

Analisis Besaran Frekuensi Terhadap Daya Listrik Pada Rangkaian Transmisi Listrik Nirkabel

Fauzi^{#1}, Syukriyadin^{*2}, Mahdi Syukri^{#3}

[#] Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam, Banda Aceh 23111, Indonesia

¹fauzi.yama06@gmail.com

²syukriyadin_2504@unsyiah.net

³mahdisyukri@yahoo.co.id

Abstrak— Energi listrik merupakan suatu kebutuhan utama dalam kehidupan masyarakat yang disalurkan melalui saluran listrik baik tegangan tinggi ataupun rendah. Salah satu konsep yang digunakan saat ini masih tahap pengembangan yaitu teknologi transmisi listrik nirkabel (*Wireless*). Transmisi nirkabel ini merupakan pengiriman energi listrik tanpa kabel dari *transmitter* (pengirim) menuju *receiver* (penerima). Teknologi ini menggunakan prinsip induktansi bersama yang dapat menghantarkan energi listrik melalui medan magnet dihasilkan dari salah satu kumparan yang dialiri listrik. Efisiensi dari prinsip induktansi bersama berdasarkan jarak antara *transmitter* (pengirim) dan *receiver* (penerima), serta frekuensi. Pembangkitan nilai frekuensi menggunakan rangkaian osilator. Hasil yang didapat daya maksimum pada *receiver* dengan frekuensi *transmitter* 133.5 KHz sebesar 0.018144 W, frekuensi 123.5 KHz sebesar 0.01768 W, dan frekuensi 119.8 KHz sebesar 0.017346 W.

Kata Kunci— Induktansi bersama, Frekuensi, Osilator, Transmitter, Receiver

I. PENDAHULUAN

Dokumen Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama manusia dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan listrik terus mengalami perkembangan. Seiring perkembangan penggunaan alat-alat listrik tersebut tentunya juga akan meningkatkan penggunaan kabel listrik sebagai media penghantar listrik. Kabel listrik merupakan penghantar yang terdiri dari tembaga sebagai konduktor dan lapisan karet sebagai isolator.

Meningkatnya penggunaan kabel listrik tentunya menimbulkan dampak negatif yaitu dari segi biaya pengeluaran maupun hubung singkat yang bisa memicu kebakaran akibat kerusakan fisik pada kabel listrik. Oleh karena itu, saat ini sudah muncul berbagai inovasi teknologi yang dapat mentransmisikan energi listrik tanpa kabel (*wireless power transmitter*).

Transmisi listrik tanpa kabel merupakan proses pengiriman energi listrik dari sumber ke beban tanpa menggunakan kabel sehingga lebih efisien dan praktis dimana penggunaan kabel terkadang dapat menyulitkan dalam proses instalasi listrik dan dapat menekan biaya atau bahkan dihilangkan untuk biaya kabel listrik. Teknologi ini memiliki 2 bagian utama yaitu *transmitter* (pengirim) terdiri dari kumparan tembaga yang

dialirkan daya listrik berfrekuensi tinggi dan *receiver* (penerima) juga kumparan tembaga yang akan menerima daya listrik [1].

Penelitian mengenai teknologi transmisi listrik nirkabel ini telah dilakukan pertama kali oleh seorang ilmuwan pada tahun 1899 yang bernama Nikola Tesla. Dari percobaan yang dilakukan tersebut menghasilkan sebuah alat yang dapat mentransmisikan tegangan sangat tinggi, arus yang kecil, dan frekuensi yang sangat tinggi melalui udara atau nirkabel. Nikola Tesla berhasil menyalakan 200 lampu serta satu motor listrik dalam radius 26 mil (41.8 km). Alat ini disebut atas nama dirinya sendiri, yaitu *Tesla Coil*. Akan tetapi, penemuan dan teknologi ini harus dihentikan di masa itu karena berdampak negatif karena dapat merusak perangkat elektronik di sekitarnya dan dapat membahayakan manusia disebabkan karena efek samping dari tegangan tinggi yang ditransmisikan.

Teknologi ini harus terus ditingkatkan karena masih rendahnya persentase transmisi daya yang dibangkitkan dan yang diterima. Oleh karena itu, dengan adanya tugas akhir ini bisa menjadi penyempurnaan dalam teknologi transmisi listrik tanpa kabel dengan pembangkitan sinyal menggunakan rangkaian osilator.

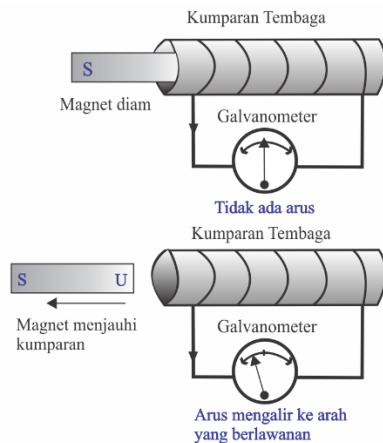
Rangkaian osilator atau rangkaian pembangkit sinyal (*signal generator*) merupakan rangkaian yang dapat menghasilkan berbagai bentuk gelombang tanpa sumber sinyal eksternal dan hanya memiliki satu-satunya masukan yaitu sumber tegangan DC/searah. Sinyal yang dihasilkan dari rangkaian ini bentuk dan nilai frekuensinya dapat disesuaikan berdasarkan desain rangkaian dan komponen yang digunakan dengan memperhatikan kestabilan dan nilai distorsi [2].

II. DASAR TEORI

A. Prinsip Induksi Elektromagnetik

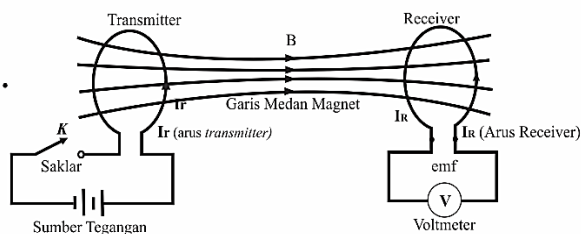
Peristiwa yang menyebabkan timbulnya GGL (Gaya Gerak Listrik) di suatu kumparan atau kawat penghantar sehingga menyebabkan perubahan pada garis-garis gaya magnet (fluks magnetik) disebut dengan induksi elektromagnetik. Pada percobaan Michael Faraday membuktikan jika medan magnet yang nilai fluksnya berubah-ubah dapat menghasilkan arus listrik. Medan magnet konstan tidak menghasilkan arus listrik.

Dalam setiap kasus, fluks itu berubah baik disebabkan medan magnetik yang berubah terhadap waktu maupun karena kumparan itu sedang bergerak melalui sebuah medan magnetik non-homogen. Hukum induksi faraday menyatakan bahwa dalam semua situasi induksi sebanding dengan kecepatan perubahan fluks magnetik (Φ_B) yang melewati kumparan tersebut [3].



Gambar 1 Percobaan Pertama Faraday

Pada percobaan pertama dari Michael Faraday seperti yang ditunjukkan gambar 1, ketika kutub utara magnet batang digerakkan masuk ke dalam kumparan, jumlah garis gaya-gaya magnet yang terdapat di dalam kumparan bertambah banyak yang menyebabkan GGL induksi pada ujung kumparan. Arah arus induksi dapat ditentukan dengan memperhatikan arah medan magnet yang ditimbulkan. Disaat magnet masuk, garis gaya pada kumparan bertambah sehingga medan magnet hasil arus induksi mengurangi garis gaya tersebut.



Gambar 2 Percobaan Kedua Faraday

Pada percobaan kedua faraday seperti gambar 2 apabila saklar (K) ditutup, arus mengalir melalui kumparan pertama yaitu pada transmitter sehingga timbul medan magnetik. Karena digunakan sumber DC maka perubahan medan magnet hanya terjadi sesaat dan akan menimbulkan arus sesaat pada kumparan kedua dan kembali ke nol. Hal yang sama juga terjadi bila saklar kembali dibuka dengan arah arus yang berlawanan. Dari peristiwa ini dapat disimpulkan bahwa arus induksi hanya terjadi bila terjadi perubahan medan magnetik. Bila arus yang mengalir besar berapapun besarnya tetapi medan magnetnya konstan tidak berubah-ubah terhadap

waktu seperti arus DC, maka tidak akan menghasilkan arus induksi.

Ada tiga faktor yang mempengaruhi besarnya ggl induksi yang dihasilkan, diantaranya :

- Kecepatan gerakan magnet atau kecepatan perubahan jumlah garis-garis gaya magnet (fluks magnetik). Semakin cepat perubahan medan magnet, maka ggl yang dihasilkan semakin besar.
- Jumlah lilitan. Semakin banyak jumlah lilitan maka ggl induksi yang dihasilkan juga semakin besar.
- Medan magnet. Semakin kuat gejala kemagnetannya maka ggl induksi yang dihasilkan akan semakin besar.
- Untuk mengetahui nilai besaran medan magnet didalam kumparan dapat menggunakan hukum Ampere :

$$B = \mu_0 n I \quad (1)$$

Dengan :

B = Besar medan magnet (T)

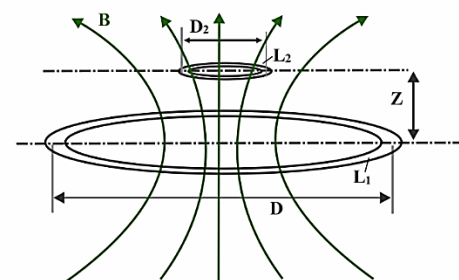
μ_0 = Permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$)

n = Jumlah lilitan per satuan panjang (m^{-1})

I = Arus Listrik (A)

B. Prinsip Pengiriman Energi Dengan Induksi Resonansi Magnetik

1) *Resonansi Kopling Magnetik*: Sistem transmisi energi listrik nirkabel ini sangat bergantung pada medan magnet yang dihasilkan antenna konduktor transmitter (pengirim) agar dapat menginduksi di antenna konduktor receiver (pengirim). Efek ini terjadi di daerah sekitar medan elektromagnetik, dengan receiver (pengirim) yang berdekatan dengan transmitter (pengirim). Semakin jauh jarak antara kedua rangkaian, maka semakin hilang medan elektromagnetik di antara kedua antenna konduktor. Bahkan pada rentang yang relatif dekat, kopling induktif tidak begitu efisien dan banyak terjadi rugi-rugi pada energi yang ditransfer [4].

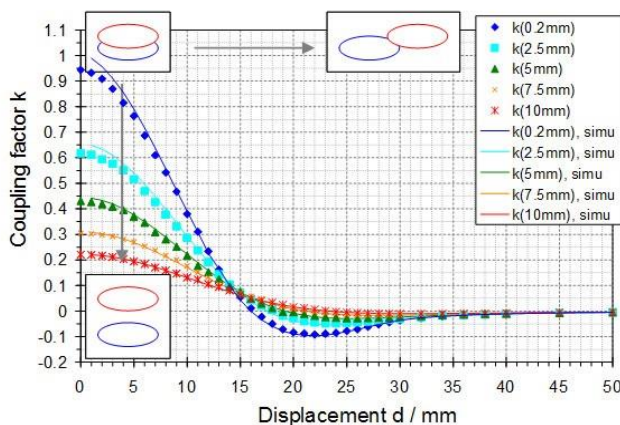


Gambar 3 Induksi Pada Resonansi Kopling Induktif

Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3, Sistem transfer daya induktif terjadi pada dua kumparan terpisah yang menginduksi satu sama lain. Kumparan D (Transmitter) dan Kumparan D_2 (Receiver) yang terpisahkan oleh sebuah jarak Z . Kumparan transmitter menginduksi Kumparan receiver dengan besaran medan magnet B sehingga Kumparan receiver akan terinduksi. Efisiensi yang baik terjadi bila kedua Kumparan beresonansi, dimana kedua Kumparan memiliki

karakteristik impedansi yang sama sehingga seakan-akan kumparan tersebut seperti bersifat resistif murni.

Efisiensi transfer daya dipengaruhi oleh *coupling factor*. *Coupling factor* adalah nilai konstanta yang mempresentasikan besarnya kemungkinan penetrasi fluks magnet dari satu kumparan ke kumparan yang lain. Nilai dari *coupling factor* itu sendiri ada di antara angka 0 dan 1. Dimana 0 berarti nilai *coupling factor* yang buruk dan nilai 1 berarti *coupling factor* yang baik. Nilai *coupling factor* yang biasa didapatkan dari sebuah desain kumparan *transmitter* dan *receiver* adalah sekitar 0.3 sampai 0.6. Berikut ini merupakan gambar yang dapat dijadikan pedoman untuk mendesain kumparan *transmitter* (pengirim) ataupun kumparan *receiver* (penerima) [5].

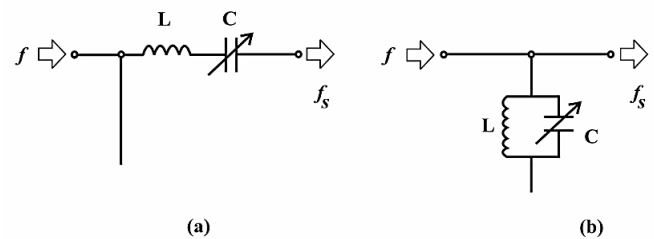


Gambar 4 Kurva *coupling factor* terhadap posisi kumparan

Secara umum, sistem resonansi frekuensi dan resonansi elektromagnetik memiliki hal yang sama, yaitu memiliki nilai efektif pada radius tertentu. Namun, jika pada radius efektif tersebut terdapat sumber medan elektromagnet atau penangkap gelombang elektromagnet lain yang memiliki frekuensi resonansi yang sama dengan sistem sebelumnya, maka akan terjadi penggabungan dengan sistem elektromagnet yang telah ada dan akan membentuk hubungan resonansi elektromagnet yang lebih besar [6].

Dengan kata lain sistem ini tidak hanya terbatas pada sebuah sumber energi dan sebuah penerima energi saja. Tetapi, sistem ini dapat terdiri atas beberapa sumber energi dan beberapa penerima energi selama mereka terdapat didalam radius efektif dari sistem elektromagnet dan memiliki frekuensi resonansi yang sama.

2) *Prinsip Resonansi*: Sistem Rangkaian resonansi disebut juga sebagai rangkaian penala, yaitu rangkaian yang dapat menala sinyal dengan frekuensi tertentu dari satu band frekuensi. Rangkaian resonansi pada dasarnya tersusun dari sebuah kapasitor dan sebuah induktor yang terhubung baik seri ataupun paralel. Pada umumnya rangkaian resonansi yang digunakan berbentuk paralel.



Gambar 5 Bentuk rangkaian resonansi : (a) Seri; (b) Paralel

Agar dapat menganalisa frekuensi yang dapat dihasilkan dari rangkaian LC, dapat dianalogikan dengan nilai reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif, sehingga dapat dibuat persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ 2\pi fL &= \frac{1}{2\pi fC} \\ 2\pi f^2L &= \frac{1}{2\pi C} \\ f^2 &= \frac{1}{2\pi^2LC} \\ f &= \frac{1}{\sqrt{2\pi^2LC}} \end{aligned}$$

Di sederhanakan menjadi :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2)$$

Dengan:

X_L = reaktansi induktif

f = frekuensi resonansi

L = induktansi

C = kapasitansi

C. Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator merupakan bagian dalam transmisi listrik nirkabel, dimana gelombang denyut yang dihasilkan rangkaian osilator pada dasarnya menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah. Apabila radiasi medan elektromagnetik tersebut terkena kumparan/konduktor yang berada dalam jarak radiasinya maka akan menyebabkan timbulnya arus pada kumparan tersebut (percobaan faraday) [7].

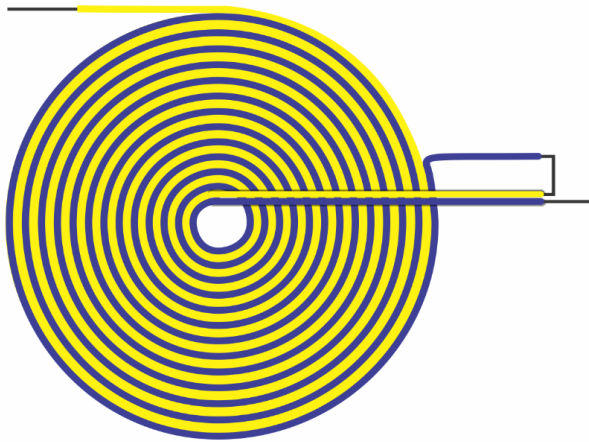
Rangkaian osilator menjadi bagian penting dalam sistem *wireless power*, dimana gelombang denyut yang dihasilkan rangkaian osilator pada dasarnya menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah. Dan jika radiasi medan elektromagnetik tersebut terkena kumparan yang berada dalam jarak radiasinya maka akan menyebabkan timbulnya arus pada kumparan tersebut.

D. Rangkaian Osilator

Dalam proses mentransmisikan energi listrik dari rangkaian transmitter (pengirim) ke receiver (penerima) dibutuhkan sebuah kumparan yang dijadikan sebagai antena. Fungsi antena mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik dan kemudian meradiasikannya (pelepasan energi elektromagnetik ke udara/ruang bebas). Begitu juga sebaliknya, antena juga dapat berfungsi sebagai penerima

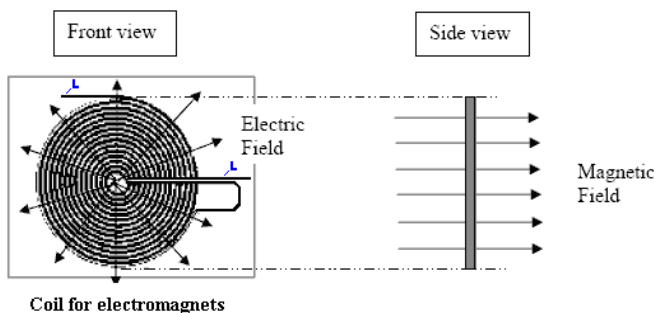
sinyal elektromagnetik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik [8].

Dalam tugas akhir ini, digunakan kumparan dengan tipe lilitan bifilar pancake coil, berikut ini gambarnya :



Gambar 6 bifilar pancake coil

Pada gambar 6, hal yang mempengaruhi nilai induktansi lilitan tersebut diantaranya jumlah lilitan, ukuran dari jari-jari lilitan serta lebar dari kumparannya [9].



Gambar 7 Arah medan listrik dan medan magnet

Dari gambar 7 merupakan arah dari medan listrik dan medan magnet pada kumparan *bifilar coil pancake*. Perhitungan dari nilai induktansi untuk jenis kumparan gambar 7.

$$L_{\text{loop}} = \mu_0 \mu_r \frac{D}{2} \cdot \left(\ln \frac{8D}{d} - 2 \right) \quad (3)$$

Sehingga induktor totalnya adalah :

$$L_{\text{loop}} = \Sigma L_{\text{Loop}} \quad (4)$$

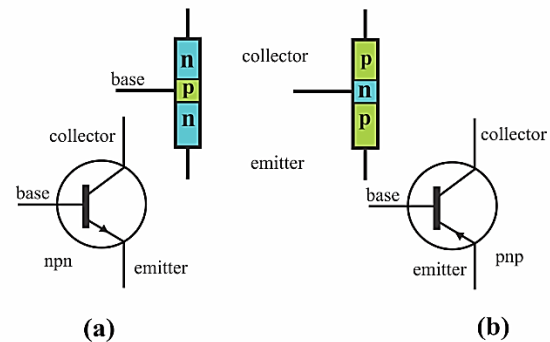
Dimana :

- L_{loop} : Induktansi *loop* 1 kawat (H)
- L_{total} : Induktansi total *loop* (H)
- μ_0 : Permeability magnet ($4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m)
- μ_r : Relative Permeability magnet (1)
- D : Diameter loop (m)
- d : Diameter kawat (m)

E. Transistor

Transistor merupakan sebuah komponen elektronik yang memiliki tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah Emiter

(E), Kolektor (C), dan Basis (B). Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal kolektor. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik.



Gambar 8 (a) Transistor NPN (b) Transistor PNP

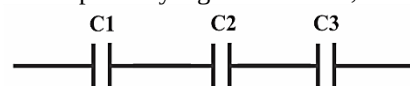
Pada gambar 8 (a) menunjukkan sebuah Kristal NPN, Emiter di dope sangat banyak dan berfungsi untuk mengemisikan atau menginjeksikan electron ke dalam basis. Basis melewati sebagian besar electron-electron yang diinjeksikan emitter ke kolektor. Kolektor mengumpulkan atau menangkap electron-elektron dari basis. Kolektor merupakan bagian yang terbesar dari ketiga bagian tersebut. Transistor pada gambar 8 (a) mempunyai dua sambungan (junction), satu diantara emitter dan basis lainnya diantara basis dan kolektor. Karena inilah, sebuah transistor sama seperti dua buah diode.

Pada gambar 8 (b) menunjukkan kemungkinan yang lain, yaitu sebuah transistor PNP. Transistor PNP merupakan komplemen dari transistor NPN. Pembawa muatan mayoritas pada emitter adalah hole, sebagai pengganti dari muatan bebas. Ini berarti, pada transistor PNP dibutuhkan arus dan tegangan yang berlawanan dengan transistor NPN [10].

F. Kapasitor

Kapasitor merupakan sebuah komponen elektronika yang dapat menyimpan energi/ muatan listrik di dalam medan listrik, dengan cara mengumpulkan ketidakseimbangan internal dari muatan listrik. Kapasitor tersusun dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Muatan positif pada kapasitor tidak dapat mengalir menuju kutub negatif, dan begitu juga sebaliknya karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak terjadinya konduksi pada ujung-ujungnya.

Dalam perhitungan kapasitor, kapasitor disusun berdasarkan seri dan parallel. Rangkaian kapasitor secara seri mengakibatkan nilai kapasitansi total nilai kapastitansi semakin kecil. Kapasitor yang tersusun seri, antara lain :

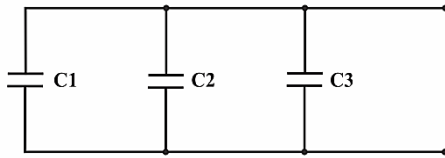


Gambar 9 Kapasitor tersusun secara seri

Dari gambar 9, perhitungan yang dapat dilakukan jika kapasitor tersusun secara seri adalah :

$$\frac{1}{C_{total}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (5)$$

Kapasitor yang tersusun secara paralel akan menyebabkan nilai kapasitansi pengganti menjadi semakin besar. Kapasitor yang tersusun paralel antara lain :



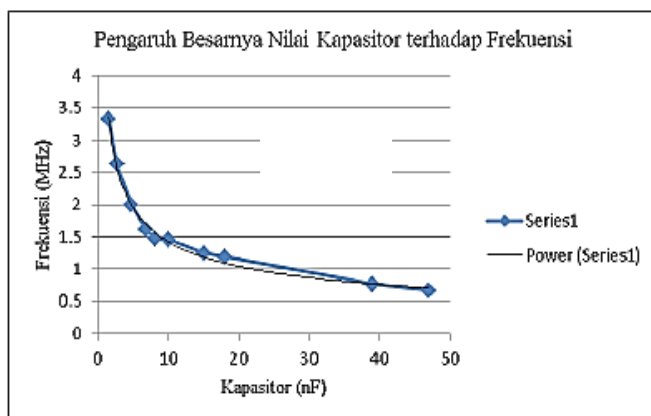
Gambar 10 Kapasitor tersusun secara paralel

Pada gambar 10, kapasitor yang tersusun secara paralel dapat menggunakan rumus :

$$C_{total} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (6)$$

Fungsi dari kapasitor dari rangkaian yang memiliki antena adalah sebagai pembangkitnya nilai frekuensi [11].

1) *Pengaruh Kapasitansi Kapasitor Terhadap Frekuensi Pada Rangkaian Transmitter* : Penambahan kapasitor sangat mempengaruhi dari nilai frekuensi yang dihasilkan oleh transmitter (pengirim). Berikut ini grafik pengaruh besarnya kapasitansi kapasitor dengan frekuensi, yaitu :



Gambar 11 Grafik hubungan kapasitor terhadap frekuensi

Dari hasil grafik, semakin besar nilai kapasitor maka akan memperkecil nilai frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian *transmitter* (pengirim) [12].

2) *Pengaruh Besar Frekuensi Terhadap Tegangan*: Dari penelitian yang telah dilakukan, terjadi perubahan yang signifikan baik dari frekuensi maupun dari tegangan RMS. Dengan adanya kenaikan jumlah kapasitor maka perbandingan akan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi yang dihasilkan dan sebanding lurus dengan kenaikan tegangan pada sistem. Semakin kecil nilai frekuensi akan berpengaruh pada kecepatan rambat (jika kita asumsikan panjang gelombang selalu sama). Dengan lambatnya

kecepatan rambat pada sistem maka akan mempengaruhi penghantaran daya [13].

G. Satuan Kekuatan Sinyal

Sebuah satuan dB (decibel) merupakan satuan perbedaan (atau sebuah rasio) antara kekuatan dari daya pancar sinyal. Penggunaan satuan ini untuk menunjukkan efek dari sebuah perangkat terhadap kekuatan atau daya pancar suatu sinyal. Satuan dBm (dB milliWatt) merupakan satuan dari kekuatan sinyal atau daya pancar (Strength or Power Level). Nilai 0 dBm dapat didefinisikan sebagai 1 mW (milliWatt) beban daya pancar. Daya pancar yang kecil merupakan angka negatif (contoh : -89 dBm) [14].

Adapun rumus yang digunakan untuk mengkonversi nilai dari dBm ke watt ataupun sebaliknya, yaitu :

$$P \text{ (watt)} = \frac{10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}}{1000} \text{ watt} \quad (7)$$

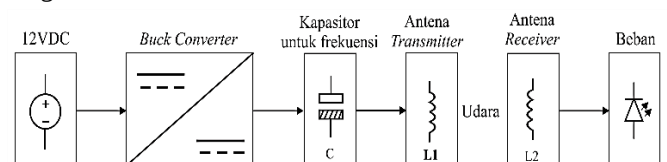
$$\text{dBm} = \log_{10}(\text{mW}) * 10 \quad (8)$$

H. Free Pathloss

Free pathloss merupakan dimana sebuah sinyal yang menjauhi sumbernya semakin lama akan menghilang. Adanya pathloss merupakan rugi-rugi lintasan yang terjadi antara antena *transmitter* (pengirim) dengan antena *receiver* (penerima). *Pathloss* secara umum didefinisikan sebagai penurunan kuat medan secara menyeluruh sesuai bertambah jauhnya jarak antara pemancar dan penerima. Pengaruhnya sangat kuat, sehingga menimbulkan penurunan level daya pada sinyal yang diterima [15].

III. METODE PENELITIAN

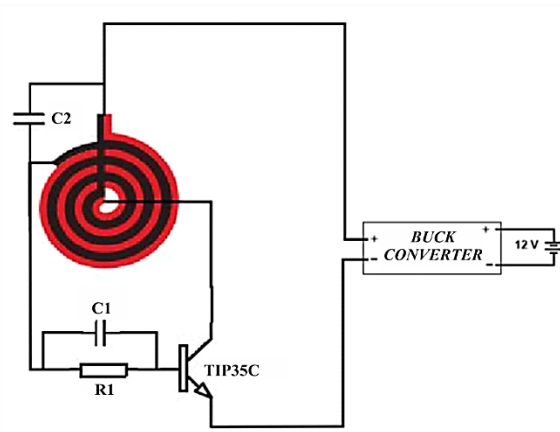
.Perancangan keseluruhan sistem ini dapat dilihat pada diagram blok berikut ini :



Gambar 12 Blok diagram untuk rangkaian transmisi listrik nirkabel

A. Rangkaian transmitter (pengirim)

. Pada penelitian ini, sumber yang digunakan adalah tegangan dari baterai aki 12 Volt dengan nilai tegangan percobaan dibatasi 6V – 10V yang diturunkan menggunakan *buck converter*. Penggunaan baterai aki agar nilai tegangan masukan stabil dibandingkan dengan adaptor yang bersumber PLN. Tegangan akan berbeda-beda pada setiap besaran frekuensi. Frekuensi yang dibangkitkan dari rangkaian osilator. Osilator dirangkaian ini terletak pada TIP35C. Frekuensi osilator dihasilkan dengan menentukan besarnya nilai kapasitor yang terpasang pada rangkaian.



Gambar 13 Rangkaian transmitter (pengirim)

Rancangan antenna induktor menggunakan model *bifilar pancake coil*. Dalam perakitan antenna Kumparan transmitter (pengirim) dan receiver (pengirim) menggunakan kabel NYA 1 kawat dengan diameter 1.5 mm (0.0005 meter) dengan panjang 2.79 meter. Setelah dilakukannya penggulungan seperti gambar 6, maka kan didapatkan seperti pada tabel di bawah ini :

TABEL I
DIAMETER GULUNGAN KABEL

LOOP KE	DIAMETER (D)	
	Dalam millimeter (mm)	Dalam Meter (m)
1	30	0.03
2	36	0.036
3	44	0.044
4	51	0.051
5	57	0.057
6	63	0.063
7	68	0.068
8	74	0.074
9	80	0.08
10	86	0.086
11	92	0.092
12	97	0.097
13	103	0.103
14	109	0.109
15	115	0.115
16	120	0.12
17	126	0.126
18	131	0.131
19	137	0.137
20	143	0.143
21	149	0.149
22	160	0.16

Dari tabel 1 saatnya kita cari nilai induktansi dengan menggunakan persamaan (3) dan (4), maka perhitungan total jumlah induktansi kabel bisa dilihat pada tabel 2

TABEL III
PERHITUNGAN NILAI LLOOP DAN Ltotal

LOOP KE	D (m)	d (m)	μ_0 (M/m)	μ_1	L_{loop} (H)
1	0.03	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	4.49×10^{-8}
2	0.036	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	5.80×10^{-8}
3	0.044	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	7.64×10^{-8}
4	0.051	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	9.33×10^{-8}
5	0.057	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	1.08×10^{-7}
6	0.063	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	1.24×10^{-7}
7	0.068	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	1.37×10^{-7}
8	0.074	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	1.53×10^{-7}
9	0.08	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	1.69×10^{-7}
10	0.086	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	1.86×10^{-7}
11	0.092	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	2.02×10^{-7}
12	0.097	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	2.17×10^{-7}
13	0.103	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	2.34×10^{-7}
14	0.109	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	2.51×10^{-7}
15	0.115	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	2.69×10^{-7}
16	0.12	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	2.84×10^{-7}
17	0.126	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	3.02×10^{-7}
18	0.131	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	3.17×10^{-7}
19	0.137	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	3.36×10^{-7}
20	0.143	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	3.54×10^{-7}
21	0.149	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	3.73×10^{-7}
22	0.16	0.0015	$4\pi \cdot 10^{-7}$	1	4.08×10^{-7}
L_{total} (H)					4.6973×10^{-6}

Dari hasil perhitungan total besar induktansi setelah dilakukannya penggulungan adalah 4.6973×10^{-6} H atau $4.6973 \mu\text{H}$.

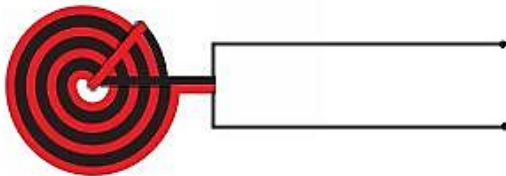
B. Rangkaian receiver (penerima)

Rangkaian *receiver* (penerima) merupakan sebuah rangkaian perangkat yang menerima daya yang dihasilkan dari rangkaian *transmitter* (pengirim). Pada kumparan *receiver* (penerima) energi listrik, semakin banyak lilitan maka semakin besar tegangan keluaran, hal ini sesuai dengan persamaan ideal transformator

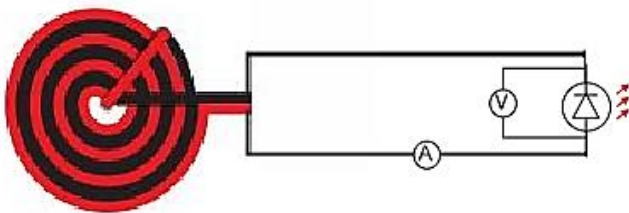
$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (9)$$

Sesuai dengan rancangan *transmitter* (pengirim) sebagai primer transformator, jumlah gulungan N_p adalah 22 gulungan dan tegangan V_p adalah 6V-10V. Jika diinginkan tegangan disisi *receiver* (penerima) sebagai sekunder transformator dapat menerima (V_s) 6V – 10 V) maka jumlah gulungan N_s adalah 22 lilitan.

1) *Pengukuran Tanpa Beban*: Pada pengukuran tanpa beban, tegangan sumber melalui sisi transmitter (pengirim) diberikan secara bertahap, dari 6v hingga 10 v. pengukuran tegangan dilakukan pada sisi receiver (penerima) dengan jarak antara kumparan transmitter (pengirim) dan receiver (penerima) di batasi dengan jarak 1cm hingga 5 cm. Masing- masing pengukuran di lakukan pada kelipatan 1 cm. Rangkaian pengukuran tanpa beban dapat dilihat pada gambar 14 berikut :

Gambar 14 Rangkaian receiver (*penerima*) tanpa beban

2) *Pengukuran Dengan Beban*: Pada pengukuran ini, pemakaian beban adalah sebuah LED yang terpasang pada sisi receiver (penerima). Pengukuran yang dilakukan meliputi tegangan pada sisi receiver (penerima) setelah ditambah beban serta arus yang mengalir pada beban. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran secara bergantian. Rangkaian pengukuiran dengan menggunakan multimeter dapat dilihat pada gambar 15 sebagai berikut :

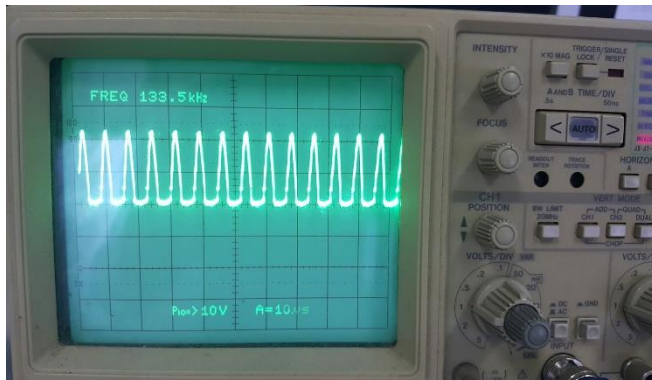
Gambar 15 Rangkaian receiver (*penerima*) dengan beban**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini menampilkan hasil dari percobaan dari frekuensi terhadap daya yang diterima pada sisi *receiver* (penerima).

A. Hasil Percobaan Frekuensi PertamaTABEL IIIII
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI 133.5 KHz
TERHADAP TEGANGAN DAN ARUS

Jarak (cm)	Tegangan Transmitter (V)	Frekuensi Transmitter (KHz)	Tegangan Receiver (V)		Arus Receiver (A)	Daya Receiver (W)
			Tanpa Beban	Dengan Beban		
1	6 V	133.5	1.269	0.864	0.021	0.01814 ₄
2			1.168	0.876	0.016	0.01401 ₆
3			1.029	0.817	0.012	0.00980 ₄
4			0.896	0.741	0.008	0.00592 ₈
5			0.702	0.61	0.004	0.00244
1	7 V	133.5	1.303	0.868	0.021	0.01822 ₈
2			1.15	0.857	0.016	0.01371 ₂
3			1.007	0.803	0.011	0.00883 ₃
4			0.867	0.713	0.007	0.00499 ₁
5			0.662	0.575	0.003	0.00172 ₅
1	8 V	133.5	1.297	0.855	0.019	0.01624 ₅
2			1.203	0.859	0.016	0.01374 ₄
3			1.03	0.805	0.011	0.00885 ₅
4			0.85	0.699	0.006	0.00419 ₄
5			0.605	0.539	0.003	0.00161 ₇
1	9 V	133.5	1.325	0.784	0.016	0.01254 ₄
2			1.171	0.821	0.014	0.01149 ₄
3			1.047	0.783	0.01	0.00783
4			0.849	0.677	0.006	0.00406 ₂
5			0.645	0.581	0.003	0.00174 ₃
1	10 V	133.5	1.362	0.793	0.015	0.01189 ₅
2			1.213	0.809	0.012	0.00970 ₈
3			0.993	0.74	0.008	0.00592
4			0.777	0.638	0.005	0.00319
5			0.54	0.48	0.002	0.00096

Berikut ini merupakan pengujian nilai frekuensi pertama pada sisi *transmitter* (pengirim) :



Gambar 16 Pengukuran frekuensi pertama (133.5 kHz)

Konversi nilai (dBm) ke Wats menggunakan persamaan (7) yaitu :

TABEL IVV
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI 133.5 KHz
DENGAN SPECTRUM ANALYZER

No	Jarak (cm)	Frequency Center	(dBm)	W	mW
1	1	133.53 KHz	-73.43	4.5394×10^{-8}	4.5394×10^{-11}
2	2		-76.33	2.3281×10^{-8}	2.3281×10^{-11}
3	3		-79.76	1.0568×10^{-8}	1.0568×10^{-11}
4	4		-83.58	4.3853×10^{-9}	4.3853×10^{-12}
5	5		-91.56	6.9823×10^{-10}	6.9823×10^{-13}

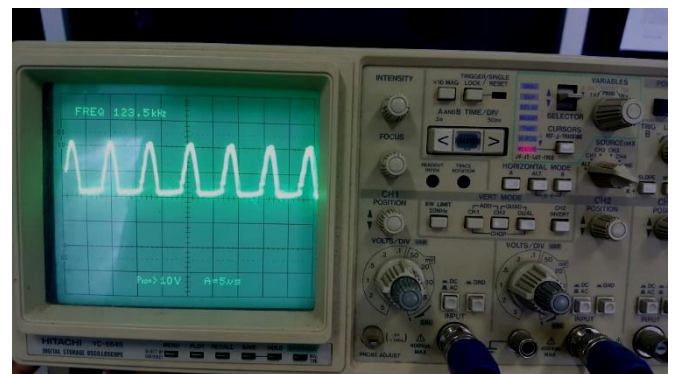
B. Hasil Percobaan Frekuensi Kedua

TABEL V
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI 123.5 KHz TERHADAP
TEGANGAN DAN ARUS

Jarak (cm)	Tegangan Transmitter (V)	Frekuensi Transmitter (KHz)	Tegangan Receiver		Arus Receiver (A)	Daya Receiver (W)
			Tanpa Beban	Dengan Beban		
1	6 V	123.5	1.394	0.884	0.02	0.01768
2			1.248	0.95	0.018	0.0171
3			1.104	0.912	0.013	0.011856
4			0.948	0.822	0.008	0.006576
5			0.786	0.688	0.004	0.002752
1	7 V	123.5	1.338	0.922	0.017	0.015674
2			1.207	0.92	0.015	0.0138
3			1.038	0.864	0.01	0.00864
4			0.907	0.765	0.005	0.003825
5			0.721	0.641	0.003	0.001923

Jarak (cm)	Tegangan Transmitter (V)	Frekuensi Transmitter (KHz)	Tegangan Receiver		Arus Receiver (A)	Daya Receiver (W)
			Tanpa Beban	Dengan Beban		
1	8 V	123.5	1.356	0.895	0.014	0.01253
2			1.169	0.879	0.011	0.009669
3			1.011	0.821	0.007	0.005747
4			0.868	0.739	0.005	0.003695
5			0.653	0.602	0.002	0.001204
1	9 V	123.5	1.372	0.909	0.015	0.013635
2			1.187	0.902	0.012	0.010824
3			1.052	0.847	0.009	0.007623
4			0.864	0.74	0.005	0.0037
5			0.622	0.583	0.002	0.001166
1	10 V	123.5	1.45	0.925	0.018	0.01665
2			1.32	0.945	0.015	0.014175
3			1.135	0.893	0.012	0.010716
4			0.953	0.804	0.007	0.005628
5			0.751	0.675	0.003	0.002025

Berikut ini merupakan pengujian nilai frekuensi kedua pada sisi *transmitter* (pengirim) :



Gambar 17 Pengukuran frekuensi kedua (123.5 kHz)

Konversi nilai (dBm) ke Wats menggunakan persamaan (7) yaitu :

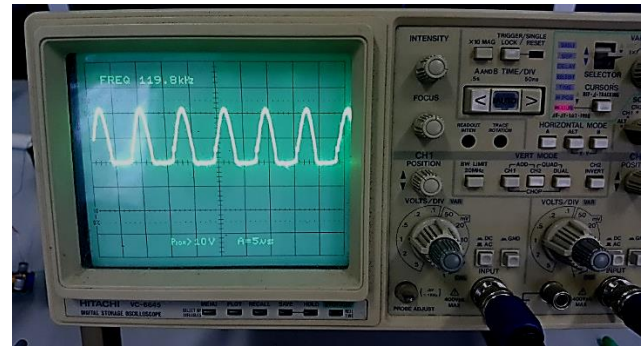
TABEL VI
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI 123.5 KHz
DENGAN SPECTRUM ANALYZER

No	Jarak (cm)	Frequency Center	(dBm)	W	mW
1	1	123.5 KHz	-75.77	2.6485E-08	2.6485E-11
2	2		-80.54	8.8308E-09	8.8308E-12
3	3		-94.46	3.581E-10	3.581E-13
4	4		-98.99	1.2618E-10	1.2618E-13
5	5		-103.4	4.5709E-11	4.5709E-14

C. Hasil Percobaan Frekuensi Ketiga

TABEL VII
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI 119.8 KHz TERHADAP
TEGANGAN DAN ARUS

Jarak (cm)	Tegangan Transmitter (V)	Frekuensi Transmitter (KHz)	Tegangan Receiver		Arus Receiver (A)	Daya Receiver (W)
			Tanpa Beban	Dengan Beban		
1	6 V	119.8	1.287	0.854	0.015	0.01281
2			1.151	0.874	0.013	0.01136 ₂
3			1.001	0.835	0.011	0.00918 ₅
4			0.851	0.742	0.007	0.00519 ₄
5			0.687	0.609	0.003	0.00182 ₇
1	7 V	119.8	1.289	0.842	0.018	0.01515 ₆
2			1.195	0.892	0.017	0.01516 ₄
3			1.06	0.888	0.015	0.01332
4			0.911	0.817	0.009	0.00735 ₃
5			0.748	0.662	0.005	0.00331
1	8 V	119.8	1.299	0.822	0.02	0.01644
2			1.115	0.826	0.018	0.01486 ₈
3			0.961	0.771	0.015	0.01156 ₅
4			0.752	0.647	0.01	0.00647
5			0.513	0.474	0.004	0.00189 ₆
1	9 V	119.8	1.333	0.826	0.021	0.01734 ₆
2			1.154	0.834	0.019	0.01584 ₆
3			0.986	0.783	0.016	0.01252 ₈
4			0.781	0.671	0.011	0.00738 ₁
5			0.525	0.476	0.005	0.00238
1	10 V	119.8	1.462	0.895	0.019	0.01700 ₅
2			1.307	0.922	0.017	0.01567 ₄
3			1.18	0.913	0.014	0.01278 ₂
4			1.054	0.862	0.011	0.00948 ₂
5			0.855	0.766	0.005	0.00383



Gambar 18 Pengukuran frekuensi ketiga (119.8 kHz)

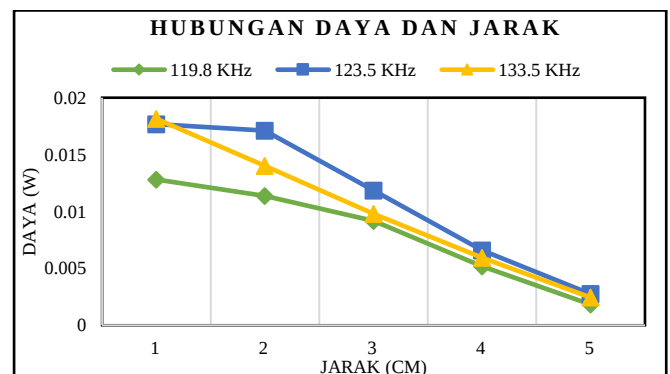
Konversi nilai (dBm) ke Wats menggunakan persamaan (7) yaitu :

TABEL VIII
HASIL PENGUKURAN FREKUENSI 123.5 KHz
DENGAN SPECTRUM ANALYZER

No	Jarak (cm)	Frequency Center	Daya (dBm)	W	mW
1	1	119.78 KHz	-78.27	1.4894E-08	1.4894E-11
2	2		-81.27	7.4645E-09	7.4645E-12
3	3		-84.43	3.6058E-09	3.6058E-12
4	4		-86.92	2.0324E-09	2.0324E-12
5	5		-94.62	3.4514E-10	3.4514E-13

D. Analisa Daya Dari Frekuensi Berbeda

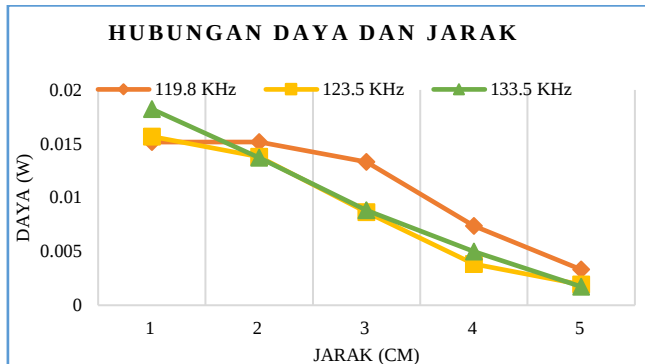
1) Tegangan Sumber Transmitter (Pengirim) 6V Dengan Frekuensi Berbeda :

Gambar 19 Grafik hubungan daya dan jarak pada setiap frekuensi, $V_s=6$ V

Dari analisa gambar 19 diatas, jarak 1 cm merupakan nilai daya tertinggi yang dapat diterima oleh rangkaian receiver (pengirim). Frekuensi 133.5 KHz memiliki transfer daya yang tertinggi. Jika dibandingkan hubungan antara daya dan jarak pada setiap frekuensi, dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antara rangkaian transmitter (pengirim) dengan receiver (penerima). Hal ini sesuai dengan dasar teori apabila dua kumparan tersebut berada lebih jauh antara satu sama lain dan pada sudut yang berbeda, maka jumlah fluks induksi magnetik dari kumparan pertama ke kumparan kedua yang dihasilkan menjadi lemah serta ggl induksinya dan induktansi bersamanya akan jauh lebih kecil. Jadi efek

induktansi bersama sangat tergantung pada posisi dan jarak antara kedua kumparan Pada Frekuensi 123.5 KHz, untuk jarak 5 cm memiliki efisiensi nilai daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi lainnya dan ini menjadi

2) Tegangan Sumber Transmitter (Pengirim) 7V Dengan Frekuensi Berbeda :

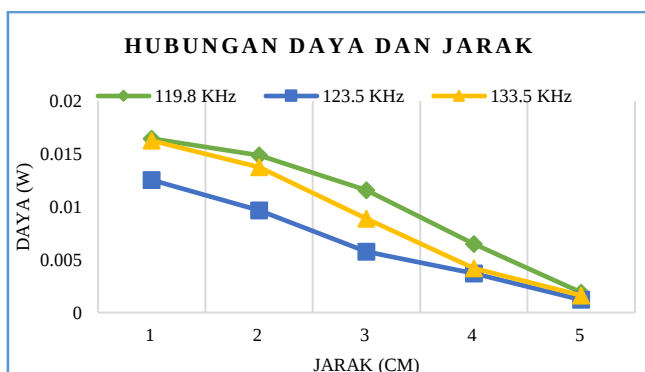


Gambar 20 Grafik hubungan daya dan jarak pada setiap frekuensi, $V_s=7\text{ V}$

Dari hasil analisa gambar 20 diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai daya yang dapat ditransfer dengan efisiensi lebih tinggi terdapat pada frekuensi 133.5 KHz. Akan tetapi, jika dibandingkan nilai daya terhadap jarak maka pada frekuensi 119.8 KHz efisiensi daya di terima pada receiver (penerima) mengalami penurunan yang tidak terlalu jauh dibandingkan dengan 2 frekuensi lainnya. Dan untuk jarak 5 cm, frekuensi 119.8 KHz memiliki efisiensi tertinggi dan 133.5 KHz dengan nilai efisiensi terendah.

Jika dibandingkan dengan nilai grafik pada gambar 19, maka terdapat kenaikan nilai daya yang dapat diterima oleh rangkaian receiver (penerima). Perlu diketahui sebelumnya, nilai frekuensi dari transmitter (pengirim) dihasilkan dari kombinasi nilai kapasitor dan nilai induktansi pada induktor. Hal ini berdasarkan teori pada dasar teori sistem resonansi elektromagnetik dengan resonansi frekuensi memiliki kesamaan yaitu sama-sama memiliki nilai efektif pada jarak tertentu.

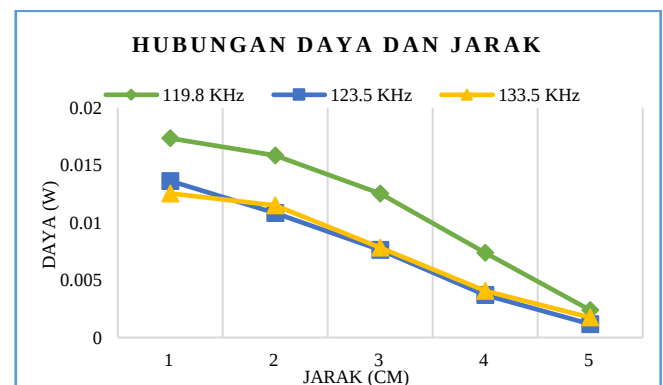
3) Tegangan Sumber Transmitter (Pengirim) 8V Dengan Frekuensi Berbeda :



Gambar 21 Grafik hubungan daya dan jarak pada setiap frekuensi, $V_s=8\text{ V}$

Dari hasil analisa gambar 21 diatas, dapat disimpulkan bahwa disaat tegangan sumber pada sisi transmitter (pengirim), maka didapat nilai frekuensi 119.8 KHz memiliki nilai efisiensi tertinggi pada jarak 1 cm. Sebelumnya pada $V_s=6\text{ V}$ & 7 V adalah 133.5 KHz. Selain itu, Terjadi penurunan daya pada frekuensi 123.5 KHz dan 133.5 KHz dengan jarak yang sama. Sehingga berbanding terbalik dengan frekuensi 119.8 KHz, semakin besar nilai tegangan sumber transmitter (pengirim), maka daya yang dapat diterima pada sisi receiver juga akan semakin besar. Sistem resonansi elektromagnetik dengan resonansi frekuensi memiliki kesamaan yaitu sama-sama memiliki nilai efektif pada jarak tertentu. Sehingga dengan tegangan sumber $V_s=8\text{ V}$, frekuensi 119.8 KHz lebih efektif dalam transfer energi listrik.

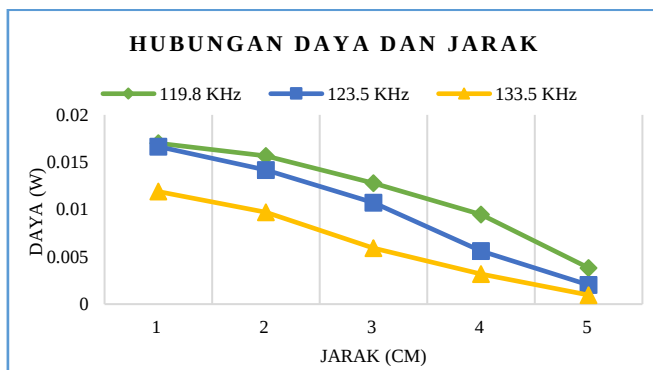
4) Tegangan Sumber Transmitter (Pengirim) 9V Dengan Frekuensi Berbeda :



Gambar 22 Grafik hubungan daya dan jarak pada setiap frekuensi, $V_s=9\text{ V}$

Dari hasil analisa gambar 22 dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi 119.8 KHz didapatkan semakin besar sumber tegangan pada sisi transmitter (pengirim) maka semakin besar pula daya yang dapat diterima oleh sisi receiver (penerima). Akan tetapi, berbanding terbalik pada frekuensi 133.5 KHz. Nilai daya yang didapatkan pada sisi receiver (pengirim) jika tegangan sumber transmitter (pengirim) dinaikkan maka nilai daya yang didapatkan menjadi semakin kecil. Untuk nilai daya pada frekuensi 123.5 KHz, jika dibandingkan pada gambar 21 memiliki kenaikan daya. Untuk Semua frekuensi, semakin besar jarak maka semakin berkurang pula efisiensi daya yang dapat diterima rangkaian receiver (penerima). Dari teori yang tertera pada dasar teori, menyebutkan peningkatan nilai frekuensi pada sisi transmitter yang disebabkan dengan kenaikan jumlah kapasitor maka akan sebanding lurus dengan kenaikan tegangan pada sisi receiver (penerima).

5) Tegangan Sumber Transmitter (Pengirim) 10V Dengan Frekuensi Berbeda :



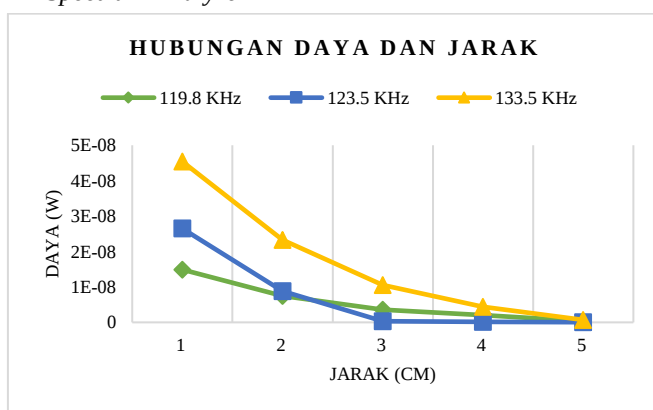
Gambar 23 Grafik hubungan daya dan jarak pada setiap frekuensi, $V_s = 10\text{ V}$

Dari hasil analisa gambar 23 dapat disimpulkan bahwa daya frekuensi 119.8 KHz dan 123.5 KHz mengalami peningkatan seiring naiknya tegangan sumber pada sisi *transmitter* (penerima). Namun, tetap terjadinya penurunan nilai daya pada frekuensi 133.5 KHz yang semakin besar tegangan sumber pada sisi *transmitter* (pengirim) maka semakin kecil daya yang dapat diterima *receiver* (penerima).

Dapat disimpulkan, setiap masing masing frekuensi jika jarak *transmitter* (pengirim) di jauhkan dengan *receiver* (penerima) maka daya yang didapatkan pada sisi *receiver*(pengirim) akan terus mengalami penurunan. Akan tetapi, Pada $V_s = 7\text{V}$, pada jarak 2cm dengan frekuensi 119.8 KHz terjadi kenaikan walaupun tidak terlalu signifikan.

Dengan adanya kenaikan jumlah kapasitor maka perbandingan akan berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dan sebanding lurus dengan kenaikan tegangan pada sistem. Semakin kecil nilai frekuensi akan berpengaruh pada kecepatan rambat (jika kita asumsikan panjang gelombang selalu sama). Dengan lambatnya kecepatan rambat pada sistem maka akan mempengaruhi penghantaran daya.

E. Judul Dan Analisa Daya Dari Frekuensi Berbeda Dengan Spectrum Analyzer



Gambar 24 Grafik hubungan daya dan jarak menggunakan spectrum analyzer

Nilai yang didapatkan pada gambar 24 merupakan hasil pengukuran yang didapatkan dari alat ukur *spectrum analyzer* Dengan membandingkan hubungan antara daya dan jarak.

Dari hasil analisa gambar 24, nilai hasil pengukuran dari dBm di konversikan menjadi watt, maka terlihat bahwa daya pada frekuensi 133.5 KHz memiliki nilai daya yang tertinggi. Selanjutnya, nilai daya dari masing-masing frekuensi ketika jarak antara rangkaian *transmitter* dengan probe *spectrum analyzer* maka daya dari setiap frekuensi terus mengalami penurunan.

Berdasarkan pada dasar teori, menurunnya kekuatan sinyal terjadinya *pathloss* karena penurunan kuat medan secara menyeluruh sesuai bertambah jauhnya jarak antara pemancar dan penerima. Pengaruhnya sangat kuat, sehingga menimbulkan penurunan level daya pada sinyal yang diterima.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan pengujian pada rangkaian listrik nirkabel, yaitu :

- 1) Semakin besar frekuensi yang dibangkitkan, maka didapatkan daya maksimum dengan jarak tertentu dari tegangan input transmitter (pengirim) ke receiver (penerima).
- 2) Daya pada frekuensi 119.8 KHz akan terus mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan tegangan sumber pada sisi transmitter (pengirim).
- 3) Semakin besar nilai frekuensi, maka semakin besar pula nilai daya (watt) dari pengukuran spectrum analyzer yang dihasilkan transmitter (pengirim).

REFERENSI

- [1] Kautsar, Helmy "Analisa Dan Rancang Bangun Rangkaian Transmitter Pada Transfer Daya Listrik Tanpa Kabel," Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, 2010
- [2] Assa'idah, "Simulasi, Desain, dan Pembuatan PCB 2 Tipe Osilator dengan Performa Terbaik," *SIMETRI, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia*, vol. 1, no. 2 (C), p. 63, 2012.
- [3] Hugh D. Young, Roger A. Freedman, T.R. Sandin, A. Lewis Ford, Fisika Universitas, Jakarta: Erlangga, 2003.
- [4] Swapnil R. Thakare, Atul N. Shire, Umesh S. Jawarkar, "Study and Overview Of Wireless Transmission Of Electrical Power," *IJRISSE*, vol. 1, no. 2, pp. 2394-8280.
- [5] E. Waffenschmidt, "Wireless Power for Mobile Devices," *Philips Research Europe*, 2011.
- [6] Setyawan Wahyu Pratomo, "Perancangan Sistem Transfer Daya Nirkabel Untuk Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Micro Jenis Quadcopter," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 05, no. 03 (C), p-ISSN. 2302-2949, 2016.
- [7] Atar, Muhamad "Perancangan Penghantar Daya Nirkabel," Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [8] Wikipedia. (undated). Antena (Radio). [Online]. Viewed 2018 Oktober 10. Available: [https://id.wikipedia.org/wiki/Antena_\(radio\)](https://id.wikipedia.org/wiki/Antena_(radio))
- [9] Mahardika, Ngurah Tegar "Analisis Perangkat Transmisi Untuk Wireless Energy Transfer," Skripsi, Jurusan Sistem Komputer, Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Teknik Komputer, Surabaya, 2014.
- [10] Kazuya, A. Sayuti "Perancangan Dan Realisasi Prototype Sistem Transfer Daya Listrik Secara Nirkabel," Laporan Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2015.

- [11] Elektronika dasar, "Kapasitor" [Online]. Available : <https://repository.unikom.ac.id/34122/1/kapasitor.pdf>
- [12] Ade Tegar Saputra, Atika Sari, Nurul Anisah "Resonant Inductive Coupling Pada Wireless Transfer Electricity," *IJOSE*, vol. 1, no. 1, pp. 2598-5213.
- [13] Yayan Prima Nugraha, "Transmisi Data Melalui Gelombang Elektromagnetik Dengan Menggunakan Modul XBEE PRO 24-ACI-001," *Jurnal Fisika*, vol. 02, no. 03 (C), p. 1-4, 2013.
- [14] Heryawan, Aldya Dwiki, "Analisis Unjuk Kerja Jaringan WLAN," Yogyakarta, Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- [15] Satrio Nindito "Analisa Pathloss Exponent Pada Daerah Urban dan Suburban," *EEPIS Final Project*, Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2011