
SUMBER DAYA WIRELESS UNTUK MENGHASILKAN ENERGI LISTRIK TERBARUKAN

Rahmad Hidayat

Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala
Jalan Soekarno Hatta 597, Bandung 40286
E-mail: rhidayat4000@gmail.com

Abstrak -- Industri daya dan energi tidak terlepas dari peran penting gelombang elektromagnetik. Tulisan ini memberikan kajian metode pembangkitan daya listrik melalui sistem transmisi wireless. Perhatian utamanya ada pada empat metode karena kepraktisannya yaitu induksi elektromagnetik, kopling resonansi, laser dan penerimaan sinyal frekuensi radio. Metode yang ada dibandingkan satu sama lain dalam beberapa aspek teknis. Tujuan penelitian ini adalah untuk memilah beberapa desain sesuai metoda pembangkitan daya listriknya masing-masing, dan hasil penelitian ini berupa usulan metode yang paling menjanjikan untuk memanen energi listrik secara wireless dengan tingkat efisiensi yang baik yaitu dengan menggunakan rectenna sebagai bagian utama suatu sistem Wireless Power Transmission (WPT).

Kata Kunci: daya, energi, gelombang elektromagnetik, frekuensi radio, WPT

Abstract -- Power and energy industrial cannot be separated from the important role of electromagnetic waves. This paper provides a review of methods of power generation through wireless transmission systems. Their main concerns on practicality are four methods i.e. electromagnetic induction, resonance coupling, laser and radio frequency signal reception. Existing methods compared to each other in some technical aspects. The purpose of this study is to sort out some of the design according to the each method of generating electrical power and the results of this study is a proposal of the most promising method for harvesting electrical energy wirelessly with a good level of efficiency. Here, it used rectenna as the main part in a wireless power transmission system (WPT).

Keywords: power, energy, electromagnetic wave, radio frequency, WPT

PENDAHULUAN

Permasalahan energi nasional jangka pendek yang menjadi perhatian utama saat ini adalah bagaimana menyiapkan sumber energi selain bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dan industri nasional. Kemudian bagaimana menemukan sumberdaya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik, merupakan isu penting dalam masalah energi ini. Terkait hal di atas, maka menjadi sesuatu yang menarik bagi penulis untuk mengkaji sistem transmisi wireless yang tersedia melimpah sebagai salah satu potensi sumber daya energi dimaksud dalam perannya membangkitkan sumber energi listrik terbarukan (Budiyanto, 2014). Diharapkan dengan kajian ini akan lebih mendorong penelitian mendalam dalam sistem transmisi daya wireless guna menyumbangkan pemikiran, analisis, purwarupa ataupun teori baru yang dapat menjadi solusi dalam pembangkitan energi listrik terbarukan.

Terdapat beberapa cara dalam proses transmisi energi listrik secara wireless, yaitu

dengan induksi elektromagnetik, penerimaan sinyal frekuensi radio, resonansi dan sistem laser (Shinohara, 2010). Hipotesisnya adalah bahwa jenis metode transmisi dan parameter teknis yang dipilih berpengaruh langsung dan signifikan terhadap efisiensi sistem WPT yang dihasilkan.

METODE

Pada bagian ini dilakukan pemaparan dan uraian teknis sistem Wireless Power Transfer/WPT melalui kopling induksi elektromagnetik, kopling resonansi, sistem laser dan penerimaan sinyal frekuensi radio (Radio Frequency/RF). Setelah itu dari keempat metoda tersebut dilakukan komparasi dan analisis berbagai aspek teknis terkait. Data sebagian diperoleh dari sumber pustaka penelitian terkait dengan variabel utama berupa efisiensi daya yang sampai pada beban (*load*) serta beberapa variabel elektrik lain terkait sinyal RF seperti penguatan (*gain*) dan bandwidth antena, jarak jangkauan dan frekuensi kerja yang akan dapat dilihat pada tabel-tabel yang ada kemudian sebagai instrumen komparasi.

Induksi Elektromagnetik

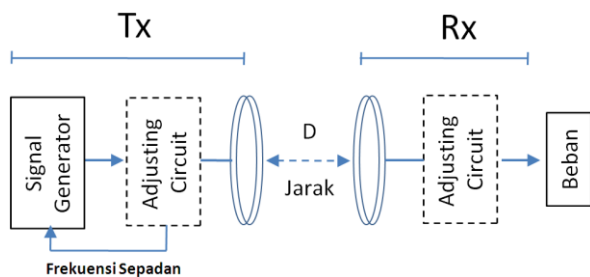
Pada transmisi listrik dengan induksi elektromagnetik, adanya arus listrik ke salah satu kumparan yang berdekatan menginduksi kekuatan listrik dalam kumparan lain dengan fluks magnetik sebagai medium. Sementara dalam transmisi daya wireless melalui penerimaan frekuensi radio, energi gelombang radio yang dikirim dan diterima menggunakan antena dan bentuk gelombang bolak-balik dari frekuensi radio diubah menjadi bentuk gelombang arus searah/DC (Direct Current) dengan menggunakan rangkaian penyearah (*rectifier*), dalam hal ini di sini tanpa menggunakan amplifier.

Kopling Resonansi

Masalah pada teknik transmisi daya wireless ini adalah bahwa hasil dari teknik ini yang sangat terbatas, medan magnet kecil yang mampu hanya pada jarak pendek. Untuk membuatnya lebih efisien pada jarak jauh, maka harus diambil pertimbangan cara kopling resonansi. Resonansi tercapai antara dua kumparan ketika medan elektromagnetik di sekitar keduanya beresilasi pada frekuensi yang sama. Hal ini dilakukan dengan menggunakan koil melengkung sebagai induktor, yang digabungkan dengan pelat kapasitansi.

Selama dua kumparan beresonansi, transfer daya antara keduanya akan terus berlanjut. Ketika dua kumparan beresonansi pada frekuensi yang berbeda, tidak ada daya yang ditransfer antara keduanya.

Menurut Mohan (2013) prinsipnya adalah bahwa "Dua objek resonan dengan frekuensi resonansi yang sama cenderung untuk bertukar energi secara efisien, sedangkan untuk benda resonan asing lainnya interaksi berlangsung lemah".



Gambar 1. Kopling Resonansi

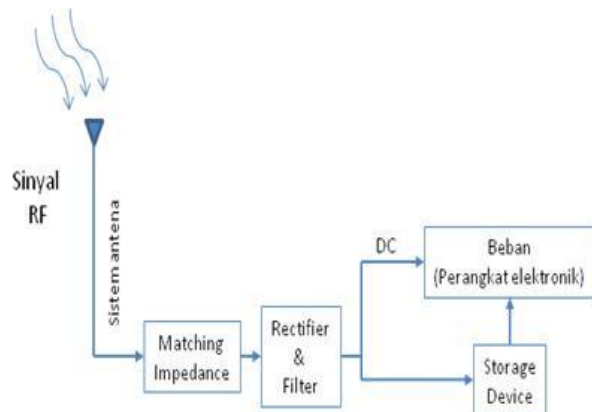
Beam Laser

Konsep *beam* (arah) daya laser adalah transfer energi wireless berupa panas atau listrik dari satu lokasi ke lokasi lain dengan menggunakan sinar laser. Daya laser dapat

ditransfer melalui udara atau ruang atau melalui serat optik sebagai sinyal komunikasi optik. Pada beam laser ini dilakukan transfer daya laser sehingga energi diterima pada bagian penerima dan mengubahnya menjadi energi listrik. *Beam* laser rentan bagi kesehatan dan juga perlu kondisi *line of sight* atau berhadapan langsung antara pemancar dan penerima, juga adanya redaman yang menyebabkan kehilangan energi akibat penyerapan di media. Kesemua itu menjadi kelemahan sistem ini. Seperti juga tenaga surya, di mana matahari menyinari sel photovoltaic yang mengubah sinar matahari tersebut menjadi energi, pada beam laser ini sel fotovoltaiik mengubah sinar laser menjadi energi.

Penerimaan Frekuensi Radio

Sistem Transmisi Daya Wireless (Wireless Power Transmission/WPT) melalui penerimaan sinyal frekuensi radio merupakan sistem yang memanfaatkan sumber daya wireless berupa frekuensi radio yang ada di sekitar lingkungan yang bersumber dari berbagai pemancar gelombang radio yang ditangkap oleh antena penerima WPT.



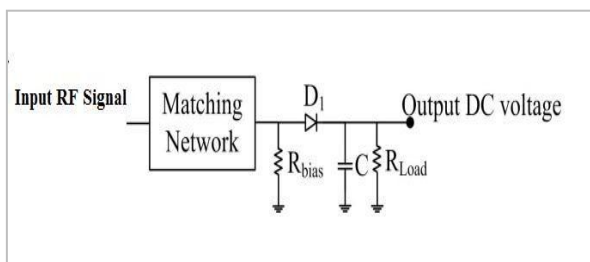
Gambar 2. Blok Sistem WPT

Pada sistem transmisi ini digunakan blok rectenna (rectifier antenna) yang terdiri dari sub bagian antena untuk menangkap sinyal frekuensi radio (RF) yang diinginkan dan sub bagian catu daya (*power supply*) guna proses penyearahan sekaligus penyaringan dan regulasi untuk menghasilkan output DC yang diinginkan. Matching impedance merupakan bagian internal sistem antena yang berfungsi untuk proses penyepadanan impedansi antara saluran transmisi dan penyearah (*rectifier*). Keluaran DC dapat langsung diberikan kepada beban atau juga disimpan ke suatu baterai tertentu sebagai perangkat *storage*. Antena yang dapat digunakan untuk aplikasi WPT dapat dari berbagai jenis.

Rectenna

Rectenna adalah konsep kombinasi rangkaian penyearah dan antenna. Nama rectenna pertama diperkenalkan oleh W.C. Brown dari Raytheon Company pada awal 1960-an. Padanya, sebuah low-pass filter akan meloloskan frekuensi rendah yang diinginkan, kemudian setelah proses *matching* impedansi, bagian rectifier berupa dioda penyearah mengubah energi wireless yang diterima menjadi sinyal DC. Akhirnya sebuah filter memblokir harmonisa urutan tinggi yang dihasilkan oleh dioda untuk memperoleh efisiensi tinggi dari proses konversi energi tersebut. Efisiensi di sini merupakan parameter yang paling penting dari alat tersebut.

Sebuah rectenna sederhana dapat dibangun dari dioda Schottky ditempatkan di antara antenna seperti Gambar 3. Dioda barrier Schottky (GaAs-W, Si dan GaAs) digunakan pada rangkaian penyearah karena memiliki waktu recovery mundur lebih cepat dan drop tegangan maju jauh lebih rendah dan memiliki karakteristik RF yang baik. Dioda Schottky dengan tegangan ambang 230mV dan kapasitansi dioda dari 0.26pF dapat digunakan untuk rectifier. Sedang C berfungsi sebagai kapasitor pengisian. Pada frekuensi microwave, kapasitansi non linier dioda mengatur transfer daya maksimum untuk beban dan amplitudo keluaran rectifier sebagai impedansi masukan perubahan rectifier terhadap frekuensi.



Gambar 3. Dioda Schottky pada Rectenna (Sharma dan Singhal, 2015)

Antena yang digunakan dalam rectenna dapat dipraktekkan untuk loop, dipole $\frac{1}{2}\lambda$, horn, Yagi-Uda atau mikrostrip. Untuk frekuensi ISM, antenna slot juga dapat menjadi satu alternatif (Farizqi dan Alaydrus, 2014). Termasuk jenis mikrostrip, salah satu pertimbangan desainnya ada pada aspek pola radiasi (Hidayat, 2015). Antena patch dipole memiliki efisiensi tertinggi di antara semua. Namun penggunaannya dapat juga berupa antenna parabola dan untuk tujuan bergerak (*mobile*) digunakan susunan antenna bertingkat. Sebagian besar MPT (Microwave

Power Transfer) menggunakan band 2,45 GHz atau 5,8 GHz yang dialokasikan oleh regulasi radio ITU-R. Pada sistem ini dibutuhkan antenna diameter besar untuk menerima daya. Hal ini memiliki efisiensi lebih dari 90% sehingga efisien dalam pendekatan meski dengan konstruksi antenna yang sulit didekati (Chaitanya dan Kumar, 2013).

Tabel 1. Kinerja Rectenna

Jenis Rectenna	Frekuensi kerja (GHz)	Efisiensi konversi puncak terukur (%)
Dipol cetak	2,45	85
Patch sirkular	2,45	81
Dual rhombik cetak	5,60	78
Patch segiempat	8,51	66

Bandwidth Rectenna

Terdapat dua kategori utama band kerja rectenna yaitu narrowband (band sempit) dan rectenna wideband (band luas). Telah banyak rectenna narrowband yang dikembangkan seperti rectenna patch dual-polarisasi pada 2,4 GHz dan rectenna 5,8 GHz dengan efisiensi konversi yang tinggi telah dirancang oleh McSpadden masing-masing pada tahun 1994 dan 1998. Namun, masih sangat sedikit rectenna wideband telah dikembangkan untuk menghasilkan energi dari wireless. Jenis wideband ini dapat mengumpulkan energi dari sistem operasi pada frekuensi yang berbeda untuk memaksimalkan daya output pada lokasi tertentu.

Efisiensi Rectenna

Efisiensi sistem rectenna pada dasarnya sama dengan fungsi transfer yang ada. Definisi umum dari efisiensi (η) digunakan disini sebagai rasio daya output P_{out} terhadap daya input P_{in}

$$\eta = P_{out} / P_{in} \quad (1)$$

Efisiensi (η) konversi seluruh sistem adalah daya DC di ujung penerima terhadap daya input AC yang ditangkap antenna. Efisiensi ini sangat bergantung pada rapat daya P_d yang terdistribusi di bagian permukaan penerima. Rapat daya maksimum yang terjadi dapat dituliskan sebagai:

$$P_d = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \quad (2)$$

dimana P_t adalah daya kirim, G_t and G_r merupakan penguatan (gain) antenna transmitter dan receiver antenna, dan R adalah jarak. Area permukaan efektif antenna adalah A_{eff} adalah :

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (3)$$

Sehingga daya yang diterima antena menjadi:

$$P_{in} = P_d \cdot A_{eff} \quad (4)$$

Karena keluaran rectenna merupakan daya DC maka daya keluaran dapat diperoleh dari tegangan keluaran yang dihasilkan pada beban:

$$P_{out} = V_{out}^2, dc / R_{load} \quad (5)$$

Sehingga efisiensi rectenna diperoleh sebagai:

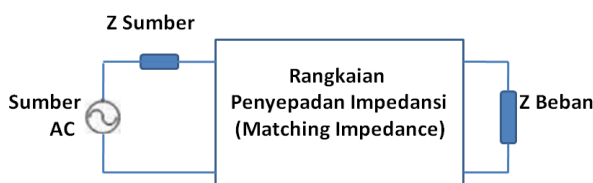
$$\eta = \left[\frac{V_{out}^2, dc}{R_{load}} \right] \frac{1}{P_d A_{eff}} \quad (6)$$

Efisiensi rectenna untuk berbagai dioda pada frekuensi yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 2. (Mohan, 2013)

Frekuensi (GHz)	Dioda schottky	Efisiensi (%)	
		Terukur	Terhitung
2,45	GaAs-W	92,5	90,5
5,80	Si	82,0	78,3
8,51	GaAs	62,5	66,2

Penyepadanan Impedansi

Penyepadanan (matching) impedansi adalah teknik yang digunakan dalam sistem transfer daya dan sistem komunikasi untuk meningkatkan efisiensi sistem. Biasanya mencakup jaringan penyepadanan berupa rangkaian LC untuk meminimalkan rasio reflect si daya ke sumber daya system (Gupta et al., 2012).



Gambar 4. Konsep penyepadanan impedansi

Daya yang ditransfer ke beban mencapai maksimum ketika:

$Z_{sumber} = Z^*_{beban}$, seperti pada Persamaan (8). Oleh karena itu, rangkaian dianggap sepadan (matching) dan efisiensi maksimum dicapai ketika impedansi beban (Z_{Load}) dari arah pandang sumber sepadan dengan impedansi sumber (Z_{Source}) dan sebaliknya.

$$P = I^2 Z = \frac{V^2}{Z_{source} \left[\frac{1}{\frac{Z_{source} + 2 + Z_{load}}{Z_{load}}} + \frac{Z_{load}}{Z_{source}} \right]} \quad (7)$$

$$P_{max} = \frac{V^2}{4Z_{source}} \quad (8)$$

Pada Gambar 4 terlihat bahwa daya ditransfer ke beban seperti Persamaan (7) dengan impedansi sumber daya dinamakan sebagai Z_{Source} dan impedansi beban sebagai Z_{Load} .

Rangkaian Impedansi yang sepadan dapat dianggap sebagai jaringan dua port yang dapat digambarkan dengan Persamaan (9). Kondisi sepadan tercapai ketika parameter memenuhi Persamaan (10) dan (11).

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ I_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_2 \\ I_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$Z_{source} = \sqrt{\frac{AB}{CD}} \quad (10)$$

$$Z_{load} = \sqrt{\frac{DB}{CA}} \quad (11)$$

Pada aplikasi ini penyepadanan impedansi (*matching impedance*) dapat menerapkan penyepadanan $\frac{1}{2}\lambda$ untuk mendapatkan harga impedansi masukan penyearah sebesar 50 Ω . Dan untuk penyearah (*rectifier*) umumnya digunakan dioda Schotky.

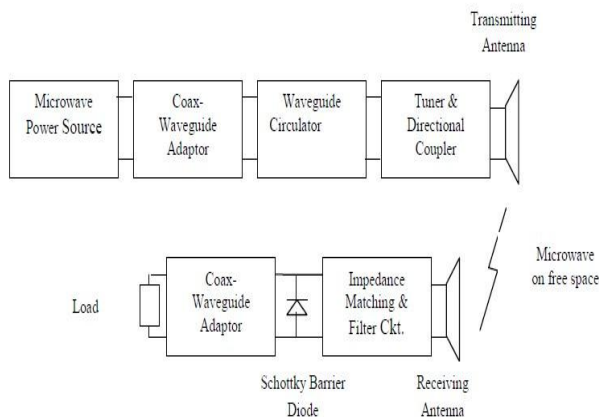
Transfer Daya Gelombang Mikro

Prinsip transfer daya gelombang mikro (Microwave Power Transfer/MPT) pertama diperkenalkan oleh William C. Brown, pelopor dalam teknologi transmisi daya wireless yang telah merancang, mengembangkan unit dan menunjukkan bagaimana daya dapat ditransfer melalui ruang bebas oleh microwave. Konsep sistem transmisi daya wireless dijelaskan dengan diagram blok fungsional yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada sisi pengirim, sumber daya gelombang mikro menghasilkan daya microwave dan daya keluaran dikontrol oleh rangkaian kontrol elektronik.

Sirkulator waveguide ferit yang melindungi sumber gelombang mikro dari daya pantul tercermin terhubung dengan sumber daya microwave melalui adaptor coax-waveguide. Tuner menyepadankan impedansi antena pemancar dan sumber microwave. Sinyal yang diredam kemudian dipisahkan berdasarkan arah dari propagasi sinyal dengan suatu *directional coupler*. Antena pengirim memancarkan daya seragam melalui ruang bebas menuju rectenna tersebut.

Di sisi penerima, rectenna menerima daya yang ditransmisikan dan mengubah daya microwave menjadi sinyal DC. Rangkaian

penyepadan impedansi dan filter disediakan untuk mengatur agar impedansi keluaran dari sumber sinyal sama dengan rangkaian penyearah. Rangkaian penyearah berupa dioda barrier Schottky mengubah energi listrik microwave yang diterima menjadi sinyal DC (Mohammed et al., 2010).



Gambar 5. Konfigurasi MPT

Banyak sistem transmisi microwave yang menggunakan band ISM (Industrial, Scientific and Medicine) yaitu pada 2,45 GHz atau 5,8 GHz. Pilihan lain pada frekuensi 8,5 GHz, 10 GHz dan 35 GHz. Efisiensi tertinggi lebih dari 90% dicapai pada 2,45 GHz antara semua frekuensi tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan penggambaran beberapa desain rectenna seperti penyepadanan impedansi dan efisiensi konversi rectenna. Juga telah ditunjukkan bahwa rectenna dapat memanen energi wireless dengan efisien dalam kondisi tertentu dan memiliki potensi besar untuk menjadi pemasok listrik untuk beberapa aplikasi khusus. Berdasarkan studi yang ada di atas, komparasi tiga jenis metode transmisi WPT terlihat sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Komparasi karakteristik WPT

	Gelombang radio	Kopling resonansi	Kopling induktif
Kuat medan	medan listrik	resonansi	medan magnetik
Metode Efisiensi Jarak	antena rendah-tinggi pendek-panjang	resonator tinggi sedang	koil tinggi pendek
Daya Keselamatan kerja Regulasi	rendah-tinggi medan listrik gelombang radio	tinggi - dalam diskusi	tinggi medan magnetik dalam diskusi

Untuk perolehan efisiensi rendah pada sistem transmisi daya wireless berjarak jauh, dapat diupayakan perbaikan efisiensi untuk menuju 100% melalui gelombang radio. Kemudian berdasarkan data teknis masing-masing sistem WPT yang diuraikan dalam tulisan ini, ada beberapa hal yang perlu digarisbawahi bahwa setidaknya terdapat beberapa keuntungan pemakaian rectenna yaitu adanya *lifetime* yang hampir tak terbatas dan tidak perlu diganti serta merupakan teknologi ramah lingkungan. Keuntungan lainnya adalah adanya kemampuan transfer daya listrik yang dihasilkan ke semua arah yang diinginkan. Faktor ini dite

ntukan oleh pengarahannya (direktivitas) antenna yang didesain. Kemudian juga aspek lain dari desain antenna pada rectenna yang meliputi penguatan, pola radiasi, rentang frekuensi dan bandwidth antenna serta rasio daya refleksi yang dihasilkan. Filter, *rectifier* dan *matching impedance* yang dipakai juga tidak terlepas dari perhatian perancangan.

KESIMPULAN

Pembahasan rinci pada efisiensi rectenna menunjukkan bahwa untuk mencapai efisiensi konversi energi yang tinggi, banyak parameter yang harus diperhitungkan yang meliputi jenis antenna dan saluran transmisi yang dipilih, kesepadanan impedansi antenna dan penyearah, karakteristik dioda Schottky serta filter lolos rendah yang dipilih.

Jenis dan desain antenna pada rectenna juga merupakan satu faktor penting penentu performa efisiensi WPT yang terbentuk. Untuk keperluan sampai dengan jarak jauh maka WPT melalui gelombang radio adalah pilihan jenis mode transmisi yang paling baik dan lebih hemat untuk berbagai aplikasi dengan efisiensi tinggi.

Untuk pengembangan ke depan dapat dilakukan kajian lebih dalam pemanfaatan frekuensi radio tidak berbayar (ISM) untuk mendapatkan perolehan efisiensi setinggi mungkin dengan antenna berpenguatan (*gain*) tinggi pada sistem microwave sehingga jarak jangkauan semakin dapat ditingkatkan dalam pembangkitan sumber daya listrik terbarukan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiyanto, S. Penggunaan LTE sebagai Media Interoperabilitas Antar Generasi Komunikasi Nirkabel yang Berbeda. *SINERGI*. 2014; 18 (3): 180-185.
- Chaitanya, T.K. dan Kumar, R.R. Power Transmission through Wireless Medium. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 2013; 4 (5): 1334-

- 1336.
- Farizqi, R., Alaydrus, Mudrik. Rancang Bangun Antena Slot Waveguide. *Jurnal Teknik Elektro* 2014; 5 (1): 1-8.
- Gupta, D., Islam, M.S., Nuronabi, K.M., Hossain, M.S. dan Hasan, M.Z. Design & Implementation of Cost Effective Wireless Power Transmission Model: Good Bye Wires. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2012; 2 (12): 1-9.
- Hidayat, R. Model, Simulasi dan Analisis Pola Radiasi Susunan Uniform Antena Mikrostrip, *Jurnal Isu Teknologi*, STTM, Bandung. 2015; 9 (1): 3-11.
- Mohammed, S.S. Ramasamy, K. dan Shanmuganatham, T. Wireless Power Transmission-A Next Generation Power Transmission System. *International Journal of Computer Applications (0975-8887)*. 2010; 1 (13): 100-103.
- Mohan, C., Raj, M.K. Wireless Power Transmission & Charging of Batteries in Multiple Electronic Accessories. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*. 2013; 2 (1): 8-17.
- Sharma, R. dan Singhal, P.K. Loop Antenna and Rectifier Design for RF Energy Harvesting at 900MHz. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2015; 2 (4): 1214-1218.
- Shinohara, N. Beam Efficiency of Wireless Power Transmission via Radio Waves from Short Range to Long Range. *Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*. 2010; 10 (4): 224-230.