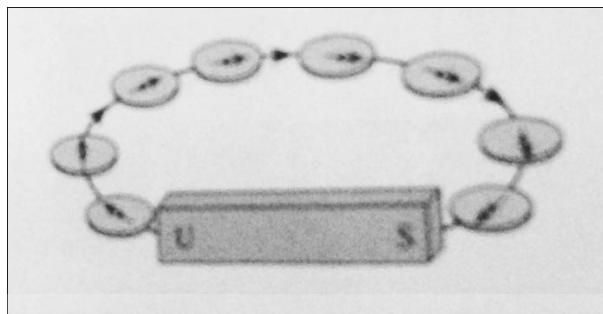


## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Medan Magnet



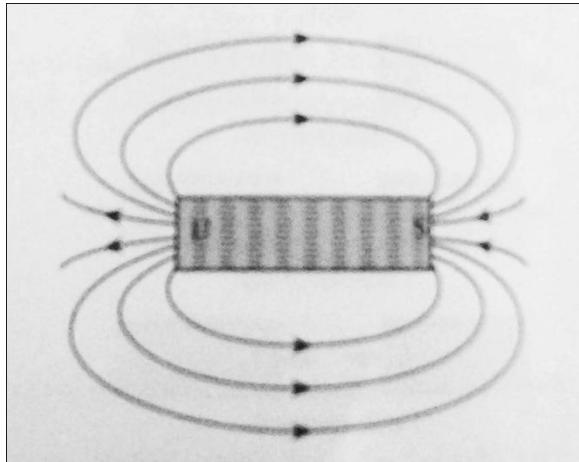
Sumber : (Giancoli, 2001)

Gambar 2.1 Penggambaran Garis Medan Magnet Sebuah Magnet Batang

Arah medan magnet pada suatu titik bisa didefinisikan sebagai arah yang ditunjuk kutub utara sebuah jarum kompas ketika diletakkan di titik tersebut.

Gambar 2.1 menunjukkan bagaimana suatu garis medan magnet ditemukan sekitar magnet batang dengan menggunakan jarum kompas. Medan magnet yang ditentukan dengan cara ini untuk medan di luar magnet batang digambarkan pada

Gambar 2.2. Berdasarkan Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 dapat dilihat garis – garis magnet selalu menunjuk dari kutub utara menuju kutub selatan magnet.



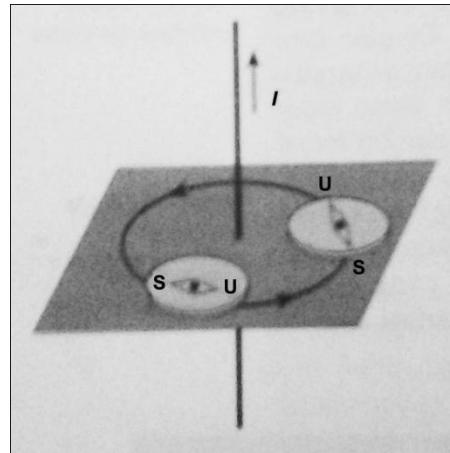
Sumber : (Giancoli, 2001)

Gambar 2.2 Garis – Garis Medan Magnet di Luar Magnet Batang

Medan magnet dapat didefinisikan di sembarang titik sebagai vektor, yang dinyatakan dengan symbol  $B$ , yang arahnya ditentukan seperti telah dibahas sebelumnya dengan menggunakan jarum kompas. Besar  $B$  dapat didefinisikan dalam momen yang diberikan pada jarum kompas ketika membentuk sudut tertentu terhadap medan magnet. Sehingga, makin besar momen, makin besar pula kuat medan magnet (Giancoli, 2001).

## 2.2 Arus Listrik Menghasilkan Kemagnetan

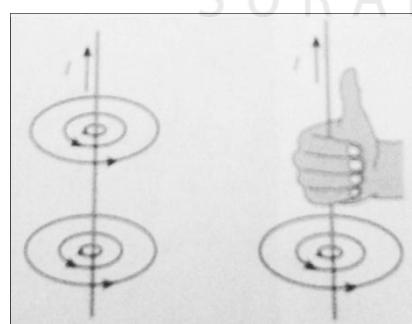
Arus listrik juga dapat menghasilkan sifat kemagnetan. Dengan kata lain saat arus melewati suatu benda yang bersifat konduktor, maka akan terbentuk suatu medan magnet. Konsep inilah yang terjadi pada saat jarum kompas diletakkan di dekat bagian yang lurus dari kawat pembawa arus.



Sumber : (Giancoli, 2001)

Gambar 2.3 Penyimpangan Jarum Kompas di Dekat Kawat

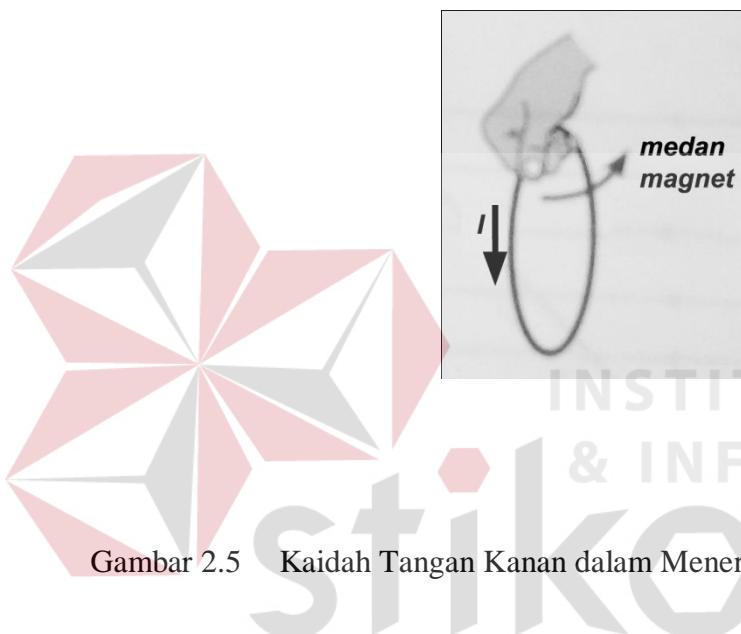
Jarum kompas yang diletakkan di dekat bagian yang lurus dari kawat pembawa arus mengatur dirinya sendiri sehingga membentuk tangen terhadap lingkaran yang mengelilingi kawat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Dengan demikian, garis – garis medan magnet yang dihasilkan oleh arus di kawat lurus membentuk lingkaran dengan kawat pada pusatnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Sumber : (Giancoli, 2001)

Gambar 2.4 Garis – Garis Medan Magnet di Sekitar Kawat Lurus

Ada cara sederhana untuk mengingat arah garis – garis medan magnet pada kasus ini. Cara ini disebut kaidah tangan kanan. Kaidah tangan kanan dapat dilakukan dengan cara menggenggam kawat dengan tangan kanan sehingga ibu jari menunjuk arus (positif) konvensional, kemudian jari – jari lain akan melingkari kawat dan jari – jari tersebut menunjukkan arah medan magnet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Giancoli, 2001).

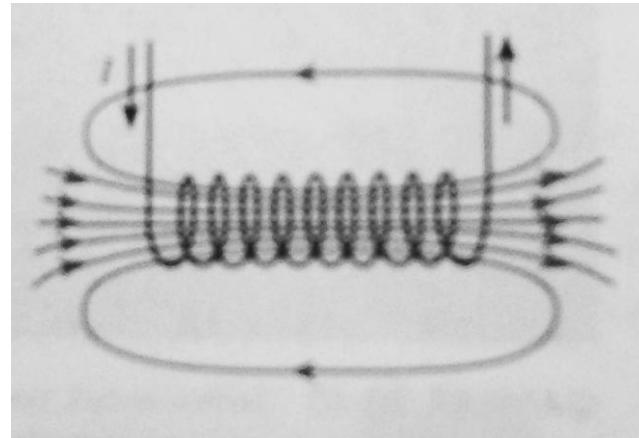


Gambar 2.5 Kaidah Tangan Kanan dalam Menentukan Arah Medan Magnet

Sumber : (Giancoli, 2001)

### 2.3 Elektromagnet dan Solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan kawat yang terdiri dari beberapa lilitan (*loop*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Saat arus listrik mengaliri solenoida, solenoida tersebut akan memiliki sifat medan magnet. Posisi dari kutub – kutub medan magnet pada solenoida dipengaruhi oleh arah arus di tiap lilitan tersebut. Karena garis – garis medan magnet akan meninggalkan kutub utara magnet, maka kutub utara solenoida pada Gambar 2.6 berada di ujung kanan.



Sumber : (Giancoli, 2001)

Gambar 2.6 Medan Magnet pada Solenoida

Setiap kumparan menghasilkan medan magnet dan medan total di dalam solenoida akan merupakan jumlah medan – medan yang disebabkan oleh setiap lilitan arus. Jika kumparan – kumparan solenoida berjarak sangat dekat, medan di dalam pada dasarnya akan parallel dengan sumbu kecuali di bagian ujung – ujungnya.

Untuk mengetahui besar medan magnet di dalam solenoida dapat menggunakan hukum Ampere yang ditunjukkan pada rumus (2.1) (Giancoli, 2001).

$$B = \mu_0 n I \quad (2.1)$$

dengan :

*B* = besar medan magnet (T)

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ )

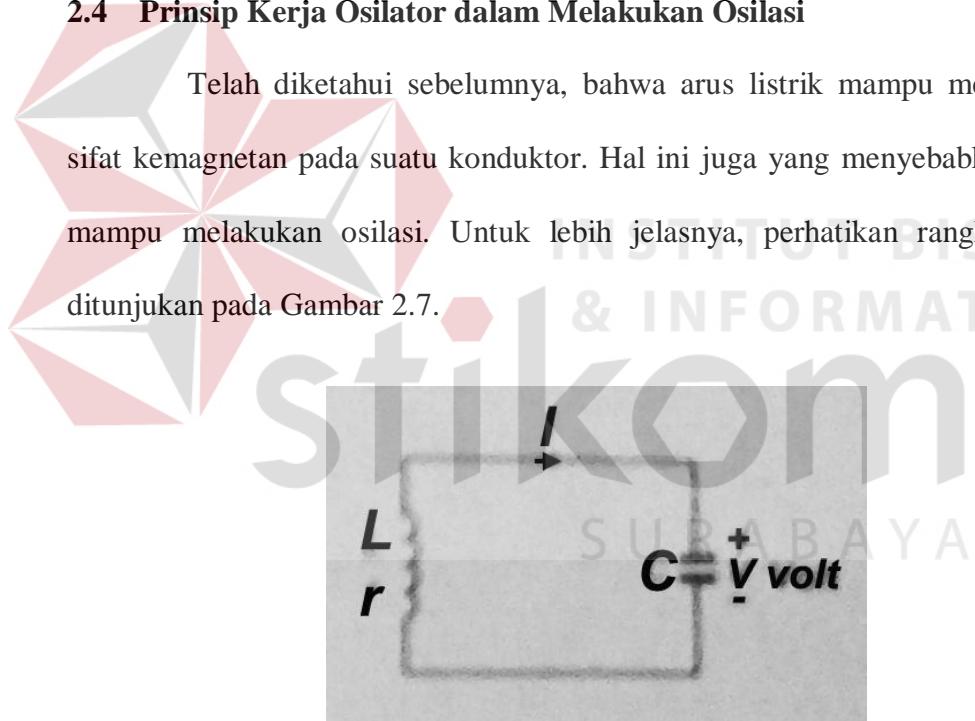
$n$  = jumlah lilitan per satuan panjang ( $\text{m}^{-1}$ )

$I$  = arus listrik (A)

Pada rumus tersebut, dapat diketahui bahwa  $B$  hanya bergantung pada jumlah lilitan per satuan panjang,  $n$ , dan arus  $I$ . Medan tidak bergantung pada posisi di dalam solenoida, sehingga nilai  $B$  seragam. Hal ini hanya berlaku pada solenoida takhingga, tetapi merupakan pendekatan yang baik untuk titik – titik yang sebenarnya yang tidak dekat dengan ujung solenoida.

#### 2.4 Prinsip Kerja Osilator dalam Melakukan Osilasi

Telah diketahui sebelumnya, bahwa arus listrik mampu menghasilkan sifat kemagnetan pada suatu konduktor. Hal ini juga yang menyebabkan osilator mampu melakukan osilasi. Untuk lebih jelasnya, perhatikan rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Sumber : (Green, 1982)

Gambar 2.7 Kondisi Awal Rangkaian Osilator

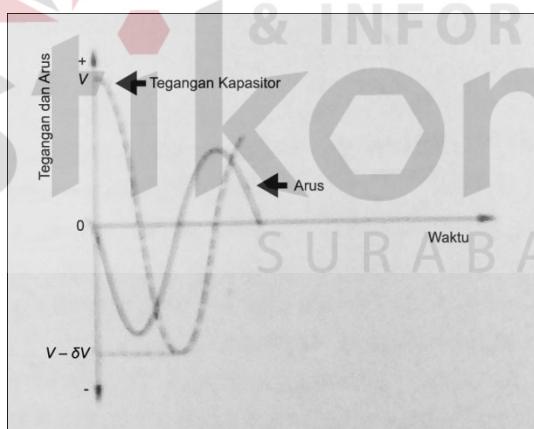
Pada suatu kapasitor berukuran  $C$  Farad yang dimuati oleh sumber DC sebesar  $V$  volt, akan terkandung energi listrik sebesar  $\frac{1}{2} CV^2$  joule. Jika kapasitor

yang telah bermuatan ini dihubungkan dengan induktor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, maka akan terbentuk rangkaian lengkap, dan muatan kapasitor terlepas menuju induktor sehingga arus akan mengalir. Arus mengalir sesaat setelah kapasitor dihubungkan dengan induktor, dan menarik cepat sampai ke harga maksimum ketika kapasitor sudah kosong, atau tegangan antara kedua lempengannya sama dengan nol. Aliran arus di konduktor menghasilkan medan magnet yang besarnya sebanding dengan arus. Energi tersimpan pada medan magnet adalah  $\frac{1}{2} LI^2$  joule. ( $L$  = induktansi induktor dengan satuan *henry* dan  $I$  = arus maksimum dengan satuan Ampere). Semua energi yang tersimpan di kapasitor sekarang telah diubah menjadi energi magnetik dan sebagian hilang sebagai disipasi daya pada resistansi rangkaian ( $r$ ).

Oleh karena beda potensial antara kedua terminal kapasitor sama dengan nol, maka arus mulai menurun dan medan magnet disekitar induktor mulai mengecil. Bersamaan dengan mengecilnya medan magnet, GGL (Gaya Gerak Listrik) diimbaskan ke kumparan induktor, dengan polaritas yang sesuai hukum Lenz, berlawanan dengan gaya yang menimbulkannya. Akibatnya GGL induksi total akan menjaga mengalirnya arus. Karena muatan kapasitor telah terbuang seluruhnya, maka aliran arus pada arah tersebut akan memuati kapasitor lagi, kini dengan polaritas yang berlawanan.

Ketika medan magnet telah menghilang seluruhnya, arus menjadi nol dan kapasitor telah termuati sampai tegangan yang sedikit lebih kecil dari sebelumnya. Katakanlah  $(V - \delta V)$ , dimana  $\delta V$  merupakan penambahan tegangan dalam jumlah kecil.

Hampir seluruh energi magnetik kini berubah menjadi energi listrik yang tersimpan pada dielektrik kapasitor. Sebagian energi akan hilang berupa disipasi daya  $i^2r$  akibat adanya resistansi rangkaian. Kapasitor sekarang mulai lagi kehilangan muatannya menuju induktor, tetapi arah aliran arus berubah lagi (aliran arus kembali sama dengan aliran arus mula – mula). Medan magnet mulai lagi timbul disekitar induktor. Ketika kapasitor telah bermuatan, arus mulai mengecil dan medan magnet menghilang setelah menginduksikan GGL ke kumparan induktor, yang akhirnya akan menimbulkan arus dengan arah sebaliknya. Kapasitor akan termuati lagi oleh arus sesuai polaritas awalnya dan pada saat telah termuati penuh (dengan sedikit selisih tegangan dibandingkan sebelumnya), maka lengkaplah satu perioda arus osilator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Sumber : (Green, 1982)

Gambar 2.8 Perioda Osilasi

Pemindahan energi antara kapasitor dan induktor berlangsung terus menerus pada frekuensi konstan, tetapi dengan amplitudo yang terus mengecil

sampai osilasi selesai. Jenis osilasi ini dikenal sebagai osilator teredam. Laju teredamnya osilasi bergantung pada resistansi rangkaian.

Jika energi diberikan pada rangkaian osilator untuk menggantikan rugi – rugi disipasi  $i^2r$ , akan diperoleh osilasi tak teredam. Osilasi ini akan menghasilkan amplitudo yang terus konstan dan tak akan berhenti. Energi yang diberikan pada rangkaian osilator haruslah cukup besar, sebanding dengan disipasi resistansi rangkaian, serta sefasa dengan osilasi.

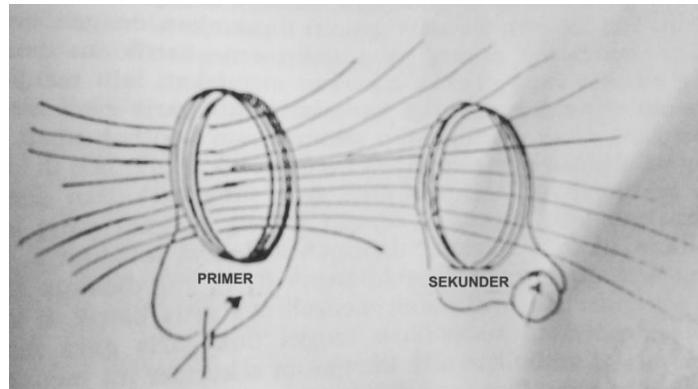
Energi yang harus diberikan pada rangkaian osilator untuk menjaga berlangsungnya osilasi, ditangani oleh bagian penguat dari osilator. Ketika osilator mulai dicatut, arus surja (*current surge*) pada rangkaian penentu frekuensi akan menghasilkan tegangan sesuai dengan frekuensi operasi. Sebagian tegangan ini diumpanbalikkan ke terminal masukan dan diperkuat dengan fasa yang sama dengan tegangan semula. Hasilnya kemudian diumpankan kembali kemasukan, diperkuat lagi dan seterusnya.

Dengan demikian amplitudo tegangan sinyal akan mencapai batas tertentu. Setelah menghasilkan amplitudo yang diinginkan maka penguatan rangkaian diperkecil menjadi satu. Penguatan ini dapat diperkecil dengan tabung atau transistor yang dibuat jenuh (Green, 1982).

## 2.5 Induksi Elektromagnetik

Proses induksi elektromagnetik sangat berhubungan dengan konsep medan magnet dan solenoida. Untuk lebih memahami bagaimana proses

terjadinya induksi elektromagnetik, akan dijelaskan melalui percobaan yang telah dilakukan oleh Faradays..



Sumber : (Soedojo, 2004)

Gambar 2.9 Percobaan Faradays Mengenai Induksi Elektromagnetik

Bilamana kuat arus di kumparan primer pada Gambar 2.9 diubah, maka di kumparan sekunder ternyata mengalir arus listrik, sedangkan kumparan sekunder itu tak bersambungan sama sekali dengan kumparan primer. Satu – satunya hubungan ialah adanya *fluks* garis gaya medan magnet dari kumparan primer yang dialiri arus listrik, yang dicakup oleh kumparan sekunder. Jadi tentunya mengalirnya arus listrik di kumparan sekunder itu bukan disebabkan langsung oleh perubahan kuat arus listrik di kumparan primer, melainkan oleh adanya perubahan banyaknya *fluks* garis gaya medan magnet yang dicakup kumparan sekunder tersebut. Hal ini oleh Faraday sendiri diyakinkan dengan menggantikan kumparan primer yang dialiri arus listrik itu dengan batang magnet yang digerak – gerakkan mendekati lalu menjauhi kumparan sekunder sehingga banyaknya *fluks* garis gaya medan magnet yang dicakup kumparan sekunderpun berubah – ubah. Lebih lanjut, dengan mangamati arah arus yang berkaitan dengan

penambahan *fluks*, misalnya dengan batang magnet yang lebih didekatkan, akan berlawanan dengan seandainya sebaliknya, yakni yang berkaitan dengan pengurangan *fluks* yang dicakup kumparan sekunder. Ternyata arah mengalirnya arus listrik di kumparan sekunder itu sedemikian hingga *fluks* garis gaya medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan sekunder itu mengkompensasi perubahan *fluks* yang dicakupnya. Jadi seolah – olah mengalirnya arus listrik di kumparan sekunder itu merupakan reaksi perubahan *fluks* garis gaya yang dicakupnya, sejalan dengan hukum Newton III dalam mekanika (Soedojo, 2004).

## 2.6 Wireless Energy Transfer

Pengiriman daya dengan teknologi nirkabel merupakan perkembangan dari konsep elektromagnetik yang telah dibahas pada subbab sebelum – sebelumnya. Konsep ini telah mendasari proses transmisi daya yang pernah dilakukan oleh ilmuwan Nikola Tesla dan teknologi transmisi listrik *microwave*. Kedua macam teknologi itu merupakan bentuk transfer daya menggunakan radiasi.

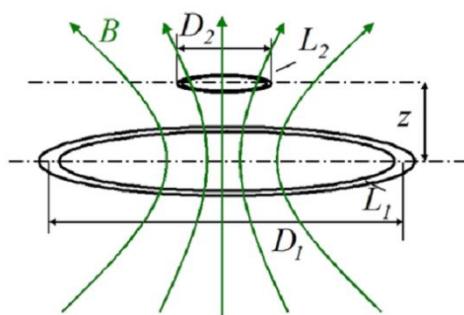
*Radiative transfer* digunakan dalam komunikasi nirkabel, namun teknologi itu tidak terlalu cocok untuk transmisi listrik karena efisiensi yang rendah dan kerugian radiasi karena sifat *omnidirectionalnya*. Sebuah teknologi alternatif diperlukan dengan ketentuan jarak interaksi antara sumber dengan perangkat berdekatan, sehingga menghasilkan transfer daya yang efisien (Sibakoti & Hambleton, 2011).

Dalam beberapa waktu yang lalu para peneliti telah mencoba untuk mentransfer energi secara *wireless* dengan beberapa macam mekanisme (Herrera, Torres, Leal, & Angel, 2010), seperti :

- *Laser beam.* *Laser beam* adalah sinar laser koheren yang mampu untuk membawa energi yang sangat tinggi. Teknologi ini diciptakan oleh NASA pada tahun 2003.
- Gelombang radio dan *microwaves*. Dengan menggunakan teknologi *microwaves* ini, energi listrik yang sangat tinggi dapat dikirimkan melalui jarak jauh.
- *Inductive resonant coupling.* Teknologi ini bekerja dengan menggunakan efek kopling resonansi antara dua gulungan sirkuit LC.
- *“Strong” electromagnetic resonance.* Teknologi ini merupakan perkembangan dari *inductive resonant coupling*. Teknologi ini mampu mengirim energi listrik lebih jauh hingga beberapa puluh sentimeter.

*Inductive resonant coupling* adalah sebuah sistem yang dapat mengirimkan daya nirkabel. Hal ini dicapai dengan menghubungkan sumber daya ke *inductive coupling system* dan menggunakan medan magnet untuk mentransfer energi melalui udara. *Coupling system* menggunakan komponen koil pemancar (L1) yang mengirimkan energi ke komponen koil penerima. Hal ini dilakukan dengan melewatkkan arus listrik pada koil L1, dan menciptakan medan magnet B.

koil L2 menciptakan sinyal energi menggunakan medan magnet B tersebut. Gambar 2.10 menunjukkan cara kerja dari *inductive resonant coupling* berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sasur.



Sumber : (Sasur, 2011)

Gambar 2.10 *Inductive Coupling System*

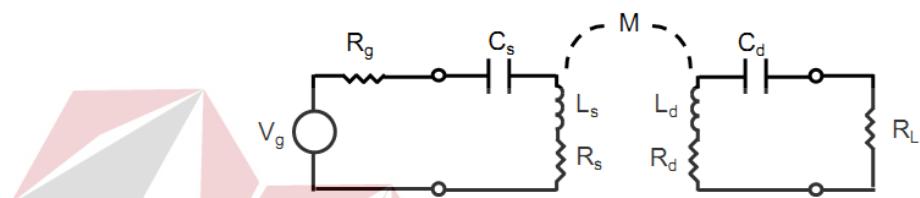
Efisiensi sistem didasarkan pada ukuran rasio  $D_2/D_1$  dari dua koil dan jarak antara dua koil ( $z$ ). Saat rasio  $D_2/D_1$  berkurang, efisiensi juga akan berkurang. Jika jarak antara dua koil bertambah, efisiensi akan berkurang. Sumber daya tersambung ke koil pemancar, kemudian secara nirkabel akan mentransfer daya ke koil penerima. Energi ini kemudian akan masuk ke pengisian baterai perangkat (Sasur, 2011).

## 2.7 Coupled Resonators

*Coupled resonators* adalah koil pemancar dan koil penerima yang telah dibicarakan pada pembahasan – pembahasan sebelumnya. Kedua resonator tersebut mampu melakukan proses transmisi daya ketika posisinya saling berdekatan. Saat kedua resonator dalam posisi berdekatan, akan terbentuk suatu

penghubung diantara dua resonator tersebut yang digunakan sebagai media transmisi daya.

Kemampuan transmisi daya tergantung pada karakteristik masing – masing parameter untuk setiap resonator dan tingkat energi dari *coupling*. Dinamika dua sistem resonator dapat digambarkan dengan analisis rangkaian ekuivalen dari sistem *coupling* resonator. Berikut adalah rangkaian ekuivalen untuk *coupling* resonator yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Sumber : (Kesler, 2013)

Gambar 2.11 Rangkaian Ekuivalen untuk *Coupling Resonator*

Sebuah Generator dengan sumber tegangan sinusoidal yang memiliki amplitudo  $V_g$  , frekuensi  $\omega$  dengan hambatan  $R_g$ . Sumber dan perangkat resonator kumparan diwakili oleh induktor  $L_s$  dan  $L_d$ , yang digabungkan melalui induktansi bersama  $M$ , di mana  $M = k\sqrt{L_s L_d}$  dengan  $k$  merupakan koefisien gandengan antar *fluks*. Setiap kumparan memiliki kapasitor seri untuk membentuk resonator. Hambatan  $R_s$  dan  $R_d$  adalah hambatan parasit dari kumparan dan kapasitor resonant untuk resonator yang bersangkutan. Beban diwakili oleh hambatan  $R_L$  (Kesler, 2013).

## 2.8 Desain Koil pada *Inductive Resonant Coupling*

*Coupled resonators* atau koil pemancar dan koil penerima, secara fisik berbentuk *multiple circle* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 (Lee, Waters, Shi, Park, & Smith, 2013). Desain lilitan koil, jumlah lilitan ( $n$ ), ukuran rata – rata dari jari – jari lilitan koil ( $r$ ) dan lebar koil ( $d$ ) sangat mempengaruhi terhadap nilai dari induktansi ( $L$ ).



Perhitungan dari nilai induktansi untuk desain koil seperti ini ditunjukkan pada rumus (2.2).

$$L = \frac{r^2 n^2}{(2r + 2.8d) * 10^5} \dots \dots \dots \quad (2.2)$$

dengan :

*L* = induktansi (H)

*r*      ≡    jari – jari terluar koil (cm)

*n* = jumlah lilitan (lilitan)

$$d = \text{lebar keseluruhan lilitan koil (cm)}$$

Rumus tersebut dapat menghitung nilai dari induktansi dengan anggapan jarak antar lilitan dan diameter dari koil yang digunakan diabaikan (Li, Yang, & Gao, 2013).

## 2.9 Akuisisi Data

Pengukuran memegang peranan yang sangat penting dalam dunia teknik. Pada tahap penelitian atau perancangan, pengukuran diperlukan untuk analisis teknik eksperimental. Pada tingkat aplikasi, misalnya pada industri proses, pengukuran diperlukan dalam pemantauan dan pengendalian suatu proses. Dengan pesatnya perkembangan teknologi komputer, saat ini hampir semua kegiatan dalam bidang teknik telah memanfaatkan komputer. Untuk dapat memanfaatkan komputer, suatu sistem pengukuran memerlukan sistem akuisisi data untuk mendapatkan data yang siap diolah secara digital (Murod, 2005).

## 2.10 Daya Listrik

Daya listrik mempresentasikan laju perubahan energi yang dihasilkan oleh sebuah perangkat listrik, dari satu bentuk energi ke bentuk lainnya. Sebagai contoh, sebuah pemanas ruangan mengubah energi listrik menjadi energi panas. Laju perubahan ini dinyatakan dalam satuan watt. Simbol untuk besaran watt adalah W (Bishop, 2004).

Dapat diperlihatkan bahwa daya yang dibangkitkan sebuah perangkat listrik sebanding dengan besarnya arus yang mengalir melewatinya. Daya juga sebanding dengan tegangan yang menggerakkan arus tersebut. Semakin besar arus dan semakin besar gaya gerak listriknya, semakin besar pulalah daya yang

dihasilkan. Apabila dituliskan dalam rumus, menjadi seperti yang ditunjukan pada rumus (2.3)

$$P = I \times V \quad \dots \dots \dots \quad (2.3)$$

dengan :

P = Daya (W)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

## 2.11 Power Supply

*Power supply* adalah alat atau sistem yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik atau bentuk energi jenis apapun yang sering digunakan untuk menyalurkan energi listrik. Secara prinsip rangkaian *power supply* adalah menurunkan tegangan *AC*, menyearahkan tegangan *AC* sehingga menjadi *DC*, menstabilkan tegangan *DC*, yang terdiri atas transformator, dioda dan kapasitor.

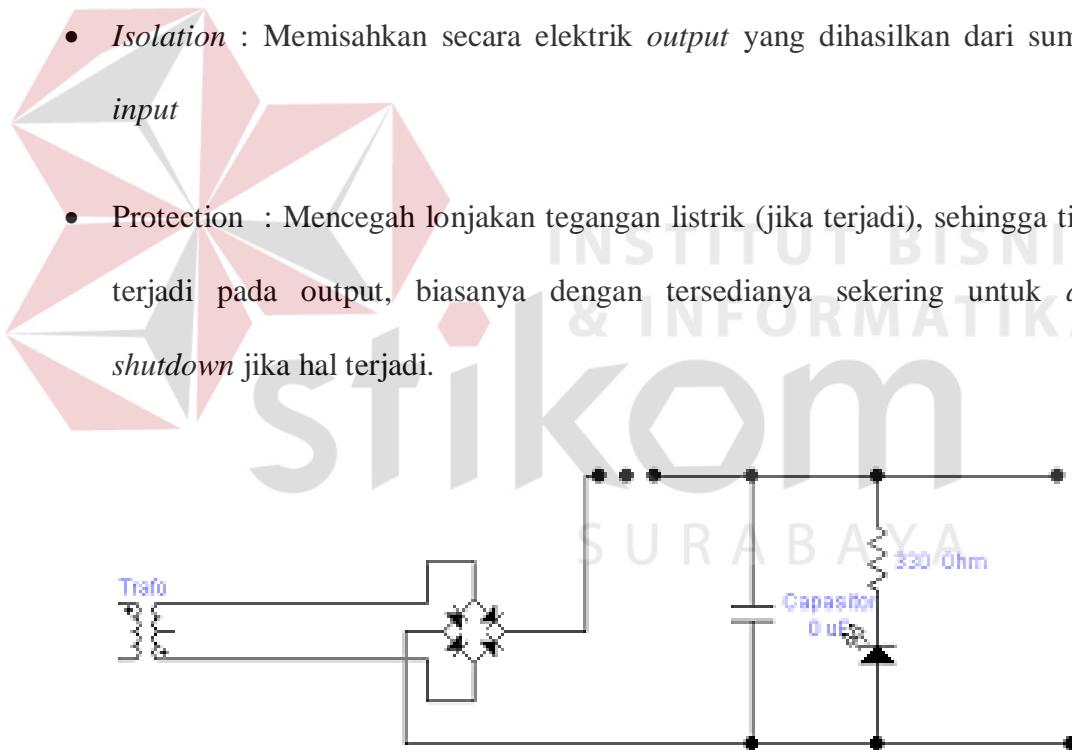
Tranformator biasanya berbentuk kotak dan terdapat lilitan – lilitan kawat email didalamnya. Tugas dari komponen ini adalah untuk menaikkan atau menurunkan tegangan AC sesuai kebutuhan.

*Power supply* diharapkan dapat melakukan fungsi berikut ini :

- *Rectification* : Konversi input listrik AC menjadi DC.

- *Voltage Transformation* : Memberikan keluaran tegangan *DC* yang sesuai dengan yang dibutuhkan.
- *Filtering* : Menghasilkan arus listrik *DC* yang lebih "bersih", bebas dari *ripple* ataupun *noise* listrik yang lain.
- *Regulation* : Mengendalikan tegangan keluaran agar tetap terjaga, tergantung pada tingkatan yang diinginkan, beban daya, dan perubahan kenaikan temperatur kerja juga toleransi perubahan tegangan daya *input*.

- *Isolation* : Memisahkan secara elektrik *output* yang dihasilkan dari sumber *input*
- *Protection* : Mencegah lonjakan tegangan listrik (jika terjadi), sehingga tidak terjadi pada *output*, biasanya dengan tersedianya sekering untuk *auto shutdown* jika hal terjadi.



Sumber : (Gunawan, 2011)

Gambar 2.13 Rangkaian *Power Supply* Sederhana

Rangkaian *power supply* yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 merupakan salah satu contoh rangkaian *power supply* yang paling sederhana dan yang paling

sering ditemui dalam dunia elektronika. Hanya dengan menggunakan beberapa komponen inti dari *power supply* yakni satu buah dioda *bridge* atau 4 buah dioda biasa dan satu buah kapasitor. Dioda *bridge* / 4 buah dioda biasa digunakan sebagai penyearah gelombang bolak balik yang dihasilkan oleh trafo *step down* atau trafo penurun tegangan dan kapasitor digunakan sebagai penghilang riak gelombang yang telah disearahkan oleh dioda *bridge* (Gunawan, 2011).

