan dengan aturan tangan kanan ,dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Arah gerak GGL dengan kaidah tangan kanan

(sumber : <https://ab11ae.academi.com/2010/05/27/prinsip-terbentuknya-gaya-gerak-listrik-ggl-induksi>, 2017)

Bila telapak tangan kanan dibuka sedemikian rupa sehingga ibu jari dan keempat jari lainnya saling tegak lurus (90°), maka ibu jari menunjukkan arah gerak penghantar (F) sedangkan garis yang menembus telapak tangan kanan adalah garis gaya (medan) magnet (Φ) dan empat jari lainnya menunjukkan arah GGL induksi yang terjadi (e).

Besarnya GGL induksi yang terjadi dalam suatu penghantar atau rangkaian berbanding lurus dengan kecepatan perubahan flux magnet yang dilingkupinya. Secara matematis dituliskan :

$$e = - \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (2.2)$$

Jika penghantar tersebut merupakan sebuah kumparan dengan N lilitan, maka besar GGL induksi yang terjadi adalah :

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots \dots \dots (2.3)$$

(sumber : <https://ab11ae.academi.com/2010/05/27/prinsip-terbentuknya-gaya-gerak-listrik-ggl-induksi>, 2017)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu:

1. Kecepatan perubahan medan magnet. Semakin cepat perubahan medan magnet, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.
2. Banyaknya lilitan Semakin banyak lilitannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.
3. Kekuatan magnet Semakin kuat gejala kemagnetannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.

2.1.2 Prinsip Induksi Elektromagnetik

Pada eksperimen yang dilakukan oleh H.C Oersted, Biot-Savart dan Ampere menyatakan bahwa adanya gaya dan medan magnet pada kawat berarus. Dengan pernyataan ini maka dapat diketahui bahwa medan magnet dapat menghasilkan arus listrik. Dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Induksi Elektromagnetik antar 2 Kumparan

(sumber : <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/234> , 2017)

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa timbulnya Gaya Gerak Listrik (GGL) pada suatu penghantar atau kumparan akibat mengalami perubahan garis-garis gaya magnet (fluks magnetik). Medan magnet yang berubah-ubah nilai fluksnya dapat menghasilkan arus listrik. Faraday menyimpulkan medan magnet konstan tidak dapat menghasilkan arus, namun perubahan fluks medan magnetik di dalam suatu rangkaian bahan penghantar akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut (Hukum Faraday).

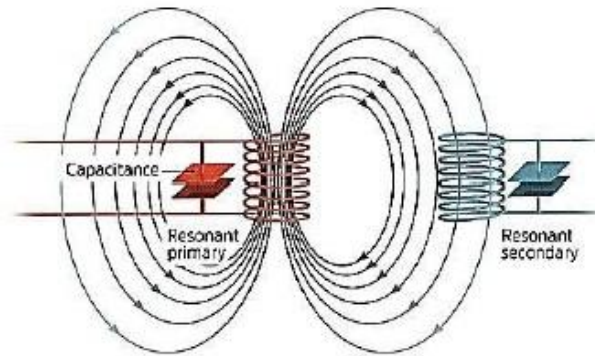
(sumber : <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/234> , 2017)

2.2 Prinsip Kerja Transfer Energi Listrik Nirkabel

Pembangkit Energi Listrik ini bekerja menggunakan prinsip resonansi elektromagnetik yaitu terdapat dua buah kumparan yang terhubung secara magnetis dengan menggunakan rangkaian resonansi yang di atur untuk beresonansi pada frekuensi yang sama, hal ini disebut kopling induktif resonansi, yaitu terdapat dua rangkaian LC di perangkat yang berbeda yakni sebuah kumparan pemancar di satu perangkat untuk mentransmisikan tenaga listrik dan kumparan penerima menerima dan mengalirkan ke perangkat lain (Beban Listrik).

(sumber : Prashansa, Aditya Duggal, Manish Kumar Srivastava. July, 2015. "An Innovative Design of Wireless Power Transfer by High Frequency Resonant Coupling". Vol. 4, No.4.)

Induktansi menginduksi arus pada rangkaian kopling induktif. Seperti yang terlihat pada gambar 2.4 kumparan mengalami induktansi bersama. Kapasitor dihubungkan sejajar dengan kumparan pemancar, maka energi akan bergerak bolak-balik antara elektromagnetik di bidang sekitar kumparan dan medan listrik di sekitar Kapasitor, yang kemudian di induksikan ke kumparan penerima, sehingga kumparan penerima mendapatkan gaya gerak magnet disekitar kumparan dan kemudian diubah menjadi gaya gerak listrik (GGL)



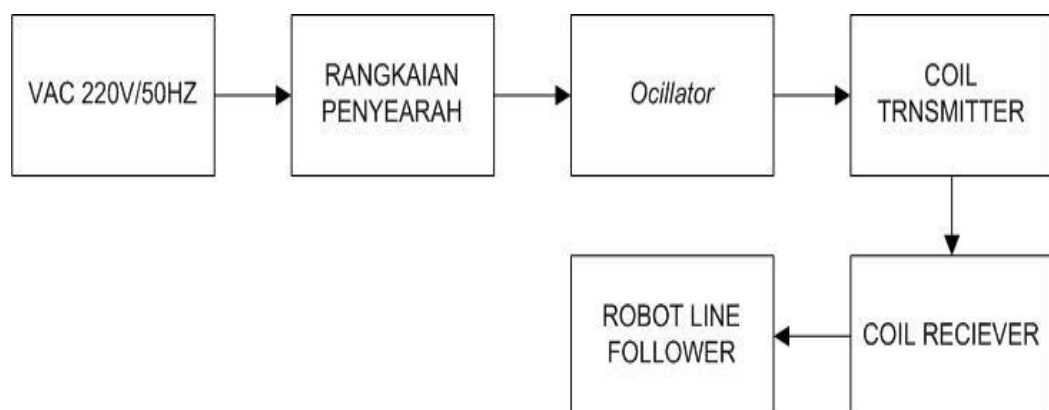
Gambar 2.4 Resonansi Kopling Induktif

(sumber : Prof. Vishal V. Pande et al *Int. Journal of Engineering Research and Applications* www.ijera.com ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 4(Version 9), April 2014, pp.46-50)

2.3 Rangkaian Penyusun pada Sistem Transfer Energi Nirkabel

Pada perancangan sistem wireless transfer energy nirkabel terdapat beberapa rangkaian yang saling mendukung yaitu seperti sumber listrik VAC 220V/50HZ, Rangkaian penyearah, *Oscillator*, *Coil Transmitter*, *Coil Receiver*, dan beban (*Robot line follower*)

Berikut ini blok diagram rangkaian pada sistem wireless transfer energy nirkabel:



Gambar 2.5 Blok Diagram Pemancar pada wireless transfer energy

(Sumber:Data Pribadi)

2.4 VAC 220V / 50Hz

VAC 220 V/50 Hz merupakan sumber AC yaitu tegangan yang didapat dari sumber listrik PLN yang akan di transmisi kan menuju ke suatu rangkaian.

2.4.1 Rangkaian Penyearah

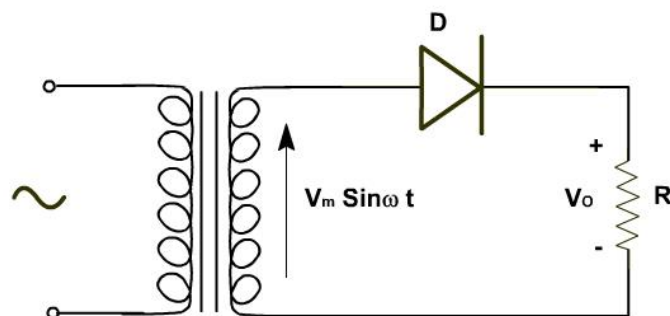
Rangkaian penyearah adalah alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik (*Alternating Current*) menjadi sinya arus searah (*Direct curent*).

Komponen utama dalam penyearah gelombang adalah dioda yang di komfigurasikan secara *Forward bias*. Dalam sebuah rangkaian *powersuplay* tegangan rendah sebelum sebelum tegangan AC tersebut telah di ubah menjadi tegangan DC maka tegangan AC tersebut perlu diturunkan menggunakan trasformeter *stepdown*.

Ada tiga bagian utama dalampenyearah gelombang dalam rangkaian penyearah yaitu, penurun tegangan (*Transformeter*), dioda Penyearah gelombang dan kapasitor.

Pada dasarnya konsep penyearah gelombang dibagi dalam dua jenis yaitu, penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh.

- **Penyearah setengah Gelombang**

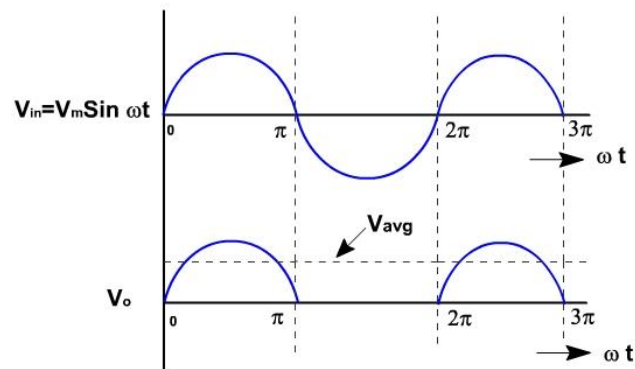


Gambar 2.6 Penyearah setengah gelombang

(sumber : <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jitet/article/view/234> , 2017)

Penyearah setengah gelombang hanya menggunakan satu buah dioda sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Pinsip kerja dari

penyearah setelah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC dari transformator. Pada saat transformator memberikan *output* sisi positif dari gelombang AC maka dioda dalam keadaan *forward* bias hingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka dioda dalam posisi *reverse* bias, sehingga sinyal sisi negatif tegangan AC tersebut ditahan untuk tidak dilewatkan seperti terlihat pada gambar sinyal *Output* penyearah setengah gelombang berikut.



Gambar 2.7 Sinyal Output Penyearah Gelombang

(sumber : <http://digilib.mercubuana.ac.id.php/jitet/article/view/234> , 2017)

Formulasi yang digunakan pada penyearah setengah gelombang sebagai berikut:

$$V_{avg} = \frac{V_m}{\pi R} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

V_{avg} : Nilai tegangan Rata-rata (setengah gelombang)

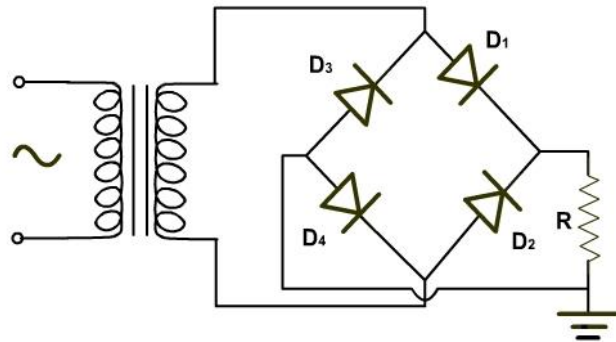
V_m : Tegangan Maksimum

π : pi (3.14 atau 22/7)

R : Hambatan (Ohm)

- Penyearah Gelombang penuh

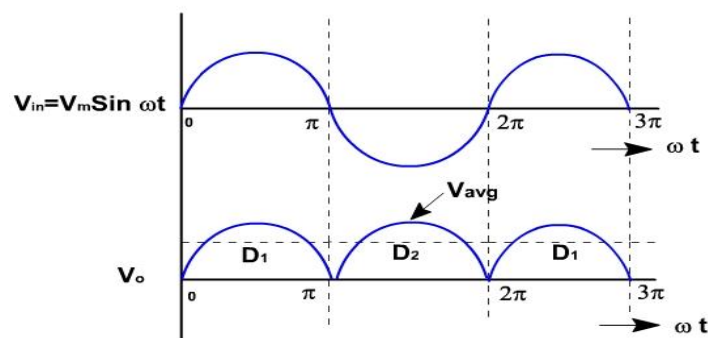
Penyearah gelombang penuh dapat dibuat dengan 2 macam yaitu, menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Rangkaian Penyearah Gelombang penuh

(http://teknikelektronika.com/pengertian-rangkaian_rectifier/,2011)

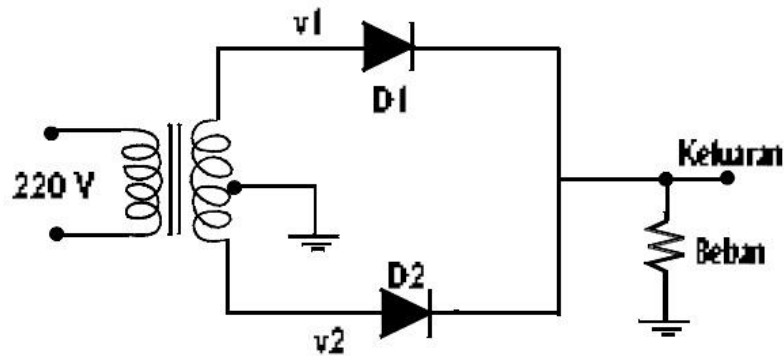
Pinsip kerja dari penyearah Gelombang penuh dengan 4 dioda dimulai pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negatif maka, D2, D4 pada posisi Forward bias dan D1, D2 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi negatif tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Grafik output berikut :



Gambar 2.9 Grafik output

(sumber : <http://digilib.mercubuana.ac.id.php/jitet/article/view/234> , 2017)

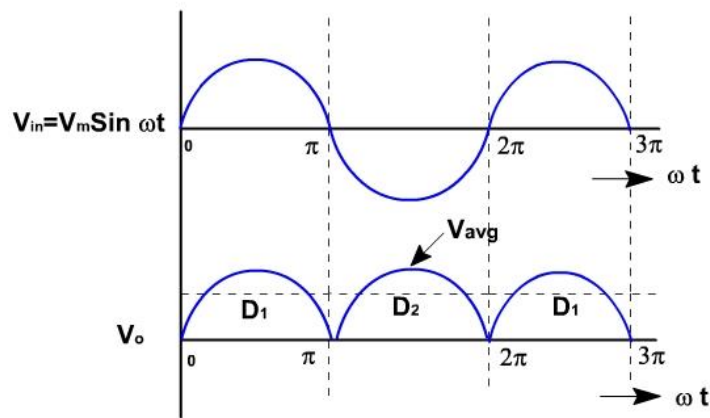
Penyearah gelombang dengan 2 dioda menggunakan transformator dengan CT. Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan dioda dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.10 Rangkaian penyearah Gelombang penuh

(<http://teknikelektronika.com/pengertian-osilator-prinsip-kerja-oscillator/>,2016)

Pinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh dengan dua dioda ini dapat bekerja karena menggunakan transformator dengan CT. Transformator dengan CT seperti pada gambar diatas dapat memberikan tegangan output tegangan AC pada kedua terminal output sekunder terhadap terminal CT dengan level tegangan yang berbeda *fasa* 180° . Pada saat terminal output transformator pada D1 memberikan sinyal puncak positif, maka terminal output pada D2 memberikan sinyal puncak negatif, pada kondisi ini D1 pada posisi forward dan D2 pada posisi reverse. Sehingga sisi puncak positif dilewatkan melalui D1. Kemudian pada saat terminal output transformator pada D1 memberikan sinyal puncak negatif maka terminal output pada D2 memberikan sinyal puncak positif, pada kondisi ini D1 pada posisi reverse dan D2 pada posisi forward. sehingga sinyal puncak positif dilewatkan melalui D2. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar output berikut :



Gambar 2.11 ainyal *Output* penyearah gelombang penuh

(sumber : <http://digilib.mercubuana.ac.id.php/jitet/article/view/234> , 2017)

Formulsi pada penyearah gelombang penuh sebagai berikut:

$$V_{avg} = \frac{2V_m}{\pi} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

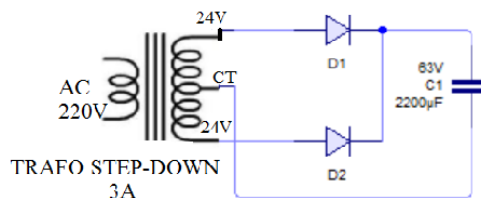
V_{avg} : Nilai tegangan rata-rata

V_m : Tegangan Maksimum

π : pi (3.14 atau 22/7)

R : Hambatan (ohm)

Penyearah dengan filter kapasitor agar penyearah tegangan gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC maka dipasang filter kapasitor pada bagian output rangkaian penyearah seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.12 Penyearah dengan filter kapasitor

(Sumber:Data Pribadi)

Fungsi kapasitor pada rangkaian diatas untuk menekan *ripple* yang terjadi pada proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka output dari tegangan penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC yang dapat di formulasikan sebagai berikut:

$$V_m = \frac{2V_{max}}{\pi} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

V_{dc} : tegangan DC

V_{max} : tegangan maksimal

Kemudian untuk nilai *riple* tegangan dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{ripple} = \frac{I_{load}}{f_c} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

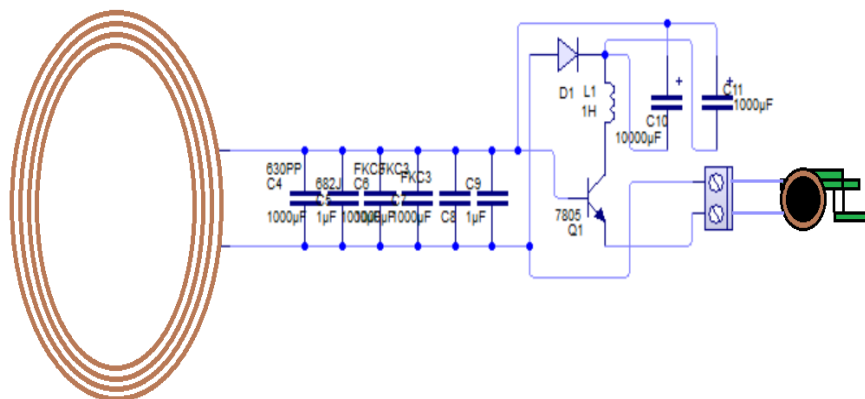
V_{ripple} : Tegangan ripple

I_{load} : arus

F : Frekuensi

C : nilai kapasitor

2.4.2 Rectifier



Gambar 2.13 Rangkaian Rectifier

(Sumber: Data Pribadi)

Pada gambar 2.7 merupakan rangkaian *Rectifier* yang merupakan suatu rangkaian yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah, yang masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan DC yang dikeluarkan. Perbandingan antara tegangan DC yang keluar terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil outputnya, dinamakan factor *ripple* (riak). Berikut ini rumus perhitungan tegangan dan arus yang dihasilkan:

$$V_{out} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{in} \quad \dots \dots \dots (2.8)$$

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R} \quad \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

V_{out} = Tegangan keluar

V_{in} = Tegangan masuk

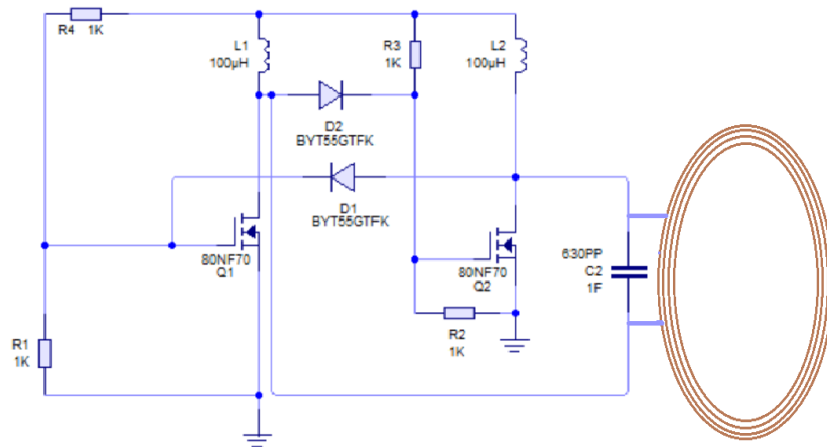
I_{ou} = Arus Masuk

R = Resistansi

(sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/rectifier-tegangan/>, 2017)

2.4.3 *Oscillator*

Oscillator adalah suatu rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai pembangkit gelombang. Pada dasarnya sinyal arus searah atau DC dari pencatu daya (*power supply*) dikonversikan oleh Rangkaian *Oscillator* menjadi sinyal arus bolak-balik atau AC sehingga menghasilkan sinyal listrik yang periodik.



Gambar 2.14 Rangkaian Osilator Menggunakan Transistor MOSFET tipe 80NF70

(Sumber:Data Pribadi)

Frekuensi tegangan yang dibangkitkan oleh rangkaian Oscillator tergantung dari harga L dan C yang digunakan. Berdasarkan teori, rangkaian ini akan beresonansi pada frekuensi resonansi yang diberikan oleh

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

Fr = Frekuensi Resonansi (Hz)

L = Induktansi (Henry)

C = Kapasitansi (Farad)

(sumber :<http://teknikelektronika.com/pengertian-osilator-prinsip-kerjaoscillator/>, 2017)

2.4.4 Coil Transmitter (Kumparan Pemancar)

Coil transmitter merupakan kumparan pemancar yang terbuat dari kawat tembaga yang berfungsi sebagai komponen inti dalam proses pengiriman daya listrik tanpa kabel. Sebuah kumparan mempunyai inti dengan luas penampang inti (A), Jumlah lilitan kawat per satuan panjang (l) . Jadi jika sebuah kumparan dengan N lilitan kawat dihubungkan dengan sejumlah fluks magnetik (Φ) maka kumparan akan mempunyai fluk magnetik total sebesar

$N \cdot \Phi$. dan arus sebesar i yang mengalir melewatinya akan menghasilkan induksi fluks magnetik yang arahnya berlawanan dengan arah aliran arus listrik. Menurut hukum Faraday, semua perubahan fluks magnetik akan menghasilkan tegangan induksi yang besarnya :

$$V_L = N \frac{d\phi}{dt} = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot \frac{di}{dt} \quad \dots \dots \dots (2.11)$$

Di mana : N adalah banyaknya lilitan, A adalah luas penampang inti (m^2), Φ adalah fluks magnetik (Wb), μ adalah permeabilitas material inti, l adalah panjang induktor (m) dan (di/dt) adalah laju perubahan arus dalam satuan A/s.

Laju perubahan medan magnetik ($d\Phi/dt$) yang menginduksi tegangan besarnya proporsional dengan laju perubahan arus listrik (di/dt) . atau dapat ditulis:

$$N \frac{d\phi}{dt} = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot \frac{di}{dt} \quad \dots \dots \dots (2.12)$$

Atau

$$N \frac{d\phi}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} \quad \dots \dots \dots (2.13)$$

dimana L adalah induktansi induktor yang besarnya :

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{l} \quad \dots \dots \dots (2.14)$$

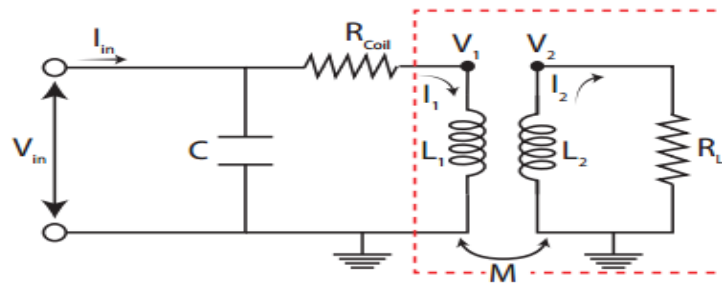
Maka tegangan induksi sebuah induktor dapat ditulis :

$$V_L(t) = L \cdot \frac{di}{dt} \quad \dots \dots \dots (2.15)$$

(sumber : <http://rangkaiaelektronika.info/fungsi-induktor/>, 2017)

2.5 Penyesuaian Impedansi

Rangkaian transmitter dan receiver transfer energi listrik nirkabel bekerja pada high frequency, sehingga menimbulkan *skin effect*, untuk meminimalisasi *skin effect* tersebut maka impedansi pada sisi transmitter dan receiver harus sesuai (*impedance matching*), selain itu penyesuaian impedansi (*impedance matching*) pada rangkaian transmitter dan receiver dapat memaksimalkan pengiriman daya .



Gambar 2.15 Impedance Matching

(sumber: Raiman.Jonathan, " WIRELESS ELECTRICITY AND IMPEDANCE MATCHING", thesis 2011)

Pada gambar 2.9 merupakan penyesuaian impedansi pada sisi transmitter dan sisi receiver. sisi kumparan pengirim memiliki induktansi bersama (M), dan arus masuk (I_{in}) dan tegangan masuk (V_{in}) , serta tegangan diterima (V₂) pada sisi receiver , dan arus diterima (V₂). Impedance matching (Z_{Eq}) terdapat nilai hambatan murni, maka dapat dirumuskan :

$$Z_{eq} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} \dots\dots\dots(2.17)$$

Sedangkan untuk daya yang diterima dapat dituliskan :

$$\begin{aligned}
 P_{delivered} &= V_{rms} I_{in rms} \\
 &= \frac{V_0}{\sqrt{2}} I_{in rms} \\
 &= \frac{V_0^2}{2|Z_{eq}|} \dots\dots\dots(2.18)
 \end{aligned}$$

(sumber: Raiman.Jonathan," WIRELESS ELECTRICITY AND IMPEDANCE MATCHING",thesis 2011)

2.6 MOSFET

MOSFET (*Metal Oxide Semikonduktor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor Mosfet tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksidan silikon yang sangat tipis. Oksidan ini didapatkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJP (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah.

2.6.1 Karakteristik dan Prinsip Kerja MOSFET

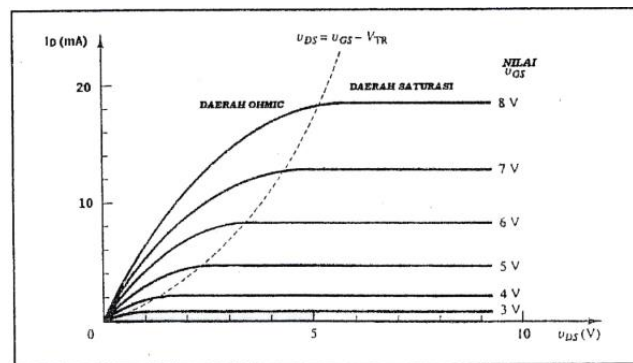
Grafik karakteristik MOSFET (NMOS) arus I_D sebagai fungsi V_{DS} dengan parameter V_{GS} ditunjukkan dalam Gambar 2.16 pada MOSFET terjadi tiga daerah operasi yaitu daerah *cut-off*, linier dan saturasi. Pada daerah *cut-off*, tegangan gerbang lebih kecil dari tegangan ambang, sehingga tidak terbentuk saluran, dan arus tidak dapat mengalir ($I_D=0$).

Pada daerah linier, pada awalnya gerbang diberi tegangan hingga terbentuk saluran. Apabila *drain* diberi tegangan yang kecil, maka elektron akan mengalir pada *source* menuju *drain* atau arus akan mengalir dari *drain* ke *source*. Selanjutnya saluran tersebut akan bertindak sebagai suatu tahanan, sehingga arus *drain* (I_D) akan sebanding dengan tegangan *drain*.

$$I_D(\text{LIN}) = K_n \left[(V_{GS} - V_T) D_S - \frac{V^2}{2} \right] \dots \dots \dots (2.19)$$

Apabila tegangan *drain* tersebut ditingkatkan sehingga tegangan pada *gate* menjadi netral, lapisan inversi saluran pada sisi *drain* akan hilang, dan mencapai suatu titik yang disebut titik *pinch-off*. Pada titik *pinch-off* ini merupakan permulaan dari daerah kerja saturasi. Apabila melebihi titik ini, peningkatan tegangan *drain* tidak akan mengubah arus *drain*, sehingga arus *drain* tetap (konstan).

$$I_D (\text{SAT}) = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_{TN})^2 \dots\dots\dots(2.20)$$



Gambar 2.16 Grafik Karakteristik MOSFET arus I_D sebagai fungsi V_{DS} dengan parameter V_{GS}

(Sumber: Geiger, Alen, Strader, 1990:151)

Bentuk operasi untuk MOSFET saluran-P adalah sama seperti pada transistor MOSFET saluran-n. Pernyataan arus *drain* identik dengan polaritas tegangan dan arah arus terbalik.

Dalam proyek ini peneliti menggunakan MOSFET tipe 80NF70 dikarenakan spesifikasi yang memumpuni sebagai berikut:

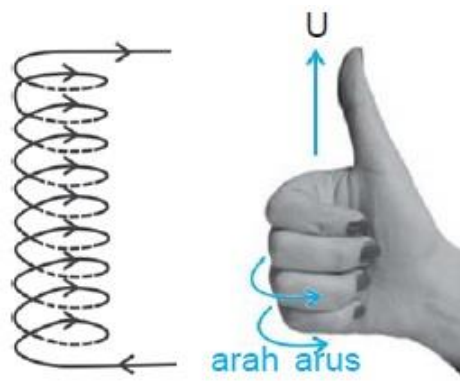
Tabel 2.1 spesifikasi MOSFET 80NF70

Symbol	Parameter	Nilai	Satuan
V_{DS}	Drain-sumber tegangan ($V_{GS}=0$)	68	V
V_{GS}	Gate-sumber tegangan	± 20	V

I_D	Arus drain (kontinu) at $T_C = 25^{\circ}\text{C}$	98	A
I_D	Arus drain (kontinu) at $T_C = 100^{\circ}\text{C}$	68	A
$I_{DM}^{(1)}$	Arus drain (pulsed)	392	A
P_{TOT}	Total <i>dissipation</i> at $T_C = 25^{\circ}\text{C}$	190	W
	Faktor derating	1.27	$\text{W}/^{\circ}\text{C}$
$Dv/dt^{(2)}$	Puncak tegangan dioda	13	V/ns
$E_{AS}^{(3)}$	Energi pulsa tunggal	700	mJ
T_{stg}	Suhu yang kuat	-55 sampai 175	$^{\circ}\text{C}$
T_J	Suhu persimpangan terhadap penggunaan		

2.7 Induktor

Ketika seutas kawat tembaga di aliri arus listrik maka di sekeliling tembaga akan timbul medan listrik. Dengan aturan tangan kanan kita dapat mengetahui arah medan listrik terhadap arus listrik arah jempol adalah arah arus listrik. Arah jempol adalah arah arus dan medan listrik yang mengitari di tunjukan oleh arah ke empat jari yang menggenggam. Penjelasan tersebut dapat di lihat pada gambar 2.1



Gambar 2.17 Aturan tangan kanan

(<http://teknikelektronika.com/pengertian-Induktor-prinsip-kerja-Induktor/>,2013)

Ketika kawat tembaga di lilitkan membentuk suatu kumparan, kemudian kita mengalirkan arus listrik melalui kumparan tersebut maka tiap lilitan akan saling menginduksi. Inilah dasar proses terjadinya medan listrik pada induktor

Induktor adalah sebuah komponen elektronika yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang di timbulkan oleh arus listrik yang melewatinya. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet di tentukan oleh besar induktansinya. Pada umumnya, sebuah induktor adalah sebuah kawat penghantar yang di bentuk menjadi kumparan . Lilitan-lilitan tersebut membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan. induktor merupakan salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian dengan arus dan tegangan yang berubah-ubah. Aplikasi induktor pada rangkaian DC adalah menghasilkan tegangan DC yang konstan terhadap fluktuasi beban arus.

2.8 Motor DC

Motor DC adalah jenis motor yang menggunakan tegangan DC (tegangan yang searah) bagi sumber-sumber energi. Dengan memberikan tegangan yang berbeda di kedua terminal, motor akan berputar dalam satu arah, dan apabila polaritas tegangan dibalik maka arah putaran motor berbalik juga. Adapun motor DC terdiri dari dua bagian utama, yaitu:

1. Stator

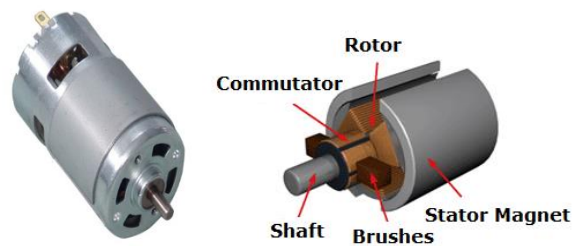
Stator merupakan bagian yang tetap atau stationer. Stator menghasilkan medan magnet, baik yang dihasilkan dari sebuah kumparan (magnet elektro) atau magnet permanen.

2. Rotor

Rotor yaitu bagian yang berputar. Rotor dalam bentuk *coil* (kumparan) di mana terdapat sebuah arus listrik.

Mesin arus searah dapat berubah generator DC atau motor DC. Untuk membedakan bagian generator atau motor dari mesin difungsikan sebagai apa. Generator DC alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik DC. Geerator DC alat yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanik putaran . Sebuah motor DC dapat difungsikan sebagai generator atau sebaliknya generator

DC dapat difungsikan sebagai motor DC. Pada motor DC kumparan magnet disebut stator (bagian yang diam) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam medan magnet maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak balik



Gambar 2.18 Motor DC

([http://teknikelektronika.com/pengertian-motor DC-prinsip-kerja-motor DC/](http://teknikelektronika.com/pengertian-motor-DC-prinsip-kerja-motor-DC/),2016)

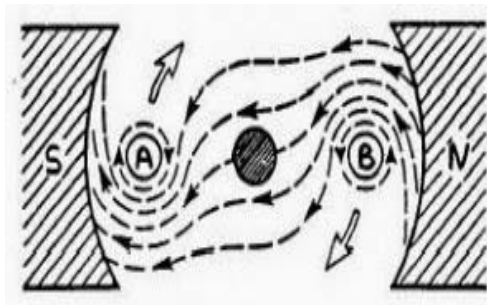
Motor DC memiliki 3 bagian atau komponen utama untuk dapat berputar sebagai berikut.

1. Kutub medan motor DC sederhana memiliki dua kutub medan yaitu kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintas ruang terbuka diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet.
2. *Current* Elektromagnet atau dinamo, dinamo yang berbentuk silinder dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yan kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan kutub selatan magnet berganti lokasi.
3. *Commutator* komponen ini terutama ditentukan dalam motor DC kegunaannya adalah untuk transmisi arus antara dinamo dan sumberdaya. Keuntungan utama motor DC adalah sebagai

pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur :

- a) Tegangan dinamo, meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.
- b) Arus medan, menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Prinsip kerja dari motor DC , yaitu penampang yang mengalirkan arus, berada di antara dua kutub magnet (N dan S), dimana diantara dua kutub tersebut terdapat *fluks* magnet (medan magnet). Pada penampang A, arus mengalir menuju kedalam, sehingga *fluks* magnet pada penampang akan terlihat menuju penampang A. Begitu juga dengan penampang B . arah pada *fluks* magnet utama (N dan S) dan arah fluks magnet pada penampang (A dan B) mengakibatkan timbulnya bagian kosong (*fluks* magnet penampang dan utama saling menguatkan). Sehingga timbul gaya dorong (panah putih) dari bagian *fluks* yang kuat menuju bagian yang kosong. Karena penampang A dan B berada pada satu sumbu sehingga gaya tersebut menyebabkan sebuah putaran dan poros motor.



Gambar 2.19 Prinsip Kerja Motor DC

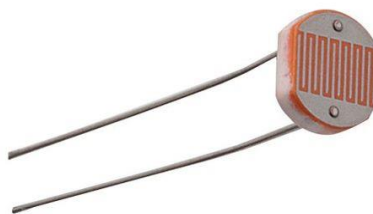
([http://teknikelektronika.com/pengertian-motor DC-prinsip-kerja-motor DC/](http://teknikelektronika.com/pengertian-motor-DC-prinsip-kerja-motor-DC/),2016)

2.9 Sensor Cahaya (LDR)

Sensor adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi dan mengetahui magnetude tertentu. Sensor merupakan jenis tranduser yang digunakan untuk mengubah variasi mekanis, magnetic, panas, sinar dan kimia menjadi tegangandan arus listrik. Sensor memegang peranan penting dalam mengendalikan proses pabrikasi modern. (Petruzella,2001 : 157)

Sensor yang sering digunakn dalam berbagai rangkaian elektronik salah satunya adalah sensor cahaya (LD). Sensor cahaya adalah alat yang digunakan dalam bidang elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*) merupakan suatu jenis resistor yang peka terhadap cahaya. Nilai resistansi LDR akan berubah-ubah sesuai dengan identitas chaya yang diterima. Jikka LDR tidak terkena cahaya maka nilai tahanan akan mencadi besar (sekitar $10M \Omega$) dan jika terkena cahaya nilai tahanan akan menjadi kecil (sekitar $1k \Omega$). (*Sumber: Novianti, Lubis, & Tony, 2012 : 1*).

Cra kerja sensor LDR adalah mengubah energi dari foton menjadi elektron, umumnya satu foton dapat membangkitkan satu elektron . Sensor ini mempunyai kegunaan yang sangat luas salah satunya yaitu sebagai pendeteksi cahaya pada robot *line follower*. Beberapa komponen yang biasa digunakan dalam sensor cahaya adalah LDR (*Light Dipendent Resistor*), *Photodiode*, dan *Photo transistor*.



Gambar 2.20 Sensor Cahaya LDR

(Sumber : <http://komponenelektronika.biz/sensor-cahaya.html>)

LDR adalah suatu komponen elektronika yang memiliki hambatan yang dapat berubah sesuai perubahan intensitas cahaya, resistansi dari LDR akan menurun jika ada penambahan intensitas cahaya yang mengenainya. Pada dasarnya komponen ini adalah suatu resistor yang memiliki nilai hambatan bergantung pada jumlah cahaya yang jatuh pada permukaan sensor tersebut. LDR dapat dibuat dari semi konduktor beresistensi tinggi yang tidak dilindungi dari cahaya. Jika cahaya yang mengenainya memiliki frekuensi yang tinggi maka foton yang diserap oleh semikonduktor akan menyebabkan elektron memiliki energi yang cukup untuk meloncat ke pita konduksi. Elektron bebas yang dihasilkan dan pasangan lubangnya akan mengalirkan listrik, sehingga menurunkan resistansinya.