

PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM TRANSFER DAYA LISTRIK TANPA KABEL DENGAN KUMPARAN *MULTILAYER* YANG BEKERJA PADA FREKUENSI RENDAH

Design And Analysis Of Wireless Power Transfer By Multilayer Coils In Low Frequencies.

I Wayan Suwika Adnyana¹, Teti Zubaidah², Cahyo Mustiko Okta M.3¹

ABSTRAK

Sistem transfer daya listrik nirkabel diartikan sebagai cara mengirimkan energi listrik dari satu titik ke titik yang lain melalui ruang vakum tanpa menggunakan kabel. Metode yang dapat digunakan dalam sistem ini yaitu resonansi magnetik, dimana frekuensi di sisi pengirim harus sama dengan frekuensi di sisi penerima. Penelitian ini menggunakan frekuensi rendah sebesar 1 kHz, 3 kHz dan 5 kHz dengan sumber dari rangkaian oscillator dan function generator.

Pengukuran dengan rangkaian oscillator, nilai efisiensi daya listrik untuk jarak transfer 4 cm pada frekuensi 1 kHz sebesar 2,79 %, frekuensi 3 kHz sebesar 18,05 % dan frekuensi 5 kHz sebesar 6,41 % dengan jarak transfer maksimum untuk tiap-tiap frekuensi yaitu 1 kHz sejauh 10 cm, 3 kHz sejauh 20 cm dan 5 kHz sejauh 10 cm.

Pengukuran dengan function generator, nilai efisiensi daya listrik maksimum pada frekuensi 1 kHz = 14,65 % di rata-rata frekuensi 1 kHz, frekuensi 3 kHz = 13,62 % di rata-rata frekuensi 3 kHz dan frekuensi 5 kHz = 28,61 % di rata-rata frekuensi 5,5 kHz. Nilai rata-rata medan magnet maksimum yang terukur pada level frekuensi 1 kHz = 33,91 μ T, level frekuensi 3 kHz 12,97 μ T dan level frekuensi 5 kHz = 5,21 μ T. Nilai rata-rata nilai medan magnet yang terukur berada dibawah 0,2 mT sehingga aman bagi tubuh manusia menurut PER.13/MEN/X/2011.

Kata kunci: Nirkabel, Frekuensi Rendah, Efisiensi, Resonansi, Induksi, Multilayer.

ABSTRACT

System of wireless electric power transfer is the way to deliver power in the vacuum areas without any cables. The system should be in the same frequencies both transmitter and receiver. The research uses induction and resonance methods with low frequencies (1kHz, 3kHz and 5 kHz) using oscillator and function generator.

The result of measurement by oscillator series gives the electric power efficiency 2,79% at 1 kHz with 10 cm distances of transfer, 18,05% at 3 kHz with 20 cm distances of transfer, and 6,41% at 5 kHz with 10 cm distances of transfer.

The result by function generator series gives the maximum electric power efficiency 14,65% at 1 kHz, 13,62% at 3 kHz and 28,1% at 5 kHz. The maximum average of magnetic fields is 33,91 μ T at 1 kHz, 12,97 μ T at 3 kHz and 5,21 μ T at 5 kHz. The average of measurement is under 0,2mT and it is still under the exposure limit of PER.13/MEN/X/2011.

Keywords: Wireless, Low Frequency, Efficiency, Resonance, Induction, Multilayer.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi tanpa kabel atau *wireless* dewasa ini semakin meningkat pesat. *Wireless Electricity* dapat diartikan sebagai cara mengirimkan energi listrik dari satu titik ke titik yang lain melalui ruang vakum atau atmosfer tanpa menggunakan kabel penghubung secara fisik. Peningkatan ini dilandasi dengan berbagai hal, seperti semakin meningkatnya teknologi perangkat teknologi, kebutuhan telekomunikasi, sampai

pada gaya hidup dari umat manusia zaman sekarang

Penelitian ini menggunakan frekuensi yang rendah. Penggunaan frekuensi rendah dalam penelitian untuk mengetahui besar daya listrik dan efisiensi daya yang dihasilkan. Dalam penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya masih sebatas menggunakan frekuensi tinggi seperti contoh penelitian Irawan (2013) menggunakan frekuensi 651 kHz sampai 976 kHz dan

¹Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Wijaya (2012) menggunakan frekuensi 1 MHz.

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini dilakukan untuk membuat rangkaian sistem transfer daya listrik tanpa kabel yang sederhana dengan frekuensi rendah yaitu sebesar 1 kHz, 3 kHz dan 5 kHz untuk mendapatkan efisiensi maksimum daya yang besar.

Resonansi adalah suatu fenomena dimana apabila suatu objek bergetar dengan suatu frekuensi tertentu, dapat mempengaruhi objek lain dengan jarak tertentu yang memiliki frekuensi yang sama atau hampir sama sehingga objek lain tersebut akan ikut bergetar dengan frekuensi yang sama (Nugroho, 2010).

Prinsip Resonansi Elektromagnetik adalah pembangkitan suatu medan elektromagnetik, radiasi gelombang elektromagnetik yang dihasilkan akan memuat sejumlah energi yang dipancarkan ke lingkungan. Energi ini akan terus terpancar tidak peduli apakah ada yang menangkapnya atau tidak. Apabila terdapat suatu benda yang mampu menangkap radiasi elektromagnetik, maka benda tersebut akan beresonansi dan akan menerima energi tersebut dan terjadilah perpindahan energi secara resonansi elektromagnetik (Nugroho, 2010).

Akumulator atau aki adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian (*charge*) energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran (*discharge*) energi kimia diubah menjadi energi listrik (Latif, dkk., 2013).

Function Generator adalah alat ukur elektronik yang menghasilkan atau membangkitkan gelombang berbentuk sinus, segitiga, ramp, segi empat dan bentuk gelombang pulsa. *Function generator* terdiri dari generator utama dan generator modulasi.

Spectrum Analyzer NF-5035 (NF 5035) adalah jenis alat pengukur spektrum elektromagnetik yang paling populer untuk rentang frekuensi yang rendah. Cocok digunakan untuk uji *Pre-Complanced* EMC/EMI hingga 3 MHz yang dapat memberikan solusi untuk pengukuran medan magnet dan medan listrik (<http://www.aaronia.de>)

Nilai Ambang Batas Medan Listrik dan Medan Magnet pada dasarnya adalah suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium. Beberapa contoh adalah perambatan gelombang radio, sinyal televisi,

sinar radar, cahaya yang tak terlihat, sinar-x dan sinar gamma (Swamardika, 2009).

Tabel 1 NAB medan magnet untuk frekuensi 1 – 30 kHz (PER.13/MEN/X/2011).

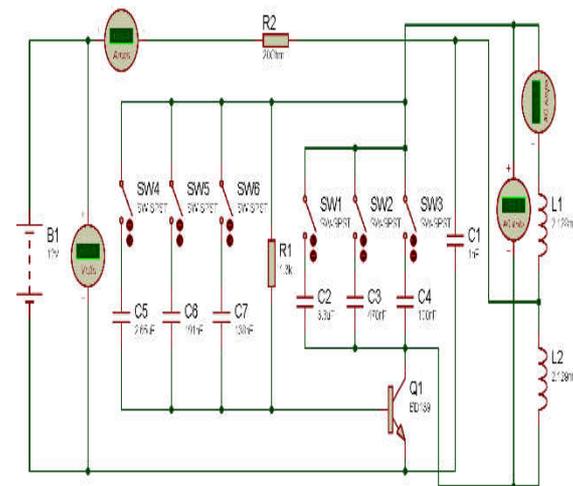
No.	Bagian Tubuh	NAB	Rentang Frekuensi
1.	Seluruh tubuh	60/f mT	1 – 300 Hz
2.	Lengan dan paha	300/f mT	1 – 300 Hz
3.	Tangan dan kaki	600/f mT	1 – 300 Hz
4.	Anggota tubuh dan seluruh tubuh	0,2 mT	300 Hz – 30 kHz

METODE PENELITIAN

Bagian Umum Sistem Transfer Daya Listrik

1. Rangkaian Pengirim yaitu terdiri dari: Akumulator (Aki) sebagai sumber arus DC, rangkaian *oscillator* yaitu rangkaian pembangkit tegangan arus bola-balik dengan frekuensi tertentu dan *function generator* yaitu rangkaian pembangkit tegangan arus bolak balik dengan frekuensi tertentu.
2. Rangkaian Penerima (Penangkap) terdiri dari suatu rangkaian LC dengan frekuensi resonansi yang sama dengan rangkaian pengirim, sebagai penerima fluks magnetik dari rangkaian pengirim untuk menerima daya listrik yang akan disalurkan menuju alat ukur yaitu voltmeter dan amperemeter serta beban berupa LED.

Perancangan Rangkaian Pengirim



Gambar 1. Rangkaian kumparan pengirim.

Perhitungan Nilai L dan C

Untuk mengetahui besar kapasitansi yang digunakan dapat menggunakan rumus:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 L}$$

Untuk menghitung besar induktansi yang diperlukan dapat dicari dengan rumus:

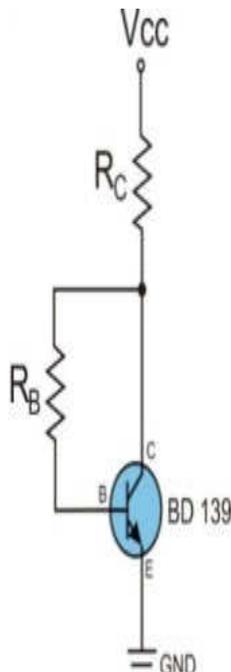
$$L = \frac{0.8 \times r^2 \times N^2}{6r + 9l + 10d}$$

Tabel 2 Hasil pengukuran dan perhitungan pada kumparan pengirim.

Level Frekuensi	Induktansi (L) ukur	Kapasitansi (C) hitung	N (Lilitan)
1 kHz	4,257 mH	5,9503 μF	90
3 kHz	4,257 mH	0,6611 μF	90
5 kHz	4,257 mH	0,2380 μF	90

Perhitungan Nilai R pada Rangkaian Pengirim (*Oscillator*)

Berikut bentuk rangkaian sederhana pada *oscillator* untuk menghitung besar nilai tahanan R yang digunakan.



Gambar 2 Rangkaian oscillator dengan transistor BD139.

Menghitung nilai R_C dan R_B pada Gambar 2 dengan nilai-nilai yang ada pada data sheet BD139 sebagai berikut:

$$V_{CC} = 12 \text{ Volt}; V_{CE} = 2 \text{ Volt}; I_C = 0,5 \text{ A}$$

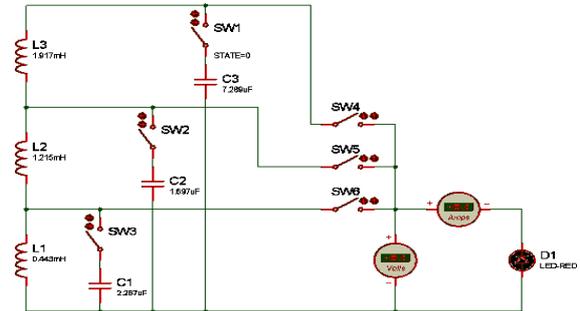
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = \frac{12 - 2}{0,5} = 20 \Omega$$

$$V_{CE} = 2 \text{ Volt}; V_{BE} = 0,7 \text{ Volt}; I_C = 100 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{100}{100} = 1 \text{ mA}$$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0,7}{1} = 11,3 \text{ k}\Omega$$

Perancangan Rangkaian Penerima



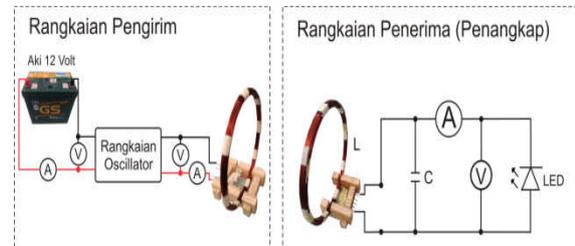
Gambar 3 Rangkaian kumparan penerima (penangkap).

Dengan teori dan rumus yang sama dengan rangkaian pengirim. Rangkaian penerima (penangkap) ini akan beresonansi pada frekuensi resonansi yang diterima dari rangkaian pengirim.

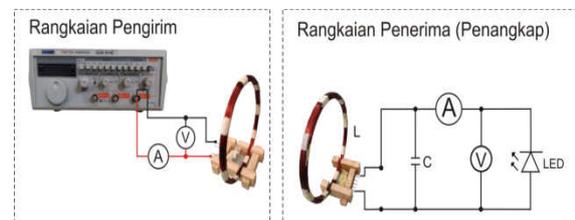
Tabel 3 Hasil pengukuran dan perhitungan pada kumparan penerima (penangkap).

f	Induktansi (L) ukur	Kapasitansi (C) hitung	N (Lilitan)
1 kHz	3,475 mH	7,2893 μF	90
3 kHz	1,658 mH	1,6975 μF	60
5 kHz	0,443 mH	2,2870 μF	30

Struktur Pengujian & Pengukuran



Gambar 4 Struktur pengukuran fluks magnetik menggunakan rangkaian *oscillator*.



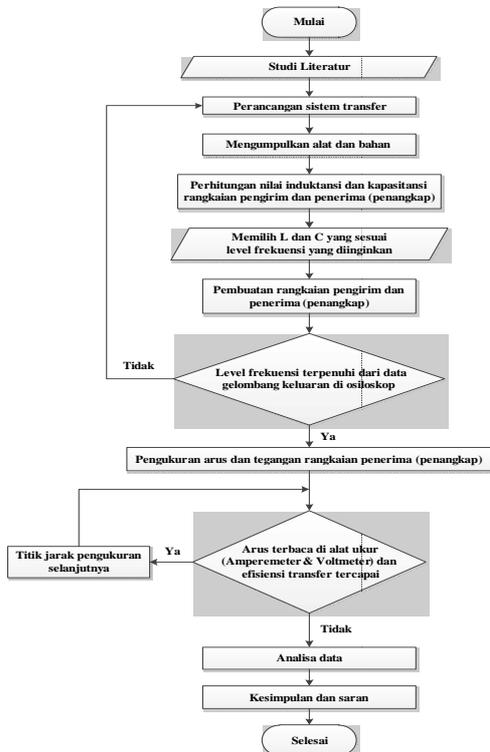
Gambar 5 Struktur pengukuran fluks magnetik menggunakan *function generator*.

Persamaan yang digunakan untuk mencari daya listrik dan efisiensi pengiriman daya listrik (Watt):

$$P = V \times I$$

$$Efisiensi_{daya} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Diagram Alir Penelitian



Gambar 6 Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

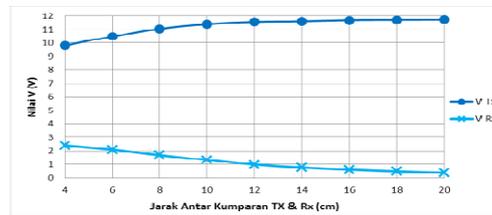
Pengukuran Rangkaian Oscillator. Analisa hasil pengukuran dengan frekuensi 1 kHz. berdasarkan Tabel 4 dapat di analisa bahwa dengan jarak awal yaitu 4 cm antara kumparan pengirim dan kumparan penerima pada frekuensi 1 kHz, nilai daya listrik yang ditangkap kumparan penerimasebesar 0,0646 W dan efisiensi daya listrik mencapai 2,79 %. Semakin jauh jarak antara kumparan pengirim dan kumparan penerima (penangkap), maka

Tabel 4 Hasil data pengukuran dengan rangkaian oscillator pada frekuensi 1 kHz.

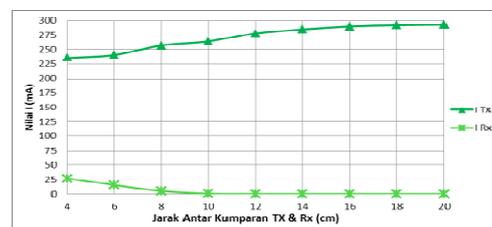
Jarak (cm)	V_{Tx} (V)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (W)	V_{Rx} (V)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (W)	Eff. (%)
4	9,81	236	2,315	2,40	26,9	0,064	2,79
6	10,48	241	2,526	2,10	15	0,031	1,25
8	11,05	257	2,840	1,70	5	0,008	0,30
10	11,38	264	3,004	1,33	0,6	0,000	0,03
12	11,54	278	3,208	0,98	0	0,000	0,00
14	11,58	285	3,300	0,76	0	0,000	0,00
16	11,66	290	3,381	0,61	0	0,000	0,00
18	11,68	292	3,411	0,48	0	0,000	0,00
20	11,70	293	3,428	0,38	0	0,000	0,00

nilai daya listrik dan efisiensi daya akan semakin kecil seiring penambahan jarak pada tiap pengukuran.

Untuk melihat perubahan nilai tegangan, arus dan daya listrik yang diterima rangkaian penerima dapat dilihat pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan efisiensi daya listrik pada Gambar 10 sebagai berikut:



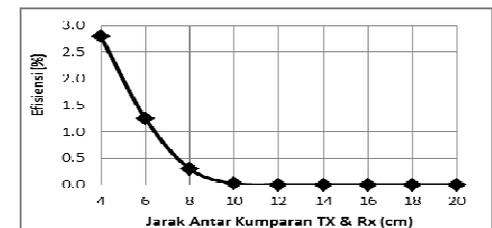
Gambar 7 Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan (V) pada frekuensi 1 kHz.



Gambar 8 Grafik hubungan antara jarak dengan arus (I) pada frekuensi 1 kHz.



Gambar 9 Grafik hubungan antara jarak dengan daya listrik (P) pada frekuensi 1 kHz.



Gambar 10 Grafik perbandingan antara jarak dan efisiensi pada frekuensi 1 kHz.

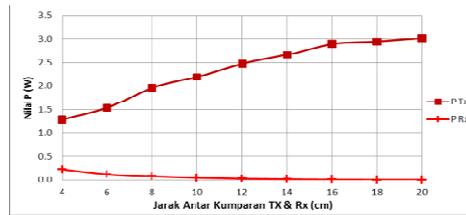
Berdasarkan Gambar 10 dapat dijelaskan bahwa bila semakin jauh jarak antara kumparan pengirim dan kumparan penerima maka nilai efisiensi daya listrik akan semakin kecil seiring penambahan titik jarak pada tiap pengukuran level frekuensi 1 kHz. Indikator mati pada jarak 12 cm dan seterusnya.

Analisa hasil pengukuran dengan frekuensi 3 kHz. Berdasarkan Tabel 5 data hasil pengukurandiatas dapat di analisa

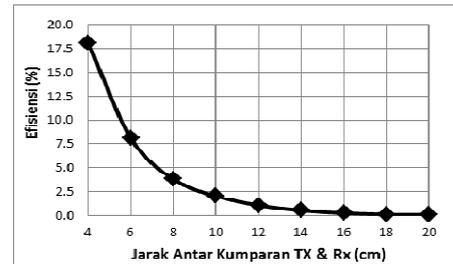
bahwa dengan jarak awal yaitu 4 cm antara kumparan pengirim dan kumparan penerimapada frekuensi 3 kHz, nilai daya listrik yang ditangkap kumparan penerimasebesar 0,233 W dan efisiensi daya listrik mencapai 18,05 %. Bila semakin jauh jarak antara kumparan pengirim dan kumparan penerima, maka nilai daya listrik dan efisiensi daya akan semakin kecil seiring penambahan jarak pada tiap pengukuran.Untuk melihat perubahan nilai tegangan, arus dan daya listrik yang diterima rangkaian penerima dapat dilihat pada Gambar 11, Gambar 12, Gambar 4.13 dan efisiensi daya listrik pada Gambar 14 sebagai berikut:

Tabel 5 Hasil data pengukuran dengan rangkaian oscillator pada frekuensi 3 kHz.

Jarak (cm)	V_{Tx} (V)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (W)	V_{Rx} (V)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (W)	Eff. (%)
4	10,32	125	1,290	4,1	56,8	0,233	18,05
6	11,65	132	1,538	2,98	41,8	0,125	8,10
8	13,24	148	1,960	2,55	29,2	0,074	3,80
10	14,64	150	2,196	2,52	17,5	0,044	2,01
12	16,08	154	2,476	2,2	11,58	0,025	1,03
14	17,1	156	2,668	1,9	7,2	0,014	0,51
16	18,2	159	2,894	1,67	4,07	0,007	0,23
18	18,3	161	2,946	1,53	1,8	0,003	0,09
20	18,5	163	3,016	1,51	1,38	0,002	0,07

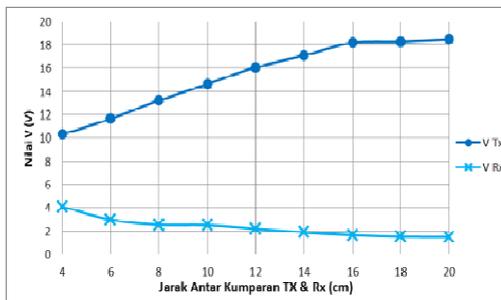


Gambar 13 Grafik hubungan antara jarak dengan daya listrik (P) pada frekuensi 3 kHz.

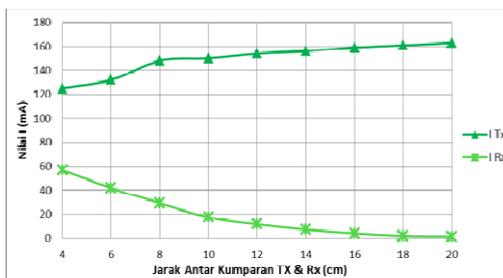


Gambar 14 Grafik perbandingan antara jarak dan efisiensi pada frekuensi 3 kHz.

Berdasarkan Gambar 14 dapat dijelaskan bahwa bila semakin jauh jarak antara kumparan pengirim dan kumparan penerima, maka nilai efisiensi daya listrik akan semakin kecil seiring penambahan titik jarak pada tiap pengukuran level frekuensi 3 kHz. Indikator mati pada jarak 12 cm dan seterusnya.



Gambar 11 Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan (V) pada frekuensi 3 kHz.



Gambar 12 Grafik hubungan antara jarak dengan arus (I) pada frekuensi 3 kHz.

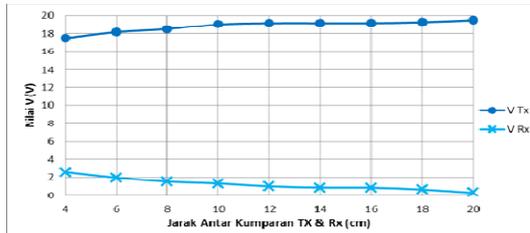
Analisa hasil pengukuran dengan frekuensi 5 kHz. Berdasarkan Tabel 6 data hasil pengukuran diatas dapat di analisa bahwa dengan jarak awal yaitu 4 cm antara kumparan pengirim dan kumparan penerima pada frekuensi 5 kHz, nilai daya listrik yang ditangkap kumparan penerima sebesar 0,0638 W dan efisiensi daya listrik mencapai 9,35 %. Bila semakin jauh jarak antar kumparan, maka nilai daya listrik dan efisiensi daya akan semakin kecil seiring penambahan jarak pada tiap pengukuran.

Tabel 6 Hasil data pengukuran dengan rangkaian oscillator pada frekuensi 5 kHz.

Jarak (cm)	V_{Tx} (V)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (W)	V_{Rx} (V)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (W)	Eff. (%)
4	17,5	58	1,015	2,55	25,5	0,0650	6,41
6	18,16	69	1,253	1,95	3	0,0059	0,47
8	18,5	74	1,369	1,53	0,69	0,0011	0,08
10	19,06	81	1,544	1,33	0,5	0,0007	0,04
12	19,2	84	1,613	1,02	0	0,0000	0,00
14	19,2	87	1,670	0,88	0	0,0000	0,00
16	19,2	87	1,670	0,87	0	0,0000	0,00
18	19,3	88	1,698	0,67	0	0,0000	0,00
20	19,5	88	1,716	0,32	0	0,0000	0,00

Untuk melihat perubahan nilai tegangan, arus dan daya listrik yang diterima

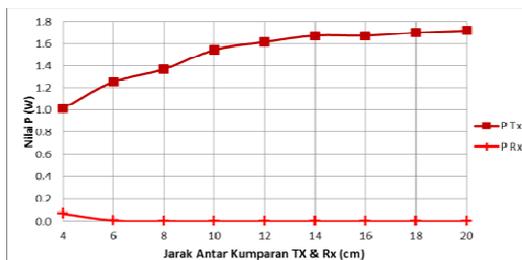
rangkain penerima dapat dilihat pada Gambar 15, Gambar 16, Gambar 17 dan efisiensi daya listrik pada Gambar 18 sebagai berikut:



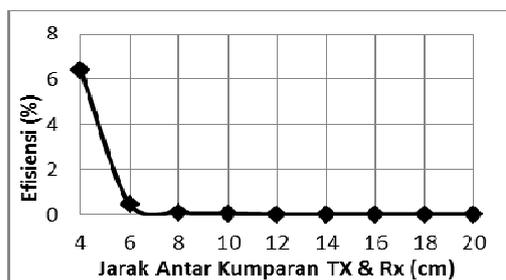
Gambar 15 Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan (V) pada frekuensi 5 kHz.



Gambar 16 Grafik hubungan antara jarak dengan arus (I) pada frekuensi 5 kHz.



Gambar 16 Grafik hubungan antara jarak dengan daya listrik (P) pada frekuensi 5 kHz.



Gambar 17 Grafik perbandingan antara jarak dan efisiensi pada frekuensi 5 kHz.

Berdasarkan Gambar 17 dapat dijelaskan bahwa bila semakin jauh jarak antar, maka nilai efisiensi daya listrik akan semakin kecil seiring penambahan titik jarak pada tiap pengukuran level frekuensi 5 kHz. Indikator mati pada jarak 12 cm dan seterusnya.

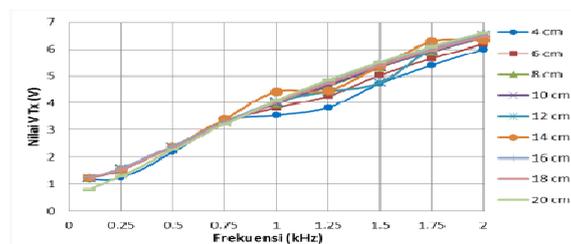
Pengukuran dengan Function Generator
Analisa hasil pengukuran dengan function generator pada frekuensi 1 kHz.

Berdasarkan Tabel 7 dapat di analisa bahwa pada jarak 4 cm antar kumparan, nilai daya listrik yang maksimum ditangkap kumparan penerima pada frekuensi 1 kHz sebesar 0,0787 W dan efisiensi daya listrik mencapai 14,65 %.

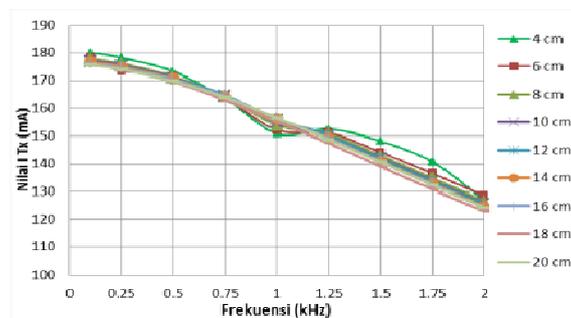
Tabel 7 Hasil data pengukuran pada frekuensi 1 kHz dengan jarak 4 cm.

f (kHz)	V _{Tx} (V)	I _{Tx} (mA)	P _{Tx} (W)	V _{Rx} (V)	I _{Rx} (mA)	P _{Rx} (W)	Eff. (%)
0,1	1,16	180	0,209	0,11	0,37	0,0000	0,019
0,25	1,24	178,1	0,221	0,29	0,99	0,0003	0,130
0,5	2,18	173,2	0,378	0,72	3,67	0,0026	0,700
0,75	3,34	163,6	0,546	1,74	9,83	0,0171	3,130
1	3,56	150,8	0,537	2,53	31,1	0,0787	14,65
1,25	3,84	152,4	0,585	1,97	14,6	0,0288	4,915
1,5	4,72	148,2	0,700	1,07	5,5	0,0059	0,841
1,75	5,4	140,7	0,760	0,67	3,3	0,0022	0,291
2	6	126,9	0,761	0,46	2,1	0,0010	0,127

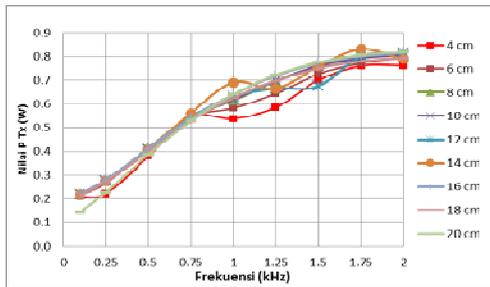
Semakin frekuensi awal (1 kHz) dikurangi dan ditambah, maka nilai daya listrik dan efisiensi daya akan semakin kecil. Ini menjelaskan bahwa rangkaian penerima menghasilkan daya listrik maksimum pada frekuensi 1 kHz. Untuk melihat perubahan nilai tegangan, arus dan daya listrik dapat dilihat pada Gambar 18, Gambar 19 dan Gambar 20



Gambar (a). Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan T_x (V) pada frekuensi 1 kHz.

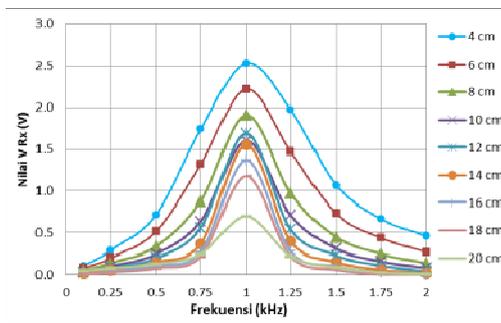


Gambar (b) Grafik hubungan antara jarak dengan arus T_x (I) pada frekuensi 1 kHz.

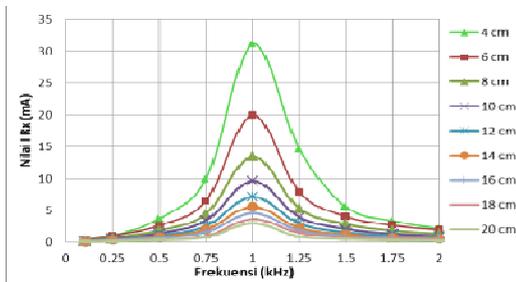


Gambar (c) Grafik hubungan antara jarak dengan daya T_x (P) pada frekuensi 1 kHz.

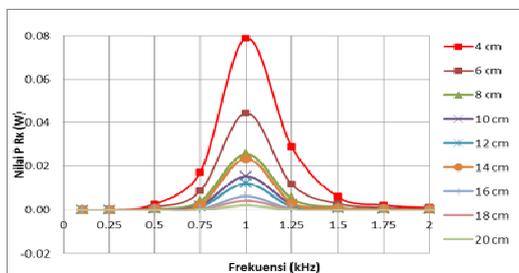
Gambar 18 (a,b,c) Grafik hubungan V, I dan P pada frekuensi 1 kHz di rangkaian pengirim.



Gambar (a) Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan R_x (V) pada frekuensi 1 kHz.

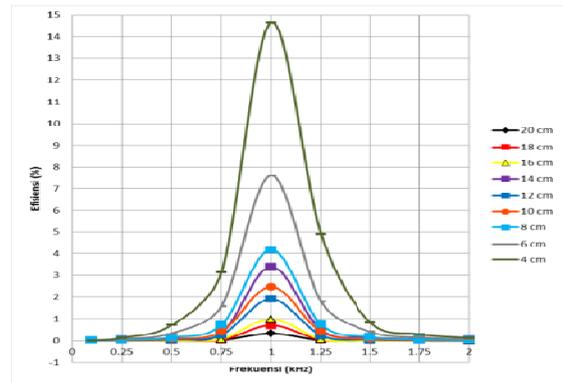


Gambar (b) Grafik hubungan antara jarak dengan arus R_x pada frekuensi 1 kHz.



Gambar (c) Grafik hubungan antara jarak dengan daya R_x (P) pada frekuensi 1 kHz.

Gambar 19 (a,b,c) Grafik hubungan frekuensi 1 kHz pada rangkaian penerima.



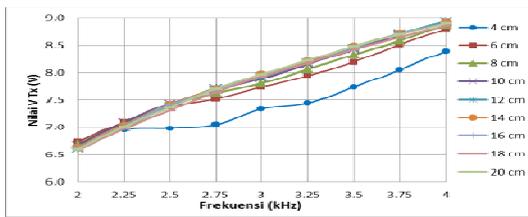
Gambar 4.20 Grafik hubungan antara jarak pengukuran dan efisiensi pada rentang frekuensi 0,1 kHz sampai dengan 2 kHz.

Gambar 20 dapat di analisa bahwa nilai efisiensi maksimum didapat pada jarak 4 cm sebesar 14,65 %. Pada titik jarak selanjutnya nilai efisiensi daya listrik semakin kecil seiring bertambahnya titik jarak pengukuran. Nilai efisiensi daya listrik maksimum yang dihasilkan di tiap titik jarak pengukuran, rata-rata terjadi pada frekuensi 1 kHz.

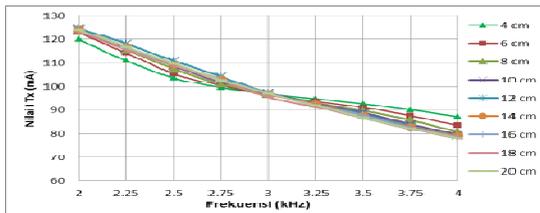
Analisa hasil pengukuran dengan function generator pada frekuensi 3 kHz. Berdasarkan Tabel 8 dapat di analisa bahwa pada jarak 4 cm antarnilai daya listrik yang maksimum ditangkap kumparan penerima sebesar 0,0956 W dan efisiensi daya listrik mencapai 13.62 %. Bila semakin frekuensi awal 3 kHz dikurangi dan ditambah, maka nilai daya listrik dan efisiensi daya akan semakin kecil. Ini menjelaskan bahwa rangkaian penerima menghasilkan daya listrik maksimum pada frekuensi 2,75 kHz. Untuk melihat perubahan nilai tegangan, arus dan daya listrik dapat dilihat pada Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23.

Tabel 8 Hasil data pengukuran pada frekuensi 3 kHz dengan jarak 4 cm.

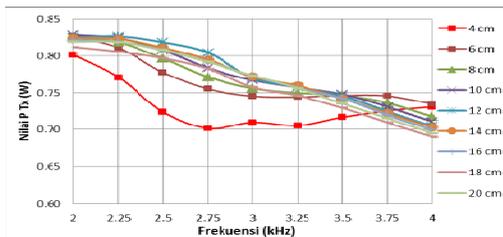
f (kHz)	V_{Tx} (V)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (W)	V_{Rx} (V)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (W)	Eff. (%)
2	6,68	120	0,802	2,02	14	0,0283	3,53
2,25	6,95	110,9	0,771	2,6	22,1	0,0575	7,46
2,5	6,98	103,7	0,724	2,8	30	0,0840	11,60
2,75	7,05	99,5	0,701	2,77	34,5	0,0956	13,62
3	7,33	96,8	0,710	2,62	34,6	0,0907	12,78
3,25	7,44	94,8	0,705	2,44	31,5	0,0769	10,90
3,5	7,73	92,7	0,717	2,24	25,8	0,0578	8,07
3,75	8,05	90,1	0,725	2,02	18,9	0,0382	5,26
4	8,39	87,1	0,731	1,71	12,5	0,0214	2,93



Gambar (a) Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan T_x (V) pada frekuensi 3 kHz.

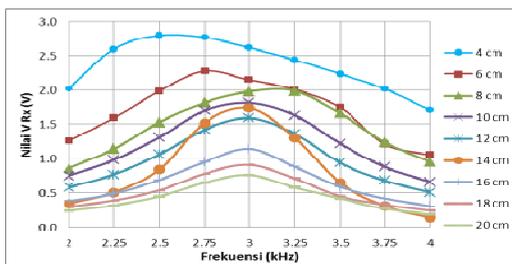


Gambar (b) Grafik hubungan antara jarak dengan arus T_x pada frekuensi 3 kHz.

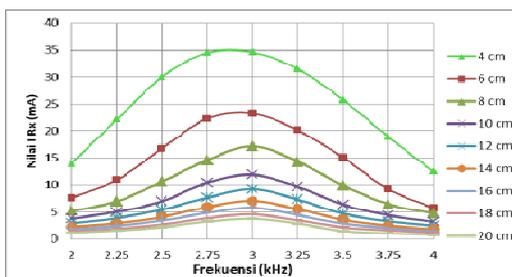


Gambra (c) Grafik hubungan antara jarak dengan daya T (P) pada frekuensi 3 kHz.

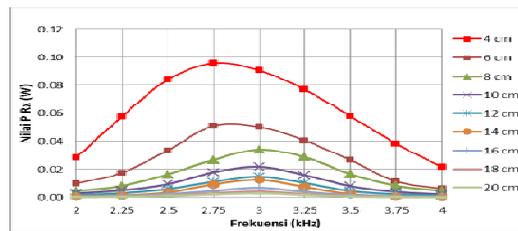
Gambar 21 (a,b,c) Grafik hubungan V, I dan P pada frekuensi 3 kHz di rangkaian pengirim.



Gambar (a) Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan R_x (V) pada frekuensi 3 kHz.

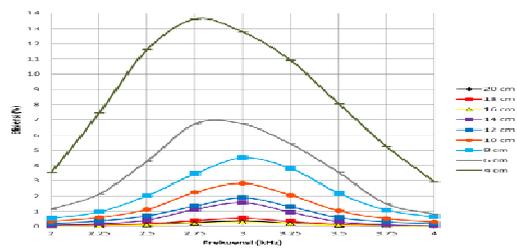


Gambar (b) Grafik hubungan antara jarak dengan arus R_x (I) pada frekuensi 3 kHz.



Gambar (c) Grafik hubungan antara jarak dengan daya R_x (P) pada frekuensi 3 kHz.

Gambar.22 (a,b,c) Grafik hubungan frekuensi 3 kHz pada rangkaian penerima.



Gambar 23 Grafik hubungan antara jarak pengukuran dan efisiensi pada rentang frekuensi 2 kHz sampai dengan 4 kHz.

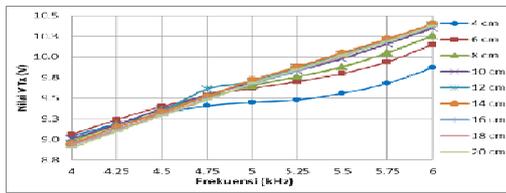
Gambar 23 dapat di analisa bahwa nilai efisiensi maksimum didapat pada jarak 4 cm sebesar 13,62 %. Pada titik jarak selanjutnya nilai efisiensi daya listrik semakin kecil seiring bertambahnya titik jarak pengukuran. Nilai efisiensi daya listrik maksimum yang dihasilkan di tiap titik jarak pengukuran, rata-rata terjadi pada frekuensi 3 kHz.

Analisa hasil pengukuran dengan *function generator* pada frekuensi 5 kHz. Berdasarkan Tabel 9 dapat di analisa bahwa pada jarak 4 cm antarnilai daya listrik yang maksimum ditangkap kumparan penerima sebesar 0,1573 W dan efisiensi daya listrik mencapai 28,61 %. Bila semakin frekuensi awal (5 kHz) dikurangi dan ditambah, maka nilai daya listrik dan efisiensi daya akan semakin kecil.

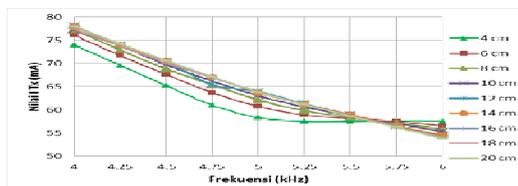
Tabel 9 Hasil data pengukuran pada frekuensi 5 kHz dengan jarak 4 cm.

f (kHz)	V_{Tx} (V)	I_{Tx} (mA)	P_{Tx} (W)	V_{Rx} (V)	I_{Rx} (mA)	P_{Rx} (W)	Eff. (%)
4	9,04	74	0,669	1,15	6,8	0,007	1,169
4,25	9,19	69,6	0,640	1,34	8,9	0,041	6,415
4,5	9,31	65,2	0,607	1,54	12,3	0,065	10,719
4,75	9,41	61	0,574	1,76	16,4	0,097	16,943
5	9,45	58,3	0,551	1,96	21,1	0,128	23,286
5,25	9,48	57,5	0,545	2,05	23,5	0,151	27,850
5,5	9,56	57,5	0,550	2,08	24,2	0,157	28,616
5,75	9,68	57,6	0,558	2,03	22,5	0,142	25,463
6	9,87	57,6	0,569	2,02	18,68	0,113	19,879

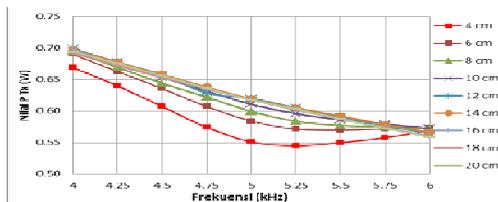
Keterangan Ini menjelaskan bahwa rangkaian penerima menghasilkan daya listrik maksimum pada frekuensi 5,5 kHz. Untuk melihat perubahan nilai tegangan, arus dan daya listrik dapat dilihat pada Gambar 24, Gambar 25 dan Gambar 26.



Gambar (a) Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan T_x (V) pada frekuensi 5 kHz.

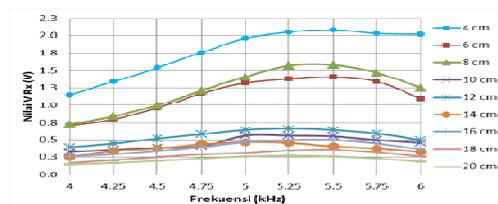


Gambar (b) Grafik hubungan antara jarak dengan arus T_x (I) pada frekuensi 5 kHz.

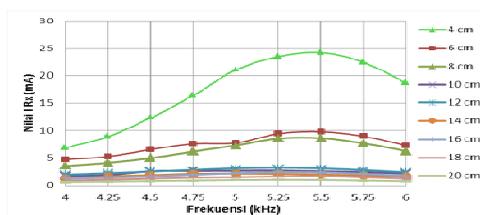


Gambar (c) Grafik hubungan antara jarak dengan daya T_x (P) pada frekuensi 5 kHz.

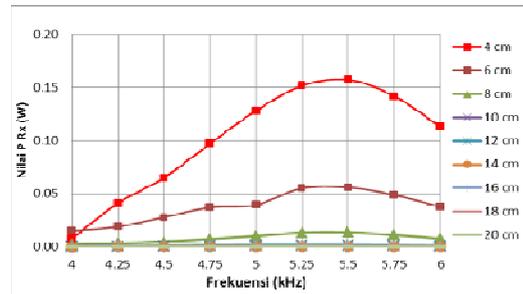
Gambar 24 (a,b,c) Grafik hubungan frekuensi 5 kHz pada rangkaian pengirim.



Gambar (a) Grafik hubungan antara jarak dengan tegangan R_x (V) pada frekuensi 5 kHz.

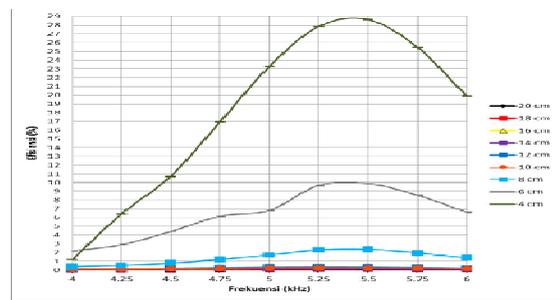


Gambar (b) Grafik hubungan antara jarak dengan arus R_x (I) pada frekuensi 5 kHz.



Gambar (c) Grafik hubungan antara jarak dengan daya R_x (P) pada frekuensi 5 kHz.

Gambar 25 (a,b,c) Grafik hubungan frekuensi 5 kHz pada rangkaian penerima (penangkap).



Gambar 26 Grafik hubungan antara jarak pengukuran dan efisiensi pada rentang frekuensi 4 kHz sampai dengan 6 kHz.

Dari Gambar 26 dapat di analisa bahwa nilai efisiensi maksimum didapat pada jarak 4 cm sebesar 28,61%. Pada titik jarak selanjutnya nilai efisiensi daya listrik turun signifikan pada jarak 6 cm dan seterusnya. Nilai efisiensi daya listrik maksimum di tiap titik jarak, rata-rata terjadi pada frekuensi 5,5 kHz.

Pengukuran Besar Medan Magnet
Pengukuran medan magnet pada frekuensi 1 kHz. Berdasarkan Tabel 10 dapat di analisa bahwa dengan jarak pertama yaitu 4 cm antara kumparan pengirim mengirimkan medan magnet sebesar 33,91 μT dengan frekuensi 1 kHz.

Tabel 10 Nilai rata-rata hasil pengukuran medan magnet pada sisi penerima (penangkap) dengan frekuensi 1 kHz.

f (kHz)	Jarak (cm)	Nilai Medan Magnet (μT)
1	4	33,91
	6	32,73
	8	33,53
	10	31,50
	12	29,54
	14	27,02
	16	22,94
	18	17,81
	20	14,09

Untuk melihat perubahan nilai medan magnet terhadap jarak pengukuran dapat dilihat pada Gambar 27.



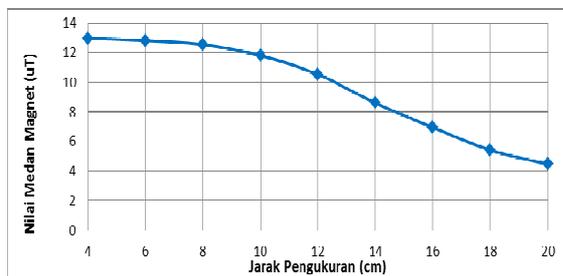
Gambar 27 Grafik perbandingan antara besar nilai medan magnet dan jarak pengukuran pada frekuensi 1 kHz.

Pengukuran medanmagnet pada frekuensi 3 kHz. Berdasarkan Tabel 11 dapat di analisa bahwa dengan jarak pertama yaitu 4 cm antara kumparan pengirim mengirimkan medan magnet sebesar 12,97 μT dengan frekuensi 3 kHz.

Tabel 11 Nilai rata-rata hasil pengukuran medan magnet pada sisi penerima (penangkap) dengan frekuensi 3 kHz.

f (kHz)	Jarak (cm)	Nilai Medan Magnet (μT)
3	4	12,97
	6	12,82
	8	12,54
	10	11,81
	12	10,54
	14	8,60
	16	6,96
	18	5,42
	20	4,47

Untuk melihat perubahan nilai medan magnet terhadap jarak pengukuran dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28 Grafik perbandingan antara besar nilai medan magnet dan jarak pengukuran pada frekuensi 3 kHz.

Pengukuran medanmagnet pada frekuensi 5 kHz. Berdasarkan Tabel 12 dapat di analisa bahwa dengan jarak pertama yaitu 4 cm antara kumparan pengirim mengirimkan

medan magnet sebesar 5,21 μT dengan frekuensi 5 kHz

Tabel 12 Nilai rata-rata hasil pengukuran medan magnet pada sisi penerima (penangkap) dengan frekuensi 5 kHz.

f (kHz)	Jarak (cm)	Nilai Medan Magnet (μT)
5	4	5,21
	6	3,95
	8	3,02
	10	2,28
	12	1,71
	14	1,36
	16	1,08
	18	0,83
	20	0,73

Untuk melihat perubahan nilai medan magnet terhadap jarak pengukuran dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29 Grafik perbandingan antara besar nilai medan magnet dan jarak pengukuran pada frekuensi 5 kHz.



Gambar 30 Grafik perbandingan antara besar nilai medan magnet dan jarak pengukuran pada tiap level frekuensi.

Berdasarkan Gambar 30 dapat di analisa bahwa hasil pengukuran medan magnet pada tiap level frekuensi berbeda-beda dengan bertambahnya besar frekuensi. Ini bisa dilihat pada nilai medan magnet di frekuensi antara 1 kHz dan 3 kHz, nilai yang dihasilkan cukup signifikan. Pada frekuensi 5 kHz nilai medan magnet yang dihasilkan sedikit mengalami penurunan.

Menurut PER.13/MEN/X/2011, nilai medan magnet yang terukur pada frekuensi 1 kHz, 3 kHz dan 5 kHz dalam penelitian ini dibawah 0,2 mT sehingga aman bagi manusia.

KESIMPULAN

1. Perancangan kumparan penerima (penangkap) yang telah dirancang dapat bekerja menerima daya listrik yang di transfer dari rangkaian *oscillator* dan *function generator*.
2. Pengukuran dengan rangkaian *oscillator*, nilai efisiensi daya listrik maksimum pada level frekuensi 1 kHz sebesar 2,79 % dan jarak transfer maksimum 10 cm, level frekuensi 3 kHz sebesar 18,05 % dan jarak transfer maksimum 20 cm dan pada level frekuensi 5 kHz sebesar 6,41 % dan jarak transfer maksimum 10 cm. Nilai frekuensi yang terukur dengan osiloskop masing-masing bernilai untuk level frekuensi 1 kHz = 1,39 kHz, level frekuensi 3 kHz = 3,57 kHz dan level frekuensi 5 kHz = 6,9 kHz. Semakin jauh jarak antara kumparan pengirim dan penerima (penangkap) maka daya dan efisiensi daya listrik yang dihasilkan semakin kecil.
3. Pengukuran dengan *function generator* pada kumparan pengirim, nilai efisiensi daya listrik maksimum yang dihasilkan kumparan penerima (penangkap) pada level frekuensi 1 kHz = 14,65 % di rata-rata frekuensi 1 kHz, level frekuensi 3 kHz = 13,62 % di rata-rata frekuensi 3 kHz dan level frekuensi 5 kHz = 28,61 % di rata-rata frekuensi 5,5 kHz.
4. Nilai rata-rata medan magnet maksimum yang terukur pada level frekuensi 1 kHz = 33,91 μT , level frekuensi 3 kHz 12, 97 μT dan level frekuensi 5 kHz = 5,21 μT . Semakin jauh jarak pengukuran medan elektromagnetik, nilai medan magnet yang terukur semakin kecil.
5. Menurut PER.13/MEN/X/2011 nilai medan magnet yang terukur pada tiap level frekuensi rata-rata nilai medan magnetnya berada dibawah 0,2mT sehingga aman bagi tubuh manusia.
6. Nilai hasil daya listrik dan efisiensi yang telah dilakukan masih jauh dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Muhamad Atar (2012) dan Ngurah Tegar M.(2014) yang menggunakan rangkaian sistem dan model kumparan yang berbeda.
2. Nilai efisiensi daya listrik yang dihasilkan dari alat transfer listrik tanpa kabel masih kurang besar. Untuk itu diperlukan pengembangan dari rangkaian dan kumparan pada pengirim dan penerima (penangkap).
3. Dalam pengukuran sistem transfer listrik tanpa kabel ini diperlukan alat ukur yang baik dan presisi seperti amperemeter dan voltmeter serta osiloskop yang bagus dan baik sehingga dapat mengukur nilai arus, tegangan dan gelombang keluaran dari sistem transfer listrik tanpa kabel.
4. Bentuk, dimensi dan nilai induktansi dari kumparan pada pengirim dan penerima harus sesuai dengan perhitungan yang digunakan agar kumparan pengirim dan penerima (penangkap) dapat beresonansi pada frekuensi yang sama dan mendapatkan nilai efisiensi daya listrik yang besar.
5. Dapat digunakan dalam referensi penelitian selanjutnya untuk pemilihan bahan/material kumparan dan komponen elektronika seperti R dan C.

DAFTAR PUSTAKA

- Atar, M., 2012. *Perancangan Penghantar Daya Nirkabel*, Skripsi, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Boylestad, R., Nashelsky, L., 1998, *Electronic Devices And Circuit Theory*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Irawan, H., 2013. *Rancang Bangun Sistem Transfer Daya Listrik Nirkabel Menggunakan Prinsip Induksi & Resonansi Magnetik*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram.
- Mahardika, N.T., 2014. *Analisis Perangkat Transmisi Untuk Wireless Energy Transfer*, *Journal of Control and Network Systems (JCONES)*, Vol. 3, No. 1 (2014) pp. 112-119.
- Latif, M., Nazir, R., reza, H., 2013. "Analisa Proses Charging Akumulator Pada Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Di Pantai Purus Padang", *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Vol: 2 No.1 Maret 2013, ISSN : 2302-2949

SARAN

1. Dalam perancangan sistem transfer listrik tanpa kabel diperlukan perhitungan dan pengukuran nilai dan pemilihan komponen L dan C yang digunakan sesuai dengan frekuensi yang diinginkan.

Octora, M., 2010. *Analisa Dan Rancang Bangun Rangkaian Penerima Pada Sistem Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel*, Skripsi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

Swamardika, I.B.A. 2009. "Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia (Suatu Kajian Pustaka). Artikel Ilmiah. Buletin Teknologi Elektro. Vol.8., No. 1., Januari-Juni., pp.106-109.

Terman, F.E., 1943, *Radio Engineers Handbook, First Edition*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.

Wijaya K., Hariadi, 2012. *Rancang Bangun Sistem Transfer Energi Tanpa Kabel (Wireless) Menggunakan Kopling Induksi dan Resonansi Untuk Charger Hand Phone (HP)*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram.