

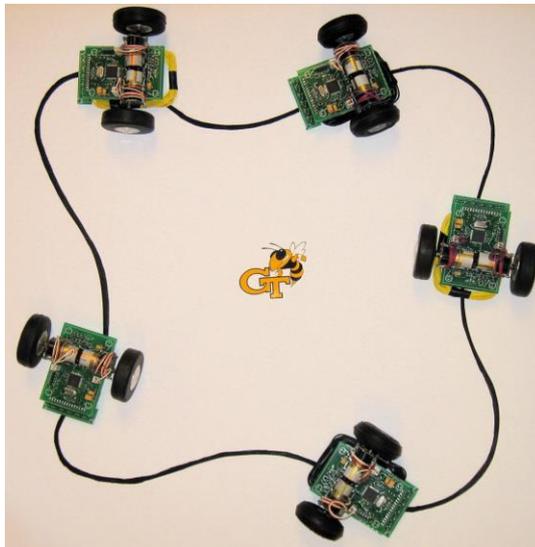
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Mobile Robot*

Mobile robot adalah salah satu jenis robot yang konstruksinya memiliki ciri khas yaitu mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu tempat ke tempat yang lain.

(Sumber: Syam, Rafiuddin dan Hair, Jumaddil. 2016. *Desain Kerjasama Mobile Manipulator Robot*. ISSN : 2085-2517)

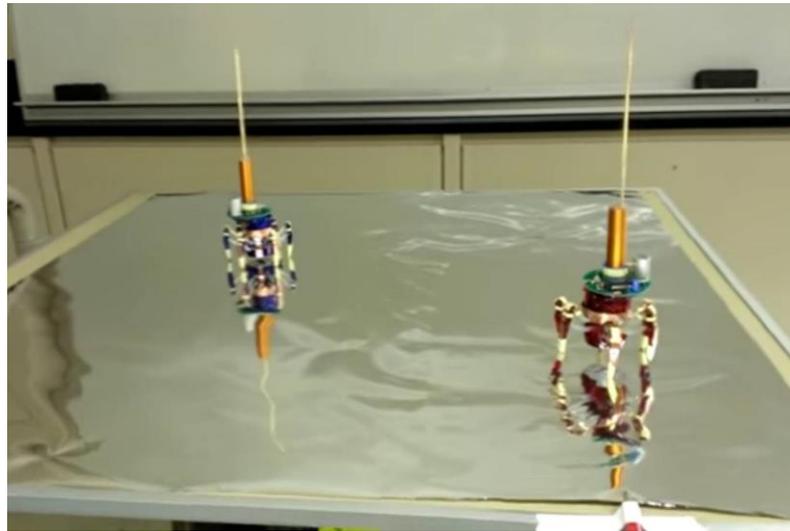


Gambar 2. 1 *Mobile robot jenis Swarm Robot*

(sumber: http://www.travisdeyle.com/publications/pdf/2008_icra_power_surface.pdf, diakses pada 8 April 2019)

Mobile robot dapat membantu manusia dalam melakukan otomasi dalam transportasi, *platform* bergerak untuk robot industri, eksplorasi tanpa awak, dan lainnya. Saat ini robot telah membantu manusia terutama pada lingkungan yang tidak dapat dijangkau atau dilakukan manusia. Contohnya robot dapat digunakan untuk membantu manusia dalam pencarian korban pada sebuah bencana alam atau robot melakukan pekerjaan berat secara terus-menerus. Untuk dapat membuat robot bergerak dan bekerja, dibutuhkan energi listrik secara terus-menerus. Namun, sumber energi robot saat ini yaitu baterai tidak dapat menyuplai daya terus-

menerus. Oleh karena itu diperlukan *wireless transfer energy* sehingga dapat menyuplai sumber energy secara terus-menerus untuk robot.



Gambar 2. 2 *Wireless Transfer Energy* pada robot

(Sumber: Battery free robotics in Wireless Power Transfer/

https://www.youtube.com/watch?v=_H9Yb7Vs_EE diakses pada 15 Maret 2019)

2.2 *Wireless Transfer Energy (Transfer Energi Listrik Tanpa Kabel)*

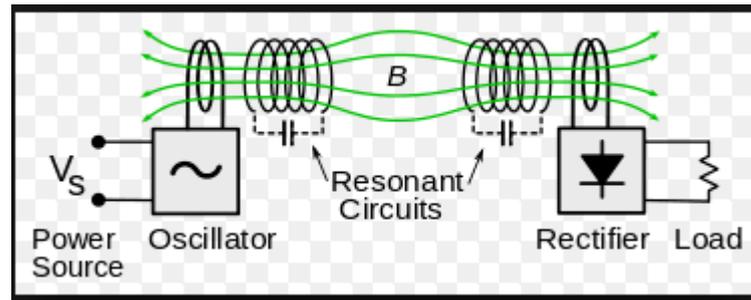
Wireless transfer energy adalah proses transfer energi listrik dari satu tempat ke tempat lain melalui media udara tanpa menggunakan kabel. *Wireless transfer energy* menggunakan dua rangkaian kumparan yaitu kumparan pengirim (*transmitter*) dan kumparan penerima (*receiver*).

Metode baru mentransfer energi ini berguna ketika energi instan dan berkelanjutan diperlukan sementara menggunakan kabel tidak praktis.

(Sumber : Risma, Pola, dkk. 2016. *Wireless Energy Transmission System using Electromagnetic Induction for Home Appliances*. 2016 International Electronics Symposium (IES))

Dengan *wireless transfer energy*, energi listrik dapat ditransfer dengan memanfaatkan metode induktif *coupling* untuk jarak yang pendek, resonansi induksi untuk jarak yang menengah, dan gelombang elektromagnetik untuk jarak jauh.

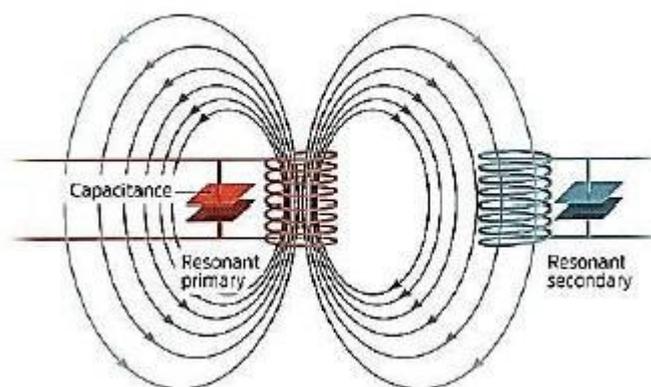
(Sumber : Rahman, Syed, dkk. 2014. *Design And Construction of Wireless Power Transfer System Using Magnetic Resonant Coupling*. American Journal of Electromagnetics and Applications, 2 (2): 11 - 15)



Gambar 2. 3 Skema sederhana *wireless transfer energy* dengan prinsip resonansi induktif

(Sumber: <http://www.gazettenucleaire.org/~resosol/Autres/electricitesansfil2007.html> diakses pada 30 Januari 2019)

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



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)

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

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

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

2.2.1 Prinsip Kerja *Wireless Transfer Energy*

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 *receiver* menerima dan mengalirkan ke perangkat lain (beban listrik).

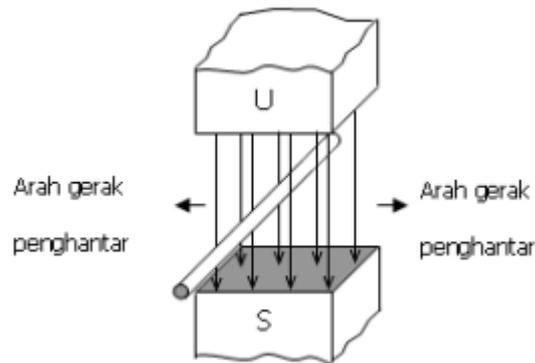
(Sumber : Prashansa, Aditya Duggal, Manish Kumar Srivastava. July, 2015. "*An Innovative Design of Wireless Power Transfer by High Frequency Resonant Coupling*". Vol. 4, No.4.)

2.2.2 Gaya Gerak Listrik (GGL)

Gaya gerak listrik adalah gaya yang timbul dari perbedaan potensial antara ujung-ujung penghantar tanpa dialiri arus listrik. Gaya gerak listrik atau biasa

disingkat GGL ini merupakan energi yang mampu menggerakkan muatan-muatan listrik yang berada di antara dua kutub baterai atau generator. Satuan untuk Gaya Gerak Listrik adalah Volt.

(Sumber: Gaya Gerak Listrik <https://thegorbalsla.com/gaya-gerak-listrik/>, diakses pada 11 Juli 2019)

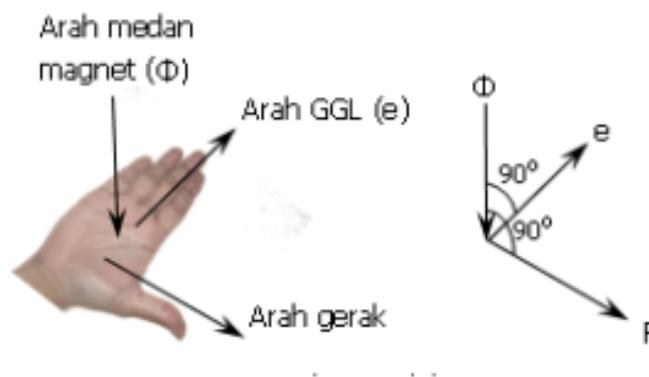


Gambar 2. 5 Perpotongan Penghantar dengan Medan Magnet

(sumber : <https://ab11ae.academia.com/2010/05/27/prinsip-terbentuknya-gaya-gerak-listrik-ggl-induksi>, diakses pada 26 Juni 2019)

Gambar 2.5 adalah prinsip terbentuknya gaya gerak listrik (GGL) dalam sebuah penghantar. Prinsip terbentuknya adalah apabila sebatang penghantar digerak-gerakkan sedemikian rupa dalam medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya magnet, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk GGL induksi.

GGL induksi yang terjadi ditunjukkan dengan aturan tangan kanan, dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Arah gerak GGL dengan kaidah tangan

(sumber : <https://ab11ae.academia.com/2010/05/27/prinsip-terbentuknya-gaya-gerak-listrik-ggl-induksi>, diakses pada 26 Juni 2019)

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).

Menurut Michael Faraday, besar GGL induksi pada kedua ujung kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi kumparan. Adapun yang dimaksud dengan fluks magnetik adalah banyaknya garis gaya magnet yang menembus suatu bidang.

Jika antara bidang dan medan magnet saling tegak lurus, maka fluks magnetik dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan seperti berikut.

$$\Phi = B A \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: Φ = fluks magnetik dengan satuan Weber (Wb)

B = induksi atau kuat medan magnet dengan satuan Tesla (T)

A = luas bidang (m^2)

Makin cepat perubahan garis gaya magnet, makin besar fluks magnetiknya dan kekuatan magnetnya juga makin besar. Pernyataan Michael Faraday lebih dikenal dengan hukum Faraday, secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

E_i = GGL induksi dengan satuan volt (V)

N = banyak lilitan

$\Delta\Phi$ = perubahan garis gaya magnet dengan satuan weber (Wb)

Δt = selang waktu dengan satuan sekon (s)

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya GGL induksi elektromagnetik adalah

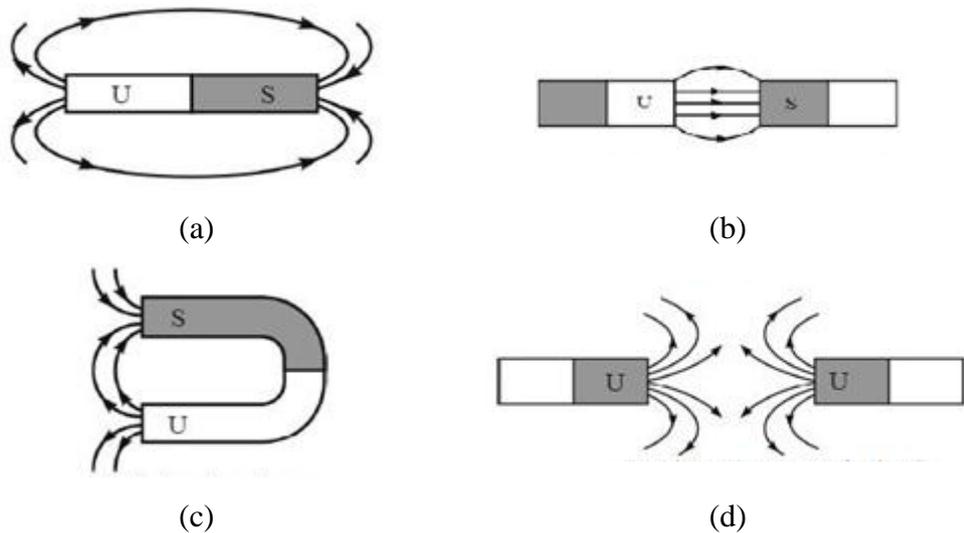
1. Banyaknya jumlah lilitan. Semakin banyak lilitan maka semakin besar nilai GGL nya
2. Besar kuat medan magnet/ kekuatan magnet. Semakin kuat magnet yang digunakan maka semakin besar pula nilai GGL dan arusnya

3. Kecepatan gerak magnet yang keluar masuk kumparan. Hal ini menyebabkan semakin cepat perubahan medan magnetnya sehingga GGL semakin besar.
4. Lilitan terbuat dari bahan feromagnetik seperti besi dan baja.

(Sumber: <http://fismath.com/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-ggl-induksi-elektromagnetik/>, diakses pada tanggal; 26 Juni 2019)

2.2.3 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. 7 (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 30 Januari 2019)

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 Magentisasi pada Linier Generator untuk Alternatif Pembangkit Listrik*. Jurnal TEKNIK POMITS, Vol. 3 No. 1: 96 - 98.)

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

$$B = \frac{\mu_0 I}{2r} \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk jumlah N lilitan

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2r} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

B : Kuat medan magnet (T)

I : Kuat arus listrik (A)

R : jari-jari lingkaran (m)

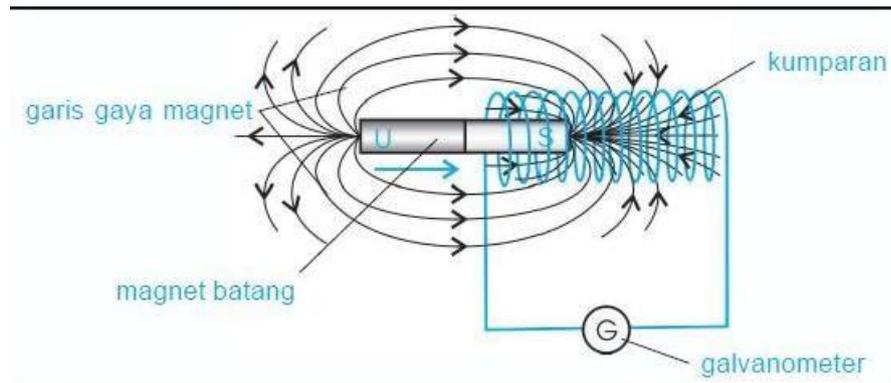
μ_0 : Permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$)

N : Jumlah lilitan

(Sumber: <https://ruangguru.com/menghitung-besar-medan-magnet-pada-kawat-lurus-dan-kawat-melingkar>, diakses pada tanggal 26 Juni 2019)

2.2.4 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 2.7.



Gambar 2. 8 Percobaan Faraday

(sumber : <http://www.berpendidikan.com/2015/10/gaya-gerak-listrik-ggl-induksi-pada-kumparan-oleh-faraday.html> diakses pada 28 Juni 2019)

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



Gambar 2. 9 Percobaan Oersted Untuk Membuktikan GGL dapat Menimbulkan GGM

(Sumber: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308233-S42660-Potensi%20medan.pdf> diakses pada 28 Juni 2019)

Pada gambar 2.9 saat kawat tidak dialiri arus jarum kompas pada posisi sejajar dengan kawat.



Gambar 2. 10 Percobaan Oersted Untuk Membuktikan GGL dapat Menimbulkan GGM

(Sumber: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308233-S42660-Potensi%20medan.pdf> diakses pada 28 Juni 2019)

Pada Gambar 2.10 saat arus listrik dialiri dari kutub selatan ke kutub utara, maka jarum magnet menyimpang ke kanan.



Gambar 2. 11 Percobaan Oestred Untuk Membuktikan GGL dapat Menimbulkan GGM

(Sumber: <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20308233-S42660-Potensi%20medan.pdf> diakses pada 28 Juni 2019)

Pada Gambar 2.11 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.

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 *wireless transfer energy*, dimana terjadi perubahan dari GGL menjadi GGM pada rangkaian *transmitter* kemudian terjadi perubahan dari GGM ke GGL pada rangkaian *receiver*.

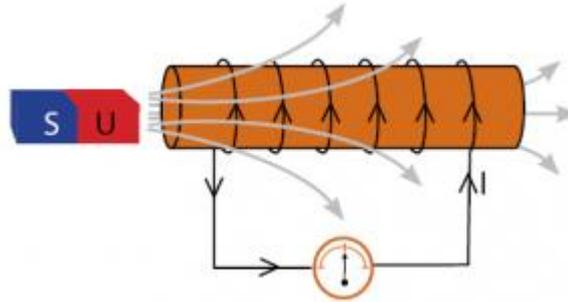
2.2.5 Induksi Elektromagnetik

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/234/225>, diakses pada tanggal 26 Juni 2019)

Adanya induksi elektromagnetik disebabkan oleh perubahan jumlah garis gaya magnetik yang berada dalam cakupan pada sebuah kumparan. Adanya induksi

elektromagnetik dapat dipahami melalui sebuah percobaan sederhana menggunakan magnet, kumparan, dan galvanometer.



Gambar 2. 12 Percobaan Induksi Elektromagnetik menggunakan magnet, kumparan, dan galvanometer

(Sumber: <https://idschool.net/smp/fisika-smp/induksi-elektromagnetik-ggl-induksi/>, diakses pada tanggal 24 Juli 2019)

Proses induksi elektromagnetik dapat bekerja pula secara kebalikannya, jadi pergerakan arus listrik dapat menghasilkan sebuah medan magnetik. Faktanya, sebuah magnet biasa memiliki medan magnet akibat gerakan individual elektron-elektron dalam atom-atom penyusun magnet; elektron-elektron tersebut bergerak secara seragam sehingga menghasilkan medan magnet uniform.

Fluks magnet dapat dinyatakan dengan persamaan 2.1 yaitu $\phi = BA$. Rumus diatas adalah fluks magnet dimana medan magnetnya tegak lurus dengan luas bidangnya. Jika tidak tegak lurus, tapi membentuk sudut, maka besar fluks magnetnya dikalikan cosinus sudutnya

$$\phi = BA \cos \theta \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

Φ = fluks magnetik dengan satuan Weber (Wb)

B = induksi atau kuat medan magnet dengan satuan Tesla (T)

A = luas bidang (m^2)

Induktansi dibentuk oleh dua penghantar yang terpisah oleh ruangan bebas, dan tersusun sedemikian hingga fluks magnetik dari yang satu terkait yang lain [5]. Oleh sebab itu terdapat tegangan induksi yang sebanding dengan kecepatan perubahan arus dalam kumparan:

$$V(t) = -L dI(t) / dt \dots\dots\dots(2.6)$$

Tanda minus menunjukkan bahwa tegangan berlawanan arah dengan perubahan arus yang menghasilkan tegangan induksi. Tetapi untuk mendapatkan perubahan arus $dI(t) / dt$ diperlukan tegangan yang berlawanan dengan tegangan induksi ini, berarti dalam elektronika yang mana kita menghitung tegangan $V(t)$ yang dipasang pada kaki komponen terdapat :

$$V(t) = - V^*(t) \dots\dots\dots(2.7)$$

Sehingga rumus yang dipakai dalam elektronika adalah :

$$I = C \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$V(t) = - L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.9)$$

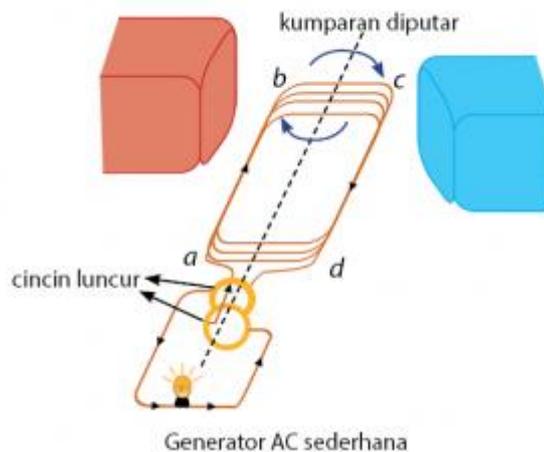
Konstanta L menunjukkan besarnya tegangan induksi yang dihasilkan oleh suatu kumparan tertentu melalui medan magnet dari arus pada kumparan itu sendiri. L disebut induktivitas lilitan atau *self inductance*. Induktansi L tergantung dari jumlah lilitan, besar luasan dalam lilitan dan bahan yang ada didalam kumparan.

2.2.6 GGL Induksi

Gaya gerak listrik induksi (ggl induksi) merupakan beda potensial yang timbul pada ujung-ujung kumparan karena pengaruh induksi elektromagnetik. GGL induksi dapat timbul melalui empat cara yaitu:

- Memutar magnet di dekat kumparan
- Memutar magnet di dalam kumparan
- Menggerakkan magnet keluar/masuk dalam kumparan
- Memutus/menyambungkan arus listrik searah yang melalui kumparan

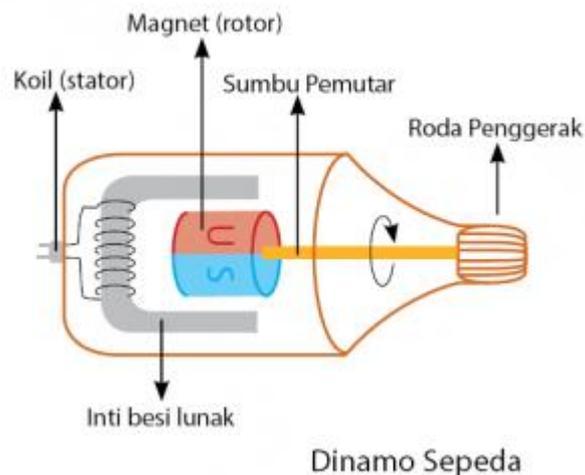
Selain empat cara untuk menimbulkan ggl induksi yang telah disebutkan di atas, ada juga faktor yang mempengaruhi besarnya ggl induksi elektromagnetik. Penerapan ggl induksi dalam kehidupan sehari-hari dapat dijumpai pada generator dan dinamo. Perhatikan ggl induksi yang terdapat pada generator AC sederhana seperti gambar 2.13.



Gambar 2. 13 GGL induksi pada Generator AC Sederhana

(Sumber: <https://idschool.net/smp/fisika-smp/induksi-elektromagnetik-ggl-induksi/>, diakses pada tanggal 24 Juli 2019)

Sedangkan ggl induksi pada dinamo sepeda dapat dilihat pada gambar 2.14



Gambar 2. 14 GGL Induksi pada Dinamo Sepeda

(Sumber: <https://idschool.net/smp/fisika-smp/induksi-elektromagnetik-ggl-induksi/>, diakses pada tanggal 24 Juli 2019)

Besarnya ggl induksi dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang memengaruhi besarnya GGL induksi adalah.

- **Laju gerakan magnet saat masuk/keluar kumparan**

Semakin cepat gerak magnet masuk/keluar pada sebuah kumparan, semakin besar GGL induksi yang timbul pada ujung-ujung kumparan.

- **Jumlah lilitan kumparan**

Semakin banyak lilitan kumparan, semakin besar GGL induksi yang timbul.

- **Kekuatan/daya tarik magnet**

Semakin kuat magnet batang yang digunakan, semakin besar GGL induksi yang timbul.

2.3 Sistem *Wireless Transfer Energy*

Pada perancangan sistem *wireless transfer energy* disusun oleh 2 bagian yaitu *transmitter* dan *receiver*. Pada bagian *transmitter* terdapat transformator *step-down*, *rectifier* (penyearah), osilator royer dan *coil transmitter*. Pada bagian *receiver* terdapat *coil receiver*, penyearah, dan robot *line follower*.

2.3.1 *Transmitter*

2.3.1.1 Transformator *Step-Down*



Gambar 2. 15 Transformator *Step-Down*

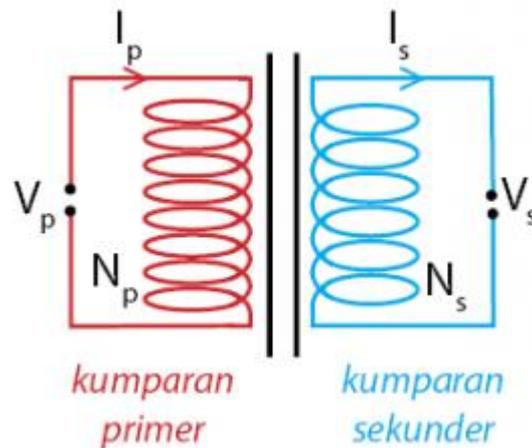
(Sumber : <http://www.berpendidikan.com/2015/10/macam-macam-dan-ciri-ciri-transformator-trafo-step-up-step-down.html> diakses pada 28 Juni 2019)

Salah satu pemanfaatan prinsip induksi elektromagnetik adalah pembuatan transformator. Transformator atau yang biasa disebut trafo adalah alat yang digunakan untuk mengubah tegangan pada arus bolak-balik (AC = *Alternating Current*).

Penggunaan trafo dalam kehidupan sehari-hari dapat ditemui pada alat-alat elektronika seperti komputer, bel listrik, radio, dan lain sebagainya. Trafo juga dimanfaatkan pada tungku induksi dan alat pengelasan yang menggunakan listrik.

Prinsip kerja trafo dapat digunakan untuk mendistribusikan listrik dari pembangkit listrik ke rumah-rumah masyarakat dengan tujuan melakukan penghematan biaya.

Trafo terdiri atas dua bagian yaitu bagian primer dan sekunder. Peran kumparan primer adalah sebagai *input*. Sedangkan peran kumparan sekunder adalah sebagai *output*. Perhatikan gambar trafo sederhana di bawah.



Gambar 2. 16 Bagian Trafo (Kumparan primer dan kumparan sekunder)

(Sumber: <https://idschool.net/smp/fisika-smp/induksi-elektromagnetik-ggl-induksi/>, diakses pada tanggal 24 Juli 2019)

Trafo terdiri dari dua jenis, yaitu trafo *step-up* dan *trafo step-down*. Karakteristik masing-masing jenis trafo adalah sebagai berikut.

Step Up: Penaik Tegangan

$$N_p < N_s$$

$$V_p < V_s$$

$$I_p > I_s$$

Step Down: Penurun Tegangan

$$N_p > N_s$$

$$V_p > V_s$$

$$I_p < I_s$$

Persamaan Trafo Ideal

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s} \dots\dots\dots (2.20)$$

Efisiensi trafo

$$\eta = \frac{P_S}{P_P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\eta = \frac{V_S \cdot I_S}{V_P \cdot I_P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.22)$$

Keterangan:

I_P = kuat arus kumparan primer (A)

I_S = kuat arus kumparan sekunder (A)

V_P = tegangan kumparan primer (V)

V_S = tegangan kumparan sekunder (V)

N_P = jumlah lilitan kumparan primer

N_S = jumlah lilitan kumparan sekunder

P_P = daya kumparan primer (W)

P_S = daya kumparan sekunder (W)

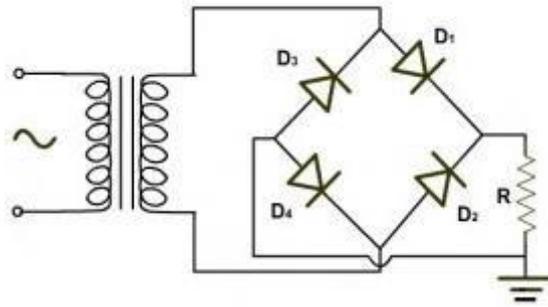
η = efisiensi transformator

(Sumber: <https://idschool.net/smp/fisika-smp/induksi-elektromagnetik-ggl-induksi/>, diakses pada tanggal 24 Juli 2019)

2.3.1.2 Rectifier (Penyearah)

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*).

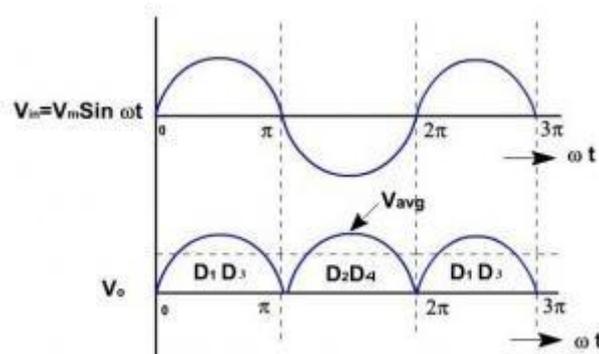
Terdapat berbagai macam penyearah yang telah dikenal luas, salah satunya adalah penyearah gelombang penuh (*Full Wave Rectifier*). Penyearah Gelombang Penuh dengan menggunakan 4 dioda adalah jenis *rectifier* yang paling sering digunakan dalam rangkaian catu daya karena memberikan kinerja yang lebih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



Gambar 2. 17 Penyearah Gelombang Penuh

(Sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/> diakses pada tanggal 26 Juni 2019)

Berdasarkan gambar 2.17, jika trafo 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. 18 Bentuk Sinyal Hasil Penyearah Gelombang Penuh

(sumber : <http://teknikelektronika.com/pengertian-rectifier-penyearah-gelombang-jenis-rectifier/>)

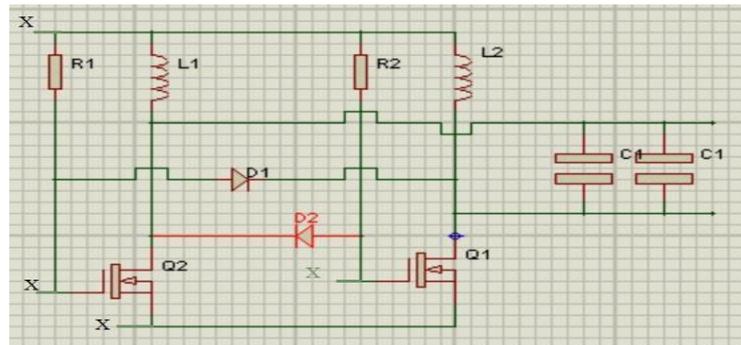
2.3.1.3 Oscillator Royer

Oscillator Royer adalah pembangkit gelombang yang menggunakan transformator inti *saturable*. *Oscillator* Royer dirancang dan dipatenkan pada tahun 1954 oleh George H. Royer. *Oscillator* ini memiliki kelebihan yaitu rangkaian yang simple, komponen yang sedikit, bentuk gelombang persegi dan isolasi

transformator yang mudah. Dengan memanfaatkan inti transformator secara maksimal, dan juga meminimalkan ukuran dan berat transformator.

(Sumber: R, Akshay, dkk. 2016. *Wireless Power Transmission*. Department of Electrical and Electronics Engineering. Visvesvaraya Technological University)

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. 19 Rangkaian Osilator Menggunakan Transistor MOSFET tipe IRFP150N

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

$$Fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (2.23)$$

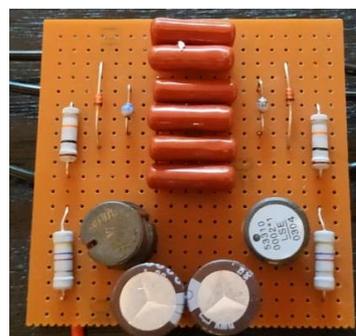
Keterangan :

Fr = Frekuensi Resonansi (*Hz*)

L = Induktansi (*Henry*)

C = Kapasitansi (*Farad*)

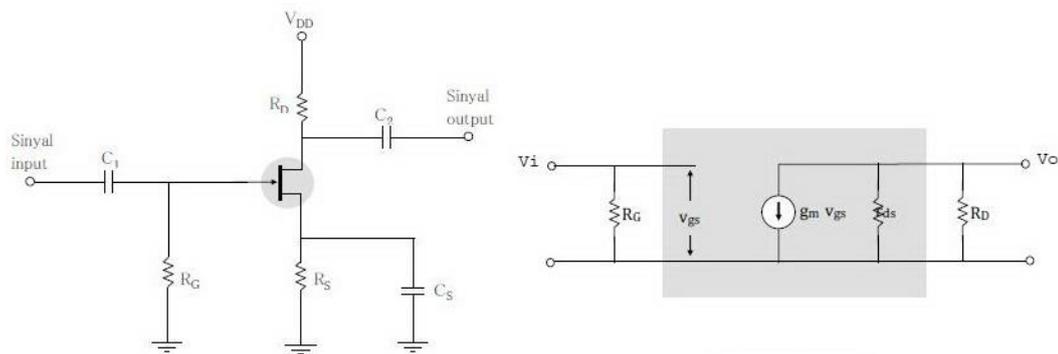
(Sumber: <http://teknikelektronika.com/pengertian-osilator-prinsip-kerjaoscillator/>, diakses pada tanggal 23 Mei 2019)



Gambar 2. 20 Rangkaian *Oscillator*

- **MOSFET**

MOSFET digunakan untuk penguat sinyal yang memiliki keuntungan impedansi input yang sangat tinggi sehingga dapat digunakan untuk menguatkan sinyal yang sangat lemah (kecil). Untuk membuat penguat sinyal menggunakan MOSFET dapat dilakukan dengan pemberian tegangan bias pada MOSFET, pada dasarnya pemberian tegangan bias pada MOSFET adalah antara *Gate* dan *Source* harus mendapat tegangan bias mundur.



Gambar 2. 21 Rangkaian MOSFET

Tegangan bias untuk MOSFET dapat diberikan dengan berbagai cara. Diantara yang paling banyak digunakan untuk rangkaian penguat MOSFET adalah self-bias. Pemberian tegangan bias yang tepat akan menjamin MOSFET dapat bekerja pada daerah yang aktif. Penguat Sinyal MOSFET *Mode Self Bias Common Source* seperti halnya pada penguat transistor bipolar, penguat MOSFET juga dapat dirangkai dalam beberapa konfigurasi. Konfigurasi penguat dengan source sebagai terminal bersama disebut dengan penguat *Common Source (CS)*. Rangkaian penguat CS dapat dilihat pada gambar 2.21. Untuk menganalisa parameter penguat seperti A_v , Z_i , dan Z_o , rangkaian penguat tersebut perlu diubah menjadi rangkaian ekivalen AC.

Pembuatan rangkaian ekivalen ac tersebut didasarkan atas asumsi bahwa pada kondisi ac semua kapasitor termasuk kapasitor kopling (C_1 dan C_2) dan by-pass (C_S) dianggap hubung singkat. Dengan demikian R_S seolah-olah tidak ada karena telah dihubung singkat oleh C_S . Pada rangkaian ekivalen ac terminal source langsung terhubung ke ground. Sumber tegangan V_{DD} juga dianggap hubung singkat ke ground. Analisis pertama adalah menentukan penguatan tegangan (A_v).

Dengan menerapkan hukum Kirchoff pada output dapat diperoleh A_v sebagai berikut :

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$A_v = \frac{(-g_m \cdot V_{gs})(r_{ds} \parallel RD)}{V_{gs}} = -g_m (r_{ds} \parallel RD) \dots\dots\dots(2.25)$$

Apabila harga r_{ds} diabaikan (atau tidak diketahui) yang disebabkan karena $r_{ds} \gg RD$, maka :

$$A_v = -g_m \cdot RD \dots\dots\dots(2.26)$$

Tanda negatif pada kedua persamaan tersebut menunjukkan bahwa antara sinyal output dan input berbeda fasa 180° atau berlawanan fasa. Impedansi input (Z_i) dari rangkaian tersebut adalah:

$$Z_i = R_G \dots\dots\dots(2.27)$$

Ket: A_v = Penguat tegangan

V_o = Tegangan output

V_i = Tegangan input

V_{gs} = Tegangan gate source

r_{ds} = Impedansi output dari MOSFET

RD = Impedansi output

Z_i = Rangkaian Penguat

Sebenarnya impedansi rangkaian penguat tersebut (Z_i) adalah paralel antara R_G dengan impedansi input FET. Akan tetapi karena impedansi input FET sangat tinggi ($\approx 10^9 \Omega$ harga tipikal untuk JFET dan 10^{12} hingga $10^{15} \Omega$ harga tipikal untuk MOSFET), maka praktis yang menentukan impedansi input rangkaian adalah R_G . Impedansi output (Z_o) dari JFET adalah Z_o (FET) = r_{ds} . Sedangkan impedansi input dari rangkaian adalah paralel antara r_{ds} dengan RD adalah $Z_o = r_{ds} \parallel RD$. Sedangkan impedansi input dari rangkaian adalah paralel antara r_{ds} dengan RD adalah $Z_o = RD$.

2.3.1.4 Coil Transmitter

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 fluks 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 :

$$V_L = N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu N^2 A}{l} \cdot \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.28)$$

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:

$$N \frac{d\Phi}{dt} = \frac{\mu N^2 A}{l} \cdot \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.29)$$

Atau

$$N \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.30)$$

dimana L adalah induktansi induktor yang besarnya :

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \dots\dots\dots(2.31)$$

Maka tegangan induksi sebuah induktor dapat ditulis :

$$V_L(t) = L \cdot \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.32)$$

Ket: V_L = Tegangan Induksi

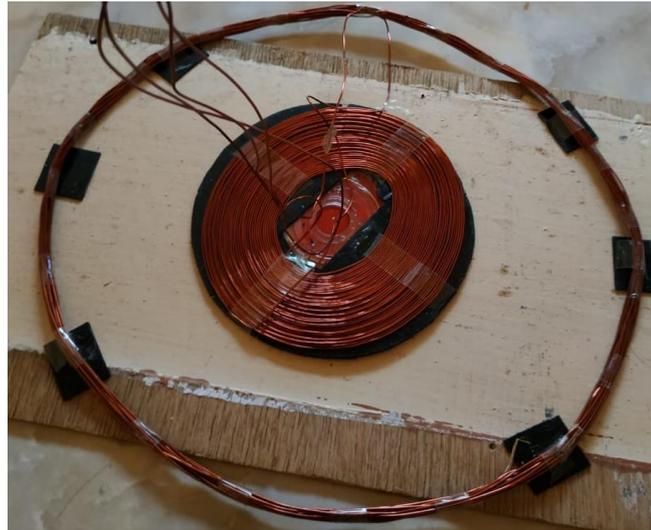
N = Lilitan Kawat

L = Induktansi induktor

$d\Phi/dt$ = Laju perubahan medan magnetik

di/dt = Laju perubahan arus dalam satuan A/s

(sumber : <http://rangkaianelektronika.info/fungsi-induktor/>, diakses pada tanggal 24 Mei 2019)



Gambar 2. 22 *Coil Transmitter*

(Sumber: Dokumen Pribadi)

2.3.2 *Receiver*

2.3.2.1 *Coil Receiver*

Coil receiver merupakan kumparan penerima yang berfungsi untuk menerima GGM dari coil *transmitter* yang akan diubah menjadi GGL atau energi listrik. Setelah energi listrik diterima oleh *receiver* kemudian akan diteruskan ke *rectifier* lalu ke robot *line follower*.



Gambar 2. 23 *Coil Receiver*

2.3.2.2 *Rectifier (Penyearah)*

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:

$$V_{out} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{in} \dots\dots\dots(2.33)$$

$$I_{out} = \frac{V_{out}}{R} \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan :

V_{out} = Tegangan keluar

V_{in} = Tegangan masuk

I_{out} = Arus Masuk

R = Resistansi

(sumber : <http://elektronika-dasar.web.id/rectifier-tegangan/>, diakses pada 8 Juni 2019)

2.3.2.3 Robot *Line Follower*

Robot *Line Follower* merupakan jenis robot yang termasuk dalam kategori robot mobile yang di desain untuk bekerja secara *autonomous* atau tanpa dikendalikan dan memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan bergerak mengikuti (*follows*) garis yang ada di permukaan. Sistem kendali yang digunakan dalam robot ini dirancang untuk bisa mendeteksi jalur (garis yang berwarna hitam) yang ada dan melakukan gerakan agar tetap berada dalam jalur.



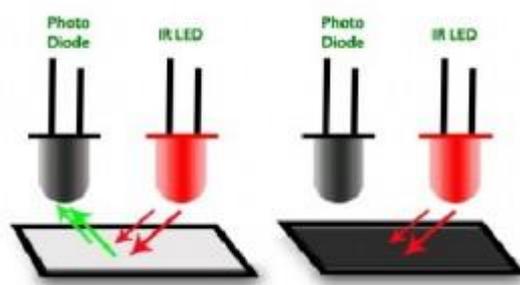
Gambar 2. 24 Robot *Line Follower*

Pada umumnya robot ini dibuat untuk kepentingan penelitian, kompetisi, dan industry. Akan tetapi semakin berkembangnya zaman, robot ini banyak

diminati bagi mereka yang baru belajar dan terjun di bidang robotika. Dalam dunia industri, robot ini berguna untuk mengangkat barang dari satu tempat ke tempat lain secara autonomous dalam arti kata lain robot ini tidak perlu di kemudikan atau di kendalikan oleh seseorang sehingga dapat mengurangi resiko kesalahan manusia yang sering terjadi. Salah satu alasan mengapa *line follower robot* banyak diminati adalah karena dengan hanya menggunakan teknik *basic line following* saja, peluangnya untuk berkembang di masa depan yang masih sangat besar. Dalam pengembangannya di masa depan, bis-bis perkotaan tidak lagi memerlukan pengemudi dan semua telah di atur dalam sistematis line following robot, dimana perhitungan waktu yang pasti, sensor-sensor yang secara terus menerus memberi data ke pusat, dan tambahan teknologi *collision avoidance* dapat mengurangi angka kecelakaan akibat kelalaian bila manusia yang mengemudikannya.

2.4 Sensor pada Robot *Line Follower*

Sensor, dapat dianalogikan sebagai “mata” sebuah robot yang berfungsi untuk membaca garis hitam dari track robot. Sehingga robot mampu mengetahui kapan dia akan berbelok ke kanan, kapan dia berbelok ke kiri dan kapan dia berhenti. Sensor yang digunakan adalah sensor cahaya yang dipasang di bagian depan bawah robot, sehingga mampu mengetahui garis terang dari latar belakang gelap atau sebaliknya. Sensor yang dipakai biasanya *photo reflector*, LDR (*Light Dependent Resistor*), Photo Dioda, dan Photo Transistor – yang dipasang dua atau lebih dibagian depan bawah robotline follower. Ada juga yang menggunakan kamera sebagai sensor (atau image sensor) agar resolusi pembacaan garis lebih tinggi, sehingga menjadikan gerakan robot lebih akurat.



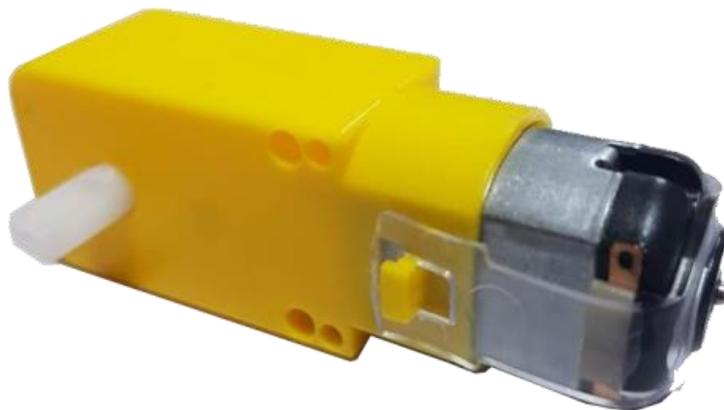
Gambar 2. 25 Sensor pada *Line follower*

(Sumber: <http://e-belajarelektronika.com/definisi-dan-bagian-robot-line-follower/>, diakses pada 15 Maret 2019)

Prinsip kerja dari sensor tersebut sederhana, Ketika transmitter (infrared) memancarkan cahaya ke bidang berwarna putih, cahaya akan dipantulkan hampir semuanya oleh bidang berwarna putih tersebut. Sebaliknya, ketika transmitter memancarkan cahaya ke bidang berwarna gelap atau hitam, maka cahaya akan banyak diserap oleh bidang gelap tersebut, sehingga cahaya yang masuk ke receiver tinggal sedikit. Agar mampu dibaca oleh mikrokontroler, maka tegangan sensor harus disesuaikan dengan level tegangan TTL yaitu 0 – 1 volt untuk logika 0 dan 3 – 5 volt untuk logika 1. Hal ini bisa dilakukan dengan memasang operational amplifier yang difungsikan sebagai komparator.

2.5 Aktuator

Aktuator pada robot *line follower* yang kami buat adalah roda dengan penggeraknya motor dc. Roda yang digunakan dalam line follower ini bisa bermacam – macam jenisnya, mulai dari merek, tipe, dimensi dan lain sebagainya. Umumnya Robot Line Follower dikategorikan berdasarkan jumlah roda yang dimilikinya. Mulai dari robot dengan dua roda, tiga roda atau empat roda. Namun yang umum digunakan adalah robot dengan tiga atau empat roda.



Gambar 2. 26 Motor DC dan *gearbox*

(Sumber: <http://buaya-instrument.com/motor-dc-gearbox-kuning-smart-car-0301000004.html>, diakses pada tanggal 24 Juli 2019)

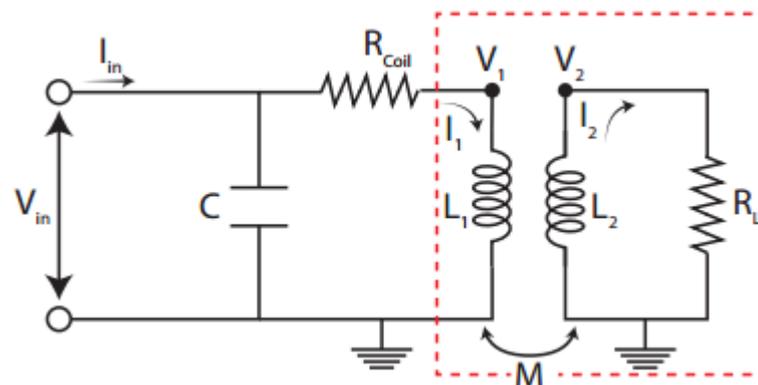
Sepasang roda yang ditempatkan dibelakang dihubungkan dengan dua motor yang masing – masing memiliki kecepatan yang berdiri sendiri. Hal ini penting agar, robot mampu berbelok ke kiri dan kekanan serta mengatur rotasi

putaran yang diinginkan. Sedangkan roda depan bisa menggunakan roda caster yang berfungsi sebagai penyangga. Banyak merek roda caster yang bisa digunakan, salah satunya yang paling terkenal adalah dari pabrikan Tamiya. Namun, tak ada rotan akarpun jadi – jika kita menginginkan yang lebih murah bahkan gratis, bekas roda deodorant dapat dimanfaatkan sebagai roda caster.

(Sumber: <http://e-belajarelektronika.com/definisi-dan-bagian-robot-line-follower/>, diakses pada 15 Maret 2019)

2.6 Penyesuaian Impedansi

Rangkaian *transmitter* dan *reciever* transfer energi listrik *wireless* 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. 27 Impedance Matching

(Sumber: Raiman. Jonathan, ” WIRELESS ELECTRICITY AND IMPEDANCE MATCHING”)

Pada gambar 2.18 merupakan penyesuaian impedansi pada sisi transmitter dan sisi receiver. Sisi kumparan *transmitter* memiliki induktansi bersama (M), dan arus masuk (I_{in}) dan tegangan masuk (V_{in}), serta tegangan diterima (V_2) pada sisi receiver, dan arus diterima (V_2). Impedance matching (Z_{Eq}) terdapat nilai hambatan murni, maka dapat dirumuskan :

$$Z_{eq} = \frac{V_{in}}{I_{in}} \dots\dots\dots(2.35)$$

$$Z_{in} = \frac{V_1}{I_1} \dots\dots\dots(2.36)$$

Sedangkan untuk daya yang diterima dapat dituliskan :

$$\begin{aligned}
 P_{\text{delivered}} &= V_{\text{rms}} I_{\text{in rms}} \\
 &= \frac{V_0}{\sqrt{2}} I_{\text{in rms}} \\
 &= \frac{V_0^2}{2|Z_{\text{eq}}|} \dots\dots\dots(2.37)
 \end{aligned}$$

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