

Efforts To Increase The Efficiency Of Wireless Power Transfer (Literature Study)

Jawahir^{*1)}

¹⁾Program Studi Sistem Komputer Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Raharja

E-mail: ^{*1} jawahir@info

Abstrak

Salah satu isu penting dalam sistem tenaga listrik adalah masalah penyaluran/distribusi energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya yang relatif mahal. Selain dibutuhkan banyak kabel/konduktor dan sistem proteksi yang baik juga instalasinya yang tidak mudah. Oleh karenanya biaya pemasangan saluran distribusi akan menjadi mahal. Selain itu bentangan kabel/konduktor tsb bisa mengganggu keindahan dalam ruangan. Untuk alasan tersebut, para ahli telah melakukan penelitian cukup lama untuk merancang suatu sistem penyaluran/distribusi energi listrik yang dapat digunakan untuk menyalurkan energi listrik tanpa menggunakan kabel atau nirkabel. Dengan sistem nirkabel tsb, selain bisa menghemat biaya material kabel dan biaya perawatan, juga bisa mengurangi beban berat. Selain itu bentangan kabel/konduktor tidak mengganggu keindahan dalam ruangan. .

Wireless Power Transfer System (WPT) adalah suatu sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lain tanpa melalui kabel. Dengan kata lain sistem penyaluran energi listrik dari satu peralatan ke peralatan lainnya tanpa melewati media fisik yang berupa saluran kabel listrik/konduktor. Dengan perkembangan teknologi WPT, sistem penyaluran energi listrik yang terjadi bisa menjadi lebih efisien dan lebih mudah dalam instalasinya.

Banyak penelitian yang telah dilakukan oleh para ahli untuk meningkatkan efisiensi daya yang disalurkan. Upaya upaya yang telah dilakukan adalah misalnya dengan menambahkan penyekat (shielding), menambahkan bahan metamaterial, membuat desain koil dalam bentuk lingkaran dan hexagonal, menggunakan Antena dari bahan Aluminium atau Tembaga dan lain lain.

Dengan hasil penelitian ini diharapkan suatu saat teknologi penyaluran energi listrik nirkabel ini bisa diimplementasikan dengan efisiensi yang tinggi.

Kata Kunci–WPT, Efisiensi, Shielding, Metamaterial, Koil

Abstract

One of the important issues in the electric power system is the problem of distributing electrical energy from one place to another which is relatively expensive. In addition to requiring many cables/conductors and a good protection system, the installation is also not easy. Therefore, the cost of installing the distribution channel will be expensive. In addition, the stretch of cables/conductors can interfere with the beauty of the room. For this reason, experts have conducted research for quite a long time to design an electrical energy distribution system that can be used to distribute electrical energy without using cables or wirelessly. With this

wireless system, in addition to saving cable material costs and maintenance costs, it can also reduce heavy loads. In addition, the stretch of cables/conductors does not interfere with the beauty of the room.

Wireless Power Transfer System (WPT) is a system for distributing electrical energy from one place to another without using cables. In other words, the system for distributing electrical energy from one device to another without passing through physical media in the form of electrical cable/conductor channels. With the development of WPT technology, the electrical energy distribution system that occurs can be more efficient and easier to install.

Many studies have been conducted by experts to improve the efficiency of the power distributed. Efforts that have been made are for example by adding a barrier (shielding), adding metamaterials, making coil designs in circular and hexagonal shapes, using antennas made of aluminum or copper, and so on.

With the results of this study, it is hoped that one day this wireless electrical energy distribution technology can be implemented with high efficiency.

Keywords—WPT, Efficiency, Shielding, Metamaterial, Coil

I. PENDAHULUAN

Salah satu isu penting dalam sistem tenaga listrik adalah masalah penyaluran/distribusi energi listrik dari satu tempat ke tempat lainnya yang relatif mahal. Selain dibutuhkan banyak kabel/konduktor dan sistem proteksi yang baik juga instalasinya yang tidak mudah. Oleh karenanya biaya pemasangan saluran distribusi akan menjadi mahal. Selain itu bentangan kabel/konduktor tsb bisa mengganggu keindahan dalam ruangan. Untuk alasan tersebut, para ahli telah melakukan penelitian cukup lama untuk merancang suatu sistem penyaluran/distribusi energi listrik yang dapat digunakan untuk menyalurkan energi listrik tanpa menggunakan kabel atau nirkabel. Dengan sistem nirkabel tsb, selain bisa menghemat biaya material kabel dan biaya perawatan, juga bisa mengurangi beban berat. Selain itu bentangan kabel/konduktor tidak mengganggu keindahan dalam ruangan.

Nikola Tesla adalah orang yang pertama kali mengembangkan teknik penyaluran energi listrik tanpa melalui kabel. Teknologi ini dikenal dengan nama Wireless Power Transfer System (WPT System). Pada abad ke 19, tepatnya pada tahun 1893, Nikola Tesla berhasil mendemonstrasikan penelitiannya yang dilakukan di Chicago. Tesla menggunakan metode Resonansi Induktif untuk menyalakan lampu tanpa kabel. Pada tahun 2007, peneliti lain yakni Dr Xun Liu dan Profesor Ron Hui berhasil mengembangkan teknik pengisian baterai tanpa menggunakan kabel. Dalam tahun yang sama, suatu penelitian yang dipimpin oleh Prof Soljagic dari Massachusetts Institute of Technology (MIT) berhasil menghidupkan lampu 60 watt tanpa menggunakan kabel dengan jarak yang terpisah sejauh 2 meter. Mereka menggunakan teknologi kopling resonance dengan diameter 60 cm. Dalam penelitian ini efisiensi yang dihasilkan bisa mencapai 40%. [1]

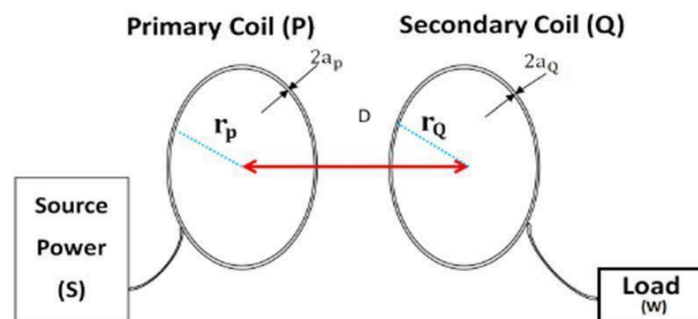
Wireless charger adalah contoh sederhana yang sering kita jumpai dalam sehari-hari. Dengan wireless charger, sistem dapat menyalurkan listrik tanpa terhubung dengan kabel sehingga sistem charging menjadi lebih praktis.

Wireless Power Transfer System (WPT) System

Wireless Power Transfer System adalah sistem penyaluran energi listrik dari satu tempat ke tempat lain tanpa melalui kabel (nirkabel). Dengan kata lain sistem penyaluran energi listrik dari satu peralatan ke peralatan lainnya tanpa melewati media fisik berupa saluran kabel listrik. Prinsip kerjanya seperti terlihat dalam gambar 1 [2]. Sebuah sumber tegangan (S), koil

primer yang berfungsi sebagai antenna pemancar (transmitter) dan koil sekunder yang berfungsi sebagai antenna penerima (Receiver) dan adanya beban (W). Kemudian koil primer (P) dan koil sekunder (Q) berfungsi sebagai rangkaian resonansi. Sedangkan D adalah jarak antara koil primer dan koil sekunder, r adalah jari-jari koil dan a adalah jari-jari kawat koil. WPT bekerja dengan mengikuti hukum Ampere dan hukum Induksi Faraday. Hukum Ampere menjelaskan bahwa adanya perubahan intensitas medan magnet disekitar loop tertutup yang besarnya sama dengan arus listrik yang melewati permukaannya yang dibatasi oleh loop tsb. Sedangkan hukum Induksi Faraday menyatakan bahwa perubahan medan magnet persatuan waktu menghasilkan tegangan induksi,

Tantangan yang masih dihadapi dalam teknologi Wireless Power Transfer System adalah efisiensinya yang relatif masih rendah sehingga banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kinerja suatu WPT sistem.



Gambar 1. WPT System [2]

Macam macam teknologi WPT [3]

Dalam Wireless Power Transfer system, terdapat 3 macam teknologi penyaluran energi listrik tanpa kabel, yakni :

1. WPT dengan kopling Induksi
2. WPT dengan kopling resonansi
3. WPT melalui gelombang radio

WPT dengan Kopling Induksi

Pada transmisi listrik dengan kopling induksi, adanya arus listrik ke salah satu kumparan yang berdekatan akan menginduksi kekuatan listrik dalam kumparan lain dengan fluks magnetik sebagai medium. WPT dengan kopling induksi bekerja dengan mengikuti hukum Ampere dan hukum Induksi Faraday. Hukum Ampere menjelaskan bahwa adanya perubahan intensitas medan magnet disekitar loop tertutup yang besarnya sama dengan arus listrik yang melewati permukaannya yang dibatasi oleh loop tsb. Sedangkan hukum Induksi Faraday menyatakan bahwa perubahan medan magnet persatuan waktu menghasilkan tegangan induksi. Prinsip kerja Kopling Induksi bisa dilihat pada gambar 2a. Metode Kopling Induksi telah diterapkan dalam beberapa aplikasi, misalnya Wireless Charging, mobil listrik, perlengkapan rumah tangga.

WPT dengan Kopling Resonansi

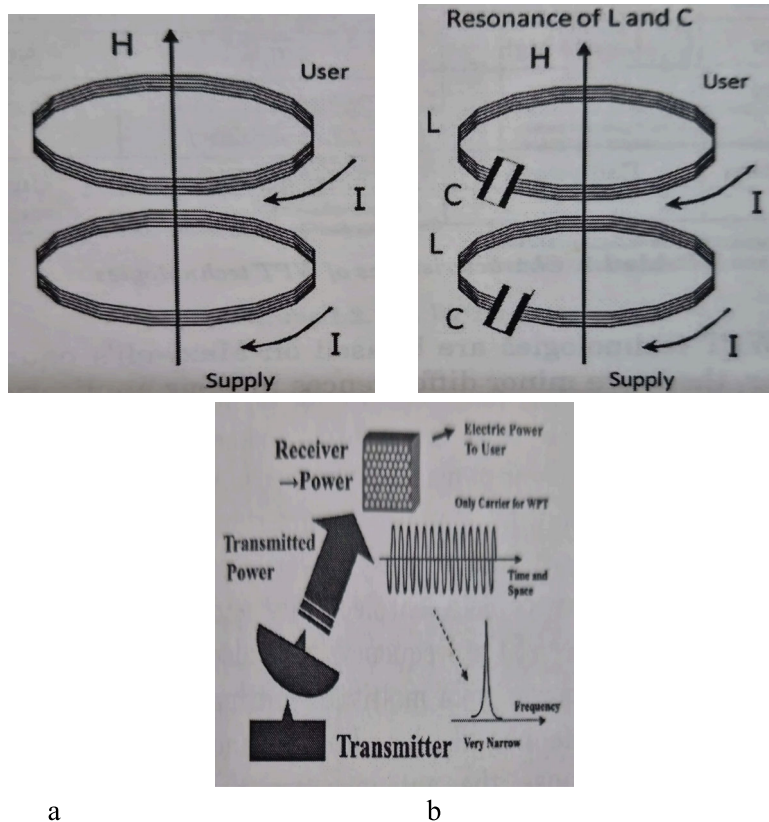
Permasalahan pada WPT dengan kopling induksi adalah outputnya terbatas, medan magnet tidak terlalu besar sehingga efektif untuk jarak pendek saja. Untuk membuat WPT system yang lebih efektif dan efisien pada jarak jauh, maka WPT sytem disempurkan dengan

cara kopling resonansi. Resonansi tercapai antara dua kumparan ketika medan elektromagnetik di sekitar keduanya beresonansi pada frekuensi yang sama. Hal ini dilakukan dengan menggunakan koil melengkung sebagai induktor, yang digabungkan dengan kapasitor. Prinsip kerja Kopling Induksi bisa dilihat pada gambar 2b

Selama dua kumparan beresonansi, penyaluran energi listrik antara keduanya akan terus berlanjut. Ketika dua kumparan beroperasi pada frekuensi yang berbeda, tidak ada daya yang ditransfer antara keduanya. Menurut Mohan (2013) prinsipnya adalah bahwa "Dua objek resonansi dengan frekuensi resonansi yang sama cenderung untuk bertukar energi secara efisien, sedangkan untuk benda resonansi lainnya interaksi berlangsung lemah". Meskipun efisiensi dengan Kopling Resonansi yang dihasilkan relatif tinggi, namun jarak antara sumber dengan penerima masih terbatas (kurang dari satu senti meter) [4],[5]

WPT melalui Gelombang Radio

Sistem penyaluran energi listrik nirkabel (Wireless Power Transmission) melalui gelombang radio merupakan sistem yang memanfaatkan sumber berupa frekuensi radio yang dipancarkan oleh antenna transmitter kemudian ditangkap oleh antenna receiver. WPT melalui gelombang radio tidak memerlukan sambungan antara pemancar dan penerima, tetapi menggunakan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna transmitter dan antenna receiver. WPT melalui gelombang radio tersebut memerlukan frekuensi yang lebih tinggi, seperti gelombang mikro, agar dapat berfungsi secara efektif. Prinsip kerja WPT melalui Gelombang Radio bisa dilihat pada gambar 2c.



Gambar 2.

a. WPT dengan kopling induksi b. WPT dengan kopling resonansi c. WPT dengan Gelombang Radio [3]

Jika dibuat perbandingan, karakteristik dari ke 3 teknologi Wireless Power Transfer (WPT) tsb dapat dilihat seperti dalam Tabel 1.

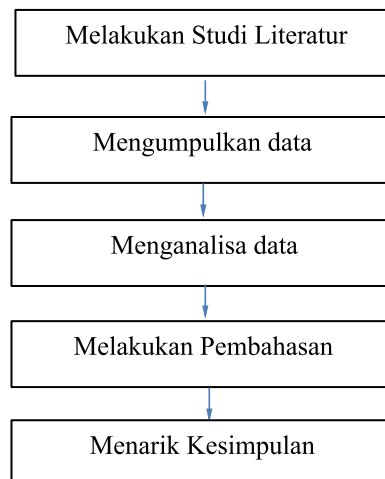
Tabel 1. Perbandingan karakteristik WPT dengan 3 metode [3]

Teknologi	Medan	Metode	Efisiensi	Jarak	Daya
WPT dengan Kopling Induksi	Medan Magnet	Koil	Tinggi	Pendek	Tinggi
WPT dengan Kopling resonansi	Elektromagnetik	Resonansi	Tinggi	Sedang	Tinggi
WPT dengan Gelombang Radio	Elektromagnetik	Antenna	Rendah ke tinggi	Pendek ke panjang	Rendah ke tinggi

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan studi literatur dari para peneliti sebelumnya yang terkait dengan Wireless Power Transfer (WPT). Tahapan tahapan yang dilakukan adalah seperti dalam gambar 3.

Diawali dengan mempelajari literatur yang terkait dengan teknologi WPT. Kemudian dilakukan pengumpulan data. Setelah itu dilakukan Analisa dan Pembahasan. Langkah terakhir adalah menarik kesimpulan terkait dengan Efisiensi WPT.



Gambar 3. Metodologi Penelitian

Sebagai langkah awal dalam penelitian ini, dilakukan studi literatur dari beberapa peneliti sebelumnya yang terkait dengan teknologi WPT. Terlihat dalam tabel 2 bahwa efisiensi WPT bervariasi tergantung dari teknologi, jenis medan dan metodenya.

Tabel 2. Perbandingan Efisiensi yang dilakukan dengan beberapa metode

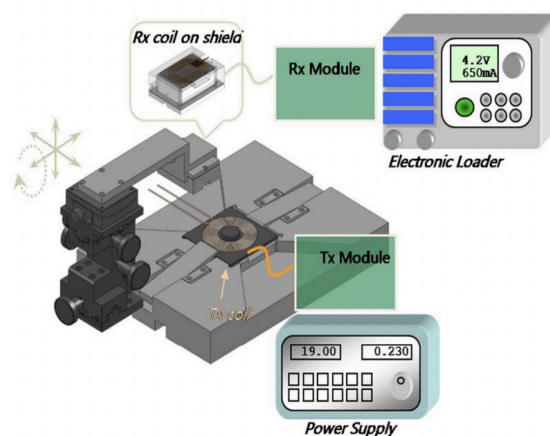
Judul Penelitian	Teknologi WPT	Jenis Medan	Metode	Efienesi
Characteristic of Shield Materials for WPT	Kompling induksi	Medan magnet	Koil	88%
Efficiency Enhancement of Wireless Power Transfer System Using MNZ Metamaterials	Kompling induksi	Medan magnet	Koil	55,3%
Improvement of power transfer efficiency of hexagonal coil arrays in misalignment conditions	Kopling resonansi	Elektromagneti k	Resonans i	10%
Rancang Bangun WPT menggunakan metode multi magnetic Resonator Coupling	Kopling resonansi	Elektromagneti k	Resonans i	7,51% - 10,8%
Improving WPT performance by portioned shielding	Kopling resonansi	Elektromagneti k	Resonans i	17,9%

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang berkaitan dengan upaya untuk meningkatkan efisiensi WPT adalah sbb :

3.1.In Chang Chu et al [6]

In Chang Chu dkk melakukan penelitian yang berjudul “Characteristics of Shield Materials for Wireless Power Transfer”. Salah satu permasalahan yang sering timbul dalam Wireless Power Transfer adalah ketika WPT bekerja pada frekuensi tinggi. WPT yang bekerja pada frekuensi tinggi akan menghasilkan Elctromagnetic Interference (EMI) yang bisa mengganggu sistem elektronik sehingga kinerja WPT menjadi tidak maksimal. Akibatnya WPT tidak bisa menyalurkan energi listrik secara maksimal sehingga efisiensinya tidak maksimal. . Untuk mengurangi dampak negatip EMI tersebut, dalam penelitisn tersebut ditambahkan Shielding pada rangkaian transmitter dan receivernya terlihat dalam gambar 4.

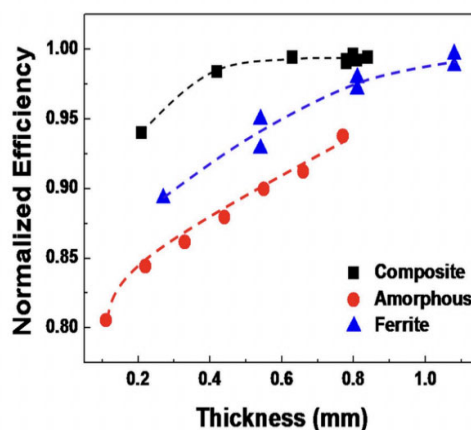


Gambar 4. WPT dengan shielding [6]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh In Chang Chu dkk, energi listrik disalurkan melalui kopling magnetik antara koil transmitter (TX) dengan koil receiver (RX) yang sudah dipasang penyekat (Shield) dari material FeSiAl composite, NiZn Ferrite dan FeSi amorphous seperti terlihat dalam gambar 4. Setelah itu dilakukan pengukuran untuk menghitung efisiensinya sesuai dengan material dan ketebalan penyekat (shielding). Dalam percobaan ini tegangan input adalah 12 Volt dengan frekuensi antara 100 sd 200kHz.

Hasil penelitian

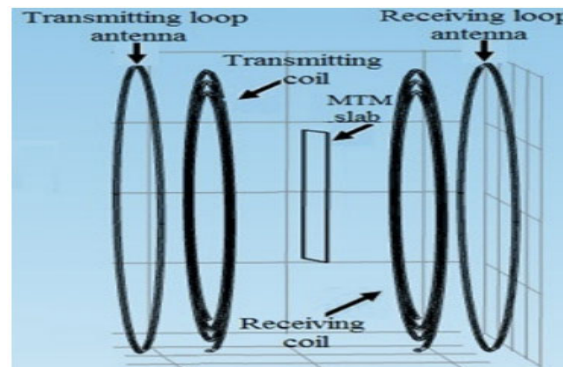
Dengan material dan ketebalan penyekat yang berbeda dihasilkan efisiensi seperti dalam gambat 5. Terlihat dalam gambat 5 tsb bahwa semakintebal penyekat, efisiensi semakin meningkat. Material penyekat dari bahan FeSiAl composite menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding material dari NiZn Ferrite maupun FeSi Amorphous.



Gambar 5. Efisiensi WPT [6]

3.2. Tarakeswar Shaw, Aritra Roy, and Debasis Mitra [7][8]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Tarakeswar Shaw dkk yakni berjudul “Efficiency Enhancement of Wireless Power Transfer System Using MNZ Metamaterials”. Dalam penelitian ini bahan Metamaterial MNZ diletakkan diantara koil transmitter dan koil receiver seperti terlihat dalam gambar 6 berikut ini



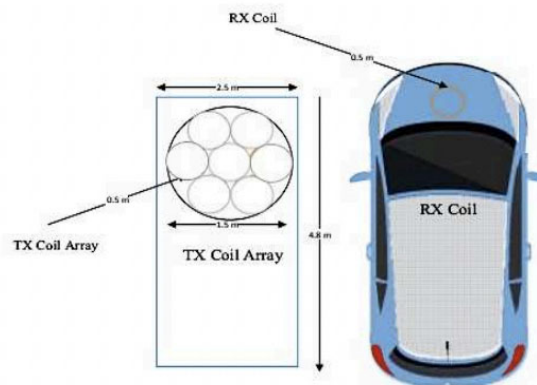
Gambar 6. WPT dengan menggunakan metamaterial MNZ [7]

Hasil penelitian

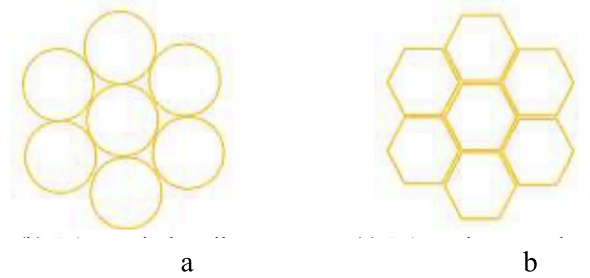
Dengan metode ini efisiensi yang dihasilkan bisa meningkat sebesar 15,7% yakni dari 39,6% menjadi 55,3%

3.3. Sianturi Tigor Franky Devano, Taufik Hidayat, Mudrik Alaydrus [9][10]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sianturi Tigor dll yakni berjudul "Improvement of power transfer efficiency of hexagonal coil arrays in misalignment conditions". Ketika mobil sedang mengisi battery, koil ditempat parkir berfungsi sebagai transmitter (TX) sedangkan koil dimobil bagian bawah berfungsi sebagai Receiver (TX) seperti terlihat dalam gambat 7. Ketika proses pengisian battery berlangsung, terjadi kopling induksi dari koil Transmitter ke koil Receiver. Bentuk koil yang biasa dipakai dalam sistem pengisian battery adalah Coil array. Dengan bentuk Coil array ini masih terjadi miss allignmen sehingga proses pengisian tidak bisa maksimal. Dalam penelitian ini, bentuk koil diubah ke bentuk hexagonal (Hexagonal array) sehingga mengurangi dampak miss alignmen, Bentuk koil bisa dilihat dalam gambar 8.



Gambar 7
Coil array (Transmitter) dan Coil array (Receiver)



Gambar 8. a. Coil array b. Hexagonal array [9]

Hasil penelitian

Dalam penelitian ini, dengan mengubah bentuk dari coil array menjadi hexagonal array, efisiensi WPT bisa meningkat sebesar 10%.

3.4. Toto Supriyanto dan Asri Wulandari [11][12]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Toto S dkk yakni berjudul “Rancang Bangun WPT menggunakan metode multi magnetic Resonator Coupling”, antenna WPT dibuat dari bahan yang berbeda yakni dari bahan Alumunium dan dari bahan Tembaga seperti terlihat dalam gambar 8. Setelah itu dilakukan pengukuran untuk menghitung efisiensi yang dihasilkan.



Gambar 8. WPT dengan antenna dari bahan alumunium dan tembaga [11]

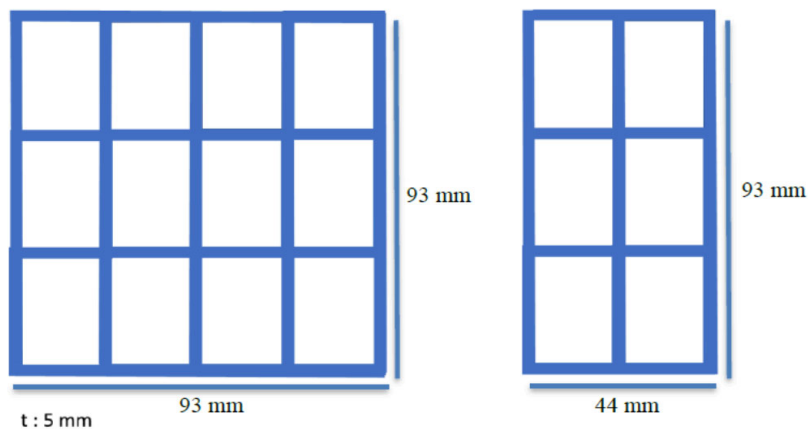
Hasil penelitian

Antena yang terbuat dari bahan Aluminium bisa menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibanding antena yang terbuat dari bahan Tembaga. Untuk jarak antena pemancar dan antena penerima sebesar 20 cm, dihasilkan efisiensi sbb :

- Tembaga-tembaga : 7,51%
- Tembaga-aluminium : 7,46%
- Aluminium-tembaga : 10,30%
- Aluminium-aluminium : 10,80%

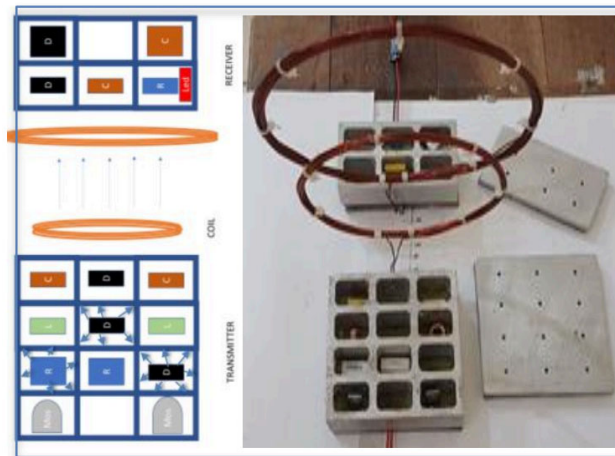
3.5. Jawahir, Mudrik Alaydrus [13][14]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Jawahir dkk yakni “Meningkatkan efisiensi Wireles Power Transfer dengan melakukan Shielding partisi”. Untuk menghindsri dampak Elecromagnetic Interference (EMI), dalam penelitian ini dilakukan penyekatan dalam setiap piranti elektronik dengan penyekat/shielding yang terbuat dari bahan alumunium atau bahan tembaga, baik yang ada di sisi Transmitter maupun Receiver seperti gambar 9 berikut ini



Gambar 9. Desain WPT dengan shielding [13]

Penyekatan (shielding) dilakukan pada setiap piranti eletronik untuk mengurangi dampak negatip timbulnya EMI baik dari sumber luar maupun dari sumber dalam perangkat WPT yang bisa mengganggu kinerja WPT. Dengan penyekatan (shielding) seperti ini kinerja WPT diharapkan bisa lebih baik sehingga bisa meningkatkan efisiensi WPT. Rancangan penyekat (shielding) pada WPT System tsb bisa dilihat seperti dalam gambar 10 berikut ini ;



Gambar 10. Rancangan WPT dengan penyekat / shielding [13]

Hasil penelitian

Dalam penelitian ini WPT bekerja pada tegangan 14.7V, frequency 56,298 Hz and dengan jarak antenna (d) sekitar 1cm, dihasilkan efisiensi 14.9%. Jika dilakukan shielding pada setiap piranti elektroniknya dengan bahan yang berbeda maka dihasilkan sbb :

- Shielding per blok (bahan alumunium) : efisiensi naik 10,8% yakni dari 14.9% menjadi 16,5%)
- Shielding dengan partisi (bahan alumunium) : efisiensi naik 13,9% yakni dari 14.9% menjadi 16,9%)
- Shielding per blok (bahan besi): efisiensi naik 15,5% yakni dari 14.9% menjadi 17,2%)
- Shielding dengan partisi (bahan besi) : efisiensi naik 20,3% yakni dari 14.9% menjadi 17,9

4.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan tersebut diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa efisiensi Wireless Power Transfer (WPT) dapat ditingkatkan dengan beberapa cara, yaitu :

1. Dengan menambahkan penyekat (shielding) pada koil/kumparan yang terbuat dari FeSiAl composite dengan ketebalan tertentu.
2. Dengan menambahkan bahan Metamaterial MNZ di antara koil/kumparan pemancar dan kumparan penerima
3. Membuat desain antenna transmitter/receiver dalam bentuk hexagonal array sehingga mengurangi dampak miss alligment.
4. Dengan menambahkan penyekat (shielding) dari bahan Alumunium pada setiap piranti elektronik yang ada didalam perangkat WPT sehingga mengurangi gangguan Electromagnetic Interference (EMI)
5. Menggunakan antenna dengan bahan yang terbuat dari Aluminium

5.SARAN

Untuk penelitian lebih lanjut, bisa dilakukan percobaan dengan penyekat (shielding) dari berbagai bahan material sehingga efisiensi yang didapatkan bisa lebih bervariasi. Selain itu perlu diteliti bentuk koil selain lingkaran dan hexagonal

DAFTAR PUSTAKA

- [1].A.S Malik, M.A Farooq, W.A Shah, and). M Butt, "Wireless Power Transmitter Through Magnetic Resonance Coupling:, Journal of Faculty of Engineering & Technology, vol 23 n 1 pp 1-11, 2016
- [2].X Mou, S Member, O Groling, H Sun and S Member, 2017, *Energy Efficient and Adaptive Design for Wirless Power Transfer in Electrical Vehicles*, IEE transactions on industrial electronics
- [3].Shinohara Naoki, 2014,*Wireless Power Transfer via Radio waves*, ISTE Ltd
- [4].Z. N. Low, R. A. Chinga, R. Tseng, and J. Lin, IEEE Trans. Ind. Electron. 56, 1801 (2009).
- [5].J. Sallan, J. L. Villa, A. Llombart, and J. F. Sanz, IEEE Trans. Ind. Electron. 56, 3060 (2009).
- [6].In Chang Chu1 and Jinseong Jeong, 2014, *Characteristics of Shield Materials for Wireless Power Transfer*, *Journal of Magnetics*
- [7].Tarakeswar Shaw, Aritra Roy, and Debasis Mitra, *Efficiency Enhancement of Wireless Power Transfer System Using MNZ Metamaterials*, Tarakeswar Shaw, Aritra Roy, and Debasis Mitra
- [8].Wang, B., W. Yerazunis, and K. H. Teo, "Wireless power transfer: metamaterials and array of coupled resonators," *Proc. IEEE*, Vol. 101, No. 6, 1359–1368, Jun. 2013.
- [9].Sianturi Tigor Franky Devano, Taufik Hidayat, Mudrik Alaydrus, 2021, *Improvement of power transfer efficiency of hexagonal coil arrays in misalignment conditions*, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science
- [10].B. J. Varghese, P. B. Bobba, and M. Kavitha, "Effects of coil misalignment in a four coil implantable wireless power transfer system," in 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)
- [11].Toto Supriyanto dan Asri Wulandari, 2015, *Rancang Bangun WPT menggunakan metode multi magnetic Resonator Coupling*.
- [12].JinWook Kim, Hyeon-Chang Son, Kwan-Ho, and Young-Jim Park, 2011, *Efficiency Analysis of Magnetic Resonance WPT with Intermediate Resonant Coil*, IEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol 10.
- [13].Jawahir, Mudrik Alaydrus, *Improving Wireless Power Transfer (WPT)*, 2017, *performance by Partition Shielding*, Department of Electrical Engineering, Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia
- [14].Jiacheng Li, Xueliang Huang, Chen Chen, et al, 2017. *Effect of metal shielding on a wireless power transfer system*, AIP Advances.
- [15].M. Nisshagen, E. Sjostrand, "Wireless Power Transfer using resonant inductive coupling,"
- [16].A. Zainuddin, S.A. Radzi, M. Ibrahim, N.A. Hamid, "A development of Electrical Vehicle Charging system using Wireless Power Transfer", 2016, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 10