

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Literature Review

Penelitian yang dilakukan oleh Supriyadi, dkk., membahas mengenai pengembangan sistem transfer daya dengan kopling induktif. Dari penelitian ini diperoleh efisiensi daya pada jarak 1 cm sekitar 1,51% dengan menggunakan beban LED 1 Watt (Supriyadi & Rakhman, 2017).

Penelitian yang dilakukan Xu Liu, dkk pada tahun 2018 menjelaskan tentang desain kumparan untuk sistem WPT dengan persyaratan yang diberikan pada tegangan dan arus *input* DC, resistansi beban, dan frekuensi resonansi. Dengan metode desain koil yang diusulkan, sistem WPT dapat menghasilkan arus / daya *input* DC yang sama dengan tegangan *input* DC yang sama untuk menambah beban yang sama tetapi pada frekuensi resonansi yang berbeda. Hal tersebut secara efektif dapat mengurangi ukuran dan berat kumparan atau meningkatkan jarak transfer daya tanpa memperjelas kapasitas transfer daya sistem. Meskipun metode desain dalam pekerjaan ini digunakan untuk merancang sistem kumparan sesuai dengan frekuensi resonansi dan parameter *input* spesifiknya, metode ini juga cocok untuk memenuhi persyaratan tegangan *output*, daya *output*, dan efisiensi sistem, dan lain-lain. Untuk sistem WPT dengan frekuensi resonansi yang lebih tinggi, disajikan pula metoda untuk pengaturan frekuensi yang sederhana sehingga tidak perlu mengubah topologi dan komponen sistem WPT (Liu, Liu, Wang, & Wang, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Kurs pada tahun 2007 mencoba untuk mengirim daya secara nirkabel dengan metode kopel resonansi magnetik dan mampu mengirimkan daya sejauh 8 kali dari jari-jari kumparan *transmitter*. Dari hasil percobaan didapat jarak maksimum pengiriman hingga 2 meter dengan efisiensi daya 40% dengan menggunakan beban sebesar 60 watt (Kurs, Karalis, Moffatt, & Joannououlos, 2007). Sejak saat itu semakin banyak penelitian dan pengembangan di bidang WPT mulai dari penggunaan untuk gawai, jam tangan, sensor implan untuk tubuh hingga kendaraan listrik.

2.2. Teori Pendukung

2.2.1. *Wireless Power Transmission*

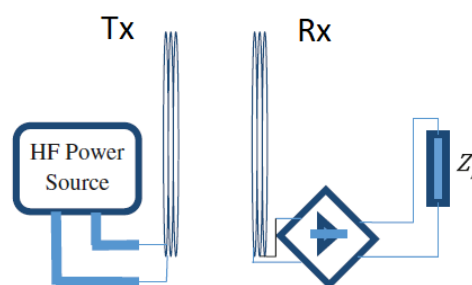
Wireless power transmission (WPT) adalah metode transmisi daya listrik dari satu titik ke titik lain melalui media vakum atau udara bebas tanpa menggunakan kabel (nirkabel). WPT dapat dikategorikan berdasarkan mekanisme pengiriman, jarak pengiriman, dan besarnya daya yang dikirim. Berdasarkan jaraknya, WPT dapat dikategorikan menjadi dua jenis yaitu *near field* (jarak dekat) dan *far field* (jarak jauh).

Apabila jarak pengiriman lebih panjang dibanding panjang gelombang elektromagnetik pembawa maka dikategorikan sebagai *far field*. Kopling induktif dan kopling magnetik resonansi dikategorikan ke dalam *near field*. Walaupun metode *far field* menawarkan jarak pengiriman yang lebih jauh, tetapi metode ini mempunyai kelemahan pada sisi arah pengiriman dan efisiensi. Jangkauan frekuensi untuk metode *far field* biasanya berada dalam orde tinggi (dalam orde GHz), sedangkan metode *near field* memiliki jangkauan frekuensi yang lebih rendah yaitu pada orde kHz sampai dengan MHz. Metode kopling induktif dapat mengirimkan daya yang besar dengan efisiensi yang cukup bagus pada jarak maksimum beberapa centimeter. Tetapi efisiensi pada metode *near field* berkurang secara eksponensial terhadap jarak antara pengirim dan penerima. (Vilathgamuwa & Sampath, 2015)

Pengiriman daya nirkabel secara induktif (kopling induktif) didasarkan hasil percobaan induksi Faraday dan hukum rangkaian Ampere. Medan magnet yang terintegrasi berdasarkan *loop* arus yang dibawa oleh kumparan *transmitter* didefinisikan sebagai hukum rangkaian Ampere (*Ampere's circuital law*). Berdasarkan hukum induksi Faraday (*Faraday's law of induction*), medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu menginduksi kumparan *receiver* sehingga menghasilkan GGL. Metode ini dibatasi oleh jarak efektif hanya beberapa centimeter.

Metode kopling resonansi magnetik memanfaatkan efek resonansi yang terjadi akibat induktansi diri dan kapasitansi parasit. Kadang kala kapasitor eksternal ditambahkan ke rangkaian saat kapasitansi parasitik tidak cukup kuat

untuk menghasilkan nilai frekuensi resonansi yang diinginkan. Metode kopling resonansi magnetik dioperasikan pada frekuensi orde MHz. Metode kopling resonansi magnetik ini menawarkan jarak yang lebih jauh dibanding metode kopling induktif. Gambar 2.1 menunjukkan skema umum WPT menggunakan metode induksi magnetik atau kopling resonansi. (Vilathgamuwa & Sampath, 2015)



Gambar 2.1. Skema Umum *Wireless Power Transmission*
(Vilathgamuwa & Sampath, 2015)

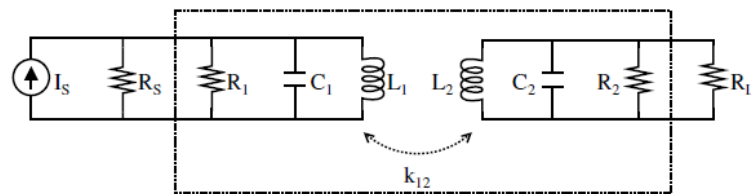
Secara umum terdapat beberapa metode dalam mengimplementasikan sistem WPT. Antena dari *transmitter* biasanya merupakan induktor dari rangkaian LC *tank* pada sistem, sedangkan frekuensi kerja sistem memanfaatkan peristiwa resonansi dari LC *tank*. Beberapa metode yang umum digunakan dalam mengimplementasikan WPT antara lain:

1. Berbasis *tuned oscillator* seperti *Hartley oscillator* atau *Colpitts oscillator*. Induktor pada LC *tank* digunakan sebagai antena *transmitter*. Kelebihan sistem ini adalah sederhana dalam pembuatan, tetapi memiliki kelemahan yaitu keseluruhan rangkaian *transmitter* bukanlah rangkaian daya sehingga tidak bisa mengirimkan daya yang besar.
2. Berbasis *switching inverter* seperti H *bridge* MOSFET atau *push-pull* MOSFET. Rangkaian ini merupakan rangkaian *inverter* yang mengubah arus DC menjadi arus AC. Pengaturan frekuensi *switching* yang lebih tinggi memungkinkan terjadinya resonansi apabila beban merupakan LC *tank*. Kelebihan sistem ini dapat mengirimkan daya yang lebih besar. Sedangkan

kelemahannya adalah rentan terhadap sinyal transien dan sulitnya mengatur MOSFET pada sisi *high side*.

3. Berbasis *resonant converter* seperti *series resonant converter*, *parallel resonant converter*, *class D amplifier*, dan *class E amplifier*. Rangkaian ini bekerja dengan prinsip resonansi pada LC. Di sisi lain energi yang diresonansikan dapat diatur nilainya sehingga rangkaian dapat berfungsi sebagai rangkaian daya.

Efisiensi dari sistem WPT tergantung dari metode yang digunakan. Khusus untuk metode kopling induktif dan kopling magnetik resonansi secara garis besar bahwa efisiensi sistem dipengaruhi oleh jenis kumparan dan nilai Q. Gambar 2.2 menjelaskan tentang rangkaian ekuivalen untuk sistem WPT tipe *parallel to parallel* dengan metode kopling magnetik resonansi.



Gambar 2.2. Rangkaian Ekuivalen untuk Sistem WPT Tipe *Parallel to Parallel*

(Yun & Swee, 2017)

L_1 merupakan kumparan *transmitter* dan L_2 adalah kumparan *receiver*. Setiap kumparan dikompensasi dengan C_1 dan C_2 agar terjadi proses resonansi pada frekuensi resonansi yang sama. Kedua kumparan saling terikat dengan kopling koefisien k_{12} sehingga akan timbul induktansi bersama dengan nilai M_{12} . R_1 dan R_2 merupakan resistansi internal dari masing-masing rangkaian. R_s adalah impedansi dari rangkaian *transmitter* dan R_L adalah beban pada *receiver*.

Efisiensi dari rangkaian pada Gambar 2.2 dapat dituliskan sebagai:

$$\eta_t = \frac{2k_{12} \sqrt{Q_1 Q_2 R_1 R_2}}{\sqrt{[k_{12}^4 (Q_1^2 + 1)(Q_2^2 + 1) + 2k_{12}^2 (Q_1 Q_2 - 1) + 1] (R_s + R_1)(R_2 + R_L)}} \quad (2.1)$$

$$Q_1 = \frac{Q_1 // R_s}{\omega L_1} \quad (2.2)$$

$$Q_2 = \frac{R_2 // R_L}{\omega L_2} \quad (2.3)$$

$$R_S = \frac{L_1 R_1 R_2}{2(L_1 R_2 + L_2 R_1)} \quad (2.4)$$

$$R_L = \frac{L_2 R_1 R_2}{L_1 R_2 + L_2 R_1} \quad (2.5)$$

Berdasarkan Persamaan (2.1) bahwa efisiensi dari sistem merupakan fungsi dari kopling kumparan dan faktor kualitas (Q). Memperbesar nilai Q dapat dilakukan untuk mencegah efek dari kecilnya nilai kopling kumparan. Disamping itu nilai Q juga proporsional terhadap nilai impedansi sistem seperti yang ditampilkan pada persamaan (2.2) dan (2.3). dalam kasus ini, nilai impedansi dari sistem dapat diturunkan akibat dari R_S atau R_L . Bagaimanapun proses pengaturan impedansi harus dilakukan guna mencapai nilai Q yang tinggi, sehingga pengiriman daya menggunakan sistem WPT dengan efisiensi yang tinggi dapat tercapai. (Yun & Swee, 2017)

2.2.2. Hukum Faraday dan Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah peristiwa timbulnya GGL di dalam kumparan yang diakibatkan oleh perpotongan fluks magnetik yang besarnya berubah-ubah terhadap waktu. Tegangan yang timbul akibat induksi elektromagnetik disebut GGL induksi.

Berdasarkan Hukum Faraday yaitu apabila terdapat medan magnet dalam suatu kumparan maka timbul GGL induksi pada kumparan tersebut. GGL induksi akan timbul selama terjadi perubahan medan magnet pada kumparan tersebut. Medan magnet statis tidak akan menyebabkan arus mengalir. Medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu akan menginduksi tegangan (GGL induksi) pada rangkaian kumparan tertutup. GGL induksi ini menyebabkan arus mengalir (Singh, 2011). Besarnya tegangan yang diinduksikan dirumuskan sebagai:

$$V_{EMF} = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.6)$$

Dimana:

V_{EMF} : GGL induksi (V)

N : jumlah lilitan

$d\Phi$: perubahan fluks magnet terhadap waktu (Wb)

dt : perubahan waktu (s)

Di sisi lain, besarnya fluks magnet (Φ) yang dirasakan dipengaruhi oleh:

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

Dimana:

Φ : fluks magnet (Wb)

B : kerapatan medan magnet (T)

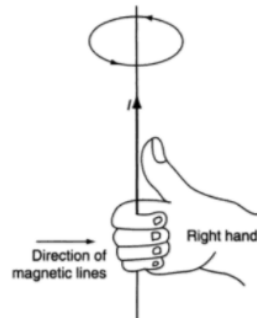
A : luas area/permukaan yang dilewati oleh medan magnet (m^2)

θ : sudut permukaan A terhadap medan magnet ($^\circ$)

Sehingga secara keseluruhan besarnya GGL induksi yang dihasilkan dipengaruhi oleh perubahan waktu, besarnya kerapatan medan magnet, besarnya area yang dilewati oleh medan magnet, dan sudut yang terbentuk antara area permukaan terhadap arah garis gaya magnet.

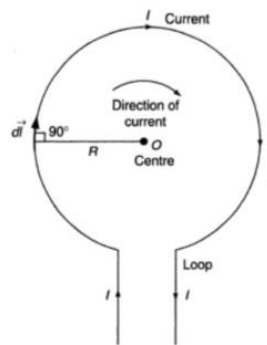
2.2.3. Hukum Biot-Savart

Apabila arus mengalir pada suatu kawat maka akan timbul medan magnet di sekitar kawat tersebut. Arah medan magnet tersebut dapat ditentukan menggunakan aturan tangan kanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Apabila arus mengalir searah dengan arah ibu jari, maka arah medan magnetnya akan searah dengan jari yang tertutup. Besarnya intensitas medan magnet yang timbul dinyatakan dengan simbol H pada titik tertentu (Singh, 2011).



Gambar 2.3. Aturan Tangan Kanan untuk Arah Arus dan Medan Magnet
(Singh, 2011)

Besar medan magnet pada pusat kawat melingkar yang dialiri arus, mempunyai jari-jari r dengan titik pusat O , arus mengalir I seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Kawat Melingkar yang Dialiri Arus
(Singh, 2011)

Dirumuskan sebagai:

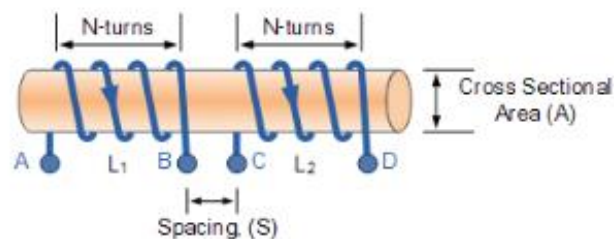
$$B = \frac{\mu_0 \mu_r i}{2r} \quad (2.8)$$

Dimana :

- B : kerapatan medan magnet (T)
- μ_0 : permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$)
- μ_r : permeabilitas bahan
- i : arus yang mengalir pada kawat (A)
- r : jarak dari kawat (m)

2.2.4. Induktansi Bersama dan Kopling Magnetik (Tutorial, n.d.)

Induktansi bersama (M) adalah interaksi antara satu kumparan yang menghasilkan medan magnet ke kumparan lainnya di mana medan magnet tersebut menginduksi kumparan lain yang berdekatan dengannya. Jumlah dari induktansi bersama yang menghubungkan kumparan satu dengan kumparan lainnya tergantung pada posisi dan jarak antara kedua kumparan tersebut. Saat jarak antara kedua kumparan sangat dekat dan di posisi yang identik maka hampir semua medan magnet akan menginduksi kumparan lainnya dan menghasilkan GGL yang relatif besar dan dengan kondisi seperti itu maka akan dihasilkan nilai induktansi bersama yang besar. Gambar 2.5 menunjukkan kondisi induktansi bersama.



Gambar 2.5. Induktansi Bersama Antara 2 Kumparan
(Tutorial, n.d.)

Secara umum induktansi bersama dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M = \frac{\mu_0 \mu_r N_1 N_2 A}{s} \quad (2.9)$$

Dimana:

- M : induktansi bersama (H)
- μ_0 : permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$)
- μ_r : permeabilitas bahan
- N_1 : jumlah lilitan kumparan 1
- N_2 : jumlah lilitan kumparan 2
- A : luas permukaan kumparan (m^2)
- s : jarak antar kedua lilitan (m)

Saat induktansi bersama terjadi, fluks yang menghubungkan kumparan satu (L_1) ketika arus mengalir di sekitar kumparan dua (L_2) persis sama dengan kumparan dua ketika arus yang sama mengalir di sekitar kumparan satu di atas, maka induktansi bersama dari kumparan satu terhadap kumparan dua dapat didefinisikan sebagai M_{21} . Induktansi bersama ini benar terlepas dari ukuran, jumlah lilitan, posisi atau orientasi kedua kumparan. Karena itu dapat ditulis bahwa induktansi bersama antara dua kumparan sebagai $M_{12} = M_{21} = M$.

$$L_1 = \frac{\mu_0 \mu_r N_1^2 A}{s} \quad (2.10)$$

$$L_2 = \frac{\mu_0 \mu_r N_2^2 A}{s} \quad (2.11)$$

Dengan menurunkan persamaan (2.10) dan (2.11) maka didapat persamaan induktansi bersama sebagai berikut:

$$M = \sqrt{L_1 L_2} (H) \quad (2.12)$$

Bagaimanapun persamaan di atas digunakan untuk kebocoran fluks sama dengan nol atau dengan kata lain kopling magnetik sama dengan 100% terjadi antara kumparan 1 dan kumparan 2. Pada kenyataannya selalu terjadi kebocoran fluks karena posisi yang kurang identik.

Sebagian dari fluks yang menghubungkan kedua kumparan dapat didefinisikan sebagai faktor yang memungkinkan terjadinya induktansi bersama. Faktor ini disebut sebagai Faktor Kopling dan disimbolkan sebagai K . Secara umum nilai K didefinisikan antara 0 sampai dengan 1. Untuk nilai $K=1$ maka kopling terjadi dengan sangat baik, untuk $K > 0,5$ maka dapat dikatakan kopling kuat, dan untuk $K < 0,5$ maka kopling kurang kuat atau buruk.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2.13)$$

2.2.5. *Oscillator* (Chattopadhyay & Rakshit, 2006)

Oscillator adalah suatu rangkaian yang terdiri atas komponen aktif dan pasif yang berfungsi untuk menghasilkan sinyal sinusoidal atau sinyal periodik dalam bentuk lainnya pada sisi *output* tanpa pemrosesan sinyal *input* eksternal. Rangkaian ini mengubah sinyal DC dari tegangan *supply* menjadi sinyal AC pada

sisi *output*. *Oscillator* merupakan kebalikan dari rangkaian *rectifier* di mana rangkaian *rectifier* berfungsi untuk mengubah sinyal AC menjadi sinyal DC. Aplikasi dari *oscillator* dapat ditemukan pada radio, TV *transmitter* dan *receiver*, dan pada beberapa alat pengujian laboratorium.

Berdasarkan bentuk sinyal yang dihasilkan, *oscillator* dapat dikelompokkan menjadi sinusoidal (harmonik) *oscillator* dan *relaxation oscillator*. Jika sinyal yang dihasilkan berupa sinyal sinusoidal atau bentuk yang mendekati sinusoidal dengan frekuensi yang tetap maka *oscillator* dikatakan berjenis sinusoidal *oscillator*. Jika sinyal yang dihasilkan bukan sinyal sinusoidal (berupa sinyal kotak, segitiga, atau sinyal gigi gergaji) maka *oscillator* dikatakan berjenis *relaxation oscillator*.

Di dalam rangkaian *oscillator*, amplituda tegangan atau arus *oscillator* akan menghilang secara perlahan seiring adanya disipasi daya oleh resistansi dalam rangkaian. Apabila terdapat resistansi negatif di dalam rangkaian untuk mengkompensasi kehilangan energi yang terjadi, maka osilasi dengan amplituda yang konstan dapat tercapai. Pada dasarnya resistansi negatif pada *oscillator* harus ada di dalam rangkaian. Hal ini dapat diwujudkan menggunakan *feedback oscillator* dengan menyediakan *feedback* positif eksternal untuk membuat penguatan menjadi tak terhingga. Pada *oscillator* resistansi negatif, hal ini disediakan oleh *feedback* positif internal.

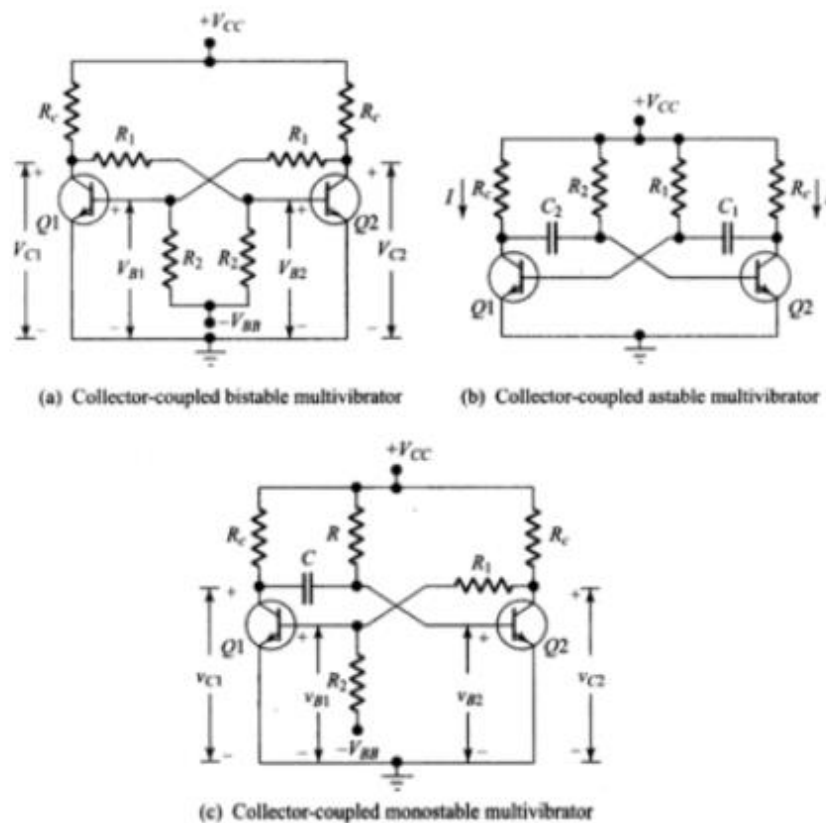
Tidak ada sinyal luar yang diolah oleh *oscillator*. Saat tegangan *supply* diberikan ke rangkaian maka akan dihasilkan noise dari tegangan. Spektrum frekuensi dari noise tersebut akan menjadi sangat lebar, dan selalu memiliki komponen tegangan pada frekuensi yang dibutuhkan oleh *oscillator*. Sehingga sinyal awal untuk memicu osilasi dihasilkan dari noise tegangan. Tegangan AC yang dihasilkan oleh *oscillator* dicatu oleh sumber DC.

2.2.6. Multivibrator

Multivibrator adalah rangkaian pensaklaran yang membutuhkan umpan balik positif dengan cara kopling-silang dari *output* rangkaian yang satu ke *input* rangkaian yang lainnya, semisal jika suatu rangkaian adalah On maka rangkaian

yang lainnya adalah Off. Pertukaran kondisi bisa dilakukan baik menggunakan pulsa eksternal ataupun menggunakan kopling kapasitif internal. Rangkaian ini berfungsi untuk menghasilkan gelombang atau untuk menyimpan informasi biner (Rao, Sudha, & Rao, 2010).

Multivibrator terdiri atas dua transistor *inverter* yang dikopling secara saling-silang sehingga *output* dari transistor yang satu akan sefasa dengan *input* transistor yang lainnya. Cara kerja dari rangkaian *multivibrator* ditentukan oleh cara kopling antar transistornya. Gambar 2.6 menunjukkan jenis-jenis multivibrator.



Gambar 2.6. Macam-macam Rangkaian *Multivibrator*. (a) *Bistable Multivibrator*, (b) *Astable Multivibrator*, (c) *Monostable Multivibrator*

(Rao, 2006)

Berikut adalah tiga cara yang mungkin dilakukan dalam proses kopling antar transistor:

1. Jika *multivibrator* membutuhkan resistif atau kopling langsung diantara setiap *input*-nya, maka akan menghasilkan rangkaian *bistable multivibrator* seperti

pada Gambar 2.6(a). Rangkaian *bistable multivibrator* memiliki dua keadaan stabil. Rangkaian ini bisa berkondisi Q1 On dan Q2 Off atau Q1 Off dan Q2 On. Perlu diingat bahwa rangkaian ini tidak membutuhkan kapasitor agar dapat bekerja. Untuk itu rangkaian perlu dicatu menggunakan pulsa dari luar agar rangkaian dapat berpindah dari suatu kondisi ke kondisi yang lainnya.

2. Jika rangkaian membutuhkan kopling kapasitif diantara kedua *input*-nya maka disebut rangkaian *astable multivibrator*. Rangkaian ini bisa juga disebut sebagai *relaxation oscillator*. Rangkaian ini akan mengeluarkan pulsa dengan perioda yang konstan. Biasanya digunakan untuk menghasilkan sinyal kotak.
3. Jika *multivibrator* membutuhkan kopling resistif di satu *input*, sedangkan di *input* lainnya membutuhkan kopling kapasitif maka disebut rangkaian *monostable multivibrator*. Rangkaian ini akan mengeluarkan pulsa selama satu perioda apabila rangkaian diberi *trigger*. Karena lamanya perioda keluaran ditentukan oleh lamanya pengisian kapasitor, maka *multivibrator* jenis ini bisa dikategorikan sebagai rangkaian relaksasi (Rao, 2006).

2.2.7. Resonansi

Resonansi adalah suatu fenomena di mana apabila suatu obyek bergetar dalam frekuensi naturalnya maka getarannya dapat mempengaruhi obyek lain dengan jarak tertentu yang memiliki indeks frekuensi natural yang sama atau hampir sama sehingga obyek lain tersebut akan ikut bergetar dengan frekuensi yang sama.

Resonansi elektrik adalah suatu kondisi rangkaian yang setidaknya memiliki satu buah induktor dan satu buah kapasitor di mana saat tegangan dan arus sumber berada dalam kondisi fasa yang sama. Saat kondisi resonansi tercapai maka impedansi total dari rangkaian bersifat resistif murni dan amplitude tegangan maksimum dapat tercapai. Karena tegangan dan arus sumber berada pada fasa yang sama maka faktor daya dari rangkaian akan bernilai 1. Saat kondisi resonansi tercapai maka impedansi dan admitansi rangkaian akan berjumlah *real*. (Sahay & Pathak, 2006).

Frekuensi pada rangkaian RLC seri yang timbul saat kondisi resonansi tercapai disebut frekuensi resonansi, dilambangkan dengan f_0 . Resonansi terjadi saat reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif, maka

$$X_L = X_C \quad (2.14)$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (2.15)$$

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C} \quad (2.16)$$

Sehingga frekuensi saat resonansi terjadi adalah

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \text{ (Hz)} \quad (2.17)$$

Atau

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (Hz)} \quad (2.18)$$

Resonansi pada rangkaian RLC parallel dapat terjadi apabila nilai arus I_L sama dengan arus I_C , maka

$$I_L = I_C \quad (2.19)$$

$$\frac{V_S}{X_L} = \frac{V_S}{X_C} \quad (2.20)$$

$$\frac{V_S}{2\pi f L} = V_S 2\pi f C \quad (2.21)$$

$$\frac{1}{2\pi f L} = 2\pi f C \quad (2.22)$$

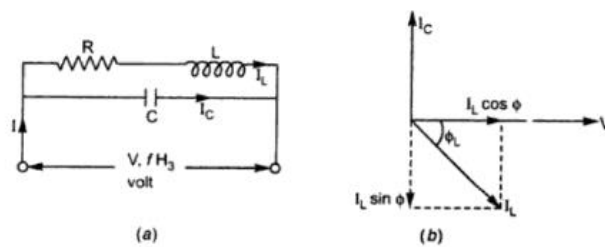
Sehingga frekuensi saat resonansi pada rangkaian RLC parallel terjadi adalah

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \text{ (Hz)} \quad (2.23)$$

Atau

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (Hz)} \quad (2.24)$$

Gambar 2.7(a) menunjukkan rangkaian parallel yang terdiri atas induktor dan tahanan dalam yang diparalel terhadap kapasitor. Diagram phasor dari rangkaian saat diberi tegangan ditunjukkan pada Gambar 2.7(b). Arus yang dihasilkan dari induktor tertinggal oleh tegangan sebesar sudut ϕ , sedangkan arus yang dihasilkan oleh kapasitor mendahului tegangan sebesar 90° . Faktor daya dari rangkaian akan sama dengan 1 apabila total arus yang dihasilkan rangkaian adalah sefasa dengan tegangan. Hal ini hanya dapat terjadi apabila arus yang dihasilkan kapasitor sama reaktifnya terhadap arus yang dihasilkan induktor.



Gambar 2.7. (a) Rangkaian RLC Parallel, (b) Diagram Phasor dari Rangkaian RLC Parallel
(Sahay & Pathak, 2006)

Sehingga saat resonansi pada rangkaian LC parallel terjadi, nilai impedansi akan mencapai nilai tertinggi, arus sumber akan mencapai nilai terendah, dan amplitude tegangan akan mencapai nilai maksimum yang dipengaruhi nilai faktor Q.

Saat resonansi terjadi maka arus dan tegangan sumber berada dalam fasa yang sama. Pada rangkaian RLC seri resonansi terjadi apabila nilai X_L sama dengan X_C , sedangkan pada rangkaian RLC parallel adalah I_L sama dengan I_C , sehingga:

$$Q_L = I^2 x_L \quad (2.25)$$

$$Q_C = I^2 x_C \quad (2.26)$$

Dengan kondisi Q_L adalah menyerap daya dan arusnya tertinggal 90° , sedangkan Q_C adalah mengirim daya dan arusnya mendahului sebesar 90° . Besarnya daya reaktif Q_{tot} dan daya semu S_{tot} adalah:

$$Q_{tot} = Q_L - Q_C \quad (2.27)$$

$$S_{tot} = \sqrt{(P_{tot})^2 + (Q_{tot})^2} \quad (2.28)$$

Apabila nilai daya reaktif Q_L sama besar dengan daya reaktif Q_C maka akan dihasilkan daya reaktif total sama dengan nol. Sehingga daya semu total yang terbentuk adalah:

$$S_{tot} = \sqrt{(P_{tot})^2} = P_{tot} \quad (2.29)$$

Dengan begitu maka akan dihasilkan faktor daya pada rangkaian adalah:

$$pf = \frac{P_{tot}}{S_{tot}} = 1 \quad (2.30)$$

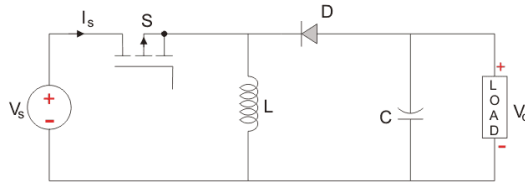
Faktor daya dari rangkaian RLC seri ataupun RLC parallel saat terjadi resonansi yang mendekati atau bernilai 1 menjelaskan bahwa nilai daya semu (S) pada rangkaian tersebut adalah sama atau mendekati nilai daya nyata (P), tidak ada daya yang terbuang menjadi daya reaktif (Q). Sehingga penggunaan daya maksimum dapat terjadi.

2.2.8. Buck-Boost Converter

Buck-boost converter adalah salah satu jenis *switching mode power supply* (SMPS) karena di dalam rangkaiannya terdapat komponen *switching* sebagai pemroses. *Buck-boost converter* berfungsi sebagai penaik-turun tegangan. Rangkaian ini merupakan gabungan dari dua buah rangkaian SMPS yaitu *buck converter* dan *boost converter* sehingga dihasilkan *inverting buck-boost converter* karena *output* menerima energi yang disimpan oleh induktor dalam bentuk negatif.

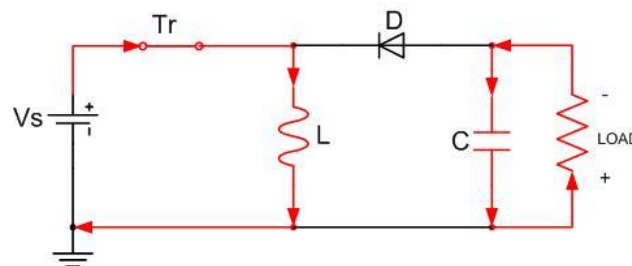
Sistem kerja *buck-boost converter* dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu mode kontinyu dan mode diskontinyu. Sistem kerja kontinyu menitikberatkan pada proses pengisian dan pengosongan energi pada induktor karena *buck-boost converter* dipakai secara terus-menerus mensuplai beban. Sedangkan sistem kerja diskontinyu menjelaskan kondisi saat energi yang tersimpan pada induktor benar-benar habis dan induktor mengalami proses pengisian dan pengosongan secara penuh. Cara kerja *buck-boost converter* dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu saat

transistor/switch dalam kondisi terhubung dan saat transistor dalam kondisi terputus. Gambar 2.8 menunjukkan gambar rangkaian *buck-boost converter*.



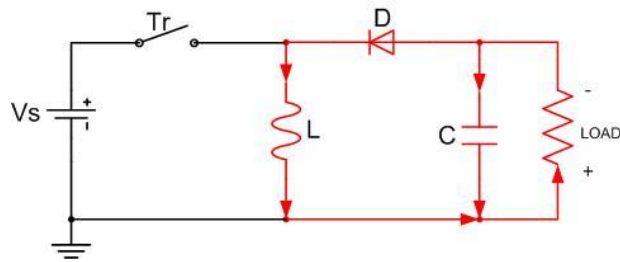
Gambar 2.8. Rangkaian *Buck-boost Converter*

Sistem kerja *Buck-boost converter* dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10. Gambar 2.9 menunjukkan transistor saat berkondisi ON, maka tegangan induktor sama dengan tegangan *supply* sehingga induktor mulai menyimpan energi. Sementara itu tidak ada arus yang mengalir menuju *output* karena dioda berkondisi *reverse bias*. Di sisi lain *output* akan menerima energi dari proses pengosongan oleh kapasitor.



Gambar 2.9. Rangkaian *Buck-boost Converter* saat Kondisi Transistor On

Adapun Gambar 2.10 menunjukkan transistor berubah kondisi dari ON menjadi OFF maka dioda akan berkondisi *forward bias* dan energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir menuju *output* dengan kondisi polaritas induktor yang membalik (negatif). Dalam kondisi ini maka induktor menjadi sumber energi bagi rangkaian sehingga tegangan pada sisi *output* akan sama dengan tegangan induktor.



Gambar 2.10. Rangkaian *Buck-boost Converter* saat Kondisi Transistor Off

Tegangan *inverting* pada sisi *output* dapat lebih besar, lebih kecil, atau sama dengan tegangan *input* karena tergantung pada energi yang disimpan oleh induktor. Besarnya energi yang disimpan di induktor dipengaruhi oleh nilai *duty cycle*. (Rashid, 1993). Persamaan *Buck-boost converter* dalam kondisi stabil dapat dirumuskan sebagai:

$$V_{OUT} = V_{IN} \frac{D}{1-D} \quad (2.31)$$

Sedangkan penentuan nilai kapasitor dan induktor dirumuskan sebagai:

$$C = \frac{I_O \times D}{2f \times V_{IN}} \quad (2.32)$$

$$L = \frac{V_{IN} \times D}{I_O \times 2f} \quad (2.33)$$