

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transfer Daya Nirkabel

Transfer Daya Nirkabel adalah suatu sistem transmisi yang tidak menggunakan kabel untuk mentransfer listrik, tetapi menggunakan medan magnet atau medan listrik sebagai perantara mentransfer energi listrik. Sistem transfer daya nirkabel ini memiliki kegunaan untuk kehidupan sehari-hari, yaitu : (Supriyadi *et al.*, 2017)

1. Memberikan kemudahan untuk memberikan energi listrik pada peralatan elektronik yang membutuhkan sumber listrik.
2. Pengisian daya secara otomatis untuk alat elektronik yang menggunakan baterai saat alat tersebut masuk ke dalam jangkauan sistem.

Prinsip kerja transfer energi listrik wireless hampir sama dengan prinsip kerja transformator. Proses terjadinya transfer energi, ketika sumber tegangan mengalirkan arus bolak-balik ke rangkaian kumparan TX (rangkaiannya pengirim energi listrik), maka di rangkaian kumparan TX akan menghasilkan medan magnetik di sekeliling kumparan. Medan magnet pada kumparan akan menciptakan garis-garis gaya medan magnetik. Kumparan TX yang menghasilkan medan magnet, kemudian menginduksi (induksi bersama) kumparan RX (rangkaiannya penerima energi listrik) dengan syarat kumparan RX harus berada di area garis gaya medan magnetik kumparan RX. Hasil induksi bersama menghasilkan medan magnet di kumparan RX (Panggabean, 2014).

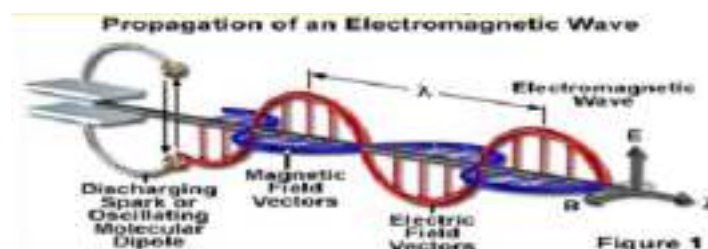
Pada rangkaian TX terjadi perubahan nilai tegangan sehingga menimbulkan perubahan medan listrik yang mengalir di rangkaian TX. Perubahan medan listrik

terhadap waktu akan menimbulkan perubahan fluks medan magnet di sekeliling kumparan TX. Perubahan nilai medan magnet pada kumparan TX menciptakan berubahnya medan yang diinduksi pada kumparan RX. Perubahan tersebut menghasilkan berubahnya medan magnet di kumparan TX. Medan magnet pada kumparan RX yang berubah-ubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik dan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian kumparan RX (Panggabean, 2014).

2.2 Prinsip Pengiriman Energi Dengan Induksi Resonansi Magnetik

2.2.1 Resonansi Kopling Magnetik

Resonansi elektromagnetik erat hubungannya dengan fenomena medan elektromagnetik yang juga erat hubungannya dengan proses terjadinya aliran listrik. Radiasi dari medan elektromagnetik pada tingkat tertentu dapat menjadi berbahaya bagi kelangsungan hidup organisme yang berada di dalam jangkauannya. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.1, Medan elektromagnetik dapat digolongkan dalam medan listrik dan medan magnet. Dan karena medan magnet jauh lebih aman bila dibandingkan dengan medan listrik, maka medan magnet menjadi pilihan yang paling tepat untuk digunakan sebagai media pengiriman energi jika dibandingkan dengan medan listrik dalam pemanfaatannya untuk perpindahan energi secara resonansi elektromagnetik (Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015).

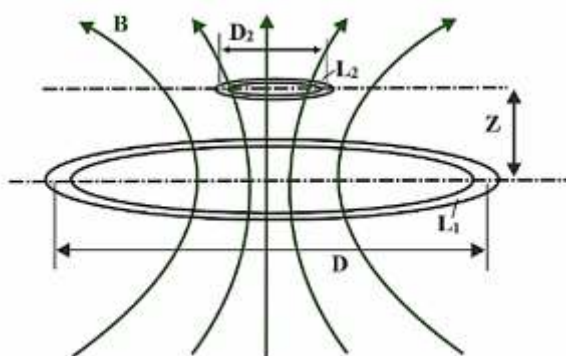


Gambar 2. 1 Gelombang Elektromagnetik
(Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015)

Dalam pembangkitan suatu medan elektromagnetik, radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan akan memuat sejumlah energi yang dipancarkan ke lingkungan. Energi ini akan terus terpancar, tidak bergantung pada ada atau tidaknya yang menangkap gelombang tersebut. Apabila terdapat suatu benda yang mampu menangkap radiasi elektromagnetiknya, maka benda tersebut akan beresonansi dan akan menerima energi tersebut dan terjadilah perpindahan energi secara resonansi elektromagnetik (Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015).

Secara umum, sistem resonansi elektromagnetik dengan resonansi frekuensi memiliki kesamaan, yaitu sama- sama memiliki nilai efektif dalam radius tertentu. Apabila di dalam radius efektif tersebut terdapat sumber medan elektromagnetik atau penangkap gelombang elektromagnetik lain yang memiliki frekuensi resonansi yang sama dengan sistem sebelumnya, maka mereka akan dapat bergabung dengan sistem resonansi elektromagnetik yang telah ada dan akan membentuk hubungan resonansi elektromagnetik yang lebih besar (Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015).

Sistem transmisi energi listrik nirkabel ini sangat bergantung pada medan magnet yang dihasilkan antena konduktor *transmitter* agar dapat menginduksi di antena konduktor *receiver*. Efek ini terjadi di daerah sekitar medan elektromagnetik, dengan *receiver* yang berdekatan dengan *transmitter*. Semakin jauh jarak antara kedua rangkaian, maka semakin hilang medan elektromagnetik di antara kedua antena konduktor. Bahkan pada rentang yang relatif dekat, kopling induktif tidak begitu efisien dan banyak terjadi rugi-rugi pada energi yang ditransfer (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018).

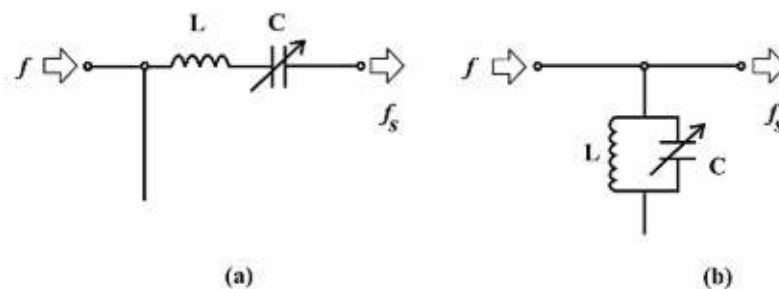


Gambar 2. 2 Induksi Pada Resonansi Kopling Induktif Seperti

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.2, Sistem transfer daya induktif terjadi pada dua kumparan terpisah yang menginduksi satu sama lain. Kumparan (*coil*) D (*Transmitter*) dan kumparan (*coil*) D₂ (*Receiver*) yang terpisahkan oleh sebuah jarak Z. Kumparan (*coil*) *transmitter* menginduksi kumparan (*coil*) *receiver* dengan besaran medan magnet B sehingga kumparan (*coil*) *receiver* akan terinduksi. Efisiensi yang baik terjadi bila kedua kumparan (*coil*) beresonansi, dimana kedua kumparan (*coil*) memiliki karakteristik impedansi yang sama sehingga seakan-akan kumparan (*coil*) tersebut seperti bersifat resistif murni (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018).

2.2.2 Prinsip Resonansi

Menurut Jack E. Kemmerly pada tahun 1998 rangkaian resonansi adalah rangkaian penala (*Tuning Circuit*) yang berfungsi untuk menala sinyal dengan frekuensi tertentu. Menala berarti rangkaian tersebut beresonansi dengan sinyal/frekuensi (Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015). Rangkaian resonansi pada dasarnya tersusun dari sebuah kapasitor dan sebuah induktor yang terhubung baik seri atau pun paralel. Pada umumnya rangkaian resonansi yang digunakan berbentuk parallel (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018). Rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2. 3 Bentuk Rangkaian Resonansi : (a) Seri; (b) Paralel

Agar dapat menganalisa frekuensi yang dapat dihasilkan dari rangkaian LC, dapat dianalogikan dengan nilai reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif, sehingga dapat dibuat persamaan sebagai berikut :

$$X_L = X_C \quad (2.1)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.2)$$

$$2\pi f^2L = \frac{1}{2\pi C} \quad (2.3)$$

$$f^2 = \frac{1}{2\pi 2\pi LC} \quad (2.4)$$

$$f = \sqrt{\frac{1}{2\pi 2\pi LC}} \quad (2.5)$$

Dapat disederhanakan menjadi :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

X_L = reaktansi induktif

X_C = reaktansi kapasitif

f = frekuensi resonansi

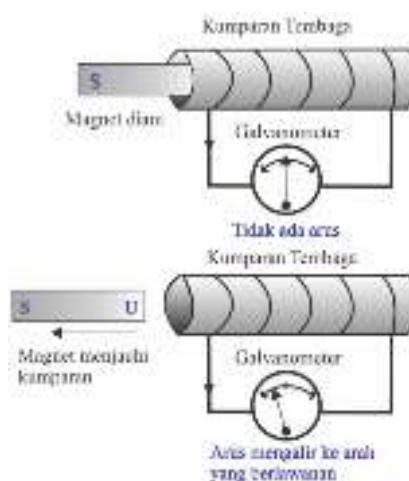
L = induktansi

C = kapasitansi

2.3 Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah suatu peristiwa timbulnya gaya gerak listrik (GGL) pada suatu kumparan atau kawat penghantar karena mengalami perubahan pada fluks magnetik atau garis-garis gaya magnet. Michael Faraday membuktikan pada percobaannya bahwa medan magnet dapat menghasilkan listrik jika nilai fluksnya berubah-ubah. Jika fluks magnetik berubah maka akan menyebabkan induksi pada kawat penghantarnya. Sebaliknya jika medan magnetnya konstan maka tidak akan menghasilkan listrik (Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020).

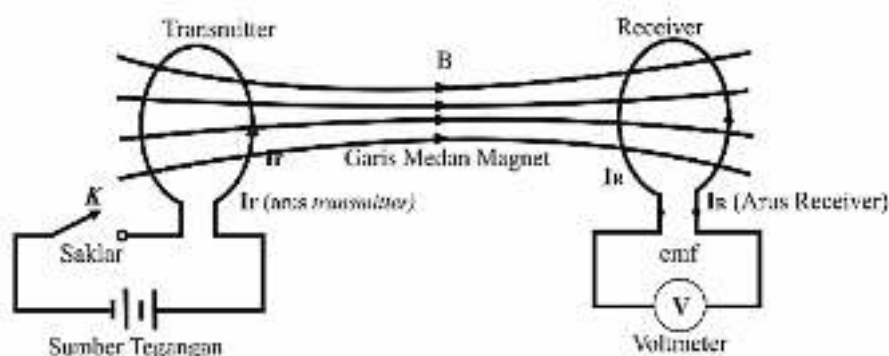
Dalam setiap kasus, fluks itu berubah baik disebabkan medan magnet yang berubah terhadap waktu maupun karena kumparan itu sedang bergerak melalui sebuah medan magnetik non-homogen. Hukum induksi Faraday menyatakan bahwa dalam semua situasi induksi sebanding dengan kecepatan perubahan fluks magnetik (Φ_B) yang melewati kumparan tersebut (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018).



Gambar 2. 4 Percobaan Pertama Faraday

Pada percobaan pertama yang dilakukan oleh Michael Faraday yang ditunjukkan pada gambar 2.4, ketika kutub utara magnet batang digerakkan masuk ke dalam kumparan, jumlah garis gaya-gaya magnet yang terdapat di dalam

kumparan bertambah banyak yang menyebabkan GGL induksi pada ujung kumparan. Arah arus induksi dapat ditentukan dengan memperhatikan arah medan magnet yang ditimbulkan. Disaat magnet masuk, garis gaya pada kumparan bertambah sehingga medan magnet hasil arus induksi mengurangi garis gaya tersebut (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018).



Gambar 2. 5 Percobaan 2 Faraday

Percobaan kedua Faraday seperti pada gambar 2.5 apabila saklar (K) ditutup, arus mengalir melalui kumparan pertama yaitu pada *transmitter* sehingga timbul medan magnetik. Karena digunakan sumber DC maka perubahan medan magnet hanya terjadi sesaat dan akan menimbulkan arus sesaat pada kumparan kedua dan kembali ke nol. Hal yang sama juga terjadi bila saklar kembali dibuka dengan arah arus yang berlawanan. Dari peristiwa ini dapat disimpulkan bahwa arus induksi hanya terjadi bila terjadi perubahan medan magnetik. Bila arus yang mengalir besar berapapun besarnya tetapi medan magnetnya konstan tidak berubah-ubah terhadap waktu seperti arus searah, maka tidak akan menghasilkan arus induksi (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018). Melalui percobaan-percobaan Faraday kesimpulannya adalah medan magnet pada kabel yang telah dialiri arus listrik dapat menghantarkan arus listrik tersebut kepada kabel yang ada pada jangkauan medan magnet tersebut.

Besar kecilnya induksi elektromagnetik yang terjadi dapat dilihat dari penyimpangan jarum galvanometer. Jika sudut penyimpangan besar, maka arus yang terinduksi juga besar. Faktor yang dapat mempengaruhi nilai induksi elektromagnetik pada lilitan adalah sebagai berikut (Supriyadi *et al.*, 2017):

1. Jumlah lilitan.
2. Besarnya fluks magnetik.
3. Kekuatan medan magnetik.

Induksi elektromagnetik pada lilitan yang dihasilkan sebanding dengan ketiga faktor diatas. Semakin besar ketiga faktor tersebut, maka induksi elektromagnetik yang dihasilkan akan semakin besar.

2.4 Fluks Magnetik

Menurut (Supriyadi *et al.*, 2017) Fluks magnetik merupakan ukuran atau jumlah medan magnet B yang melewati luas penampang tertentu. Fluks magnetik yang dihasilkan oleh medan magnet B pada permukaan yang memiliki luas A adalah :

$$\Phi_B = B \cdot A \cdot \cos \theta \quad (2.7)$$

Rapat fluks magnetik (B) adalah banyaknya fluks garis gaya magnetik per-satuan luas penampang A dengan garis gaya fluks magnetik tegak lurus, dan θ adalah sudut antara B dengan garis yang tegak lurus permukaan kumparan. Pada saat kumparan tegak lurus B, maka $\theta = 90^\circ$ dan $\Phi_B = 0$, tetapi jika B sejajar terhadap kumparan sehingga nilai $\theta = 0$ akan menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\Phi_B = B \cdot A \quad (2.8)$$

Faraday melakukan percobaan yang menunjukkan perubahan pada fluks magnet pada permukaan tertutup oleh lintasan tertutup menimbulkan gaya gerak

listrik (GGL) induksi. Besarnya GGL induksi dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$E = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \quad (2. 9)$$

Keterangan :

E = GGL Induksi (Volt)

N = Jumlah lilitan Kumparan

Φ_B = Fluks magnetik (Weber)

t = Selang waktu (s)

2.5 Induktansi

Dalam penjelasan pada hukum Biot-Savart induktansi muncul karena timbulnya medan magnet oleh arus listrik. Hukum tersebut menyatakan bahwa arus listrik yang mengalir pada penghantar yang berada diantara medan magnetik akan menghasilkan gaya gerak listrik. Induktor digunakan dalam suatu rangkaian agar rangkaian tersebut memiliki nilai induktansi. Sebuah induktor adalah komponen elektronika pasif dua terminal yang menyimpan energi dalam medan magnet (Panggabean, 2014).

1. Induktansi Sendiri (*Self Inductance*)

Induktansi sendiri adalah munculnya tegangan listrik pada suatu kumparan pada saat terjadinya perubahan arus. Apabila suatu kawat penghantar berpotongan dengan medan magnet, maka akan terjadi tegangan pada kawat tersebut.

Besarnya medan magnet yang timbul disekitar penghantar sebanding dengan besarnya arus listrik yang mengalir seperti pada rumus berikut :

a. Medan magnet pada kawat panjang

$$B = \left(\frac{\mu_0}{2\pi a} \right) I \quad (2.10)$$

b. Medan magnet pada kawat melingkar

$$B = \left(\frac{\mu_0 r}{2a^2} \right) I \sin \theta \quad (2.11)$$

c. Medan magnet pada solenoida

$$B = \left(\frac{\mu_0 N}{S} \right) I \quad (2.12)$$

Dari persamaan (2.10) sampai dengan persamaan (2.12), dapat dilihat bahwa B sebanding dengan I, dan karena dari persamaan (2.7) diketahui bahwa B sebanding dengan \emptyset , maka fluks magnet juga sebanding dengan I. Berdasarkan hal tersebut diperoleh tetapan sebagai berikut :

$$\emptyset = L \cdot I \quad (2.13)$$

Dimana L adalah tetapan kesebandingan antara \emptyset dengan I yang dinamakan induktansi diri dari suatu sistem. Untuk mengetahui nilai L pada suatu lilitan dapat menggunakan persamaan berikut :

$$L = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad (2.14)$$

Dari persamaan (2.14) dapat diketahui bahwa L sebanding dengan N. Karena pada hukum Faraday perubahan fluks listrik dapat menimbulkan GGL, maka dengan memasukkan persamaan (2.13) dan (2.14) kedalam persamaan (2.9) diperoleh persamaan sebagai berikut :

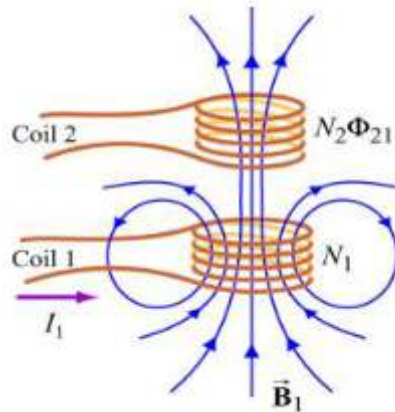
$$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (2.15)$$

2. Induktansi Bersama (*Mutual Inductance*)

Induktansi bersama (*mutual inductance*) terjadi saat terdiri dari dua buah kumparan atau lilitan induktor yang saling berdekatan. Proses terjadinya induktansi

bersama ketika kumparan N1 dialiri arus maka akan timbul fluks magnetik. Fluks magnetik pada kumparan N1 akan merambat ke kumparan N2 dan menimbulkan induksi medan magnet pada kumparan N2. Fluks medan magnet pada kumparan N2 akan menghasilkan gaya gerak listrik induksi pada rangkaian kumparan N2 (Isyanto and Birawan, 2018).

Tegangan induksi bersama didefinisikan ketika arus (i) mengalir melalui kumparan, maka di sekeliling kumparan akan timbul fluks magnetik (Φ_B). Berdasarkan hukum Faraday, pada kumparan yang mengalami perubahan medan magnet akan menghasilkan tegangan induksi sebesar V yang sebanding dengan perkalian jumlah belitan N dengan perubahan fluks (Φ) perwaktu. Digambarkan seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Induktansi Bersama pada Kumparan N₂ diakibatkan Kumparan N₁ (Isyanto and Birawan, 2018)

Induktansi bersama (simbol: M) terdiri dari dua buah induktor yang saling berinduksi dengan persamaan:

$$M_{21} = N_1 \cdot N_2 \cdot P_{21} \quad (2.16)$$

$$M_{21} = M_1 \quad (2.17)$$

Keterangan:

M_{21} = Nilai induktansi bersama di mana menunjukkan keterkaitan GGL yang terinduksi dalam kumparan 2 disebabkan oleh perubahan arus dalam kumparan 1

N_1 = Jumlah lilitan pada kumparan 1;

N_2 = Jumlah lilitan pada kumparan 2;

μ_{21} = Permeansi ruang dimana fluks magnetik berada.

Indikator keterkaitan antar kumparan gandeng dinyatakan sebagai koefisien kopling. Koefisien kopling bernilai antara 1 dan 0, dan dinyatakan sebagai persamaan:

$$M = k\sqrt{L_1L_2} \quad (2.18)$$

Keterangan:

k = Koefisien kopling ($0 \leq k \leq 1$);

L_1 = Nilai induktansi kumparan pertama (Henry);

L_2 = Nilai induktansi kumparan kedua (Henry).

Nilai induktansi bersama (M) adalah

$$M = \frac{N_2 \Phi B_2}{i_1} = M = \frac{N_1 \Phi B_1}{i_2} \quad (2.19)$$

Jika kedua sisi kumparan adalah rangkaian LC dimana frekuensi tegangan menjadi penting. Nilai induktansi bersama antara dua kumparan menentukan bentuk kurva respon frekuensi. Kurva respon frekuensi terdiri dari sebagai loose-coupling, critical-coupling, dan over-coupling. Jika kurva respon frekuensi rangkaian kumparan adalah loose-coupling, maka ukuran bandwidthnya akan sempit. Ketika nilai induktansi bersama ditingkatkan, ukuran bandwidth pada respon kurva frekuensi ikut naik. Namun saat nilai induktansi bersama telah melampaui titik kritis, respon bandwidth akan mulai menurun (Panggabean, 2014).

2.6 Osilator

Menurut Assa'idah pada tahun 2012 Osilator adalah elemen penting dalam berbagai peralatan elektronik. Osilator memiliki berbagai fungsi, antara lain (Atik Charisma, Een Taryana, 2018) :

1. Pada jam digital, osilator berfungsi untuk memastikan waktu yang ditunjukkan adalah waktu yang tepat.
2. Pada komputer, osilator berfungsi sebagai penyedia sinyal dengan frekuensi yang stabil untuk menentukan seberapa cepat prosesornya bekerja.
3. Pada komunikasi wireless, osilator berfungsi untuk menghasilkan gelombang pembawa dan mengubah sinyal yang diterima sehingga siaran bisa terlaksana.

Rangkaian osilator pada prinsipnya hampir sama dengan rangkaian inverter untuk mengubah gelombang searah DC menjadi gelombang denyut AC. Pada rangkaian digital komponen osilator sederhana seperti *crystal* banyak digunakan sebagai pembangkit *clock* sinyal pada *integrated circuit* agar dapat berkomunikasi *IC to IC*. Sedangkan pada perangkat elektronik saat ini rangkaian *oscillator* banyak digunakan pada rangkaian *power supply/ SMPS (switch main Power supply)* Dengan bantuan IC PWM sebagai *trigger* untuk menghasilkan gelombang denyut (Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015).

Rangkaian osilator merupakan bagian dalam transmisi listrik nirkabel, dimana gelombang denyut yang dihasilkan rangkaian osilator pada dasarnya menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah. Apabila radiasi medan elektromagnetik tersebut terkena kumparan/konduktor yang berada dalam jarak radiasinya maka akan menyebabkan timbulnya arus pada kumparan tersebut dalam percobaan faraday (Fauzi, Syukriyadin and Syukri, 2018).

Osilator merupakan suatu alat gabungan dari komponen aktif dan pasif untuk menghasilkan bentuk gelombang sinusoidal, segitiga, pulsa atau gelombang periodik lainnya. Penguat tegangan umpan balik positif diperlukan untuk membuat sebuah osilator sinusoidal (Atik Charisma, Een Taryana, 2018). Cara kerja dari rangkaian osilator yaitu ketika terjadinya looping atau berulang-ulangnya sinyal noise, peristiwa ini yang kemudian membentuk periode tertentu dan menghasilkan nilai frekuensi osilator atau yang disebut dengan frekuensi resonansi (Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020).

Osilator memiliki berbagai macam rangkaian, salah satunya adalah rangkaian osilator *Colpitts*. *Oscillator Colpitts* adalah salah satu jenis osilator dengan resonator LC yang digunakan untuk sistem *Wireless Power Transfer*. Rangkaian *oscillator Colpitts* ini memiliki stabilitas frekuensi yang baik, mudah untuk dilakukan pengaturan frekuensi, dan dapat digunakan pada rentang frekuensi yang cukup besar. Selain itu, rangkaian osilator *Colpitts* ini terbilang sederhana sehingga secara nilai ekonomi, memiliki cost yang lebih rendah dalam proses produksi. Pengaturan nilai frekuensi pada *oscillator Colpitts* dapat dilakukan dengan mengubah nilai kedua kapasitor C1 dan C2 serta L1 (Pratomo, 2016). Untuk mengatur frekuensi dapat menggunakan rumus dibawah ini.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.20)$$

Sedangkan untuk nilai C nya adalah

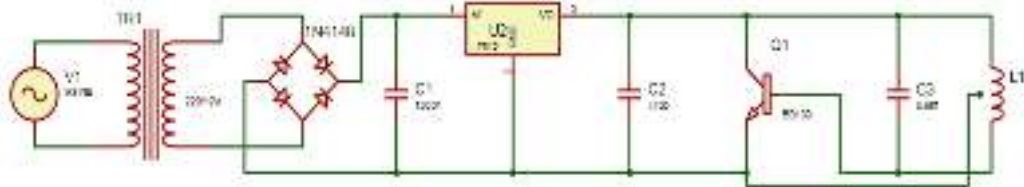
$$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \quad (2.21)$$

2.7 Rangkaian *Transmitter*

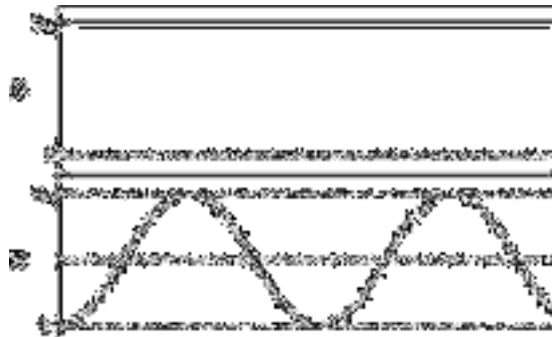
Rangkaian *transmitter* merupakan gabungan beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi satu rangkaian yang berfungsi untuk mengirimkan energi listrik menuju rangkaian *receiver* tanpa menggunakan kabel sebagai perantara (Panggabean, 2014). *transmitter* adalah alat yang digunakan untuk mengubah perubahan sensing element dari sebuah sensor menjadi sinyal yang mampu diterjemahkan oleh *controller*. Sinyal untuk mentransmisikan ini ada dua macam yaitu *pneumatic* dan *electric*. Sistem transmisi *pneumatic* adalah transmisi menggunakan udara bertekanan untuk mengirimkan sinyal. Sistem ini adalah sistem lama sebelum kemunculan era elektrik. Sistem transmisi elektronik adalah transmisi menggunakan sinyal elektrik untuk mengirimkan sinyal (Hulaimi, Setyawan and Auliq, 2015).

Pada gambar 2.7 merupakan rangkaian *transmitter* pada penelitian Dimas Rahadian pada tahun 2020. Pada rangkaian *transmitter* tegangan sumber sebesar 220 V AC diturunkan menjadi 12 V AC. Tegangan sumber disearahkan menjadi arus DC dengan rangkaian penyearah gelombang penuh dioda *bridge*. Kemudian mengalir ke osilator menggunakan transistor BD139 untuk merubah frekuensi resonansi. Setelah frekuensi diperkuat pada osilator, arus mengalir pada lilitan 1. Arus pada lilitan (*coil*) 1 akan menghasilkan medan magnet yang fluks magnetnya akan mempengaruhi lilitan (*coil*) 2 jika kedua lilitan (*coil*) berdekatan. Jika arus berubah, maka medan magnet pada lilitan (*coil*) 1 juga akan berubah. Hal ini akan menyebabkan terjadinya GGL induksi pada lilitan (*coil*) 2. Ketika timbul GGL induksi pada lilitan (*coil*) 2, maka arus akan mengalir di lilitan (*coil*) 2 dan akan menghasilkan medan magnet yang akan mempengaruhi lilitan (*coil*) 1 (Rahadian,

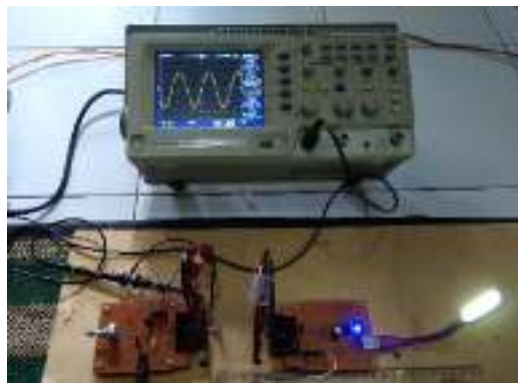
Priatna and Busaeri, 2020). Berikut merupakan rangkaian *transmitter* pada gambar 2.7 dan gelombang *output* pada arus pada gambar 2.8 dan gambar 2.8 osilator yaitu konversi arus DC menjadi AC.



Gambar 2. 7 Rangkaian *Transmitter*
(Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020)



Gambar 2. 8 Gelombang Output Arus : (a) IC 7812; (b) L₁



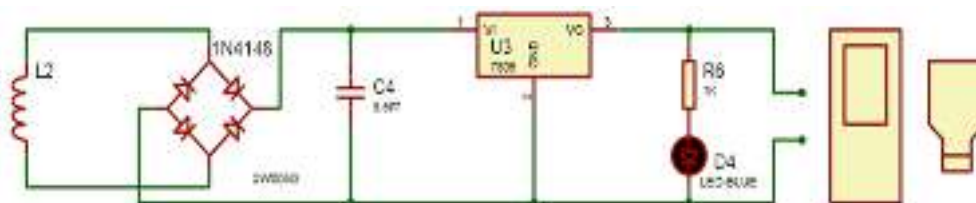
Gambar 2. 9 Gelombang *Output* Rangkaian *Transmitter*
(Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020)

2.8 Rangkaian *Receiver*

Rangkaian *receiver* merupakan gabungan beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi satu rangkaian yang berfungsi untuk menerima energi listrik yang ditransfer oleh rangkaian *transmitter* (Panggabean, 2014). Pada gambar

2.10 Lilitan (*coil*) 2 akan menerima tegangan induksi jika berdekatan dengan lilitan (*coil*) 1 dan terdapat perubahan nilai medan magnet pada lilitan (*coil*) 1. Itu terjadi karena perubahan tersebut menciptakan berubahnya medan yang diinduksi pada lilitan (*coil*) 2. Perubahan tersebut menghasilkan berubahnya medan magnet di lilitan (*coil*) 1. Medan magnet lilitan (*coil*) 2 yang berubah-ubah terhadap waktu akan menghasilkan medan listrik dan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian lilitan (*coil*) 2.

Tegangan induksi yang mengalir pada lilitan (*coil*) 2 merupakan arus bolak-balik. Maka dari itu untuk mengalirkan listrik dengan arus searah diperlukan *rectifier* setelah itu ke beban dengan arus searah. *Rectifier* yang digunakan adalah *rectifier full wave diode bridge*. Setelah itu distabilkan tegangannya menggunakan IC *regulator 7805* atau *78012* (Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020).



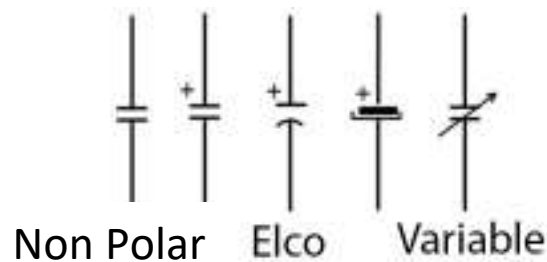
Gambar 2. 10 Rangkaian *Receiver*
(Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020)

2.9 Kapasitor

Elemen yang dapat menyimpan energi dalam medan listrik adalah kapasitor (Nahvi and Edminister, 2018). Kapasitor dapat menyimpan muatan dan hubungan antara muatan yang disimpan dan tegangan yang dihasilkan adalah $q = Cv$. Konstanta proporsionalitas, kapasitansi, memiliki satuan farad (F), dan dinamai untuk fisikawan eksperimental Inggris Michael Faraday (Johnson, 2008). Pada gambar 2.11 merupakan contoh jenis kapasitor dan pada gambar 2.12 merupakan symbol kapasitor.



Gambar 2. 11 Kapasitor



Gambar 2. 12 Simbol Kapasitor

2.10 Induktor

Elemen rangkaian yang menyimpan energi dalam medan magnet adalah inductor (Nahvi and Edminister, 2018). Induktor dapat menyimpan fluks magnet, dengan induktor bernilai lebih besar yang mampu menyimpan lebih banyak fluks. Induktansi memiliki satuan henries (H), dan dinamai untuk fisikawan Amerika Joseph Henry (Johnson, 2008). Dengan arus variabel waktu, energi umumnya disimpan selama beberapa bagian dari siklus dan kemudian dikembalikan ke sumber pada waktu lain. Ketika induktansi dihilangkan dari sumbernya, medan magnet akan menghilang; dengan kata lain, tidak ada energi yang disimpan tanpa sumber yang terhubung. Kumparan yang ditemukan di motor listrik, transformator, dan perangkat serupa dapat diharapkan memiliki induktansi dalam model rangkaiannya (Nahvi and Edminister, 2018). Berikut pada gambar 2.13 dibawa ini merupakan bentuk umum inductor.

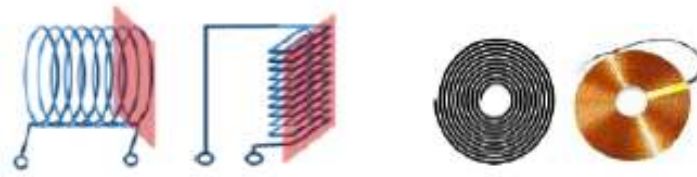


Gambar 2. 13 Bentuk Umum Induktor
(Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020)

2.11 Kumparan

Induktor merupakan komponen elektronika pasif yang dapat membentuk sebuah kumparan. Kumparan adalah media penyalur energi yang mentransmisikan daya akibat adanya fluks magnet. Arus yang mengalir pada Kumparan ini menyebabkan adanya medan magnet. Adanya frekuensi tinggi yang mengalir pada Kumparan menyebabkan adanya GGL listrik dan hal tersebut mengubah kekuatan fluks magnet menjadi arus listrik kembali (Isyanto and Birawan, 2018).

Kumparan adalah suatu lilitan kawat yang bisa memiliki kern, yaitu suatu isi feromagnetik atau paramagnetik untuk memperkuat medan magnet B . Ketika kumparan dialiri arus, maka akan ada medan magnet di dalam kumparan. Ketika arus berubah, maka medan magnet dalam kumparan juga akan berubah. Ketika medan magnet dalam kumparan berubah, maka akan ada induksi voltase di dalam kumparan yang sebanding dengan kecepatan perubahan medan magnet, di mana medan magnet sebanding dengan besar arus dalam kumparan. oleh sebab itu terdapat voltase induksi yang sebanding dengan kecepatan perubahan arus dalam kumparan (Bishop Owen, 2004). Berikut pada gambar 2.14 merupakan bentuk umum solenoid, planar, *pancake coil* dan *flat spiral coil*.



Gambar 2. 14 Bentuk Umum Solenoid, Planar, Pancake *Coil*, dan Flat Spiral *Coil* (Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020)

2.12 Resistor

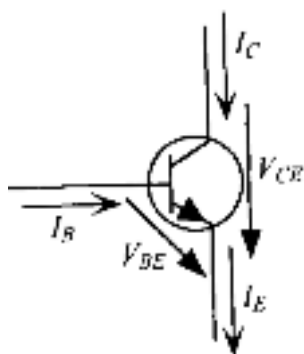
Resistor adalah elemen rangkaian yang paling sederhana. Dalam sebuah resistor, tegangan sebanding dengan arus, dengan konstanta proporsionalitas R , yang dikenal sebagai resistansi (Johnson, 2008). Resistor adalah sebuah alat fisis yang ciri listrik utamanya adalah resistansi (Fitzgerald *et al.*, 1984). Satuan dari resistansi adalah ohm. Resistivitas juga disebut sebagai tahanan dan besar resistansi menunjukkan berapa kuat suatu komponen (misalnya resistor) menahan arus. Kalau resistansi besar, berarti daya untuk menahan arus juga besar sehingga arus menjadi kecil atau voltase harus besar untuk mendapatkan arus tertentu (Bishop Owen, 2004). Pada gambar 2.15 merupakan bentuk komponen dan symbol resistor.

Komponen	Simbol
Fixed Resistor Resistor Komposisi Karbon Film Metal Resistor Film Karbon Resistor	
Variabel Resistor Potensio Meter Trimpot Rheostat	
Thermal Resistor	
Light Dependent Resistor	

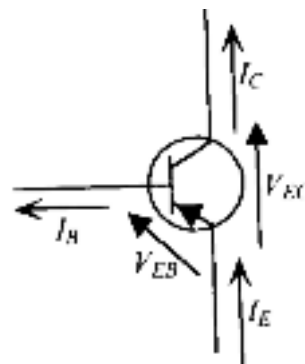
Gambar 2. 15 Bentuk Komponen dan Simbol Resistor

2.13 Transistor

Transistor adalah komponen aktif elektronik yang terbuat dari bahan semikonduktor. Transistor memiliki tiga sambungan yang bernama kolektor, basis dan emitor (Bishop Owen, 2004). Transistor dapat berfungsi sebagai penguat, pemutus, penyambung, penstabil tegangan dan modulasi sinyal serta banyak fungsi lainnya. Transistor terbagi menjadi 2, yaitu transistor P-N-P dan transistor N-P-N (Rahadian, Priatna and Busaeri, 2020). Dari berbagai fungsi yang telah disebutkan, pada transfer daya nirkabel transistor digunakan sebagai osilator. Transistor dapat menghasilkan sinyal dengan amplitudo dan frekuensi tertentu.



Gambar 2. 16 Definisi nama-nama voltase dan arus pada transistor N-P-N (Blocher, 2004)



Gambar 2. 17 Definisi nama-nama voltase dan arus pada transistor P-N-P (Blocher, 2004)

Beberapa istilah perlu didefinisikan mengenai voltase dan arus pada transistor. Untuk transistor N-P-N dipakai definisi sbb (lihat juga pada gambar 2.16):

1. Arus kolektor I_C adalah arus yang masuk ke dalam kolektor.
2. Arus basis I_B adalah arus yang masuk ke dalam basis.
3. Arus emitor I_E adalah arus yang keluar dari emitor.

4. Voltase kolektor atau voltase kolektor-emitor, VCE adalah voltase antara kolektor dan emitor.
5. Voltase basis atau voltase basis-emitor, VBE adalah voltase antara basis dan emitor.

Untuk transistor P-N-P semua arus dihitung terbalik dan voltase-voltase harus menjadi terbalik, berarti VBE dan VCE menjadi negatif atau menjadi VEB (voltase emitor-basis) dan VEC (voltase emitor-kolektor) seperti terlihat dalam gambar 2.18.

Prinsip dasar dari kerja transistor adalah tidak akan ada arus antara kolektor dan emitor jika basis tidak diberi tegangan muka atau bias. Untuk mengalirkan arus pada transistor NPN membutuhkan sambungan sumber positif (+) pada kaki basis. Cara kerja NPN adalah ketika tegangan mengenai kaki basis, hingga di titik saturasi, maka akan menginduksi arus dari kaki kolektor ke emitor. Dan transistor akan berlogika 1 (aktif). Dan apabila arus yang melalui basis berkurang, maka arus yang mengalir pada kolektor ke emitor akan berkurang, hingga titik cut off (Husain *et al.*, 2015).

Sedangkan untuk PNP (lihat juga pada gambar 2.17) sebaliknya ketika arus mengalir pada kaki basis, maka transistor berlogika 0 (off). Arus akan mengalir apabila kaki basis sambungan ke ground (-) hal ini akan menginduksi arus pada kaki emitor ke kolektor, hal yang berbeda dengan NPN, yaitu arus mengalir pada kolektor ke emitor. Arus dari emitor (IE) sebagian kecil dilewatkan ke basis (IB) dan sebagian besar lainnya diteruskan kolektor (IC) (Husain *et al.*, 2015). Dikarenakan arus dari emitor (IE) sebagian kecil dilewatkan ke basis (IB) dan

sebagian besar lainnya diteruskan ke kolektor (I_c) (Husain *et al.*, 2015). Berikut daerah mode operasi transistor :

1. Saturasi adalah saat transistor bertindak seperti sirkuit pendek, yang dimana arus basis mengalir dari kolektor ke emitor.
2. Cut Off adalah saat transistor bertindak seperti sirkuit terbuka, dimana tidak ada arus yang mengalir dari kolektor ke emitor.
3. Aktif adalah saat Arus dari kolektor ke emitor sebanding dengan arus yang mengalir ke basis (Husain *et al.*, 2015) (Surjono, 2007).

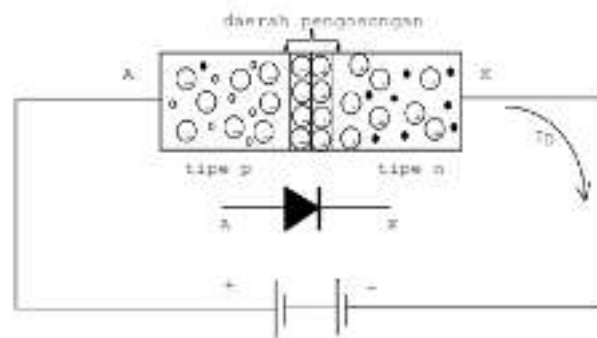
Berikut pada gambar 2.18 merupakan contoh komponen transistor.



Gambar 2. 18 Contoh Komponen Transistor

2.14 Dioda

Dioda merupakan komponen elektronika non-linier yang sederhana. Struktur dasar dioda berupa bahan semikonduktor tipe P yang disambung dengan bahan tipe N. Pada ujung bahan tipe P dijadikan terminal Anoda (A) dan ujung lainnya katoda (K), sehingga dua terminal inilah yang menyiratkan nama dioda. Operasi dioda ditentukan oleh polaritas relatif kaki Anoda terhadap kaki Katoda (Surjono, 2007).

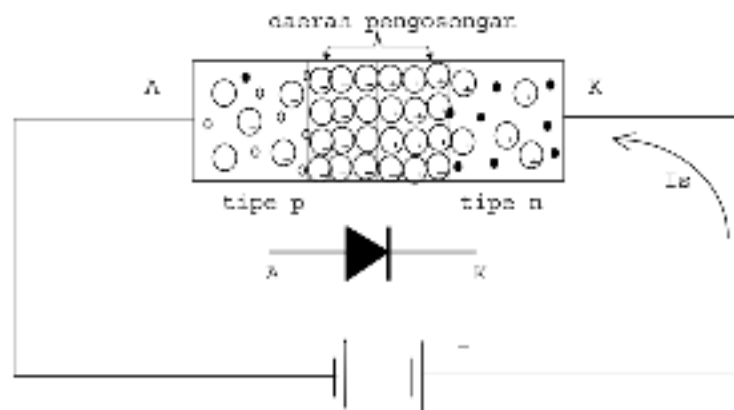


Gambar 2. 19 Dioda diberi Bias Maju
(Surjono, 2007)

Apabila tegangan positif baterai dihubungkan ke terminal Anoda (A) dan negatifnya ke terminal katoda (K), maka dioda disebut mendapatkan bias maju (*forward bias*). Dengan demikian V_{A-K} adalah positif atau $V_{A-K} > 0$. Gambar 2.19 menunjukkan dioda diberi bias maju (Surjono, 2007).

Dengan pemberian polaritas tegangan seperti pada gambar 2.19, yakni V_{A-K} positif, maka pembawa mayoritas dari bahan tipe p (hole) akan tertarik oleh kutub negatif baterai melewati persambungan dan berkombinasi dengan electron (pembawa mayoritas bahan tipe n). Demikian juga elektronnya akan tertarik oleh kutub positif baterai untuk melewati persambungan. Oleh karena itu daerah pengosongan terlihat semakin menyempit pada saat dioda diberi bias maju. Dan arus dioda yang disebabkan oleh pembawa mayoritas akan mengalir, yaitu I_D (Surjono, 2007).

Sedangkan pembawa minoritas dari bahan tipe p (elektron) dan dari bahan tipe n (hole) akan berkombinasi dan menghasilkan I_s . Arah I_s dan I_D adalah berlawanan. Namun karena I_s jauh lebih kecil dari pada I_D , maka secara praktis besarnya arus yang mengalir pada dioda ditentukan oleh I_D (Surjono, 2007).



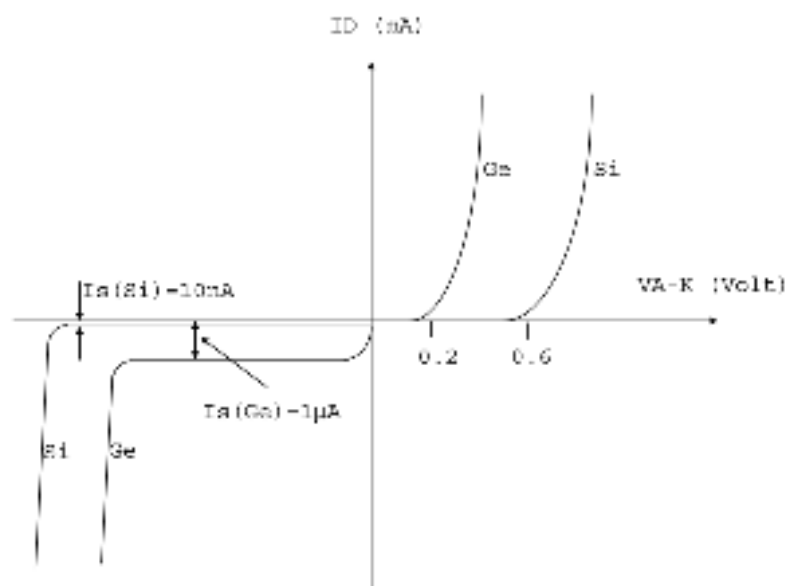
Gambar 2. 20 Dioda diberi Bias Mundur
(Surjono, 2007)

Bias mundur adalah pemberian tegangan negatif baterai ke terminal anoda (A) dan tegangan positif ke terminal katoda (K) dari suatu dioda. Dengan kata lain, tegangan anoda katoda V_{A-K} adalah negatif ($V_{A-K} < 0$). Gambar 2.20 menunjukkan dioda diberi bias mundur (Surjono, 2007).

Karena pada ujung anoda (A) yang berupa bahan tipe p diberi tegangan negatif, maka hole-hole (pembawa mayoritas) akan tertarik ke kutub negatif baterai menjauhi persambungan. Demikian juga karena pada ujung katoda (K) yang berupa bahan tipe n diberi tegangan positif, maka elektron-elektron (pembawa mayoritas) akan tertarik ke kutub positif baterai menjauhi persambungan. Sehingga daerah pengosongan semakin lebar, dan arus yang disebabkan oleh pembawa mayoritas tidak ada yang mengalir (Surjono, 2007).

Sedangkan pembawa minoritas yang berupa elektron (pada bahan tipe p) dan hole (pada bahan tipe n) akan berkombinasi sehingga mengalir arus jenuh mundur (reverse saturation current) atau I_s . Arus ini dikatakan jenuh karena dengan cepat mencapai harga maksimum tanpa dipengaruhi besarnya tegangan baterai. Besarnya arus ini dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur, semakin besar harga

Is. Pada suhu ruang, besarnya Is ini dalam skala mikro-ampere untuk dioda germanium, dan dalam skala nano-ampere untuk dioda silikon (Surjono, 2007).



Gambar 2. 21 Kurva Karakteristik Dioda (Surjono, 2007)

Hubungan antara besarnya arus yang mengalir melalui dioda dengan tegangan V_{A-K} dapat dilihat pada kurva karakteristik dioda (gambar 2.21). Gambar 2.21 menunjukkan dua macam kurva, yakni dioda germanium (Ge) dan diode silikon (Si). Pada saat dioda diberi bias maju, yakni bila V_{A-K} positif, maka arus I_D akan naik dengan cepat setelah V_{A-K} mencapai tegangan cut-in (V_γ). Tegangan cut-in (V_γ) ini kira-kira sebesar 0.2 Volt untuk dioda germanium dan 0.6 Volt untuk dioda silikon. Dengan pemberian tegangan baterai sebesar ini, maka potensial penghalang (barrier potential) pada persambungan akan teratasi, sehingga arus dioda mulai mengalir dengan cepat (Surjono, 2007).

Bagian kiri bawah dari grafik pada gambar 2.21 merupakan kurva karakteristik diode saat mendapatkan bias mundur. Disini juga terdapat dua kurva, yaitu untuk dioda germanium dan silikon. Besarnya arus jenuh mundur (*reverse saturation current*) I_s untuk dioda germanium adalah dalam orde mikro-ampere

dalam contoh ini adalah $1 \mu\text{A}$. Sedangkan untuk dioda silikon I_s adalah dalam orde nano-ampere dalam hal ini adalah 10 nA (Surjono, 2007).

Apabila tegangan V_{A-K} yang berpolaritas negatif tersebut dinaikkan terus, maka suatu saat akan mencapai tegangan patah (*break-down*) dimana arus I_s akan naik dengan tiba-tiba. Pada saat mencapai tegangan *break-down* ini, pembawa minoritas dipercepat hingga mencapai kecepatan yang cukup tinggi untuk mengeluarkan elektron valensi dari atom. Kemudian elektron ini juga dipercepat untuk membebaskan yang lainnya sehingga arusnya semakin besar. Pada dioda biasa pencapaian tegangan *break-down* ini selalu dihindari karena dioda bisa rusak (Surjono, 2007). Berikut pada gambar 2.22 merupakan contoh komponen diode.



Gambar 2. 22 Contoh Komponen Dioda

2.15 Penelitian Terkait

Berdasarkan studi mengenai transmisi listrik nirkabel yang telah dilakukan, beberapa penelitian yang signifikan dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal
1	Analisis Besaran Frekuensi Terhadap Daya	Fauzi, Syukriyadin, Mahdi Syukri	Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas	Penelitian ini membahas mengenai pengaruh frekuensi terhadap daya maksimum pada transmisi listrik nirkabel

	Listrik Pada Rangkaian Transmisi Listrik Nirkabel		Teknik, Universitas Syiah Kuala, 2018	di jarak tertentu. Pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengaruh frekuensi 133.5 KHz, 123.5 KHz, 119.8 KHz terhadap tegangan dan arus. Jarak antara <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i> mulai dari 0 sampai 5 cm.
2	Variasi Frekuensi Dan Jarak Antar Kumaran Pada Sistem Wireless Power Transfer	Annisa Rifqiana dan Wijono	Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, 2019	Penelitian ini membahas mengenai pengaruh frekuensi dan jarak antar kumaran (<i>coil</i>) terhadap daya yang ditransfer. Kumaran menggunakan jenis <i>pancake coil</i> . Penelitian ini berupa simulasi pada <i>software FEMM</i> .
3	Rancang Bangun Pengisi Daya Tanpa Kabel Untuk Semua Jenis Alat <i>Portabel</i>	Haris Isyanto, Heru Birawan	Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 2018	Penelitian ini membahas mengenai transmisi listrik nirkabel yang terdiri dari rangkaian LC, perancangan <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i> . Kumaran yang digunakan menggunakan model <i>flat spiral</i> . Pengujian yang dilakukan adalah pengujian frekuensi, efisiensi dan suhu terhadap jarak.
4	Rancang Bangun Transmisi Listrik Nirkabel Daya Rendah Menggunakan Kumaran Tembaga	Dimas Rahadian, Edvin Priatna, Nundang Busaeri	Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, 2020	Penelitian ini membahas mengenai pengaruh jumlah lilitan (<i>coil</i>) pada kumaran <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i> , jarak antara <i>transmitter</i> dan <i>Receiver</i> terhadap tegangan, arus dan frekuensi. Kumaran (<i>coil</i>) dibuat beberapa jenis yaitu 10 lilitan, 20 lilitan, 30 lilitan dan 40 lilitan pada kedua sisi.
5	Wireless Power Transfer System Menggunakan Magnetic	Roedy Kristiyono, Bambang Supriyanto	Program Studi Teknik Elektronika, Akademi Teknologi	Penelitian ini membahas mengenai pengaruh jarak dan daya yang ditransmisikan terhadap efisiensi transmisi listrik nirkabel menggunakan

	Resonant Coupling		Warga Surakarta, 2020	<i>magnetic resonant coupling.</i> Kumparan (<i>coil</i>) menggunakan kabel NYA 4 mm dengan bentuk <i>multiple circle</i> . Pengujian perangkat menggunakan input tegangan sebesar 5.37 V dan 7.97 V.
--	-------------------	--	-----------------------	---

Berdasarkan studi penelitian terkait mengenai transmisi listrik nirkabel, yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terkait adalah variasi kumparan (*coil*) yang akan dibuat. Kumparan (*coil*) yang akan dibuat akan memvariasikan diameter kawat dan diameter kumparan (*coil*). Variasi kumparan (*coil*) tembaga dengan diameter kawat 0,6 mm, 0,7 mm, dan 0,8 mm untuk dipasangkan pada *transmitter* dan *receiver*. Selain itu juga memvariasikan kumparan (*coil*) tembaga dengan variasi diameter lingkaran kumparan kawat (*coil*) sebesar 8 cm, 10 cm dan 12 cm dipasangkan pada *transmitter* dan *receiver*. Serta memvariasikan jumlah lilitan pada 20, 30 dan 40 lilitan dipasangkan pada *transmitter* dan *receiver*. Pengukuran tegangan, arus dan frekuensi dengan berbagai variasi akan dihitung efisiensinya dengan variasi jarak 0 sampai dengan 20 cm.