

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transmisi Energi Listrik Nirkabel

Transmisi energi listrik nirkabel atau *wireless power transmission* merupakan salah satu alternatif penyaluran energi menggunakan media udara atau tanpa kabel. Transmisi energi listrik ini menggunakan media udara untuk menyalurkan energi dimana letak sumber energi dan beban dalam jarak berjauhan.

Pada tahun 1889 Nikola Tesla, seorang ilmuwan Serbia - Amerika mengusulkan penggunaan gelombang radio untuk menghantarkan listrik. Pembuatan dan pengujian dilakukan Nikola Tesla yaitu dengan menyalakan ratusan lampu pijar dengan jarak 26 mil. Konsepnya yaitu merubah arus listrik menjadi gelombang elektromagnetik dengan jangkauan radiasi yang besar sehingga dapat menginduksi beban-beban listrik. Seperti yang kita ketahui pada percobaan faraday, arus listrik dapat dihasilkan dari gelombang elektromagnetik yang arahnya berubah-ubah terhadap waktu.

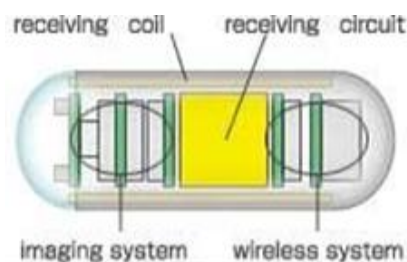
(sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/4217/3/FILE%20III.pdf>)

Prinsip dasar dari *wireless power transmission* atau transmisi energi listrik nirkabel ini yaitu berhubungan dengan fenomena resonansi. Resonansi merupakan suatu peristiwa ikut bergetarnya suatu benda dikarenakan ada nya benda lain yang bergetar dan memiliki frekuensi yang sama dari frekuensi benda tersebut.

2.1.1 Aplikasi Transmisi Energi Listrik Nirkabel

Aplikasi pada transmisi energi listrik nirkabel ditemukan pada beberapa peralatan yang digunakan seperti kapsul endoskopi dalam dunia kedokteran, mobil listrik dalam dunia otomotif yang sistem pengisi baterai listriknya menggunakan sistem *wireless power transmission*.

Kapsul endoskopi merupakan sebuah alat kecil yang berbentuk kapsul obat pada umumnya. Terdapat sensor-sensor, baterai, kamera dan rangkaian elektronik lain berbentuk mikro. Kapsul endoskopi digunakan untuk mendiagnosa penyakit yang terjadi pada saluran pencernaan. Kapsul endoskopi dilengkapi dengan sistem transmisi energi listrik nirkabel. Rancangan kapsul endoskopi terdiri dari coil sebagai penerima daya, rangkaian penyearah, rangkaian regulator tegangan.



Gambar 2.1 Kapsul Endoskopi dengan Teknologi *Wireless Power*
 (Sumber : Atar, Muhammad. 2012. *Perancangan Penghantar Daya*.
 Depok : Universitas Indonesia)

Aplikasi lain yaitu konsep kendaraan yang pengisian energinya memanfaatkan *wireless power transmission system*. Baterai pada kendaraan terhubung dengan *receiver coil* yang diletakkan dibawah kendaraan dan saat hendak mengisi ulang, mobil tersebut memposisikan posisinya sejajar dengan *transmitter* sebagai penghantar daya yang terletak sejajar dengan tanah.



Gambar 2.2 Mobil Listrik dengan *Wireless Power Charging*
 (Sumber: <http://www.ecofriend.com/entry/automotive-electrical-firms-developing-wireless-charging-systems-for-electric-and-plug-in/>)

2.2 Metode Transmisi Energi Listrik Nirkabel

Berdasarkan klarifikasinya, wireless power transmission dibagi menjadi dua, yaitu sebagai berikut:

a. Medan dekat

Metode *wireless power transmission* untuk medan dekat dengan memanfaatkan prinsip kopling induktif antar kumparan oleh medan listrik. Pengembangan teknik medan dekat ini lebih fokus ke charging untuk peralatan komputasi mobile seperti ponsel, komputer portabel.

b. Medan jauh

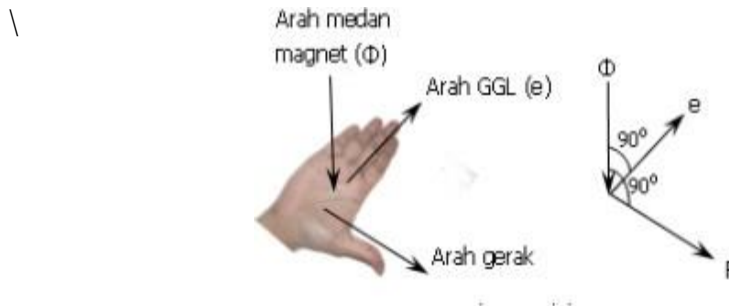
Metode wireless power transmission untuk medan jauh menggunakan sinar dari radiasi elektromagnetik seperti sinar laser. Pengembangan dengan teknik medan jauh sampai saat ini adalah satelit tenaga surya dan pesawat drone wireless power. Dengan beberapa teknik tersebut, *wireless power transmission* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan.

Kelebihannya yaitu perangkat elektronik lebih nyaman digunakan dengan menghilangkan kebutuhan kabel listrik sehingga kecil resiko akan terjadinya korsleting listrik. Sedangkan, kelemahannya adalah efisiensi yang masih tergolong cukup rendah jika dalam skala besar, dalam realisasi skala besar akan membutuhkan biaya yang cukup mahal serta dapat menyebabkan gangguan pada sistem komunikasi.

(sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/4217/3/FILE%20III.pdf>)

2.2.1 Gaya Gerak Listrik (GGL)

Gaya gerak listrik (GGL) merupakan gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet, gerak GGL induksi yang terjadi ditunjukkan dengan aturan tangan kanan, Bila telapak tangan dibuka sedemikian rupa sehingga ibu jari dan keempat jari lainnya saling tegak lurus (90^0), maka ibu jari menunjukkan arah gerak penghantar (F) sednagkan garis yang menembus telapak tangan kanan adalah garis gaya medan (Φ) dan empat jari lainnya menunjukkan arah GGI induksi yang terjadi. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.3



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>)

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

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

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

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

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

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu :

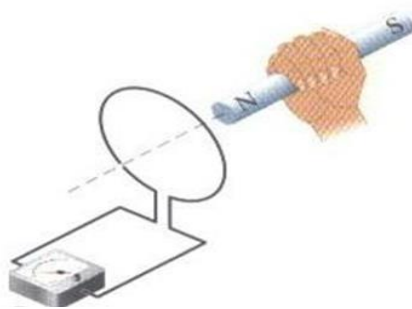
1. Kecepatan perubahan medan magnet. Semakin Semakin cepat perubahan medan magnet, maka GGL induksi yang timbul semakin besar.
2. Kekuatan magnet. Semakin kuat gejala kemagnetannya, maka GGL induksi yang timbul juga semakin besar.

2.2.2 Prinsip Induksi Elektromagnetik

Pada awal tahun 1930, Michael Faraday melakukan berbagai percobaan yang berhubungan dengan pengaruh medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu suatu kumparan atau loop tertutup.

Pada percobaan pertama Faraday, kumparan dipasang seri dengan galvanometer (pengukur arus) karena tidak ada sumber tegangan (baterai), maka mula-mula tidak ada arus, dan apabila suatu batang magnet dimasukkan ke dalam kumparan dan digerakkan maka akan terbaca arus pada galvanometer.

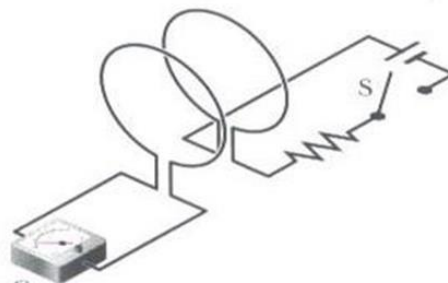
Percobaan Faraday dapat digambarkan secara sederhana seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Percobaan Pertama Faraday

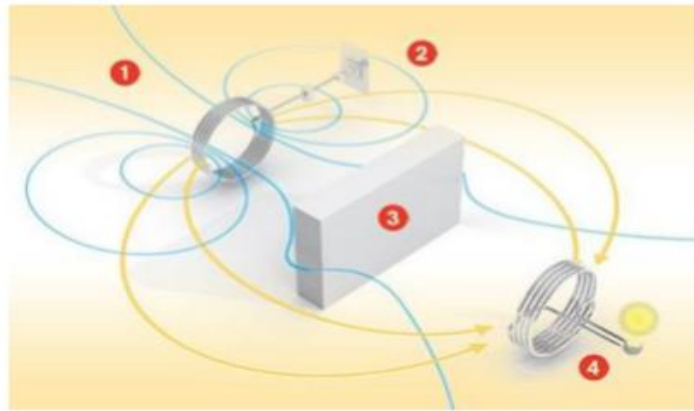
(Sumber : dosen.tf.itb.ac.id/.../index.php?...Bab%209%20hukum%20Faraday.ppt)

Hal yang sama juga terjadi apabila magnet batangnya diam dan kumparannya digerakkan. Apabila batang magnet dimasukkan ke dalam kumparan maka tidak akan ada arus yang timbul pada kumparan tersebut. Hal ini membuktikan bahwa arus dalam suatu kumparan dapat ditimbulkan dari medan magnet yang berubah terhadap waktu yang menginduksi kumparan tersebut. Arus yang mengalir disebut arus induksi.



Gambar 2.4 Percobaan Kedua Faraday

(Sumber : dosen.tf.itb.ac.id/.../index.php?...Bab%209%20hukum%20Faraday.ppt)



Gambar 2.5 Ilustrasi Arus Magnet yang Memasuki Kumparan

(Sumber : dosen.tf.itb.ac.id/.../index.php?...Bab%209%20hukum%20Faraday.ppt)

Gambar 2.5 merupakan cara kerja transfer energi listrik nirkabel pada kumparan pengirim yang terhubung dengan power supply sebagai sumber energi listrik, induksi elektromagnetik yang dihasilkan akan beresonansi dengan kumparan penerima sehingga terjadi aliran energi listrik yang dapat digunakan untuk beban listrik.

Dari peristiwa ini dapat disimpulkan bahwa induksi elektromagnetik merupakan peristiwa timbulnya Gaya Gerak Listrik (GGL) pada suatu kumparan akibat mengalami perubahan garis-garis gaya magnet (fluks magnetik). Medan magnet konstan tidak dapat menghasilkan arus listrik, namun perubahan fluks medan magnetik di dalam suatu rangkaian bahan penghantar akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut (Hukum Faraday).

2.3 Prinsip Kerja *Wireless Power Transmission*

Transmisi energi listrik ini bekerja menggunakan prinsip resonansi elektromagnetik yaitu terdapat dua buah kumparan yang terhubung secara magnetis dengan dilengkapi rangkaian resonansi yang di atur untuk beresonansi pada frekuensi yang sama dengan menggunakan media udara, hal ini disebut kopling induktif resonansi.

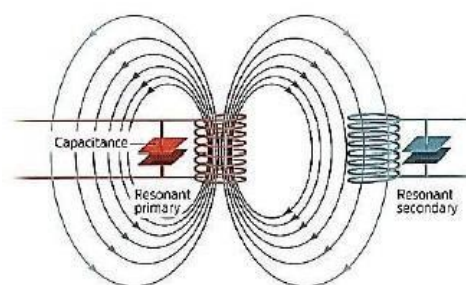
Terdapat dua rangkaian yang berbeda pada sistem wireless power transmission yakni sebuah kumparan pemancar di satu perangkat untuk mentransmisikan energi listrik dan kumparan penerima akan menerima dan mengalirkan ke perangkat lain.

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

2.4 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 wireless power transmission atau transmisi energi listrik nirkabel dihubungkan dengan baterai. Rangkaian pengirim terdiri atas beberapa rangkaian yaitu baterai, Oscillator, Coil Transmitter, dan beban (Robot line follower).

Induktansi menginduksi arus pada rangkaian kopling induktif. Seperti yang terlihat pada gambar 2.6 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 2.6 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)

2.4.1 Baterai

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi dan dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi.

Reaksi elektrokimia *reversible* adalah proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

Baterai terdiri dari dua jenis yaitu baterai yang hanya dapat dipakai sekali atau *single use* dan baterai yang dapat di isi ulang atau *rechargeable*. Baterai primer hanya bisa dipakai sekali, karena menggunakan reaksi kimia yang bersifat tidak bisa dibalik (*irreversible reaction*). Sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang karena reaksi kimianya bersifat bisa dibalik (*reversible reaction*).

(sumber : <http://repository.unpar.ac.id/handle/123456789/4732>)

1. Baterai Primer

Pada baterai kering yang biasa digunakan, elektroda terdiri dari batang karbon positif pada pusat sel dan bejana seng negatif dengan elektrolit ammonium klorida. Selama pemakaian, seng secara perlahan-lahan larut ketika arus listrik dihasilkan. Ketika ammonium klorida jenuh, aliran arus listrik berhenti dan sel harus dibuang. Sel seperti itu dikatakan primer atau tak dapat diisi ulang. Jenis-jenis baterai yang tergolong dalam kategori baterai primer sekali pakai atau *single use* diantaranya adalah baterai zinc carbon, baterai alkaline, baterai lithium, dan baterai silver oxide.

2. Baterai Sekunder

Pada prinsipnya, cara baterai sekunder menghasilkan arus listrik adalah sama seperti baterai primer. Hanya saja, reaksi kimia pada baterai sekunder ini dapat berbalik (*reversible*). Pada saat baterai digunakan dengan menghubungkan beban pada terminal baterai, elektron akan mengalir dari negatif ke positif.

Sedangkan pada saat sumber energi luar dihubungkan ke baterai sekunder, elektron akan mengalir dari positif ke negatif sehingga terjadi pengisian muatan pada baterai. Jenis-jenis baterai yang dapat di isi ulang *rechargeable* baterai antara lain seperti baterai Ni-cd (Nickel-Cadmium), Ni-MH (Nickel- Metal Hydride) dan Li-Ion (Lithium-Ion).

2.4.1.1 Baterai Lithium Ion



Gambar 2.7 Bentuk Fisik Baterai Lithium Ion

(Sumber: <https://media.neliti.com/media/publications/193615-ID-pemantauan-proteksi-dan-ekualisasi-bater.pdf>)

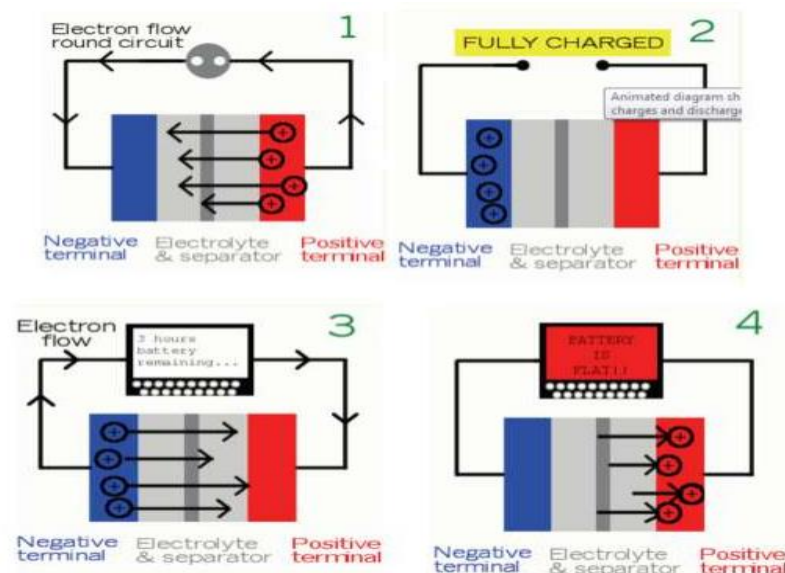
Baterai litium merupakan salah satu jenis baterai sekunder (*rechargeable battery*) yang dapat diisi ulang dan merupakan baterai yang ramah lingkungan karena tidak mengandung bahan yang berbahaya seperti baterai-baterai yang berkembang lebih dahulu yaitu baterai NI-Cd dan NI-MH.

Dalam kondisi *charge* dan *discharge* baterai lithium ion bekerja menurut fenomena interkalasi, yaitu proses pelepasan ion lithium pada tempat di struktur kristal bahan elektroda yang lain.

Baterai Li-Ion merupakan baterai dengan rapat energi lebih tinggi dibandingkan dengan baterai lainnya. Hal ini memungkinkan baterai Li-Ion memiliki volume lebih kecil untuk kapasitas yang sama. Selain itu, baterai Li-Ion tidak memiliki *memory effect* sehingga dapat di *recharge* (dicharge kembali).

Selama proses *charge* baterai, terjadi pergerakan ion lithium dari elektroda positif (katoda) melalui separator dan elektrolit ke elektroda negatif (anoda). Baterai menyimpan energi selama proses ini (densitas energi). Selama *discharge*, ion litium bergerak dari elektroda negatif (anoda) ke elektroda positif (katoda) melalui seperator dan elektrolit, menghasilkan densitas daya pada baterai.

Dalam proses interkalasi elektron mengalir dalam arah yang sama dengan ion di sekitar sirkuit luar. Pergerakan ion dan elektron adalah proses yang saling berhubungan dan jika salah satu dari mereka berhenti maka yang lain juga berhenti. Reaksi yang terjadi pada sistem baterai lithium ion merupakan reaksi reduksi dan oksidasi yang terjadi pada katoda dan anoda baterai. Reaksi reduksi adalah reaksi penambahan elektron oleh suatu molekul atau atom sedangkan reaksi oksidasi adalah reaksi pelepasan elektron pada suatu molekul atau atom.



Gambar 2.8 Proses *Charging* – *Discharging* Baterai Lithium Ion

(Sumber : <https://media.neliti.com/media/publications/193615-ID-pemantauan-proteksi-dan-ekualisasi-bater.pdf>)

2.4.2 Sensor Infra Red (IR)

Infra Red detector atau sensor infra merah adalah komponen elektronika yang dapat mengidentifikasi cahaya infra merah atau infra red (IR). Sensor infra merah atau detektor infra merah saat ini ada yang dibuat khusus dalam satu module dan dinamakan sebagai IR Detector Photomodules. IR Detector Photomodules merupakan sebuah chip detektor inframerah digital yang di dalamnya terdapat photodiode dan penguat.



Gambar 2.9 Sensor IR

(Sumber: https://www.academia.edu/38258824/Makalah_Sensor_Infrared.docx)

Sistem sensor infra merah pada dasarnya menggunakan infra merah sebagai media untuk komunikasi data antara *transmitter* dan *receiver*. Sistem akan bekerja jika sinar infra merah yang dipancarkan terhalang oleh suatu benda yang mengakibatkan sinar infra merah tersebut tidak dapat terdeteksi oleh penerima. Keuntungan atau manfaat dari sistem ini dalam penerapannya antara lain sebagai pengendali jarak jauh, alarm keamanan, otomatisasi pada sistem.

Pemancar pada sistem ini terdiri atas sebuah LED infra merah yang dilengkapi dengan rangkaian yang mampu membangkitkan data untuk dikirimkan melalui sinar infra merah, sedangkan pada bagian penerima biasanya terdapat foto transistor, fotodiode, atau inframerah modul yang berfungsi untuk menerima sinar inframerah yang dikirimkan oleh pemancar.

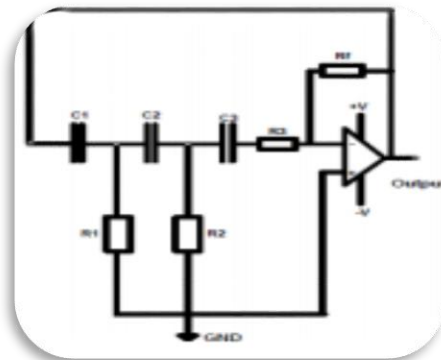
2.4.3 *Oscillator*

Oscillator adalah sebuah perangkat yang memiliki fungsi untuk membangkitkan sinyal osilasi (sinyal sinusoidal). Untuk menghasilkan sinyal osilasi dibutuhkan sumber tegangan yang diberikan ke rangkaian *oscillator*. Contoh rangkaian osilasi yang umum digunakan adalah resistor, kapasitor, dan komponen elektronika lainnya sebagai penguat sinyal seperti transistor, op-amp, dan mosfet.

Prinsip kerja dari rangkaian *oscillator* dimulai dari sinyal *noise* yang berasal dari tegangan sumber DC saat pertama kali rangkaian bekerja. Sinyal *noise* ini kemudian kembali ke input penguat sehingga terjadi proses looping (berulang-ulang). Selanjutnya sinyal *noise* semakin membesar dan membentuk periode tertentu sesuai jaringan filter yang dipasang. Periode inilah yang menjadi nilai frekuensi sebuah *oscillator* atau disebut sebagai frekuensi resonansi. Rangkaian *oscillator* yang digunakan terdapat berbagai macam kondisinya, salah satunya *oscillator* pergeseran fasa RC.

Rangkaian *oscillator* pergeseran fasa RC ini adalah salah satu rangkaian yang paling efektif untuk pembangkit gelombang sinyal sinus. *Oscillator* tersebut memiliki sebuah filter umpan balik yang menggeser fasa 180° fasa dari frekuensi osilasi. Pada frekuensi osilasi tegangan input dan output penguat berbeda fasa 180° . Perbedaan ini diperoleh dari jaringan tangga RC tiga tingkat dengan menggunakan umpan balik masing-masing memberikan pergeseran fasa sebesar 60° . Rangkaian *oscillator* pergeseran fasa ini memiliki kelebihan diantaranya :

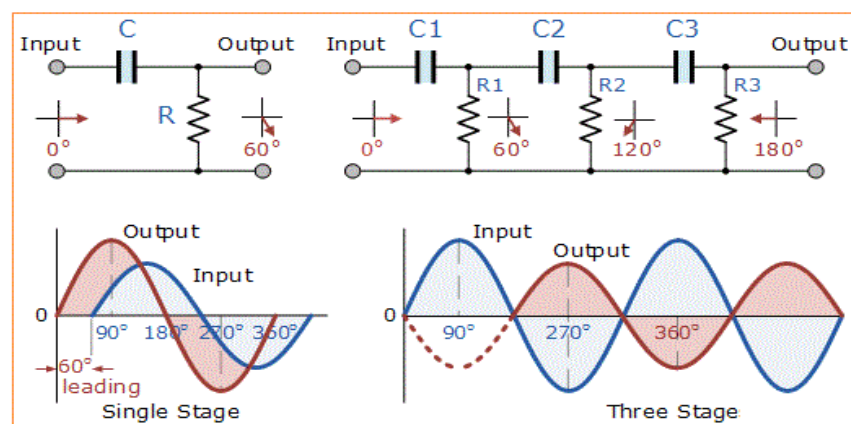
- a. Perancangan rangkaian osilator mudah dilakukan dengan komponen dasar seperti resistor dan kapasitor.
- b. Memberikan stabilitas frekuensi yang sangat baik.
- c. Pada frekuensi kerja yang tinggi, frekuensi yang dihasilkan stabil dan amplitudo yang besar.



Gambar 2.10 Contoh Rangkaian *Oscillator* Pergeseran Fasa RC

(Sumber : Charisma, Atik, dkk. Oktober, 2018. *Pemancar Pada Transmisi Energi Listrik Tanpa Kabel*. Cimahi : Universitas Jenderal Achmad Yani)

Gambar 2.10 adalah rangkaian *osilator* pergeseran fasa RC. Rangkaian ini dibangun dari resistor dan kapasitor dalam bentuk jaringan tangga atau bertingkat dengan menggunakan umpan balik sebagai penghasil frekuensi resonansi. Sehingga, rangkaian menghasilkan sinyal osilasi yang memiliki frekuensi resonansi.



Gambar 2.11 Perbedaan Gelombang RC tunggal dan RC Tiga Tingkat

(Sumber : Charisma, Atik, dkk. Oktober, 2018. *Pemancar Pada Transmisi Energi Listrik Tanpa Kabel*)

Rangkaian diatas menunjukkan gelombang yang dihasilkan dari rangkaian *oscillator* pergeseran fasa RC. Pada rangkaian sebelah kiri menunjukkan resistor dan kapasitor tunggal yang *output* tegangan lebih besar dan cepat dibandingkan dengan tegangan *input* dengan sudut kurang dari 90°. Sedangkan, pada rangkaian sebelah kanan merupakan rangkaian RC tiga tingkat yang menghasilkan pergeseran fasa tepat 90°. Karena pergeseran fasa yang dibutuhkan sebesar 180° untuk osilasi, sehingga dibutuhkan minimal dua kutub tunggal dalam desain *oscillator* pergeseran fasa RC.

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). Sehingga, 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. Menurut hukum Faraday, semua perubahan fluks magnetik akan menghasilkan tegangan induksi yang besarnya :

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

$$\phi = BA \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

V induksi adalah tegangan induksi (Volt), N adalah banyaknya lilitan, A adalah luas penampang inti (m²), 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, B adalah medan magnetik (Tesla).

2.5 Bipolar Junction Transistor (BJT)

BJT (*Bipolar Junction Transistor*) adalah salah satu jenis transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan melibatkan dua jenis pembawa muatan yaitu elektron yang merupakan pembawa muatan negatif dan *hole* yang berperan sebagai pembawa muatan positif. Struktur sebagaimana dua buah dioda yang disatukan dan memiliki jumlah kaki atau pin sebanyak tiga yaitu Emitter (E), Basis (B), Kolektor (C). Terdapat dua jenis transistor Bipolar Junction Transistor yaitu PNP dan NPN.

1. Transistor PNP

Pada jenis transistor ini beroperasi dengan diberikan bias pada bagian emitter-base dan collector base. Bias maju pada terminal V_{EE} menyebabkan sebagian arus mayoritas dari semikonduktor tipe P (hole), bergerak melewati daerah percabangan, masuk ke kolektor. Hanya sebagian kecil mengalir ke basis. Bias mundur pada terminal V_{CC} menyebabkan sebagian kecil arus pembawa mayoritas dari semikonduktor tipe N (elektron) masuk ke percabangan kolektor dan basis.

2. Transistor NPN

Transistor NPN terdiri dari selapis semikonduktor tipe-p di antara dua lapisan tipe-n. Arus kecil yang memasuki basis pada tunggal emitor dikuatkan di keluaran kolektor. Dengan kata lain, transistor NPN aktif saat tegangan basis lebih tinggi daripada tegangan emitor.

(sumber : Bestarina, Maria. 2017. Bipolar Junction Transistor. Jakarta : Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.)

Dalam proyek ini peneliti menggunakan Bipolar Junction Transistor tipe MD1802FX spesifikasi yang memumpuni sebagai berikut:

Tabel 2.1 Spesifikasi MD1802FX

Parameter	Symbol	Test Condition	MIN	MAX	Satuan
Collector cut off current ($V_{BE}=0$)	I_{CES}	$V_{CE} = 1500V$ $V_{CE}=1500V; TC=125^{\circ}C$		0,2	mA
				2	mA
Emitter cut-off current ($I_C=0$)	I_{EBO}	$V_{EB}=9V$		1	mA
Collector-emitter sustaining voltage ($I_C=0$)	$V_{CEO(sus)}$	$I_C=100mA$	700		V
Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=5A$ $I_B=1,25A$		1,5	V
Base-emitter saturation voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C=5A$ $I_B=1,25A$		1,2	V
DC current gain	$h_{FE}^{(1)}$	$I_C= 1A$ $V_{CE} = 5V$	5,5	8,5	
		$I_C = 5A$ $V_{CE}= 1V$			
		$I_C = 5A$ $V_{CE} = 5V$			
Inductive load	ts	$I_C = 4A$ $I_{B(on)} = 500mA$			
Storage time	tf	$V_{BE(off)} = -2,7V$ $f_h=16KHz$			μS
Fall time		$L_{BB(off)} = 4,5 \mu H$			μS

2.6 Robot

Robot merupakan suatu perangkat mekanik yang mampu menjalankan tugas-tugas fisik, baik di bawah kendali dan pengawasan manusia, ataupun yang dijalankan dengan serangkaian program yang telah didefinisikan terlebih dahulu atau kecerdasan buatan. Industri robot dibangun dari tiga sistim dasar :

1. Struktur mekanis, yaitu sambungan-sambungan mekanis (*link*) dan pasangan-pasangan (*joint*) yang memungkinkan untuk membuat berbagai variasi gerakan.
2. Sistem kendali, dapat berupa kendali tetap ataupun servo, yang dimaksud dengan sistem kendali tetap yaitu suatu kendali robot yang pengaturan gerakannya mengikuti lintasan (*path*), sedangkan kendali servo yaitu suatu kendali robot yang pengaturan gerakannya dilakukan secara *point to point* (PTP) atau titik pertitik.

3. Unit penggerak (actuator), seperti hidrolik, pneumatik, elektrik ataupun kombinasi dari ketiganya.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, khususnya teknologi elektronik, peran robot menjadi semakin penting tidak saja dibidang sains, tapi juga di berbagai bidang lainnya, seperti di bidang kedokteran, pertanian, bahkan militer.

2.6.1 Robot Manipulator

Sebuah robot industri terdiri dari sebuah robot manipulator, *power supply*, dan pengontrol. Robot manipulator dibuat dari urutan kombinasi link dan sumbu. Link yang menghubungkan para anggota kaku sendi atau kapak. Sumbu adalah komponen bergerak dari robot yang menyebabkan gerakan relatif antara link yang berdekatan.

Manipulator robot dapat dibagi menjadi dua bagian masing-masing dengan fungsi yang berbeda yaitu :

1. Lengan dan tubuh.

Lengan dan tubuh robot digunakan untuk memindahkan bagian-bagian posisi alat-alat kerja.

2. *Wrist* yaitu pergelangan tangan ini digunakan untuk mengarahkan bagian- bagian atau peralatan di lokasi kerja.



Gambar 2.12 Robot Manipulator

(Sumber : <https://journal.trunojoyo.ac.id/jim/article/view/157/0>)

2.6.2 *Mobile Robot*

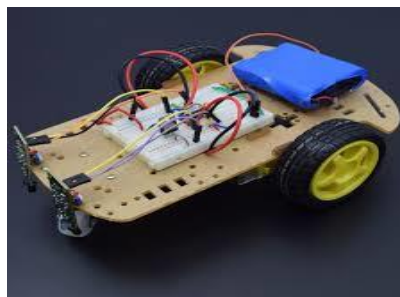
Mobile Robot atau robot bergerak adalah konstruksi robot yang mempunyai aktuator berupa roda untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut, sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain.

a. *Robot Line Follower*

Robot *Line Follower* (Robot Pengikut Garis) adalah robot yang dapat berjalan mengikuti garis pada sebuah lintasan. Garis yang dimaksud adalah garis berwarna hitam diatas permukaan berwarna putih atau sebaliknya, ada juga lintasan dengan warna lain tetapi warna garis harus kontras dari bidang lintasannya. Robot ini juga di kenal dengan sebutan *Line Tracker*.

Ada 2 macam robot line follower yaitu Analog dan Mikrokontroller (Digital). Jika analog menggunakan fungsi-fungsi logika pada IC TTL tapi pada robot mikrokontroller dengan menggunakan program yang dibuat pada software komputer lalu di kirim ke dalam IC mikrokontroller.

Pada robot *line follower* analog digerakkan maju dan mundur dengan menggunakan driver motor L293D, saat sensor mendeteksi adanya garis hitam ditengah dari wilayah sensor maka kedua motor akan berjalan searah jarum jam sehingga robot maju, dan ketika sensor mendeteksi adanya garis hitam dipinggir wilayah sensor maka salah satu motor akan berputar searah jarum jam dan yang satu berlawanan arah jarum jam sehingga robot akan bergerak ke kanan atau kiri.



Gambar 2.13 Robot *Line Follower*

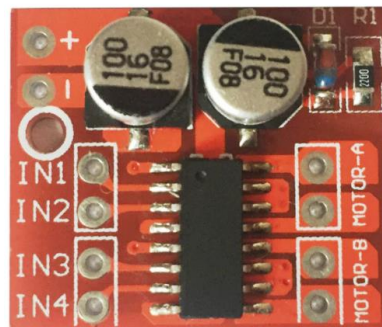
(Sumber : <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/raspberry-pi-line-follower-robot>)

2.7 Driver Motor

Driver motor adalah rangkaian yang digunakan untuk mengatur arah putaran dan kecepatan dari motor DC. Salah satu *driver motor* DC tersebut *driver motor* L298N. *Driver motor* L298N merupakan modul driver motor DC yang paling banyak digunakan untuk mengontrol kecepatan serta arah perputaran motor DC.

Driver motor ini merupakan sebuah *driver motor* berbasis IC L298 dual H-bridge. *Driver motor* ini mampu menangani beban hingga 4A pada tegangan 6 V–46 V. Dalam chip terdapat dua rangkaian H-Bridge. IC L298 merupakan sebuah IC tipe H-bridge yang mampu mengendalikan beban-beban induktif seperti relay, solenoid, motor DC, *driver motor stepper bipolar* dan motor stepper. Mampu mengeluarkan output tegangan untuk motor DC sebesar 50 Volt dan dapat mengendalikan 2 untuk motor DC.

L298N adalah *driver motor* yang memiliki dua buah rangkaian H-Bridge didalamnya, sehingga dapat digunakan untuk mengontrol dua buah motor DC. IC driver L298 memiliki kemampuan menggerakkan motor DC sampai arus 2A dan tegangan maksimum 40 volt DC untuk satu kanalnya.



Gambar 2.14 Driver motor L298N

(Sumber : <https://www.module143.com/arduino/l293d-motor-driver-shield>)

2.7.1 Prinsip Kerja *Driver Motor* DC dengan IC L298N

Prinsip kerja *driver motor* L298N dapat ditunjukkan melalui tabel-tabel dibawah berikut ini .

Tabel 2.2 Prinsip Kerja *Driver Motor* L298N Untuk Keluaran Motor A

Input Logika		Keluaran Motor
IN 1	IN 2	
1	0	Motor A berputar searah jarum jam
0	1	Motor A berputar berlawanan arah jarum jam
1	1	Motor A tidak berputar
0	0	Motor A tidak berputar

Tabel 2.3 Prinsip Kerja *Driver Motor* L298N Untuk Keluaran Motor B

Input Logika		Keluaran Motor
IN 1	IN 2	
1	0	Motor B berputar searah jarum jam
0	1	Motor B berputar berlawanan arah jarum jam
1	1	Motor B tidak berputar
0	0	Motor B tidak berputar

2.7.2 Fungsi Pin Driver Motor DC IC L298N

- a. Pin In (Input 1, 2) adalah pin input sinyal kendali motor DC A
- c. Pin In (Input 3, 4) adalah pin input sinyal kendali motor DC B
- c. Pin Out (Output 1, 2) adalah jalur output untuk mengatur atau menjalankan motor DC A
- d. Pin Out (Output 3, 4) adalah jalur output untuk mengatur atau menjalankan motor DC B
- d. Pin VCC adalah jalur input tegangan sumber driver motor DC
- e. Pin GND (Ground) adalah jalur yang harus dihubungkan ke ground.

2.8 Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) adalah peralatan elektromekanik dasar yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik. Motor DC merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaganya. Dengan memberikan beda tegangan pada kedua terminal tersebut, motor akan berputar pada satu arah, dan bila polaritas dari tegangan tersebut dibalik maka arah putaran motor akan terbalik pula. Polaritas dari tegangan yang diberikan pada dua terminal menentukan arah putaran motor sedangkan besar dari beda tegangan pada kedua terminal menentukan kecepatan motor.

Putaran pada motor DC didapat dari dorongan medan magnet yang dihasilkan penghantar yang dialiri arus DC. Penghantar ini biasanya berupa lilitan kawat tembaga yang di tempatkan pada bagian motor yang erputar. Bagian ini dikenal dengan istilah jangkar atau armature. Motor DC ini biasanya digunakan untuk keperluan industri maupun rumahan seperti penggerak kompresor hingga sebagai penggerak robot. Motor DC juga digunakan pada peralatan rumah seperti mixer, bor listrik, kipas angin.



Gambar 2.15 Motor DC

(Sumber : <https://picclick.fr/DF-FIT0458-Motor-DC-with-encoder-with-gearbox-6VDC-162847899054.html>)

Pada gambar 3.14 diatas menunjukkan bentuk fisik dari motor DC. Pada dasarnya, prinsip kerja motor DC diatas itu sama dengan jenis motor DC yang lainnya. Hanya saja bentuknya yang terlihat berbeda. Apabila tegangan yang diberikan ke motor DC lebih rendah dari tegangan operasionalnya maka akan memperlambat rotasi motor DC tersebut, sedangkan apabila tegangan yang diberikan lebih tinggi dari tegangan operasionalnya maka akan membuat rotasi motor DC menjadi lebih cepat.

Motor DC bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorents, menyatakan bahwa ketika sebuah konduktor beraliran arus diletakkan dalam medan magnet, maka sebuah gaya (yang dikenal dengan gaya Lorents) akan tercipta secara ortogonal diantara arah medan magnet dan arah aliran arur. Kecepatan putar motor DC (N) dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$N = \frac{V_{tm} - I_a R_a}{K \Phi} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan

VTM : Tegangan terminal

IA : Arus jangkar motor

RA : Hambatan jangkar motor

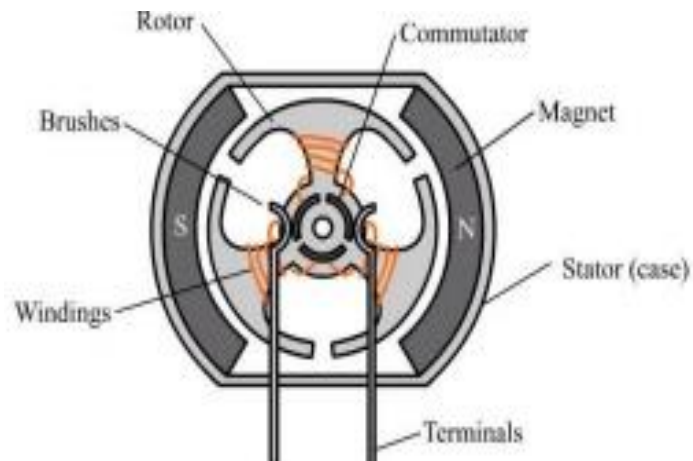
K : Konstanta motor

Ø : Fluks magnet yang terbentuk pada motor

(sumber : Iswandi, Puji. 2014. *Motor DC Series, Karakteristik. Laporan Akhir. Diterbitkan. Politeknik Negeri Batam : Batam*).

2.8.1 Bagian-Bagian Motor DC

Motor DC memiliki 3 bagian atau komponen utama untuk dapat berputar. Yang ditunjukkan seperti gambar di bawah ini

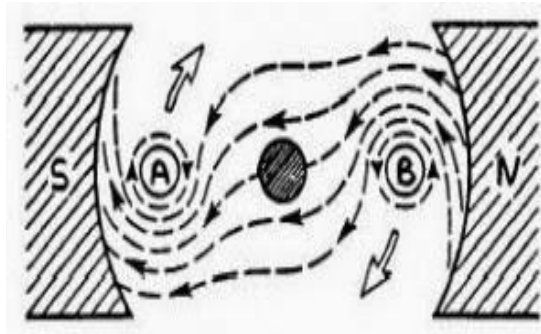


Gambar 2.16 Bagian Motor DC (Direct Durrent)

(Sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/3881/>)

1. . Kutub medan. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan yaitu kutub utara dan kutub selatan.
2. Rotor. Bila arus masuk menuju rotor (bagian motor yang bergerak), maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Rotor yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban.
3. Komutator. Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikkan arah arus listrik dalam motor. Komutator juga membantu dalam transmisi arus antara motor dan sumber daya.

(sumber : <http://eprints.polsri.ac.id/3881/>)



Gambar 2.17 Prinsip Kerja Motor DC

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

Secara matematis, gaya lorentz dapat dituliskan dengan persamaan :

$$F = B \cdot I \cdot L \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

F = Gaya magnet pada sebuah arus (Newton)

B = Medan magnet (Tesla)

I = Arus yang mengalir (Ampere)

L = Panjang konduktor (meter)

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.