

Pengaruh Sudut Antar Kumparan Pada Transfer Daya Nirkabel Menggunakan Metode Induksi Medan-Dekat

Firdaus, Tyo Fabian Fadel

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
firdaus@uii.ac.id

Abstrak

Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan. Saat ini berkembang sistem transfer energi secara nirkabel yang memungkinkan pengiriman listrik tanpa perantara konduktor. Teknologi transfer energi nirkabel ini memanfaatkan sifat induksi magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik bolak balik. Medan magnet yang timbul pada kumparan transmitter akan ditransmisikan ke kumparan receiver. Medan magnet yang diterima dikonversikan kembali ke arus listrik melalui rangkaian penyearah dan regulator untuk selanjutnya mengalir menuju beban. Transfer energi nirkabel memiliki tingkat efisiensi yang bergantung pada jarak antar kumparan dan sudut antar kumparan. Tulisan ini memaparkan pengaruh sudut antara kumparan pengirim dan penerima pada besar energi yang diterima. Nilai daya maksimal diperoleh saat sudutnya sebesar 0° .

Kata Kunci: Resonansi, Kumparan, Transmitter, Receiver, Osilator, Transfer Daya Induktif

1. Pendahuluan

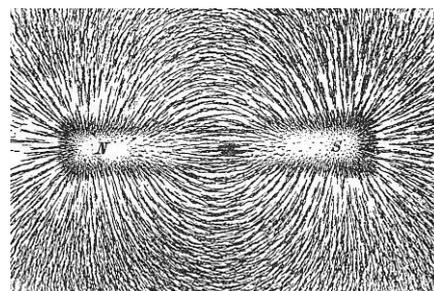
Saat ini teknologi nirkabel tidak hanya digunakan untuk pengiriman data, namun juga digunakan untuk mengirimkan listrik. Transfer Energi Nirkabel adalah suatu proses transmisi energi listrik dari sumber listrik ke beban listrik tanpa menggunakan kabel interkoneksi[1]. Saat ini ada beberapa skema yang digunakan, terkait dengan model *non-radiative* (induksi magnetik), namun masih terbatasi dari sisi jarak dan power yang ditransmisikan [2,3]. Ada dua metode dasar yang berbeda untuk transfer energi nirkabel. Metode pertama adalah metode medan-jauh menggunakan tembakan daya, laser, transmisi radio, dan microwave [4]. Metode kedua adalah metode medan-dekat menggunakan induksi magnetik [5].

Penelitian awal berlangsung di MIT yang dipimpin oleh Marin Soljacic pada tahun 2007 [6,7]. Para peneliti di MIT berhasil menyalakan lampu dengan daya 60 watt tanpa kabel, menggunakan dua kumparan jenis 5-turn copper dengan diameter 60 cm. Jarak kirimnya 2 meter dengan efisiensi 45% [8]. Kumparan didesain untuk beresonansi bersama pada frekuensi 9.9MHz (Panjang Gelombang 30 meter) dan berorientasi sepanjang axis yang sama. Peneliti berhasil menyalakan lampu 60 watt dengan efisiensi 90% pada jarak 3 kaki. Tulisan ini memaparkan pengaruh sudut antara kumparan pengirim dan penerima pada besar energi yang diterima.

1.1 Medan Magnet

Medan magnet adalah area atau wilayah dimana gaya magnet masih akan berpengaruh terhadap

benda disekitarnya. Sehingga apabila kita mendekatkan benda logam tertentu pada daerah medan magnet, maka logam tersebut akan tertarik oleh magnet. Medan magnet paling kuat berada pada kutub-kutub magnet. Magnet mempunyai dua kutub, yaitu utara (U) dan selatan (S). Medan magnetik dapat digambarkan dengan garis gaya magnetik yang disebut spektrum magnetik. Garis gaya magnet didefinisikan sebagai garis khayal yang merupakan lintasan kutub utara magnet kecil apabila bergerak bebas. Garis gaya magnet selalu memancar dari kutub utara ke kutub selatan dan tidak pernah memotong.

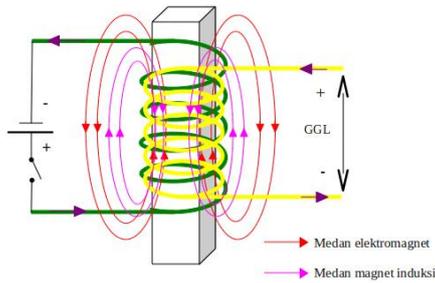


Gambar 1. Ilustrasi Garis Gaya Magnet dengan Serbuk Besi

1.2 Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah sebuah medan magnet yang dihasilkan melalui kumparan sehingga timbul fluks magnet. Interaksi garis gaya magnet dapat diilustrasikan pada gambar 2. Induksi magnetik dibatasi oleh persamaan gaya terhadap muatan yang bergerak dengan persamaan :

$$B = \frac{F}{qv \sin \phi} \quad (1)$$



Gambar 2. Induksi Magnetik Pada Trafo Inti Besi

Induksi magnetik adalah besaran vektor. Induksi magnetik β , kecepatan normal $V \sin \phi$ dan gaya magnetik F tegak lurus satu sama lain. Induksi magnetik sebenarnya berasal dari hukum elektromagnet yang pernah dilakukan oleh Faraday. Faraday menemukan bahwa arus listrik dapat dihasilkan dari perubahan medan magnet. Peristiwa dihasilkannya arus listrik akibat adanya perubahan medan magnetik dinamakan induksi elektromagnetik [9].

Persamaan GGL induksi yang memenuhi hukum Faraday adalah sebagai berikut :

$$\epsilon_{ind} = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Keterangan :

N = jumlah lilitan

$\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ = laju perubahan fluks magnetik (wb/s)

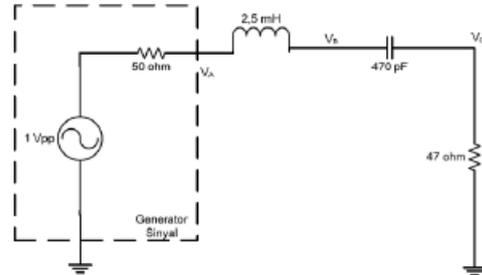
1.3 Pengisian Induktif

Pengisian induktif menggunakan medan elektromagnetik untuk mentransfer energi di antara dua benda. Hal ini biasanya dilakukan dengan stasiun pengisian. Energi dikirim melalui kopling induktif menuju perangkat listrik, di mana energi tersebut dapat digunakan untuk mengisi baterai atau menjalankan perangkat. Pengisian induksi biasanya menggunakan kumparan induksi untuk menciptakan medan elektromagnetik bolak-balik dari *base station* pengisian, kedua kumparan induksi yang berdekatan membentuk sebuah transformator listrik [10,11]. Jarak yang lebih besar antara kumparan pengirim dan penerima dapat dicapai ketika sistem pengisian induktif menggunakan resonansi kopling induktif.

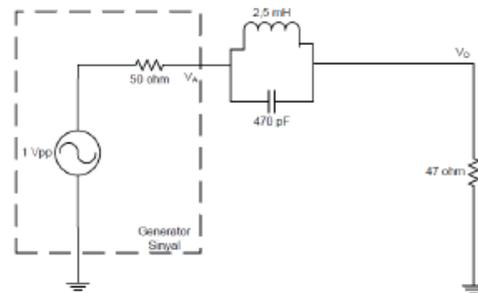
1.4 Resonansi

Nama lain dari Rangkaian Resonansi adalah Rangkaian Penala (*Tuning Circuit*), yaitu satu rangkaian yang berfungsi untuk menala sinyal dengan frekuensi tertentu dari satu *band* frekuensi. Melakukan penalaan berarti rangkaian tersebut 'beresonansi' dengan sinyal tersebut.

Dalam keadaan tertala, sinyal bersangkut-paut dipilih untuk diteruskan ke tahap selanjutnya. Rangkaian penala pada dasarnya disusun dari sebuah kapasitor dan induktor yang tersambung seri maupun paralel. Dalam keadaan resonansi, impedansi atau admittansinya mempunyai bagian imajiner sama dengan nol [12].



Gambar 3. Rangkaian Resonansi Seri

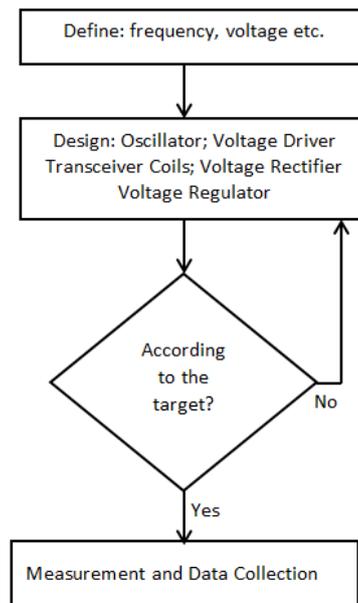


Gambar 4. Rangkaian Resonansi Paralel

2. Perancangan Sistem

2.1 Diagram Alir Perancangan

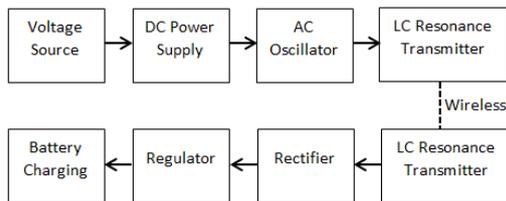
Berikut diagram alir perancangan alat bisa dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan

2.2 Diagram Blok Sistem

Pada diagram blok sistem yang menjelaskan alur kerja alat terlihat bahwa tegangan AC perlu dirubah menjadi tegangan DC yaitu menggunakan sebuah catu daya, agar tegangan DC bisa ditransmisikan melalui udara maka dibutuhkan frekuensi tinggi yang beresilasi menggunakan sebuah osilator. Tegangan DC yang sudah diosilasi kembali menjadi tegangan AC frekuensi tinggi dan merambat melalui gulungan *transmitter*. Tegangan dari gulungan *transmitter* ditransmisikan melalui udara dan diterima oleh gulungan *receiver* masih dalam bentuk tegangan AC. Tegangan AC yang diterima oleh gulungan *receiver* perlu dirubah kembali menjadi tegangan DC menggunakan penyearah gelombang agar bisa menyesuaikan dengan beban yang akan dipasang pada *output receiver*. Setelah menjadi tegangan DC, tegangan diregulasi menggunakan *regulator* tegangan agar dapat diterima oleh beban.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem

2.3 Rancangan Osilator

Rangkaian osilator menggunakan IC TL494. IC TL 494 menyediakan gelombang gigi gergaji bernilai positif pada pengaturan *dead-time* dan komparator PWM (*pulse width modulation*), di mana parameter tersebut dapat digunakan sebagai perbandingan ke berbagai sinyal kontrol.

Frekuensi osilator dihasilkan dengan memilih komponen *timing* RT dan CT. Osilator mengisi *timing* eksternal kapasitor CT dengan arus konstan, yang nilainya ditentukan oleh *timing* eksternal resistor RT. Hal ini menghasilkan gelombang tegangan *linear-ramp*. Ketika tegangan CT mencapai 3V, rangkaian osilator membuang tegangan, dan siklus pengisian dimulai.

Frekuensi yang diinginkan untuk osilasi adalah sebesar 60.606 Hz. Rumus menentukan frekuensi didapatkan dari *datasheet* IC TL494, dalam rangkaian ini digunakan rangkaian *push-pull* dengan *MOSFET* IRFZ44N, dengan nilai kapasitor CT yang telah ditentukan sebesar 1 nanoFarad sehingga rumus untuk frekuensi osilasi *push-pull* adalah :

$$\begin{aligned}
 f &= 1/(2R_T \times C_T) & (3) \\
 60606 &= 1/(2R_T \times 10^{-9}) \\
 R_T &= 8250 \Omega
 \end{aligned}$$

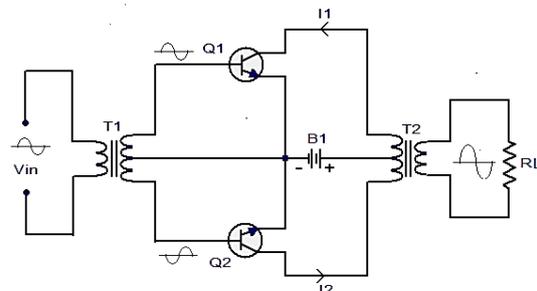
f adalah frekuensi (Hz), C_T adalah *timing* eksternal kapasitor (Farad), dan R_T adalah *timing* eksternal resistor (ohm)

2.4 Penguatan Push-Pull Pada MOSFET

Sebuah penguat *push-pull* adalah *amplifier* yang memiliki tingkat keluaran yang dapat mengendalikan arus di kedua arah melalui beban. Rangkaian *push-pull amplifier* secara umum terdiri dari dua *BJT*s identik atau *MOSFET*, di mana satu sumber arus *source* melalui beban sementara *source* yang lain menghilangkan arus dari beban. *Amplifier push-pull* lebih unggul daripada *amplifier single-ended* (menggunakan satu transistor pada keluaran untuk mengendalikan beban) dalam hal distorsi dan kinerja.

Sebuah penguat *single-ended*, seberapa baik dapat dirancang pasti akan tetap menghasilkan beberapa distorsi dikarenakan ketidak-linear karakter transfer dinamisnya. Amplifier *push-pull* yang umum digunakan ketika situasi distorsi rendah, efisiensi tinggi dan daya *output* tinggi dibutuhkan. Operasi dasar penguat *push-pull* adalah sebagai berikut : Sinyal yang akan diperkuat pertama dibagi menjadi dua sinyal identik 180° keluar dari fase.

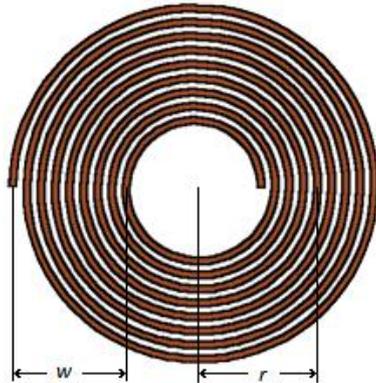
Umumnya pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan masukkan dari kopling trafo. Masukkan kopling trafo diatur sedemikian rupa sehingga salah satu sinyal diterapkan ke masukkan satu transistor dan sinyal lainnya diterapkan ke input dari transistor lainnya. Keuntungan dari *push-pull amplifier* adalah distorsi rendah, tidak adanya saturasi magnetis dalam inti kopling trafo, dan pembatalan riak catu daya yang dapat menghapuskan *noise*. Sementara kerugiannya adalah kebutuhan dua transistor atau lebih yang identik dan kopling yang besar pada trafo.



Gambar 7. Ilustrasi Sinyal Keluaran pada *Push-pull Amplifier*

2.5 Rancangan Kumparan *Transmitter* dan *Receiver*

Kumparan adalah media penyalur energi yang mentransmisikan daya akibat adanya fluks magnet. Arus yang mengalir pada Kumparan ini menyebabkan adanya medan magnet. Adanya frekuensi tinggi yang mengalir pada Kumparan menyebabkan adanya GGL listrik dan hal tersebut mengubah kekuatan fluks magnet menjadi arus listrik kembali. Rancangan Kumparan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Rancangan kumparan *transmitter* model *flat pancake wheeler*

Model kumparan yang digunakan pada perancangan tugas akhir ini adalah model kumparan *Flat Pancake Wheeler*. Kumparan *transmitter* dan *receiver* memiliki nilai induktansi yang sama. Kumparan *transmitter* nantinya akan dipasang di *output* osilator bersama kapasitor resonan secara paralel, sedangkan kumparan *receiver* akan dipasang dengan kapasitor resonan secara seri. Parameter yang ada pada kumparan *transmitter* antara lain radius kumparan sebesar 4.3 cm, lebar kumparan sebesar 2.3 cm, dan jumlah gulungan sebanyak 20 gulungan.

Nilai radius dan lebar kumparan harus dirubah ke inci untuk mendapatkan hasil dalam bentuk microHenry. Rumus menghitung induktansi pada model Kumparan *Flat Pancake Wheeler* adalah :

$$L = \frac{r^2 \times N^2}{8 \times r + 11 \times w} \quad (4)$$

$$L = \frac{1.692^2 \times 20^2}{8 \times 1.692 + 11 \times 0.905}$$

$$L = 48.73 \text{ uH}$$

Keterangan :

L = induktansi (uH)

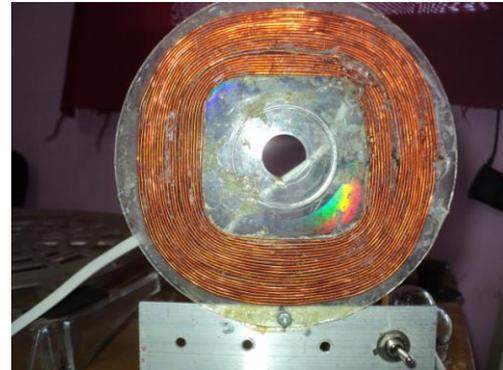
r = radius kumparan (inci)

N = jumlah gulungan

w = lebar gulungan (inci)

Tabel 1. Karakteristik Kumparan *Transmitter*

Parameter	Simbol	Besaran
Radius	r	1.692 inci
Lebar Gulungan	w	0.905 inci
Jumlah Gulungan	N	20 gulung



Gambar 9. Kumparan yang sudah jadi

Dari nilai L di atas dapat dicari berapa nilai C resonan menggunakan rumus apabila L dan f telah ditentukan. Untuk mempermudah mencari nilai C dalam bentuk nanoFarad, L dan f perlu dirubah ke dalam dalam miliHenry dan MegaHertz. Nilai L adalah sebesar 0.04873 mH dan f sebesar 0.060606 MHz.

$$f = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}} \quad (5)$$

$$2\pi f = \frac{1}{\sqrt{L \times C}}$$

$$\sqrt{L \times C} = \frac{1}{2 \times \pi \times f}$$

$$L \times C = \left(\frac{1}{2 \times \pi \times f} \right)^2$$

$$0.04873 \times C = \left(\frac{1}{2 \times 3.14 \times 0.060606} \right)^2$$

$$0.04873 \times C = 6.903$$

$$C = \frac{6.903}{0.04873}$$

$$C = 141.65 \text{ nF}$$

Maka pada rangkaian, kumparan diserikan dengan 3 buah kapasitor bernilai 47 nF yang diparalel, di mana totalnya adalah 141 nF dan mendekati hasil perhitungan.

2.6 Resonansi *Transmitter* dan *Receiver*

Dari nilai L dan C yang didapat di atas, maka nilai resonansi XL dan XC dalam ohm bisa dihitung. Untuk reaktansi induktif untuk mendapatkan nilai ohm maka, f dalam MHz, dan L dalam microHenry, dengan nilai f = 0.060606 MHz dan L = 48.73 uH. Untuk reaktansi kapasitif untuk mendapatkan nilai ohm maka, f dalam kHz, dan C dalam farad, dengan nilai f = 60.606 kHz dan C = 147 x 10⁻⁶ farad.

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L \quad (6)$$

$$X_L = 2 \times 3.14 \times 0.060606 \times 48.73$$

$$X_L = 18.3 \text{ ohm}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (7)$$

$$X_C = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 60.606 \times 147 \times 10^{-6}}$$

$$X_C = 18 \text{ ohm}$$

Dari nilai di atas dapat dibuktikan bahwa rangkaian beresonansi, di mana nilai reaktansi induktif dan kapasitif hampir sama yaitu sebesar 18.54 ohm dan 17.87 dan hanya berselisih sebesar 0.64 ohm. Selisih dapat timbul karena perhitungan desimal di belakang koma tidak disertakan atau juga bisa karena toleransi komponen.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mendapatkan data-data yang dihasilkan oleh alat saat bekerja. Parameter yang diukur antara lain adalah jarak, tegangan, arus, daya, dan efisiensi alat. Rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung data adalah rumus daya dan efisiensi :

$$P = V \times I \quad (8)$$

Keterangan :

P = daya (watt)

V = tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (9)$$

Keterangan :

η = efisiensi (%)

P_{out} = daya keluar (watt)

P_{in} = daya masuk (watt)

3.2 Pengujian Transmitter Yang Dipengaruhi Beban

Pengujian dilakukan pada keluaran catu daya. Pengujian dilakukan untuk melihat apakah nilai keluaran pada catu daya dapat dipengaruhi oleh beban di receiver. Pengukuran tegangan diukur pada titik positif dan negatif alat, sementara pengukuran arus dilakukan di titik seri alat yang sudah disediakan. Parameter yang diukur adalah jarak, tegangan, arus, dan daya. Alat ukur yang digunakan adalah voltmeter dan ampermeter.

A. Pengujian Transmitter Terhadap Beban Lampu di Receiver

Pengukuran parameter transmitter dilakukan ketika transmitter dipengaruhi oleh beban lampu di receiver, pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah tegangan pada transmitter dapat dipengaruhi oleh beban di receiver.

B. Pengujian Transmitter Terhadap Beban Baterai Telepon Genggam di Receiver

Pengukuran parameter transmitter dilakukan ketika transmitter dipengaruhi oleh beban baterai telepon genggam di receiver, pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah tegangan pada transmitter dapat dipengaruhi oleh beban di receiver.

Tabel 2. Pengujian Transmitter Terhadap Beban Lampu di Receiver

Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1	15.3	2.82	43.146
1.5	15.3	2.6	39.78
2	15.3	2.4	36.72
2.5	15.3	2.23	34.119
3	15.3	2.12	32.436
3.6	15.3	2.04	31.212
4	15.3	1.95	29.835
4.5	15.3	1.89	28.917
5	15.3	1.84	28.152
6	15.3	1.76	26.928
7	15.3	1.72	26.316
8	15.3	1.7	26.01

Tabel 3. Pengujian Transmitter Terhadap Beban Baterai Telepon Genggam di Receiver

Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1	15.3	2.5	38.25
2	15.3	2.31	35.343
3	15.3	1.88	28.764
4	15.3	1.62	24.786
5	15.3	1.61	24.633

3.3 Pengujian Receiver dan Beban

Pengujian dilakukan pada keluaran receiver. Pengujian dilakukan pada dua jenis beban, yaitu lampu dan baterai telepon genggam. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan dan memastikan apakah receiver dapat bekerja dengan semestinya.

A. Pengujian Receiver Pada Beban Lampu

Pengukuran parameter receiver dilakukan ketika receiver dipengaruhi oleh beban lampu, pengujian dilakukan untuk melihat apakah receiver mampu menerima tegangan dari transmitter pada jarak tertentu.

B. Pengujian Receiver Pada Beban Baterai Telepon Genggam

Pengukuran parameter receiver dilakukan ketika receiver dipengaruhi oleh beban baterai telepon genggam, pengujian dilakukan untuk melihat apakah receiver mampu menerima tegangan dari transmitter pada jarak tertentu.

Tabel 4. Pengujian Receiver Pada Beban Lampu

Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1	3.1	1.05	3.255
1.5	7.5	1.25	9.375
2	11.6	1.3	15.08
2.5	9.7	1.27	12.319
3	5.2	1.17	6.084
3.5	2.6	1.05	2.73
4	1.4	0.97	1.358
4.5	1	0.75	0.75
5	0.6	0.73	0.438
6	0.2	0.5	0.1
7	0.1	0.35	0.035
8	0.08	0.25	0.02

Tabel 5. Pengujian Receiver Pada Beban Baterai Telepon Genggam

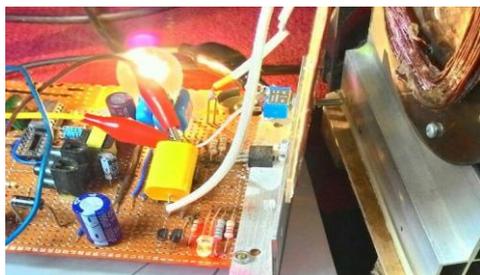
Jarak (cm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (watt)
1	5.2	0.47	2.444
2	5.2	0.47	2.444
3	5.2	0.47	2.444
4	4.3	0.03	0.129
5	3.3	0	0

3.4 Perhitungan Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem dapat dihitung apabila daya keluaran sudah dihitung. Daya keluaran hanya bisa dihitung ketika sistem telah dibebani, di mana beban pada transmitter adalah pemancaran melalui udara, dan beban pada receiver berupa lampu. Efisiensi sistem transmitter terhadap receiver yang dibebani lampu. Perhitungan efisiensi sistem didapat dari membandingkan daya yang dihasilkan oleh transmitter dan receiver. Efisiensi sistem yang dibebani lampu bisa dilihat pada tabel 6.

3.5 Pengaruh Sudut Yang Terbentuk Antara Kumparan Transmitter dengan Receiver.

Pada pengujian ini ingin dilihat pengaruh sudut antara kumparan transmitter dengan kumparan receiver terhadap daya yang diterima pada kumparan receiver. Pengujian dilakukan dalam beberapa ukuran sudut. Pengujian bisa dilihat pada gambar 10 dan hasilnya bisa dilihat pada tabel 7.



Gambar 10. Sudut antara kumparan bagian pengirim dan penerima 15°

Tabel 6. Efisiensi Transmitter Terhadap Beban Lampu di Receiver

Jarak (cm)	PTx (watt)	PRx (watt)	Efisiensi (%)
1	43.146	3.255	7.54
1.5	39.78	9.375	23.56
2	36.72	15.08	41.06
2.5	34.119	12.319	36.10
3	32.436	6.084	18.75
3.5	31.212	2.73	8.74
4	29.835	1.358	4.55
4.5	28.917	0.75	2.59
5	28.152	0.438	1.55
6	26.928	0.1	0.37
7	26.316	0.035	0.13
8	26.01	0.02	0.08

Tabel 7. Pengaruh sudut terhadap daya yang diterima pada kumparan receiver

Sudut (°)	Arus (A)	Tegangan (Volt)	Power (Watt)
0	1,76	14,50	25.52
15	1,45	9,32	13.514
30	0,83	3,20	2.656
45	0,77	2,80	2.156
90	0,18	0,12	0.0216

4. Kesimpulan

Telah berhasil dilakukan transmisi daya secara nirkabel menggunakan metode induksi medan-dekat. Jarak antara transmitter dan receiver sangat berpengaruh pada efisiensi sistem. Efisiensi maksimum sistem pada beban lampu dapat mencapai 41.06%, pada saat jarak sebesar 2cm. Semakin jauh jarak antar transmitter dengan receiver maka semakin kecil daya yang dihasilkan. Besar daya yang diterima juga ditentukan oleh sudut yang dibentuk oleh kumparan pengirim dengan kumparan penerima. Nilai daya maksimal diperoleh saat sudutnya sebesar 0°.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia

Daftar Pustaka

- [1] N. Tesla, Apparatus for transmitting electrical energy, US patent number 1,119,732, issued in December 1914
- [2] Karalis, A., Joannopoulos, J. & Soljacic, M. (2008). Efficient wireless non-radiative mid-range energy transfer, Elsevier Annals of Physics (323): 34–48.
- [3] L. Ka-Lai, J.W. Hay, and P.G.W. Beart, Contactless power transfer, US patent number 7,042,196, issued in May 2006
- [4] Low, Z. N., Chinga, R. A., Tseng, R. & Lin, J. (2009). Design and test of a high-power high-efficiency loosely coupled planar wireless power transfer system, IEEE Transactions on Industrial Electronics 56(5).

- [5] Mingbo Yang; Guodong Yang; En Li; Zize Liang; Bo Zhai, "Topology and inductance analysis for wireless power transmission system," in Control and Decision Conference (CCDC), 2013 25th Chinese , vol., no., pp.2052-2056, 25-27 May 2013
- [6] Castelveccchi, Davide, "Wireless Electricity could power consumer, industrial electronics" MIT News, 2006
- [7] Hadley, Franklin, "Goodbye Wires". MIT News, 2007
- [8] J. Gozalvez, WiTricity-The Wireless Power Transfer, IEEE Vehicular Technology Magazine, 2007
- [9] Koenraad van Schuylenbergh, Robert Puers, Inductive Powering: Basic Theory and Application to Biomedical Systems, Springer Science & Business Media, 2009
- [10] Wu, H.H.; Gilchrist, A.; Sealy, K.; Israelsen, P.; Muhs, J., "A review on inductive charging for electric vehicles," in Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2011 IEEE International , vol., no., pp.143-147, 15-18 May 2011
- [11] Wells, Brannon P, "Series resonant inductive charging circuit." Patent - US6972543 (B1), 2003
- [12] Teck Chuan Beh; Imura, T.; Kato, M.; Hori, Y., "Basic study of improving efficiency of wireless power transfer via magnetic resonance coupling based on impedance matching," in Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on , vol., no., pp.2011-2016, 4-7 July 2010