

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sejarah Penemuan Daya Listrik Secara Nirkabel

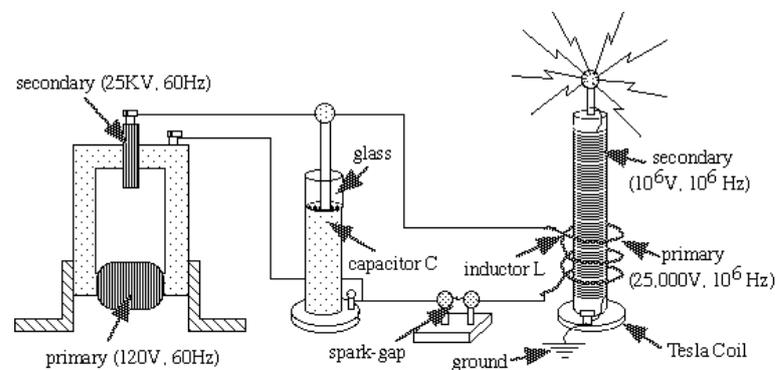
2.1.1. Pada Abad 19 dan Abad 20

Transfer energi *wireless* adalah proses di mana energi listrik yang ditransmisikan dari sumber listrik ke beban tanpa menggunakan kabel (nirkabel). Berlandaskan hasil pekerjaan dari Michael Faraday (1830), James C. Maxwell (1864) dan Heinrich R. Hertz (1888), Tesla mendemonstrasikan eksperimen transfer energi secara *wireless* pada tahun 1893. Nicola Tesla menciptakan sebuah metode di mana energi dapat disalurkan dari jarak jauh secara *wireless*, dengan membangun Menara Wardenclyffe di Shoreham, Long Island yang berfungsi sebagai sarana telekomunikasi nirkabel dan pengiriman daya listrik. Tesla berhasil mengirimkan energi listrik sejauh 47 meter untuk menyalakan sebuah lampu pijar.

Mentransmisikan sejumlah tenaga listrik yang besar merupakan aplikasi gelombang mikro yang sangat memungkinkan dimasa depan namun masih belum terbukti dan populer sejauh ini. Pada tahun 1893, Nikola Tesla, penemu dan ilmuwan mengusulkan penggunaan gelombang radio untuk mengirimkan daya untuk seluruh listrik tegangan tinggi. Nikola Tesla lahir di Smiljan, sebuah desa di daerah pegunungan di Semenanjung Balkan yang dikenal sebagai Lika, yang pada saat itu merupakan bagian dari Perbatasan Militer Negara Austria-Hongaria. Pada bukunya yang berjudul *Prodigal Genius The Life of Nikola Tesla* yang dibuat oleh JJ Oneil, diceritakan tentang proses pembuatan dan pengujian *Wireless Power Transmission* yang dilakukan Tesla dengan menyalakan ratusan lampu pijar pada jarak 26 mil, lampu tersebut menyala dengan energy listrik bebas yang diambil dari bumi, dengan kata lain Tesla menyebut bahwa percobaan ini merupakan sebuah terobosan untuk sebuah *free energy*. Namun, meskipun kelihatannya seperti sebuah prestasi, tapi karena tidak adanya dokumentasi dari Tesla sendiri maka hal tersebut hanyalah sebuah bualan belaka dan tidak ada yang bisa membuktikan serta melakukan percobaan percobaan sebagai pembuktiannya. Tesla hanya membuat catatan dia

sendiri yang telah diterbitkan yang menyatakan bahwa demonstrasi tersebut benar-benar terjadi.

Pada 1899, Nikola Tesla melanjutkan percobaan transmisi daya nirkabel kembali di Colorado setelah dia mendapatkan sokongan dana sebesar \$30.000, dengan dana tersebut Tesla membangun pemancar untuk penghantar tenaga listrik ke seluruh dunia. Hasil dari penelitian dengan menggunakan peralatan seperti pada gambar 2.1 tersebut, dia mengatakan bahwa energi dapat dikumpulkan dari seluruh dunia baik dalam jumlah kecil mulai dari satu fraksi hingga mencapai beberapa kekuatan kuda.



Gambar 2.1. Percobaan Kumparan Tesla

(Sumber : Helmy Kautsar. 2010)

Pada tahun 1895 Guglielmo Marconi mendemonstrasikan transmisi radio jarak lebih dari 1.5 miles. Teori yang Marconi pergunakan adalah hubungan antara ketinggian antena dan maksimum jarak pengiriman berdasarkan teori empiris. Pada tahun 1904 di pameran St. Louis World's sebuah kapal terbang diterbangkan sejauh kurang lebih 100 kaki (30 meter) menggunakan transmisi energi yang dipancarkan melewati ruang dengan daya motor 0.1 Hp (75 watt).

Pada tahun 1945, Leon Theremin menemukan alat spionase untuk Uni Soviet, yang memancarkan kembali kejadian gelombang radio dengan informasi audio. Alat ini dianggap sebagai pendahulu dari teknologi RFID (Radio Frequency Identification). RFID adalah teknologi yang menggunakan gelombang radio untuk mengidentifikasi atau objek secara otomatis dengan menggunakan *tag*.

Pada tahun 1964, telah didemonstrasikan helikopter miniatur yang digerakan oleh daya *microwave* (gelombang Mikro). *Microwave* (Gelombang Mikro) adalah gelombang elektromagnetik dengan frekuensi super tinggi (SHF), yaitu di atas 3 GHz (3×10^9 Hz). Sebuah demonstrasi pertama dari pemantulan sinyal tag RFID dilakukan oleh Steven Depp, Alfred Koelle dan Robert Freyman di Labotarium Nasional Los Almos pada tahun 1973. Hidetsugu Yagi seorang peneliti dari Jepang juga melakukan penelitian transfer energi secara *microwave* dengan mendesain *directional array antenna* (penyusunan antena secara direksional). Pada tahun 1975, para peneliti di Goldstone (California) membuat penemuan yang dapat mentransfer energi mencapai kilowatts menggunakan transmisi gelombang mikro dengan jarak mencapai satu kilometer.

Pada tahun 1930-an, para insinyur, dan ilmuwan menggunakan ide Tesla dalam sistem transmisi tenaga listrik melalui gelombang radio, tapi memiliki perbedaan yaitu bukan menggunakan frekuensi rendah. Mereka berfikir tentang penggunaan gelombang *microwave*. Namun, orang-orang yang tertarik pada penelitian ini harus bersabar sampai metode pembetulan gelombang *microwave* untuk penghantar daya yang besar terbentuk. Karena pada penelitian menggunakan *microwave* ini efisiensi sangat dipengaruhi daya yang diterima pada antena dan *reflector*. Oleh karena itu, harus menggunakan penghantar *microwave* dengan daya besar.

Pada Perang Dunia II pengembangan transmisi *microwave* pada daya besar dilakukan dengan menggunakan sebuah magnetron dan *klystron*. Setelah Perang Dunia II besarnya daya pemancar pada pemancar *microwave* menjadi cukup efisien, pengiriman yang dilakukan dapat untuk mengirim ribuan watt dengan jarak lebih dari satu mill. Sejarah pasca perang tentang penelitian transmisi daya pada ruang bebas tercatat dan didominasi oleh William C. Brown. Dia merupakan seorang pelopor daya transmisi *microwave* praktis. William lah yang pertama kali pada tahun 1964 berhasil menunjukkan sebuah helikopter bertenaga *microwave* yang menggunakan frekuensi 2,45 GHz dalam rentang 2,4-2,5 GHz yang dibuat untuk keperluan gelombang radio pada industri, penelitian dan kesehatan. Sebuah

konversi daya perangkat dari *microwave* ke DC disebut *rectenna*. Telah diciptakan dan digunakan untuk pembangkit daya *microwave* untuk helikopter tersebut.

Pada 1963, *rectenna* pertama dibangun dan diuji di Perdue University dengan efisiensi 40% diperkirakan dan output daya dari 7 W. pada tahun 1975 pada JPL Raytheon Goldstone efisiensi *microwave* dc yang dapat sampai 84% dalam demonstrasi WPT.

Pada tahun 1968, Peter Glaser telah menghitung jika beberapa bagian besar dari *Solar Power Satellite* ditempatkan di orbit *geosynchronous*, maka energi yang mereka kumpulkan bisa membentuk sebuah jaringan yang utuh di permukaan bumi dengan menggunakan rangkaian antenna yang disusun urut maka akan dapat mentransmisi sebuah daya pada jarnan hngga ribuan mil. Namun, satelit ini harus berada di riang tak berawan dan menerma sinar matahari setiap hari. Daya yang diterima dengan cara ini akan lebih dapat diandalkan dibandingkan sumber energy terbaru lainnya seperti generator bertenaga surya atau tenaga angin. Namun, pembentukan energy ini sangatlah mahal pada saat itu hingga gagasan tentang transmisi daya dengan gelombang mikro dari satelit cenderung hanya menjadi sebuah ide.

2.1.2. Pada Abad 21

Pada abad ke-21, tepatnya pada tahun 2007 sekelompok ilmuwan dari MIT (*Massachusetts Institute of Technology*). Membuat sebuah sistem transmisi daya dengan menggunakan "*strongly coupled magnetic resonance*". Percobaan dilakukan dengan menggunakan dua uah coil yang dihantarkan sebuah tegangan beresonansi sehingga tercipta sebuah medan elektromagnetik yang cukup kuat. Dari percobaan ini tim MIT dapat mentransmisi daya yang cukup besar dengan kemampuan transmisi sekitar 60W dengan efisiensi sekitar 40% pada jarak 2 meter.

Percobaan dari MIT meskipun mengacu pada ide dari percobaan yang dilakukan oleh Tesla, namun memiliki perbedaan yang mendasar. Diantaranya penggunaan coil yang berfrekuensi tinggi lalu diterima dengan menggunakan

prinsip resonansi tanpa memerlukan *grounding*. Sedangkan, pada percobaan Tesla pada proses transmisi daya harus selalu terhubung dengan tanah (*grounding*).

Penelitian transfer energi secara wireless yang dilakukan oleh Marrin Soljacic dari MIT yang proyeknya diberi nama WiTricity pada tahun 2007. Saat penelitian transfer energi, Marrin Soljacic menggabungkan teori resonansi dan kopling induktif atau disebut resonansi kopling induktif (RIC). Fungsi resonansi adalah untuk meningkatkan efisiensi jarak garis gaya medan magnet dan memperluas jarak pengiriman transfer energi ke sisi penerima (RX) dengan frekuensi yang sama. Marrin Soljack mampu mengirimkan energi dengan jarak mencapai 2 meter dengan efisiensi mencapai 40% menggunakan frekuensi antara 1MHz-10 MHz.

Penelitian transfer energi oleh Mandip Jung Sibakoti and Joey Hambleton didasari oleh hasil karya MIT yang dipublikasikan pada tahun 2007. Tujuan utama penelitian Mandip Jung Sibakot adalah untuk mentransfer energi (dalam satuan watt) ke rangkaian penerima RX dari gelombang AC yang berisolasi menjadi tegangan DC sebagai hasil keluarannya. Mandip Jung Sibakoti menggunakan radio frekuensi antara 1 MHz - 20 MHz.

2.2. Dasar Pengiriman Daya Listrik Secara Nirkabel

2.2.1. Prinsip Induksi Elektromagnetik

Pada eksperimen yang dilakukan oleh H.C Oersted, Biot-Savart dan Ampere menyatakan bahwa adanya gaya dan medan magnet pada kawat berarus. Dengan pernyataan ini maka dapat dipertanyakan sebuah pertanyaan dasar yaitu “apakah medan magnet dapat dihasilkan arus listrik?”.

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa timbulnya GGL (Gaya Gerak Listrik) pada suatu penghantar atau kumparan akibat mengalami perubahan garis-garis gaya magnet (fluks magnetik).

Menurut percobaan Michael Faraday, 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).

Pada awal tahun 1830, Michael Faraday dan Joseph Henry melakukan sebuah percobaan untuk mencari tahu atas apa yang telah dikemukakan oleh H.C. Oersted melalui eksperimen yang sangat sederhana. Sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada kumparan dapat menghasilkan arus listrik pada kumparan itu. Galvanometer merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui ada tidaknya arus listrik yang mengalir. Ketika sebuah magnet yang digerakkan masuk dan keluar pada kumparan, jarum galvanometer menyimpang ke kanan dan ke kiri. Bergeraknya jarum galvanometer menunjukkan bahwa magnet yang digerakkan keluar masuk pada kumparan menimbulkan arus listrik. Arus listrik bisa terjadi jika pada ujung-ujung kumparan terdapat GGL (Gaya Gerak Listrik). GGL yang terjadi di ujung-ujung kumparan dinamakan GGL Induksi. Arus listrik hanya timbul pada saat magnet bergerak. Jika magnet diam dan di dalam kumparan, di ujung kumparan tidak terjadi arus listrik.

2.2.2. Penyebab Terjadinya GGL Induksi

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

Alat-alat yang digunakan Faraday dalam percobaannya adalah gulungan kawat atau kumparan yang ujung-ujungnya dihubungkan dengan galvanometer. Jarum galvanometer mula-mula pada posisi nol. Seperti yang sudah diketahui, bahwa galvanometer adalah sebuah alat untuk menunjukkan ada atau tidaknya arus listrik di dalam rangkaian.

Didalam percobaan faraday untuk menentukan arus listrik dengan menggunakan medan magnet, dilakukan antara lain seperti kegiatan di atas. Ketika kutub utara magnet batang digerakkan masuk ke dalam kumparan, jumlah garis gaya-gaya magnet yang terdapat di dalam kumparan bertambah banyak. Bertambahnya jumlah garis-garis gaya ini menimbulkan GGL induksi pada ujung-ujung kumparan. GGL induksi yang ditimbulkan menyebabkan arus listrik mengalir menggerakkan jarum galvanometer. Arah arus induksi dapat ditentukan dengan cara memperhatikan arah medan magnet yang ditimbulkannya. Pada saat magnet, garis gaya magnet listrik dalam kumparan bertambah. Akibat medan magnet, hasil arus induksi bersifat mengurangi garis gaya magnet itu.

2.2.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi GGL Induksi

Gaya gerak listrik yang timbul akibat adanya perubahan jumlah garis-garis gaya magnet disebut GGL induksi, sedangkan arus yang mengalir dinamakan arus induksi dan peristiwanya disebut induksi elektromagnetik. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi besar GGL induksi yaitu:

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

2.2.4 Induktansi Bersama

Timbulnya induktansi karena adanya medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik (dijelaskan oleh hukum Biot-Savart). Hukum Biot-Savart menyatakan bahwa gaya gerak listrik akan dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar yang berada diantara medan magnetik. Supaya suatu rangkaian elektronika mempunyai nilai induktansi, maka sebuah komponen bernama induktor digunakan di dalam rangkaian tersebut. Sebuah induktor adalah komponen elektronika pasif dua terminal yang menyimpan energi dalam medan magnet.

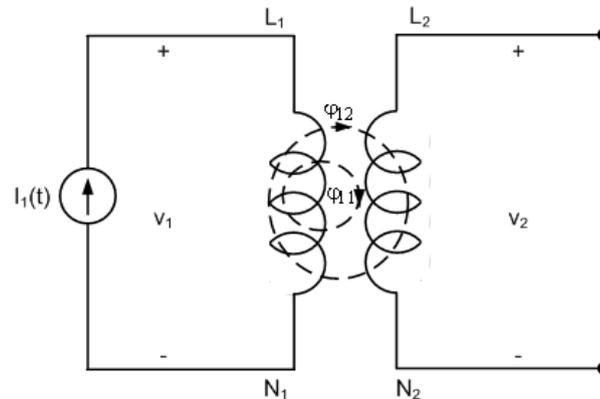
Sembarang kumparan mempunyai suatu nilai induktansi, atau induktansi diri. Kumparan akan mempunyai induktansi sebesar 1 H jika suatu perubahan arus rata-rata sebesar 1 A/det akan menghasilkan suatu GGL lawan rata-rata sebesar 1V pada kumparan tersebut.

Jika sebuah kumparan ditempatkan di dekat kumparan kedua, akan didapatkan bahwa arus yang bolak-balik atau berubah-ubah pada kumparan pertama akan menghasilkan medan magnetic bergerak yang akan menginduksikan tegangan pada kumparan kedua. Semakin jauh terpisah kedua kumparan tersebut, semakin sedikit jumlah garis gaya yang menghubungkan kedua kumparan tersebut dan semakin kecil tegangan yang diinduksikan pada kumparan kedua (100.000.000 garis/det yang memotong satu lilitan akan menginduksikan 1V)

Jika suatu perubahan arus rata-rata sebesar 1A/det pada kumparan pertama dapat menghasilkan medan bergerak yang akan menginduksikan suatu tegangan rata-rata sebesar 1 V pada kumparan kedua, maka kedua kumparan tersebut dikatakan mempunyai induktansi bersama sebesar 1 H, tanpa menghiraukan nilai induktansi pada masing-masing kumparan.

Induktansi bersama (*mutual inductance*) terdiri dari dua buah kumparan (N_1 dan N_2) atau belitan induktor yang saling berdekatan. Proses terjadinya induktansi bersama ketika kumparan N_1 dialiri arus maka akan timbul fluks magnetik. Fluks magnetik pada kumparan N_1 akan merambat ke kumparan N_2 dan menimbulkan induksi medan magnet pada kumparan N_2 . Fluks medan magnet pada kumparan N_2 akan menghasilkan gaya gerak listrik induksi pada rangkaian kumparan N_2 .

Tegangan induksi bersama didefinisikan ketika arus (i) mengalir melalui kumparan, maka di sekeliling kumparan akan timbul fluks magnetik (ϕ). 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.



Gambar 2.2. Induktansi Timbal Balik Dari Kumparan N_2 Terhadap Kumparan N_1

(Sumber : Shrader, Robert L.1991)

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

$$M_{21} = N_1 \cdot N_2 \cdot P_{21} \quad (\text{Sumber : Shrader, Robert L.1991.})$$

$$M_{21} = M_{12}$$

Dimana 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

P_{21} = *Permeansi* ruang dimana fluks magnetik berada.

Induktansi bersama dapat diperbesar dengan mendekatkan kedua kumparan tersebut atau dengan menambah jumlah lilitan pada salah satu kumparan. Pada transformator daya, kedua kumparan disusun sedemikian rupa, sehingga hampir semua garis gaya pada kumparan pertama memotong lilitan pada kumparan kedua. Dengan demikian dihasilkan nilai induktansi bersama yang besar. Jika semua garis gaya dari suatu kumparan memotong semua lilitan pada kumparan kedua, terjadi gandengan penuh (unity coupling), dan besarnya induktansi bersama dapat dicari dengan rumus :

$$M = \sqrt{L_1 L_2} \quad (\text{Sumber : Shrader, Robert L. 1991.})$$

Dimana M = Induktansi bersama (H)

L_1 = Induktansi kumparan 1 (H)

L_2 = Induktansi kumparan 1 (H)

Rumus di atas menganggap adanya gandengan 100% antara kedua kumparan. Jika semua garis dari kumparan pertama tidak memotong semua lilitan kedua, maka M ditentukan dengan rumus :

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (\text{Sumber : Shrader, Robert L. 1991.})$$

Dimana k = Besarnya persentase garis yang terganggu

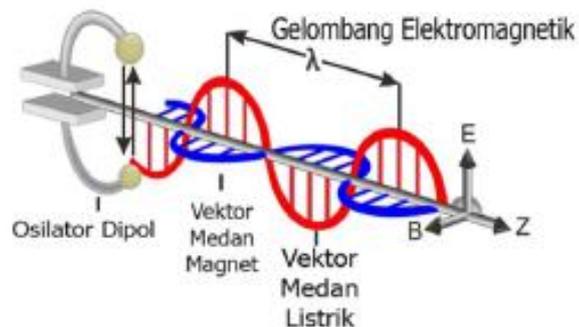
2.2.5. Resonansi Induktif Medan Elektromagnetik

Penggunaan resonansi induktif medan elektromagnetik untuk meningkatkan *bandwith* gelombang medan elektromagnetik dengan menggunakan frekuensi yang sama antara sinyal pengirim dan sinyal penerima, sehingga jarak pengiriman energi listrik *wireless* menjadi lebih jauh dengan efisiensi daya yang lebih tinggi. Frekuensi yang digunakan menggunakan frekuensi tinggi menggunakan rangkaian osilator (variasi dan gabungan dari komponen kapasitor, induktor, dan transistor).

Resonansi adalah suatu fenomena dimana apabila suatu obyek bergetar dengan suatu frekuensi tertentu, dapat mempengaruhi obyek lain dengan jarak tertentu yang memiliki frekuensi yang sama atau hampir sama sehingga obyek lain tersebut akan ikut bergetar dengan frekuensi yang sama.

Medan elektromagnet dapat digolongkan dalam medan listrik dan medan magnet. Medan magnet jauh lebih aman bila dibandingkan dengan medan listrik, oleh karena itu 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 elektromagnet. Gelombang elektromagnetik memiliki dua komponen pokok, yaitu komponen elektrik dan komponen magnetik dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Gelombang Elektromagnetik

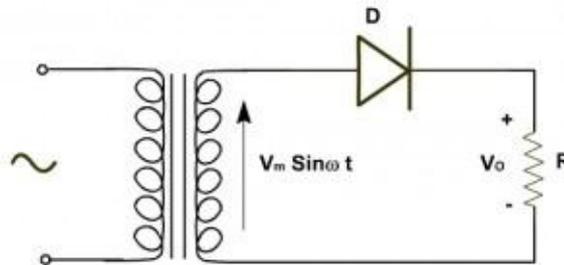
(Sumber : Fajar Kawolu. 2013)

Informasi yang diperoleh melalui gelombang elektromagnetik dapat terkodekan dalam frekuensi, intensitas atau polarisasi gelombang elektromagnetik tersebut. Radiasi elektromagnetik membawa energi dalam perjalanannya. Energi yang tertangkap oleh sensor dipengaruhi oleh bentuk fisik obyek dan kondisi atmosferik.

2.3. Rectifier

Rangkaian Penyearah (Rectifier) adalah suatu rangkaian yang mengubah arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Terdapat beberapa jenis rangkaian penyearah, yang masing-masing jenis memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap bentuk tegangan DC yang dikeluarkan. Perbandingan antara tegangan DC yang keluar terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil outputnya, dinamakan factor *ripple* (riak).

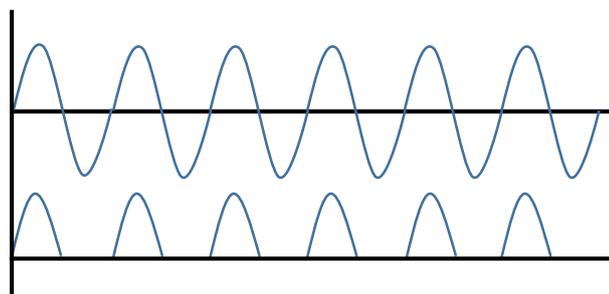
2.3.1. Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave Rectifier*)



Gambar 2.4. Rangkaian Penyearah Setengah Gelombang

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

Penyearah Setengah Gelombang (*Half Wave Rectifier*) hanya menggunakan satu buah diode sebagai komponen utama dalam menyearahkan gelombang AC. Prinsip kerja dari penyearah setengah gelombang ini adalah mengambil sisi sinyal positif dari gelombang AC dari transformator. Pada saat transformator memberikan output sisi positif dari gelombang AC maka dalam keadaan forward bias sehingga sisi positif dari gelombang AC tersebut dilewatkan dan pada saat transformator memberikan sinyal sisi negatif gelombang AC maka diode dalam posisi *reverse* bias, sehingga sisi negative tegangan AC tersebut ditahan atau tidak dilewatkan seperti pada gambar sinyal output penyearah setengah gelombang berikut



Gambar 2.5. Bentuk Gelombang Penyearah Setengah Gelombang

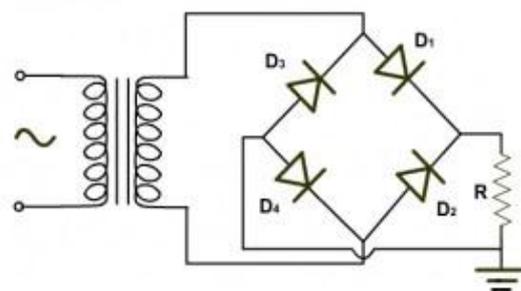
(Sumber : Hesti, Emilia. 2013.)

Pada gambar 2.4. memperlihatkan rangkaian yang disebut penyearah setengah gelombang. Pada setengah siklus tegangan sekunder yang positif, dioda mengalami ptegangangan maju untuk tiap tegangan-tegangan sesaat yang lebih besar

daripada tegangan offset (sekitar 0,7 V untuk dioda silicon dan 0,3 V untuk dioda germanium). Ini menghasilkan tegangan lintas tahanan beban yang mendekati bentuk setengah gelombang sinus. Untuk menyederhanakan pembahasan kita, kita akan menggunakan pendekatan diode ideal puncak tegangan sumber jauh lebih besar daripada tegangan offset dioda. Dengan mengambil anggapan ini, puncak tegangan yang disearahkan sama dengan puncak tegangan sekunder, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5., pada setengah siklus negative, diode mengalami prategangan balik. Dengan mengabaikan arus bocor (yang sama dengan arus balik), arus beban menjadi nol, inilah sebabnya mengapa tegangan beban jatuh menjadi nol diantara 180^0 dan 360^0 . (Sumber : Barmawi, Malvino : 49)

2.3.2. Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave Rectifier*)

Penyearah Gelombang Penuh (*Full Wave Rectifier*) dapat dibuat dengan dua macam yaitu menggunakan 4 dioda dan 2 dioda. Untuk membuat penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda menggunakan transformator non-CT seperti pada gambar berikut :

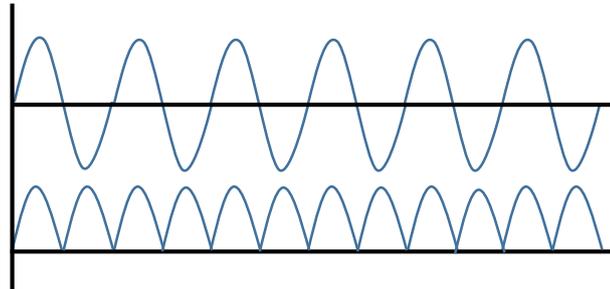


Gambar 2.6. Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

Prinsip kerja dari penyearah gelombang penuh dengan 4 dioda di atas dimulai pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi positif, maka D1, D4 pada posisi forward bias dan D2, D3 pada posisi reverse bias sehingga level tegangan sisi puncak positif tersebut akan dilewatkan melalui D1 ke D4. Kemudian pada saat output transformator memberikan level tegangan sisi puncak negative maka D2, D4 pada posisi forward bias dan D1, D3 pada posisi reverse bias

sehingga level tegangan sisi negative tersebut dialirkan melalui D2, D4. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik berikut.

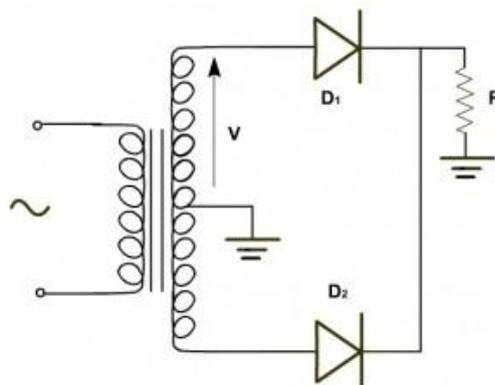


Gambar 2.7. Bentuk Gelombang Penyearah Gelombang Penuh

(Sumber : Hesti, Emilia. 2013.)

2.3.3 Penyearah Gelombang Penuh dengan 2 Dioda

Penyearah Gelombang Penuh dengan 2 Dioda menggunakan transformator CT (Center Tap). Rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda dapat dilihat pada gambar berikut :

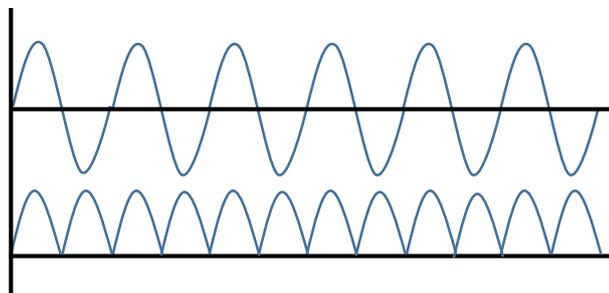


Gambar 2.8 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh 2 Dioda

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

Prinsip kerja rangkaian penyearah gelombang penuh dengan 2 dioda ini dapat bekerja karena menggunakan transformator dengan CT. Transformator dengan CT seperti pada gambar di atas dapat memberikan output tegangan AC pada kedua terminal output sekunder terhadap terminal CT dengan level tegangan yang berbeda fasa 180° . Pada saat terminal output transformator pada D1 memberikan sinyal puncak positif, maka terminal output pada D2 memberikan sinyal puncak

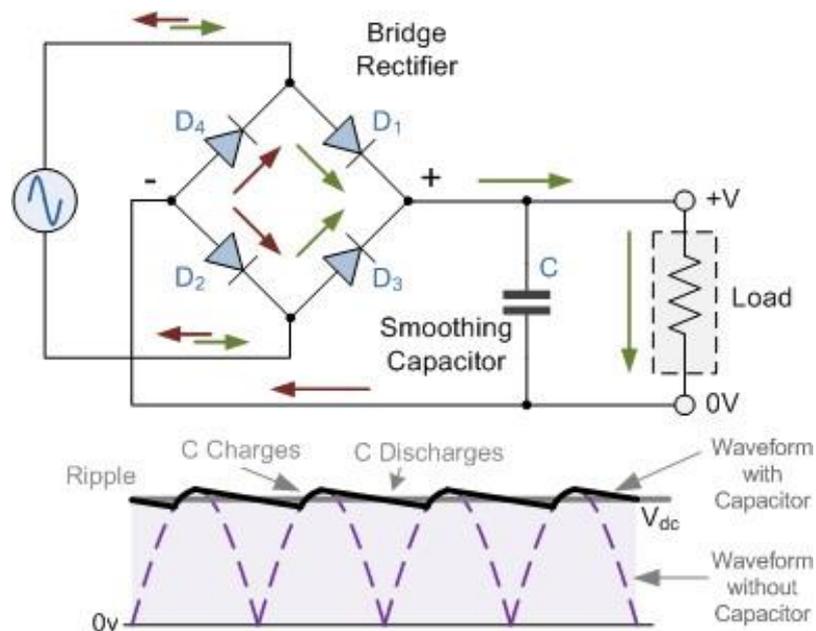
negative. Pada kondisi ini, D1 pada posisi forward dan D2 pada posisi reverse, sehingga sisi puncak positif dilewatkan melalui D1. Kemudian pada saat terminal output transformator pada D1 memberikan sinyal puncak negative maka terminal output pada D2 memberikan sinyal puncak positif, pada kondisi ini D1 posisi reverse dan D2 pada posisi forward. Sehingga sinyal puncak positif dilewatkan melalui D2. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar gelombang output penyearah gelombang penuh berikut.



Gambar 2.9. Bentuk Gelombang Penyearah dengan 2 Dioda

(Sumber : Hesti, Emilia. 2013.)

Penyearah dilengkapi Filter Kerasitor ager tegangan penyearahan gelombang AC lebih rata dan menjadi tegangan DC maka dipasang kapasitor pada bagian output penyearah seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.10. Rangkaian Penyearah dengan Filter dan Gelombang Outputnya

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

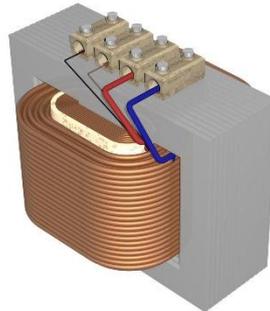
Fungsi kapasitor pada rangkaian di atas untuk menekan ripple yang terjadi dari proses penyearahan gelombang AC. Setelah dipasang filter kapasitor maka output dari rangkaian penyearah gelombang penuh ini akan menjadi tegangan DC (*Direct Current*).

2.4. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui satu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandingan impedansi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian lain, untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

Transformator atau biasa disebut dengan trafo merupakan alat elektronik yang memindahkan energy dari satu sirkuit elektronik ke sirkuit lainnya malalui pasangan megnet. Trafo mempunyai dua bagian yaitu bagian input (primer) dan bagian output (sekunder). Pada bagian primer atau bagian sekunder terdiri dari lilitan tembaga.



Gambar 2.11. Transformator (Trafo)

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Pada bagian primer, tegangan yang masuk disebut dengan tegangan primer (V_p) dengan lilitannya disebut dengan lilitan primer (N_p), sedangkan pada bagian sekunder tegangan yang masuk disebut dengan tegangan sekunder (V_s) dengan lilitannya disebut dengan lilitan sekunder (N_s). dengan demikian didapatkan hubungan bahwa :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_p}{I_s} \quad (\text{Sumber : Shrader, Robert L. 1991})$$

Dimana :

- V_p = Tegangan Primer (Volt)
- V_s = Tegangan Sekunder (Volt)
- N_p = Jumlah lilitan primer
- N_s = Jumlah lilitan sekunder
- I_s = Arus Sekunder (Ampere)
- I_p = Arus Primer (Ampere)

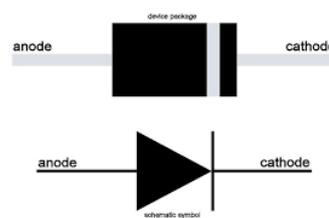
Jenis-jenis Transformator (Trafo) terbagi menjadi 2 macam yaitu sebagai berikut :

- a. Trafo Step Down yang digunakan untuk menurunkan tegangan
- b. Trafo Step Up yang digunakan untuk menaikkan tegangan

2.5. Dioda (Penyearah)

2.5.1. Definisi Dioda

Pengertian Dioda adalah komponen aktif yang memiliki dua kutub dan bersifat semikonduktor. Dioda juga bisa dialiri arus listrik ke satu arah dan menghambat arus dari arah sebaliknya. Dioda sebenarnya tidak memiliki karakter yang sempurna, melainkan memiliki karakter yang berhubungan dengan arus dan tegangan kompleks yang tidak linier dan seringkali tergantung pada teknologi yang digunakan serta parameter penggunaannya.

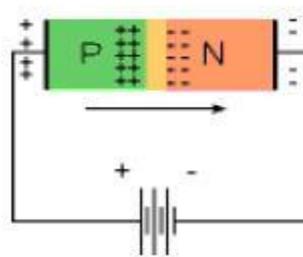


Gambar 2.12. Dioda dan Simbol Dioda

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

2.5.2. Karakteristik Dioda

a. Bias Maju Dioda



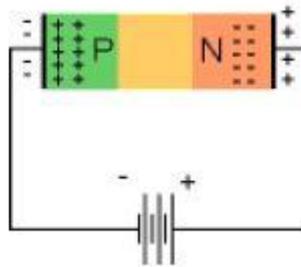
Gambar 2.13. Bias Maju Dioda

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

Bias maju diode adalah cara pemberian tegangan luar ke terminal diode. Jika anoda dihubungkan dengan kutub positif batere, dan katoda dihubungkan dengan kutub negative batere, maka keadaan diode ini disebut bias maju (forward

bias). Aliran arus dari anoda menuju katoda, dan aksinya sama dengan rangkaian tertutup. Pada kondisi bias ini akan terjadi aliran arus dengan ketentuan beda tegangan yang diberikan ke diode dan akan selalu positif.

b. Bias Mundur Dioda



Gambar 2.14. Bias Mundur Dioda

(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

Sebaliknya bila anoda diberi tegangan negative dan katoda diberi tegangan positif, arus yang mengalir jauh lebih kecil dari pada kondisi bias maju. Bias ini dinamakan bias mundur (reverse bias) pada arus maju diperlakukan baterai tegangan yang diberikan dengan tidak terlalu besar maupun tidak ada peningkatan yang cukup significant.

Sebagai karakteristik dioda, pada saat reverse, nilai tahanan diode tersebut relative sangat besar dan diode ini tidak dapat menghantarkan arus listrik. Nilai-nilai yang didapat, baik arus maupun tegangan tidak boleh dilampaui karena akan mengakibatkan rusaknya dioda.

2.6. Kapasitor

2.6.1 Pengertian Kapasitor

Kapasitor adalah perangkat komponen elektronika yang berfungsi untuk menyimpan muatan listrik dan terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (dielektrik) pada tiap konduktor atau yang disebut keping. Kapasitor biasanya disebut dengan sebutan kondensator yang merupakan

komponen listrik dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik.

Prinsip kerja kapasitor pada umumnya hampir sama dengan resistor yang juga termasuk ke dalam komponen pasif. Komponen pasif adalah jenis komponen yang bekerja tanpa memerlukan arus panjar. Kapasitor sendiri terdiri dari dua lempeng logam (konduktor) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Penyekat atau isolator banyak disebut sebagai bahan zat dielektrik.

2.6.2. Jenis-jenis Kapasitor

Jenis-Jenis Kapasitor terbagi menjadi bermacam-macam. Karena dibedakan berdasarkan polaritasnya dan bahan pembuatan. Selain memiliki jenis yang banyak, bentuk dari kapasitor juga bervariasi. Ada dua jenis kapasitor berdasarkan polaritasnya yaitu:

a. Kapasitor/ Kondensator Non-polar

Kapasitor non-polar dapat dipasang secara bolak-balik pada suatu rangkaian elektronik tanpa memperhatikan kutub-kutubnya.

b. Kapasitor/ Kondensator Polar

Kapasitor polar memiliki kutub positif dan negative yang pada pemasangannya tidak boleh terbalik karena akan menyebabkan kerusakan bahkan ledakan. Satuan kapasitor adalah farad (F), milifarad (mF), mikro farad (uF), nanofarad (nF), dan pikofarad (pF). Konversi nilai kapasitansinya sama dengan konversi satuan tahanan listrik.

Sedangkan berdasarkan bahan pembuatannya jenis-jenis kapasitor dibedakan sebagai berikut :

a. Kapasitor Elektrolit/ Electrolite Condensator (ELCO).



Gambar 2.15. Kapasitor Elektrolit

(Sumber : Ahmad Jayadi.2007.)

Kapasitor elektrolit merupakan jenis kapasitor polar yang memiliki dua kutub terdiri dari kutub positif dan kutub negative. Pada kapasitor ini tanda untuk kutub negative adalah sebuah garis tanda putih di sepanjang badan/bodi kapasitor. Nilai untuk jenis kapasitor elektrolit dapat dilihat pada bodi kapasitor.

b. Kapasitor Tantalum

Kapasitor jenis ini juga termasuk dalam kapasitor polar seperti kapasitor elektrolit. Pemasangannya juga memerlukan perhatian untuk kedua kutubnya agar tidak terbalik. Pemasangan yang salah akan mengakibatkan kerusakan pada kapasitor tersebut bahkan bisa hinggameletus/ meledak. Kapasitor tantalum bagus dan sesuai digunakan dalam jangkauan temeperatur dan frekwensi yang luas.



Gambar 2.16. Kapasitor Tantalum

(Sumber : Ahmad Jayadi.2007.)

c. Kapasitor Keramik

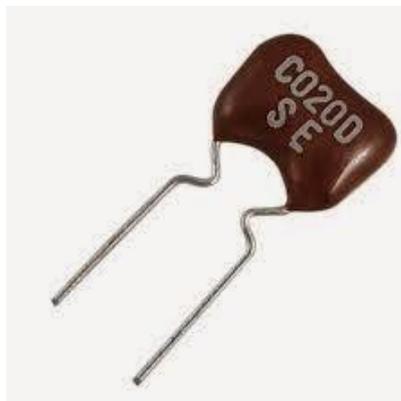


Gambar 2.17. Kapasitor Keramik

(Sumber : Ahmad, Jayadi.2007.)

Nilai kapasitor keramik sangat kecil, dan bagus digunakan pada jangkauan tegangan yang luas hingga 1000 volt. Bentuk dari kapasitor keramik beragam, karena sifatnya yang stabil maka kapasitor jenis keramik ini sangat bagus digunakan pada frekwensi tinggi. Kapasitor keramik termasuk jenis kapasitor non-polar, jadi pemasangannya bisa terbolak-balik.

d. Kapasitor Mika



Gambar 2.18. Kapasitor Mika

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Kapasitor ini hamper sama karakternya dengan kapasitor keramik, sifatnya yang stabil memungkinkan cocok digunakan pada frekwensi tinggi.

e. Kapasitor Polyester



Gambar 2.19. Kapasitor Polyester

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Kapasitor polyester kapasitansinya cukup stabil, nilai kapasitor polyemer antar 100pF hingga 2F, dengan toleransi 5%, tegangan maksimum kerjanya hingga 400volt. Bentuk fisik dari jenis kapasitor ini adalah kotak segi empat dan berwarna hijau.

f. Kapasitor Kertas



Gambar 2.20. Kapasitor Kertas

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Sama seperti kapasitor polyester, memiliki cukup kestabilan kerja dan bagus digunakan pada frekwensi tinggi. Nilai kapasitansi kapasitor kertas berkisar antara 10nF sampai dengan 10uF, dengan toleransi rata rata 10%. Mampu bekerja pada tegangan hingga 600volt.

g. Kapasitor Variable/ Variable Resistor (VARCO)



Gambar 2.21. Kapasitor Variable

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Nilai kapasitansinya dapat berubah-ubah sesuai dengan namanya. Dengan memutar poros pada kapasitor maka akan di dapatkan nilai kapasitansi yang berubah-ubah. Variable Condensator/ kapasitor variable ini memiliki kapasitas kapasitansi 100pF hingga 500pF.

h. Kapasitor Trimmer



Gambar 2.22. Kapasitor Trimmer

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

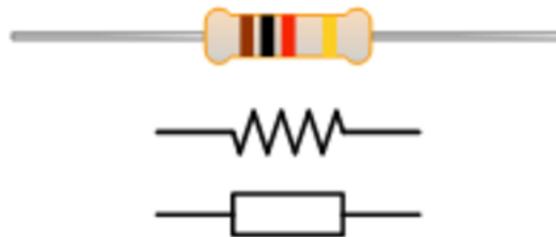
Memiliki kapasitansi hingga 100pF dan biasanya dipaang parallel dengan variable kapasitor untuk mendapatkan nilai lebih akurat pada pengatur gelombang frekwensi.

2.7. Resistor

2.7.1. Pengertian Resistor

Resistor merupakan salah satu komponen yang paling sering ditemukan dalam Rangkaian Elektronika. Hampir setiap peralatan Elektronika

menggunakannya. Pada dasarnya Resistor adalah komponen Elektronika Pasif yang memiliki nilai resistansi atau hambatan tertentu yang berfungsi untuk membatasi dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian Elektronika. Resistor atau dalam bahasa Indonesia sering disebut dengan Hambatan atau Tahanan dan biasanya disingkat dengan Huruf “R”. Satuan Hambatan atau Resistansi Resistor adalah Ohm (Ω). Sebutan “Ohm” ini diambil dari nama penemunya yaitu Georg Simon Ohm yang juga merupakan seorang Fisikawan Jerman. Untuk membatasi dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian Elektronika, Resistor bekerja berdasarkan Hukum Ohm.



Gambar 2.23. Resistor dan Simbolnya
(Sumber : Ahmad Jayadi. 2007)

2.7.2. Penandaan Resistor

Resistor aksial biasanya menggunakan pola pita warna untuk menunjukkan resistansi. Resistor pasang-permukaan ditandas secara numerik jika cukup besar untuk dapat ditandai, biasanya resistor ukuran kecil yang sekarang digunakan terlalu kecil untuk dapat ditandai. Kemasan biasanya cokelat muda, cokelat, biru, atau hijau, walaupun begitu warna lain juga mungkin, seperti merah tua atau abu-abu.

Resistor awal abad ke-20 biasanya tidak diisolasi, dan dicelupkan ke cat untuk menutupi seluruh badan untuk pengkodean warna. Warna kedua diberikan pada salah satu ujung, dan sebuah titik (atau pita) warna di tengah memberikan digit ketiga. Aturannya adalah "badan, ujung, titik" memberikan urutan dua digit resistansi dan pengali desimal. Toleransi dasarnya adalah $\pm 20\%$. Resistor dengan

toleransi yang lebih rapat menggunakan warna perak ($\pm 10\%$) atau emas ($\pm 5\%$) pada ujung lainnya.

a. Identifikasi Empat Pita

Identifikasi empat pita adalah skema kode warna yang paling sering digunakan. Ini terdiri dari empat pita warna yang dicetak mengelilingi badan resistor. Dua pita pertama merupakan informasi dua digit harga resistansi, pita ketiga merupakan faktor pengali (jumlah nol yang ditambahkan setelah dua digit resistansi) dan pita keempat merupakan toleransi harga resistansi. Kadang-kadang terdapat pita kelima yang menunjukkan koefisien suhu, tetapi ini harus dibedakan dengan sistem lima warna sejati yang menggunakan tiga digit resistansi.

Sebagai contoh, hijau-biru-kuning-merah adalah $56 \times 10^4 \Omega = 560 \text{ k}\Omega \pm 2\%$. Deskripsi yang lebih mudah adalah pita pertama berwarna hijau yang mempunyai harga 5, dan pita kedua berwarna biru yang mempunyai harga 6, sehingga keduanya dihitung sebagai 56. Pita ketiga berwarna kuning yang mempunyai harga 10^4 yang menambahkan empat nol di belakang 56, sedangkan pita keempat berwarna merah yang merupakan kode untuk toleransi $\pm 2\%$ memberikan nilai 560.000Ω pada keakuratan $\pm 2\%$.

Tabel 2.1. Kode Warna Pada Resistor

Warna	Pita pertama	Pita kedua	Pita ketiga (pengali)	Pita keempat (toleransi)	Pita kelima (koefisien suhu)
Cokelat	1	1	$\times 10^1$	$\pm 1\%$ (F)	100 ppm
Merah	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$ (G)	50 ppm
Jingga (oranye)	3	3	$\times 10^3$		15 ppm

Kuning	4	4	$\times 10^4$		25 ppm
Hijau	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$ (D)	
Biru	6	6	$\times 10^6$	$\pm 0.25\%$ (C)	
Ungu	7	7	$\times 10^7$	$\pm 0.1\%$ (B)	
Abu-abu	8	8	$\times 10^8$	$\pm 0.05\%$ (A)	
Putih	9	9	$\times 10^9$		
Emas			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$ (J)	
Perak			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$ (K)	
Kosong				$\pm 20\%$ (M)	

(Sumber : Ahmad, Jayadi.2007.)

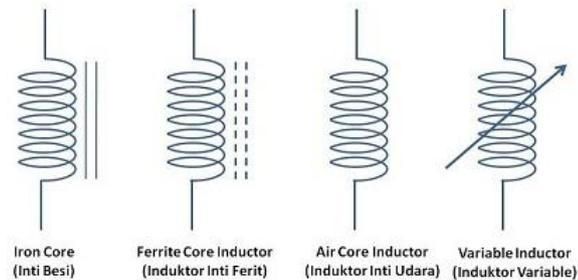
b. Identifikasi lima pita

Identifikasi lima pita digunakan pada resistor presisi (toleransi 1%, 0.5%, 0.25%, 0.1%), untuk memberikan harga resistansi ketiga. Tiga pita pertama menunjukkan harga resistansi, pita keempat adalah pengali, dan yang kelima adalah toleransi. Resistor lima pita dengan pita keempat berwarna emas atau perak kadang-kadang diabaikan, biasanya pada resistor lawas atau penggunaan khusus. Pita keempat adalah toleransi dan yang kelima adalah koefisien suhu.

2.8. Induktor

Selain Resistor dan Kapasitor, Induktor juga merupakan komponen Elektronika Pasif yang sering ditemukan dalam Rangkaian Elektronika, terutama pada rangkaian yang berkaitan dengan Frekuensi Radio. Induktor atau dikenal juga dengan Coil adalah Komponen Elektronika Pasif yang terdiri dari susunan lilitan Kawat yang membentuk sebuah Kumputaran. Pada dasarnya, Induktor dapat

menimbulkan Medan Magnet jika dialiri oleh Arus Listrik. Medan Magnet yang ditimbulkan tersebut dapat menyimpan energi dalam waktu yang relatif singkat. Dasar dari sebuah Induktor adalah berdasarkan Hukum Induksi Faraday.



Gambar 2.24. Simbol Induktor
(Sumber : Sastra Kusuma Wijaya. 2012)

Kemampuan Induktor atau Coil dalam menyimpan Energi Magnet disebut dengan Induktansi yang satuan unitnya adalah Henry (H). Satuan Henry pada umumnya terlalu besar untuk Komponen Induktor yang terdapat di Rangkaian Elektronika. Oleh Karena itu, Satuan-satuan yang merupakan turunan dari Henry digunakan untuk menyatakan kemampuan induktansi sebuah Induktor atau Coil. Satuan-satuan turunan dari Henry tersebut diantaranya adalah milihenry (mH) dan microhenry (μH). Simbol yang digunakan untuk melambangkan Induktor dalam Rangkaian Elektronika adalah huruf “L”.

Nilai Induktansi sebuah Induktor (Coil) tergantung pada 4 faktor, diantaranya adalah :

- Jumlah Lilitan, semakin banyak lilitannya semakin tinggi Induktansinya
- Diameter Induktor, Semakin besar diameternya semakin tinggi pula induktansinya
- Permeabilitas Inti, yaitu bahan Inti yang digunakan seperti Udara, Besi ataupun Ferit.
- Ukuran Panjang Induktor, semakin pendek inductor (Koil) tersebut semakin tinggi induktansinya.

2.9. Transistor

2.9.1. Definisi Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (switching), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus inputnya (BJT) atau tegangan inputnya (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.

Transistor merupakan komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik modern. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi pengeras suara, sumber listrik stabil (stabilisator) dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaian-rangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai logic gate, memori dan fungsi rangkaian-rangkaian lainnya.

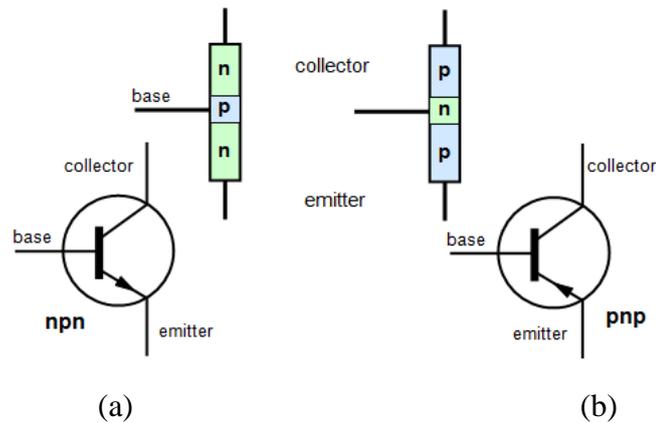
2.9.2. Jenis-jenis Transistor

Adapun jenis-jenis transistor yaitu sebagai berikut :

1. BJT (*Bipolar Junction Transistor*)

BJT (Bipolar Junction Transistor) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua diode yang terminal positif atau negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (E), kolektor (C), dan basis (B).

Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis biasanya dilambangkan dengan β atau h_{FE} β biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor-transistor BJT.



Gambar 2.25. (a) Transistor NPN (b) Transistor PNP

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Pada gambar 2.25.(a) menunjukkan sebuah kristal NPN, Emiter didope sangat banyak, dan berfungsi untuk mengemisikan atau menginjeksikan electron ke dalam basis. Basis didope sedikit sedikit sekali dan sangat tipis, basis melewati sebagian besar elektron-elektron yang diinjeksikan emitor ke kolektor. Tingkat doping (doping level) dari kolektor berada pada tingkat menengah, antara tingkat doping dari emiter dan tingkat doping dari basis. Kolektor dinamakan demikian, karena kolektor mengumpulkan atau menangkap elektron-elektron dari basis. Kolektor merupakan bagian yang terbesar dari ketiga bagian tersebut, kolektor harus mendisipasikan lebih banyak panas daripada emiter atau basis.

Transistor pada gambar 2.25.(a) mempunyai dua sambungan (junction), satu diantara emiter dan basis lainnya diantara basis dan kolektor. Karena inilah, sebuah transistor sama seperti dua buah diode. Kita sebut diode yang terletak di sebelah kiri sebagai diode emiter basis atau singkatnya diode emiter. Diode yang terletak di sebelah kanan adalah diode kolektor basis atau diode kolektor.

Pada gambar 2.25.(b) menunjukkan kemungkinan yang lain, yaitu sebuah transistor PNP . Transistor PNP merupakan komplemen dari transistor NPN. Pembawa muatan mayoritas pada emiter adalah hole, sebagai pengganti dari muatan bebas. Ini berarti, pada transistor PNP dibutuhkan arus dan tegangan yang berlawanan dengan transistor NPN.

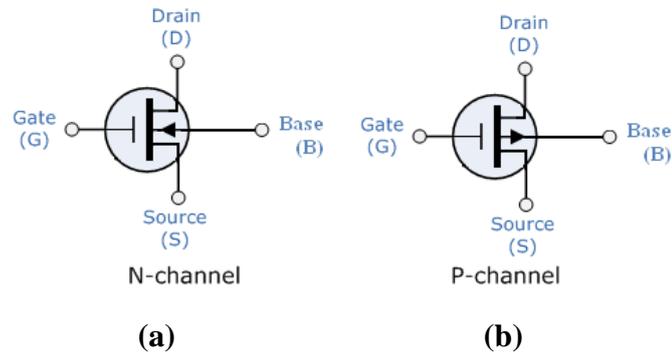
(Sumber : Barmawi, Malvino : 111)

2. FET (*Field Effect Transistor*)

Transistor efek-medan (FET) adalah salah satu jenis transistor menggunakan medan listrik untuk mengendalikan konduktifitas suatu kanal dari jenis pembawa muatan tunggal dalam bahan semikonduktor. FET kadang-kadang disebut sebagai transistor ekakutub untuk membedakan operasi pembawa muatan tunggal yang dilakukannya dengan operasi dua pembawa muatan pada transistor dwikutub (BJT).

FET dibagi menjadi dua keluarga: Junction FET (JFET) dan Insulated Gate FET (IGFET) atau juga dikenal sebagai Metal Oxide Silicon (atau Semiconductor) FET (MOSFET). Berbeda dengan IGFET, terminal gate dalam JFET membentuk sebuah diode dengan kanal (materi semikonduktor antara Source dan Drain). Secara fungsinya, ini membuat N-channel JFET menjadi sebuah versi solid-state dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah diode antara grid dan katode. Dan juga, keduanya (JFET dan tabung vakum) bekerja di "depletion mode", keduanya memiliki impedansi input tinggi, dan keduanya menghantarkan arus listrik dibawah kontrol tegangan input.

FET lebih jauh lagi dibagi menjadi tipe enhancement mode dan depletion mode. Mode menandakan polaritas dari tegangan gate dibandingkan dengan source saat FET menghantarkan listrik. Jika kita ambil N-channel FET sebagai contoh: dalam depletion mode, gate adalah negatif dibandingkan dengan source, sedangkan dalam enhancement mode, gate adalah positif. Untuk kedua mode, jika tegangan gate dibuat lebih positif, aliran arus di antara source dan drain akan meningkat. Untuk P-channel FET, polaritas-polaritas semua dibalik. Sebagian besar IGFET adalah tipe enhancement mode, dan hampir semua JFET adalah tipe depletion mode.



Gambar 2.26. Transistor JFET (a) N-Channel (b) P-Channel

(Sumber : Sapto Nugroho. 2013)

Pada gambar 2.26.(a) memperlihatkan JFET saluran-n, yaitu sekeping dioda silikon dari bahan semikonduktor tipe-n dengan dua pulau dari bahan tipe-p yang ditempelkan pada kedua sisinya. Ujung bawah alat ini disebut sumber (*Source*) karena elektron-elektron bebas memasuki alat melalui titik ini. Ujung yang atas dikenal penguras (*drain*) karena elektron-elektron bebas pergi dari titik ini. Dua daerah p dihubungkan di dalam dan disebut gerbang (*gate*).

(Sumber : Barmawi, Malvino : 315)