

Implementasi Raspberry Pi 5 Pulse Width Modulation pada Sistem Penghantar Daya Nirkabel

SKRIPSI

Disusun oleh:
Duta Kukuh Pribadi
215150301111016



PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2023

PERSETUJUAN

Implementasi Raspberry Pi 5 Pulse Width Modulation pada Sistem Penghantar
Daya Nirkabel

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana
Komputer

Disusun Oleh:

Nama Duta Kukuh Pribadi

NIM: 215150301111016

Telah Diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tunggal

Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng., Ph.D

NIP: 198208092012121004

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar referensi.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur unsur plagiarasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 9 Desember 2024

Duta Kukuh Pribadi

NIM: 215150301111016

PRAKATA

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa telah melimpahkan berkat dan karunia-Nya. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Implementasi Raspberry Pi 5 Pulse Width Modulation pada Sistem Penghantar Daya Nirkabel”. Selama masa awal kepenulisan hingga skripsi ini selesai. Penulis mendapatkan banyak dukungan dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Sukesi dan Bapak Glenn Michael James Miller atas cinta kasih, do’a, dan dukungan yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing penelitian skripsi.
3. Bapak Achmad Basuki, S.T., M.MG., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, Malang.
4. Bapak Barlian Henryranu Prasetyo, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, Malang.
5. Rekan satu topik penelitian Felix Baringin Jeconiah William Samosir, Dhaiful Hadi Fauzan, Gavin Argyatama Awandana, dan Carel Martin atas dukungan, bantuan, kerja sama dan bimbingannya.
6. Teman-teman dan alumni ROBOTIIK FILKOM UB yang senantiasa memberikan dorongan untuk giat menyelesaikan penulisan skripsi ini.
7. Teman-teman organisasi, lomba, dan seluruh rekan Universitas Brawijaya yang mendukung dan memberi semangat untuk segera menyelesaikan studi sarjana ini.

Malang, 9 Desember 2024

Duta Kuku Pribadi
dutakupri@student.ub.ac.id

ABSTRAK

Duta Kukuh Pribadi, Implementasi Raspberry Pi 5 Pulse Width Modulation pada Sistem Penghantar Daya Nirkabel

Pembimbing: Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng., Ph.D

Wireless Power Transfer memungkinkan pengisian daya tanpa kabel, dengan potensi besar untuk mengatasi keterbatasan efisiensi pengisian daya pada perangkat statis dan dinamis. Pengujian ini bertujuan untuk melakukan perancangan dan implementasi sistem High Programmable Frequency Generator berbasis Raspberry Pi 5 untuk meningkatkan efisiensi daya pada WPT. Sistem ini menggabungkan Raspberry Pi 5 sebagai pengontrol utama dan H-Bridge untuk menghasilkan sinyal frekuensi tinggi. Penelitian dilakukan melalui metode eksperimental, meliputi analisis, desain, implementasi, dan pengujian sistem. Raspberry Pi 5 digunakan sebagai penghasil sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang terhubung dengan H-Bridge untuk menciptakan gelombang persegi AC (*square wave*) frekuensi tinggi dan pengujian ini terbukti pada pengukuran frekuensi di GPIO 13 yang mengalami kenaikan tegangan menjadi 16.4V ketika diukur pada H-Bridge. Desain perangkat keras melibatkan lilitan tembaga sebagai koil pengirim dan penerima, sementara perangkat lunak mendukung pengaturan presisi frekuensi melalui antarmuka pengguna berbasis layar sentuh dengan LCD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu menghasilkan frekuensi hingga 800 kHz dengan tingkat presisi tinggi. Pengujian daya di sisi penerima menunjukkan terjadinya *frequency splitting phenomenon* (FSP) dengan ditandainya peningkatan daya yang diukur pada rentang 420 Khz sampai dengan 490 Hz dengan jarak antar lilitan yang bervariasi yang membuktikan pengaruh signifikan dari ketelitian frekuensi terhadap daya yang diterima. Analisis lebih lanjut mengungkap bahwa penyesuaian frekuensi secara optimal mampu memaksimalkan transmisi daya, mendukung konsep resonansi frekuensi. Penelitian ini menegaskan bahwa *Raspberry Pi 5* sebagai generator frekuensi berperforma tinggi dapat diintegrasikan dengan sistem WPT untuk meningkatkan efisiensi pengisian daya.

Kata kunci: *Frequency Generator, H-Bridge, Pulse Width Modulation (PWM), Frequency Splitting, Wireless Power Transfer (WPT)*

ABSTRACT

Duta Kukuh Pribadi, Implementation of Raspberry Pi 5 Pulse Width Modulation in a Wireless Power Transfer System

Supervisors : Sabriansyah Rizqika Akbar, S.T., M.Eng., Ph.D

Wireless Power Transfer (WPT) enables charging without cables, with significant potential to address the limitations of charging efficiency in static and dynamic devices. The purpose of the research is for making design and implement a High Programmable Frequency Generator system based on the Raspberry Pi 5 to enhance power efficiency in WPT. The system integrates the Raspberry Pi 5 as the main controller and an H-Bridge to generate high-frequency signals. The study employs an experimental method encompassing analysis, design, implementation, and system testing. The Raspberry Pi 5 is utilised to produce Pulse Width Modulation (PWM) signals connected to the H-Bridge to create high-frequency alternating current (AC) square waves. Testing demonstrates a voltage rise to 16.4V at the H-Bridge when measured at GPIO 13. The hardware design involves copper coils as the transmitter and receiver, while the software supports precise frequency adjustments via a touchscreen interface with an LCD. The results show that the designed system can produce frequencies up to 800 kHz with high precision. Power testing on the receiver side revealed the occurrence of the frequency splitting phenomenon (FSP), indicated by increased power measured in the range of 420 kHz to 490 kHz, with varying distances between the coils. This finding confirms the significant influence of frequency accuracy on the received power. Further analysis highlights that optimal frequency adjustment maximises power transmission, supporting the concept of frequency resonance. This research demonstrates that the Raspberry Pi 5, as a high-performance frequency generator, can be integrated with WPT systems to improve charging efficiency.

Keywords: *Frequency Generator, H-Bridge, Pulse Width Modulation (PWM), Frequency Splitting , Wireless Power Transfer (WPT)*

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Induksi Elektromagnetik.....	8
2.2.2 <i>Wireless Power Transfer</i>	10
2.2.3 <i>Quality Factor</i>	12
2.2.4 H-Bridge.....	13
2.2.5 <i>Pulse Width Modulation</i> di <i>Raspberry PI 5</i>	14
2.2.6 Serial Peripheral Interface	15
BAB 3 METODOLOGI	16
3.1 Tipe, Strategi, dan Rancangan Penelitian	16
3.1.1 Metodologi Penelitian.....	16
3.1.2 Objek dan Lokasi Penelitian	17
3.1.3 Teknik Pengumpulan Data	18
3.1.4 Teknik Analisis Data	18

3.1.5 Peralatan Pendukung	18
BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN	21
4.1 Kajian Masalah	21
4.2 Identifikasi <i>Stakeholder</i>	21
4.3 Diagram Sistem	21
4.4 Behavioral Model	22
4.5 Kebutuhan Fungsional	24
4.6 Spesifikasi Sistem	24
4.7 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak	27
4.7.1 Kebutuhan Perangkat Keras	27
4.7.2 Kebutuhan Perangkat Lunak	34
BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI	36
5.1 Perancangan Sistem	36
5.1.1 Perancangan Perangkat Keras	36
5.1.2 Perancangan Perangkat Lunak	38
5.2 Implementasi Sistem	41
5.2.1 Implementasi Perangkat Keras	41
5.2.2 Implementasi Perangkat Lunak	42
BAB 6 PENGUJIAN	47
6.1 Pengujian Sistem <i>Frequency Generator</i>	47
6.1.1 Tujuan Pengujian	47
6.1.2 Prosedur Pengujian	47
6.1.3 Hasil Pengujian	48
6.1.4 Analisis Pengujian	50
6.2 Pengujian Ketelitian Frekuensi terhadap Daya di <i>Reciever</i> WPT	51
6.2.1 Tujuan Pengujian	51
6.2.2 Prosedur Pengujian	51
6.2.3 Hasil Pengujian	54
6.2.4 Analisis Pengujian	67
BAB 7 PENUTUP	70
7.1 Kesimpulan	70
7.2 Saran	71

DAFTAR REFERENSI	72
LAMPIRAN A Kode Program	75
LAMPIRAN B Skematik Diagram.....	82
LAMPIRAN C Data Pengujian.....	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Mengenai Landasan Kepustaakaan	6
Tabel 2.2 Mengenai Spesifikasi koil	7
Tabel 4.1 Input Frekuensi	24
Tabel 4.2 Menampilkan Frekuensi pada Display	25
Tabel 4.3 Default Frequency	25
Tabel 4.4 <i>Form Based Specification</i>	26
Tabel 4.5 Spesifikasi Raspberry Pi 5	28
Tabel 4.6 Keterangan Pin H-Bridge	30
Tabel 4.7 Keterangan Pin 3.5 Inch LCD	32
Tabel 4.8 Spesifikasi Koil	34
Tabel 4.9 Kebutuhan Perangkat Lunak	34
Tabel 6.1 Pengukuran frekuensi di skala 0 Hz sampai 100Khz	55
Tabel 6.2 Pengukuran frekuensi di skala 100 KHz sampai 200 Khz	56
Tabel 6.3 Pengukuran frekuensi di skala 200 KHz sampai 300 Khz	56
Tabel 6.4 Pengukuran frekuensi di skala 300 KHz sampai 400 Khz	57
Tabel 6.5 Pengukuran frekuensi di skala 400 KHz sampai 500 Khz	57
Tabel 6.6 Pengukuran frekuensi di skala 500 KHz sampai 600 Khz	58
Tabel 6.7 Pengukuran frekuensi di skala 600 KHz sampai 700 Khz	58
Tabel 6.8 Pengukuran frekuensi di skala 700 KHz sampai 800 Khz	59
Tabel 6.9 Pengukuran nilai Voltase pada rangkaian penerima	60
Tabel 6.10 Pengukuran nilai arus pada rangkaian penerima	61
Tabel 6.11 Pengkalkulasian nilai Daya pada rangkaian penerima	61
Tabel 6.12 Pengukuran Nilai Voltase pada Frekuensi Setelah Slicing Data	63
Tabel 6.13 Pengukuran Nilai Arus pada Frekuensi Setelah Slicing Data	64
Tabel 6.14 Pengukuran Nilai Daya pada Frekuensi Setelah Slicing Data	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mengenai arsitektur dari Inductive Coupling	8
Gambar 2.2 Mengenai Ilustrasi Inductive Resonance Coupling	9
Gambar 2.3 Mengenai Ilustrasi WPT secara Inductive Coupling	11
Gambar 2.4 H-Bridge <i>Circuit Paths</i>	14
Gambar 3.1 <i>Flowchart Model</i>	17
Gambar 4.1 Diagram Sistem	22
Gambar 4.2 <i>Behavioral Model</i>	23
Gambar 5.1 Skema Diagram	36
Gambar 5.2 Skematik Rangkaian H-Bridge	37
Gambar 5.3 Skematik Rangkaian Lilitan Pengirim dan Penerima	37
Gambar 5.4 Skematik Rangkaian LCD	38
Gambar 5.5 Implementasi Perangkat Keras	42
Gambar 6.1 Persiapan Uji Coba Pengukuran Frekuensi di GPIO	48
Gambar 6.2 Persiapan Uji Coba Pengukuran Frekuensi di Output H-Bridge	48
Gambar 6.3 Tampilan Antar Muka Saat Frekuensi 446950 Hz	49
Gambar 6.4 Hasil Pengukuran Frekuensi di GPIO 13	49
Gambar 6.5 Uji ketelitian Frekuensi	54
Gambar 6.6 Uji Pengukuran Arus dan Voltase	55
Gambar 6.7 Grafik Presentase Error di GPIO 13	59
Gambar 6.8 Grafik Presentase Error di H-Bridge	60
Gambar 6.9 Mengenai Grafik Pengukuran Voltase (DC)	62
Gambar 6.10 Mengenai Grafik Pengukuran Arus (DC)	62
Gambar 6.11 Mengenai Grafik Pengukuran Daya (DC)	63
Gambar 6.12 Grafik Pengukuran Voltase (DC) pada 420 KHz – 506 Khz	65
Gambar 6.13 Grafik Pengukuran Arus (DC) pada 420 KHz – 506 Khz	66
Gambar 6.14 Grafik Pengukuran Daya (DC) pada 420 KHz – 506 Khz	66

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Kode Program	75
A.1 Kode Program Implementasi PWM	75
A.2 Kode Program Antarmuka LCD	77
A.3 Kode Program Inisialisasi PWM	78
A.4 Inisialisasi Fitur LCD	78
LAMPIRAN B Skematik Diagram	82
B.1 Diagram Keseluruhan Sistem.....	82
B.2 Diagram Skematik Perancangan H-Bridge.....	82
B.3 Diagram Skematik Rangkaian Pengirim dan Penerima	82
B.4 Diagram Skematik Rangkaian LCD	83
LAMPIRAN C Data Pengujian.....	84
C.1 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 5 Khz Sampai 100 Khz.....	84
C.2 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 105 Khz Sampai 200 Khz.....	85
C.3 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 205 Khz Sampai 300 Khz.....	86
C.4 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 305 Khz Sampai 400 Khz.....	87
C.5 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 405 Khz Sampai 500 Khz.....	88
C.6 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 505 Khz Sampai 600 Khz.....	89
C.7 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 605 Khz Sampai 700 Khz.....	90
C.8 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 705 Khz Sampai 800 Khz.....	91
C.9 Pengukuran nilai Voltase Pada Rangkaian Penerima (306 Khz – 536 Khz)	92
C.10 Pengukuran Nilai Arus Pada Rangkaian Penerima (306 Khz – 536 Khz)	92
C.11 Pengukuran Nilai Daya Pada Rangkaian Penerima (306 Khz – 536 Khz)	93

C.12 Pengukuran Nilai Voltase Pada Hasil Slicing (420 Khz – 506 Khz)	94
C.13 Pengukuran Nilai Arus Pada Hasil Slicing (420 Khz – 506 Khz)	97
C.14 Pengukuran Nilai Daya Pada Hasil Slicing (420 Khz – 506 Khz)	99

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wireless Power Transfer (WPT) merupakan sebuah metode yang memungkinkan bisa mentransfer energi listrik secara nirkabel. Pengaplikasian WPT itu sendiri biasanya di implementasikan kepada pengisian daya pada perangkat statis maupun dinamis. Sebagai bentuk contoh adalah pengembangan sistem WPT pada *quadcopter drone* (Le et al., 2020). Konsep ini dianggap dapat mengatasi masalah konsumsi daya tinggi pada *drone* (Xie et al., 2021) dikarenakan *drone* itu sendiri melakukan pengisian daya 5 hingga 45 menit untuk *drone* bisa digunakan kembali dan metode ini tidak efektif dikarenakan *drone* itu harus dimatikan terlebih dahulu agar bisa di operasikan kembali (Mourgelas et al., 2020) sehingga sistem WPT dianggap menjadi solusi alternatif pengisian daya perangkat bergerak.

Pengembangan penelitian dari sistem WPT memerlukan perancangan komponen yang harus terukur agar bisa menyalurkan daya secara maksimal untuk memenuhi kebutuhan daya dan estimasi waktu pada beban yang menerima daya. Pada umumnya, sistem WPT memerlukan RLC *circuit* yang terdiri atas komponen resistansi dari setiap komponen yang dirancang, komponen Induktansi atau kumparan sebagai tempat penghantaran daya, dan kapasitansi sebagai penguat daya pada rangkaian WPT. Perlu adanya *frequency generator* sebagai sumber pengirim daya kepada RLC *circuit* agar bisa menjalankan sistem WPT. Lebih jauh lagi, banyak peneliti menggunakan perhitungan resonansi untuk mendapatkan frekuensi operasi optimal guna meningkatkan penyaluran daya (Akbar, 2021). Perhitungan resonansi ini dilatar belakangi oleh fenomena resonansi yang terjadi dalam sebuah rangkaian dengan sumber tegangan AC di mana reaktansi induktif dari kumparan sama dengan reaktansi kapasitif dari kapasitor pada beberapa titik frekuensi tertentu (frekuensi resonansi). Oleh karena itu, rangkaian WPT (Wireless Power Transfer) yang umum dikonfigurasi menggunakan seri LC simetris di kedua sisi untuk memperoleh pengiriman daya yang tinggi (Akbar, 2021).

Dalam pembuatan arsitektur *Wireless Power Transfer* (WPT), terdapat beberapa pertimbangan utama. Salah satu yang paling penting adalah desain *transmitter coil* sebagai penghantar daya (MohamedZain et al., 2023). Bentuk lilitan pada *transmitter coil* perlu diperhatikan karena memengaruhi efisiensi penghantaran daya dan kapasitas frekuensi (Detka and Górecki, 2022). Selain itu, kecepatan daya rambat atau frekuensi dalam satuan waktu juga menjadi faktor krusial. Dengan menerapkan metode *sweeping frequency*, daya yang dihantarkan dapat mencapai titik puncak melalui pencarian frekuensi optimal (Akbar and Hodaka, 2020). Berdasarkan teknik-teknik tersebut, efisiensi WPT dapat ditingkatkan lebih jauh melalui *coupling resonance*, yakni teknik pemindahan daya secara simultan antara satu coil dengan coil lainnya dimana teknik ini bis(Yan, Shi and Zhang, 2020).

Konsep *Wireless Power Transfer* diperlukan frequency bernilai yang sesuai dengan perhitungan frekuensi resonan agar bisa menghantarkan daya secara maksimal. Beberapa metode untuk menghantarkan frekuensi bermacam macam salah satunya dengan menggunakan fitur *pulse width modulation* pada *microcontroller* atau *microcomputer* yang mampu menghasilkan frekuensi dengan rentang tinggi. Frekuensi dengan keluaran pada *microcontroller/microcomputer* masih bersifat DC sehingga frekuensi ini di hantarkan melalui penggunaan H-Bridge MOSFET agar bisa menghasilkan *square wave signal* dengan frequency tinggi dan bertipe AC (Suroso et al., 2023). Pemilihan *H-Bridge* dan *microcontroller/microcomputer* perlu dipertimbangkan mengingat terdapat limitasi perangkat keras yang digunakan sebagai komponen utama dalam sistem WPT.

Dengan mempertimbangkan penelitian frekuensi tinggi pada rangkaian WPT, fokus utama adalah perancangan dan implementasi sistem yang menghasilkan frekuensi yang bervariasi dengan mengikuti perhitungan resonansi frekuensi menggunakan *Raspberry Pi 5*. Metode ini menggunakan controller H-Bridge dan sistem penghasil PWM yang berbeda dari penelitian sebelumnya, dengan tujuan untuk menganalisa daya yang diterima pada sisi penerima di sistem WPT yang telah dirancang serta mengukur ketelitian *Raspberry Pi 5* sebagai *frequency generator*. Penelitian ini menganalisis ketelitian frekuensi yang dihasilkan serta menganalisis dampak frekuensi yang dihasilkan pada daya yang di sisi penerima pada sistem.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah dijabarkan, rumusan masalah yang dapat disusun

1. Bagaimana merancang pembangkit frekuensi pada sistem *Wireless Power Transfer* memanfaatkan *Pulse Width Modulation* pada *Raspberry Pi 5* ?
2. Bagaimanakah pengaruh ketelitian frekuensi memengaruhi daya yang diterima pada rangkaian *Wireless Power Transfer* di sisi penerima ?

1.3 Tujuan

Lebih lanjut tujuan pada penulisan ini sebagai berikut

1. Untuk bisa merancang sistem *wireless power transfer* dengan *microcomputer Raspberry Pi 5* sebagai komponen utama
2. Untuk mengetahui pengaruh ketelitian frekuensi pada daya yang diterima pada rangkaian *Wireless Power Transfer* di sisi penerima

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang diperoleh yaitu:

1. Bagi Penulis

Penelitian ini memberikan penulis kesempatan untuk memperdalam pemahaman tentang teknologi Wireless Power Transfer (WPT) dan aplikasinya pada perangkat statis maupun dinamis. Selain itu, penulis dapat mengembangkan keterampilan dalam merancang dan mengimplementasikan sistem *High Programmable Frequency Generator* yang efisien. Penelitian ini juga memungkinkan penulis untuk mengeksplorasi tantangan teknis dan solusi inovatif, yang dapat meningkatkan kompetensi profesional.

2. Bagi Masyarakat

Pengembangan teknologi Wireless Power Transfer yang efisien untuk pengembangan teknologi lebih lanjut memiliki potensi besar untuk meningkatkan berbagai aspek kehidupan masyarakat. Sistem WPT bisa mendukung pada aksesibilitas kehidupan masyarakat. Hal ini akan berdampak positif pada peningkatan kualitas layanan publik dan ekonomi, serta mendukung pengembangan teknologi ramah lingkungan.

3. Bagi Akademisi

Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi WPT dan aplikasinya. Hasil penelitian dapat dijadikan referensi bagi akademisi dalam pengajaran dan penelitian lanjutan. Selain itu, studi ini menjadi acuan dasar kurikulum yang lebih relevan dengan perkembangan teknologi terbaru, sehingga dapat memahami WPT dan mampu mengembangkan lebih lanjut riset yang bersifat *sustainable*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini bertujuan untuk mencegah pembahasan yang tidak terfokus pada tujuan utama yang ingin dicapai. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rangkaian dibentuk dalam bentuk simetrik yang mempunyai rangkaian RLC yang nilainya tidak berubah pada sisi pengirim dan penerima sebagai bentuk implementasi penyaluran resonansi frekuensi.
2. Pengujian dilakukan pada transmisi daya yang terbatas pada permukaan yang datar.
3. Pengujian terhadap koil pengirim dan penerima memiliki ukuran yang berbeda

4. Frekuensi yang digunakan berada pada rentang 0 KHz – 800 KHz yang sesuai dengan kapasitas frekuensi pada PWM Controller H-Bridge yang tersedia

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjelaskan dasar-dasar penulisan proposal skripsi. Bagian ini mencakup latar belakang penelitian, identifikasi masalah, rumusan masalah yang diangkat, tujuan dan manfaat penelitian bagi para pemangku kepentingan terkait, serta batasan masalah untuk memastikan penelitian tetap fokus. Fokus utama dalam penelitian ini adalah pada aspek implementasi dari pengembangan penelitian sebelumnya.

2. BAB II LANDASAN KEPUSTAKAAN

Bab landasan kepustakaan berisi mengenai kajian penelitian-penelitian terdahulu mengenai pembuatan frekuensi tinggi dengan menggunakan metode tertentu. Selain itu, bab ini membahas terkait teori berkaitan dengan penggunaan perangkat *H-Bridge* sebagai *frequency generator* dan mengetahui pemodelan matematis mengenai efektifitas *frequency resonance*

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian mencakup serangkaian langkah sistematis yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian ini. Penelitian ini menggunakan metodologi eksperimental, di mana data dikumpulkan secara manual dan dianalisis menggunakan pemodelan matematis untuk mengamati pengaruh frekuensi terhadap daya yang dihasilkan.

4. BAB IV REKAYASA KEBUTUHAN

Bab Rekayasa Kebutuhan menjelaskan secara rinci alat-alat yang digunakan untuk mendukung penelitian. Bagian ini mencakup informasi mengenai perangkat lunak, perangkat keras, dan kebutuhan fungsional sistem, dengan harapan agar sistem dapat beroperasi tanpa hambatan.

5. BAB V PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab Perancangan dan Implementasi menjelaskan bagaimana sistem yang telah dirinci pada bagian Rekayasa Kebutuhan dirancang, termasuk interkoneksi komponen dan fungsionalitas program yang diinginkan. Setelah itu, sistem tersebut diimplementasikan pada perangkat sesungguhnya untuk diuji keandalannya sesuai dengan perancangan yang telah dibuat.

6. BAB VI PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab Pengujian dan Analisis berfokus pada sistematika pengumpulan data yang diperoleh setelah sistem berhasil dirancang dan diimplementasikan. Bagian ini menyajikan data-data yang dikumpulkan oleh penulis untuk menjawab rumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya.

7. BAB VII PENUTUP

Bab Penutup menyajikan kesimpulan yang diambil penulis dari analisis dan pengujian yang telah dilakukan. Bagian ini mencakup kesimpulan hasil penelitian serta saran untuk penelitian lebih lanjut berdasarkan temuan yang diperoleh.

BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

Dalam bab landasan kepastakaan, penulis telah memahami mengenai landasan kepastakaan yang dikaji dan dipelajari sebagai bentuk pengembangan penelitian yang diangkat oleh penulis. Selain itu, beberapa penulisan diambil berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang terkait. Adapun tujuan memaparkan teori dan penelitian terdahulu pada bab ini sehingga penulis bisa memberikan dasar fundamental untuk mencapai tujuan dari penelitian ini .

2.1 Kajian Pustaka

Isi Dalam penelitian ini, penulis telah mengkaji dan memahami penelitian atau literatur ilmiah dari penelitian terdahulu yang membentuk landasan kepastakaan penelitian ini. Pada bagian ini memuat perbandingan penelitian yang sudah dilakukan dengan penelitian penulis. Berikut tabel 2.1 yang memuat pembahasan mengenai perbandingan penelitian yang penulis rancang.

Tabel 2.1 Mengenai Landasan Kepustaakaan

No	(Nama Penulis, Tahun), Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan	
			Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1	Suroso, D. M., & Akbar, S. R. (2024). Rancang Bangun Programmable High Frequency Generator untuk Peningkatan Daya pada Wireless Power Transfer.	Penggunaan <i>Raspberry Pi</i> sebagai <i>microcontroller</i> untuk menghasil sinyal frekuensi PWM tinggi	Penelitian menggunakan desain koil yang dibuat dengan perhitungan yang sama antar penerima dan pengirim	Koil yang digunakan menggunakan desain lilitan koil spiral dengan menggunakan bahan <i>magnetic copper</i>
2	Akbar, S. R., & Hodaka, I. (2020). A fast spotting strategy of optimal frequency in wireless power transfer.	Menggunakan perhitungan teoritis untuk menyesuaikan nilai frekuensi.	Mencari frequency optimal dari AC <i>power Soure</i> dengan algoritma <i>Automatic Multiscale-based Peak Detection (AMPD)</i>	Menggunakan metode manual untuk memasukkan input sinyal frekuensi yang dibutuhkan berdasarkan rumus resonansi frekuensi

3	Akbar, S. R., Setiawan, E., Hirata, T., & Hodaka, I. (2023). Optimal Wireless Power Transfer Circuit without a Capacitor on the Secondary Side	Menggunakan Perhutiungan teoritis untuk penyesuaian nilai optimal antara sinyal frekuensi dan nilai kapasitor	Pengujian menggunakan simulasi	Pengimplemetasian dengan membuat alat yang mengacu pada simulasi agar bisa membandingkan pengaruh daya yang dihasilkan
---	--	---	--------------------------------	--

Penelitian pertama dilakukan oleh Dani Mahardika Suroso dan Sabriansyah Rizqika Akbar. Penelitian ini menyinggung mengenai implementasi langsung dari konsep *wireless power transfer* dengan membuat rangkaian yang memuat desain koil untuk menunjang pengiriman daya secara nirkabel. Adapun spesifikasi koil yang terdapat pada penelitian ini , yaitu:

Tabel 2.2 Mengenai Spesifikasi koil

Koil	Spesifikasi
Transmitter	Tebal tembaga = 1 mm Putaran (N) = 5 Diameter dalam = 19 cm Nilai induktansi = 16.5 uH
Receiver	Tebal tembaga = 1 mm Putaran (N) = 5 Diameter dalam = 19 cm Nilai induktansi = 15.8 uH

Berdasarkan pada spesifikasi koil di atas, Sistem yang telah dirancang berhasil meningkatkan tegangan puncak-ke-puncak (V_{pp}) pada outputnya hingga sekitar 11-15 volt. Meskipun demikian, sistem ini mengalami sedikit penundaan (delay) antara saat sinyal masuk dan keluar. Penundaan ini tercatat sekitar 274 nanodetik untuk frekuensi 110 kHz dan 205 kHz, serta 294 nanodetik untuk frekuensi 700 kHz.

Pada Jurnal “*A Fast Spotting Strategy of Optimal Frequency in Wireless Power Transfer* “ yang ditulis oleh Sabriansyah Rizqika Akbar dan Ichijo Hodaka membahas tentang bagaimana cara menemukan frekuensi optimal pada konsep WPT agar menyalurkan daya secara maksimum dengan metode *The Automatic Multiscale-based Peak Detection* (AMPD). Penelitian ini menemukan dan memvalidasi frekuensi optimal menggunakan kurang dari 180 data sampel dengan sweeping data 950 sampel dari 5-100 kHz. Metode ini memiliki kesalahan kurang dari 1% dari frekuensi optimal yang ditemukan dibandingkan dengan frekuensi optimal yang benar.

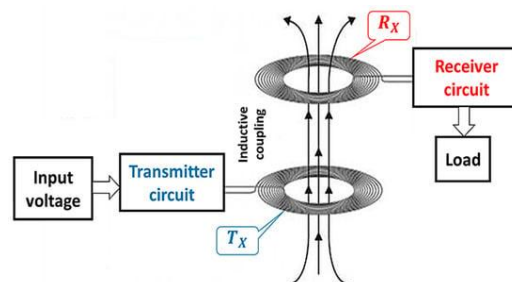
Lebih lanjut pada jurnal berjudul “*Optimal Wireless Power Transfer Circuit without a Capacitor on Secondary Side*” yang ditulis oleh Sabriansyah Rizqika Akbar, Eko Setiwan, Takuya Hirata, dan Ichijo Hodaka menganalisis rangkaian transfer daya nirkabel (WPT) dengan menggunakan kapasitor di sisi primer untuk mencapai daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh rangkaian tersebut. Penelitian ini menghasilkan rumus untuk daya maksimum yang dibagi menjadi tiga tahap: perhitungan fungsi transfer, analisis perilaku kondisi tunak, dan optimalisasi daya beban, kapasitor, serta frekuensi. Validasi penelitian dilakukan melalui analisis numerik menggunakan simulasi SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis).

2.2 Dasar Teori

Dengan mempertimbangkan kajian pustaka yang telah dipelajari sebelumnya, penulis menemukan beberapa landasan teori yang mendukung proses penelitian ini. Landasan teori disusun berdasarkan fakta lapangan, teori dan teknik, serta komponen yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut ini adalah landasan teori yang digunakan oleh penulis.

2.2.1 Induksi Elektromagnetik

Induksi elektromagnetik adalah proses di mana medan magnet yang berubah menginduksi medan listrik, menciptakan tegangan induksi atau gaya gerak listrik (EMF) dalam konduktor, yang menghasilkan arus induksi dalam rangkaian lengkap (Walecka, 2019). Dengan adanya kumparan, terjadinya perubahan *magnetic flux* selama kumparan bergerak maupun diam dalam area medan magnet. Pada WPT, Induksi Elektromagnetik yang ada di area medan magnet menghasilkan *Inductive Coupling*. *Inductive Coupling* adalah induksi medan magnet di mana energi listrik dipertukarkan antara dua kumparan: kumparan penerima dan pemancar melalui gelombang elektromagnetik gambar 2.1 menunjukkan bagaimana arsitektur dari *Inductive Coupling*.

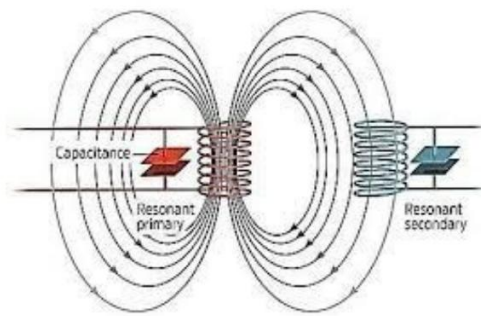


Gambar 2.1 Mengenai arsitektur dari Inductive Coupling

Sumber : (Allamehzadeh, 2021)

Pada perkembangannya, *inductive coupling* dikembangkan menjadi *inductive resonance coupling*. Metode ini adalah *inductive coupling* di mana

kumparan pemancar dan penerima bertukar energi melalui frekuensi unik yang disebut *frequency resonant*. *Frequency resonant* merupakan frekuensi suatu sistem yang secara alami beresonansi dengan amplitude maksimum ketika terkena gaya eksternal pada frekuensi tertentu. Frekuensi ini bergantung pada induktansi kumparan dan kapasitor tambahan yang dihubungkan secara seri atau paralel dengan kumparan pemancar dan penerima. Kumparan ini sangat terhubung untuk efisiensi energi maksimum. Inductive Coupling dengan Resonansi memiliki kemampuan untuk mentransfer daya pada jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan Inductive Coupling biasa. Tergantung pada aplikasinya, IRC dapat beroperasi dalam rentang frekuensi yang luas yaitu dalam rentang KHz-MHz (Allamehzadeh, 2021).



Gambar 2.2 Mengenai Ilustrasi Inductive Resonance Coupling

Sumber : (Allamehzadeh, 2021)

Agar daya yang dihasilkan pada rangkaian WPT optimal, frekuensi yang digunakan harus disesuaikan dengan nilai kapasitor yang dipakai mengacu pada *frequency resonant equation* (Akbar et al., 2023). Dalam mencari nilai daya optimal, hubungan antara nilai kapasitor dan frekuensi dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.1.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}} \quad (2,1)$$

Keterangan:

f = *frequency resonant*

L_1 = Induktansi kumparan 1

L_2 = Induktansi kumparan 2

C_1 = Kapasitor kumparan 1

C_2 = Kapasitor kumparan 2

2.2.2 Wireless Power Transfer

Wireless Power Transfer (WPT), transmisi energi nirkabel, atau transfer daya elektromagnetik adalah transmisi energi listrik dari sumber daya ke beban listrik, seperti jaringan listrik atau perangkat konsumsi, tanpa menggunakan konduktor buatan manusia yang terpisah (Krishnamoorthy and Dr.m.sangeetha, 2023). Menurut kategorinya, WPT dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu *Far-Field Wireless Power Transfer* dan *Near-Field Wireless Power Transfer*. *Near-Field* WPT adalah teknologi yang sedang berkembang yang memfasilitasi transfer energi yang efisien dalam jarak pendek, dengan aplikasi di berbagai bidang seperti elektronik konsumen dan perangkat medis. Kemajuan terbaru termasuk pengembangan sensor magnetik film tipis frekuensi tinggi yang meningkatkan resolusi spasial dalam pengukuran medan magnet, mengungguli antena loop tradisional dalam hal sensitivitas dan keandalan (Tonthat et al., 2024). *Near-Field* WPT diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu *Capacitive Power Transfer* (CPT), *Inductive Power Transfer* (IPT), dan *Magnetic Resonance Coupling* (MRC).

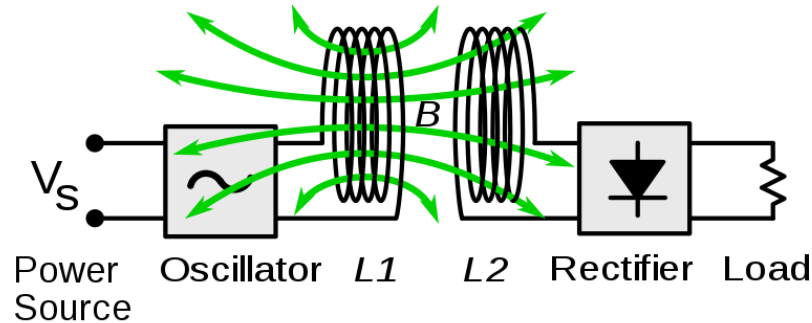
CPT merupakan teknologi yang memanfaatkan medan listrik dengan perantara bahan padat seperti plat untuk mentransfer daya secara nirkabel, menawarkan keuntungan seperti desain yang ringan dan berkurangnya kerugian *Eddy-Current*. IPT adalah metode berbasis transformator yang digabungkan secara longgar dengan prinsip induksi medan magnet untuk mentransfer daya antar kumparan, yang biasanya beroperasi pada frekuensi kHz. Sementara itu, MRC adalah teknologi yang menggunakan dua sistem elektromagnetik dengan frekuensi resonansi yang serupa untuk mengirimkan daya ke objek yang dituju (Chittoor, Chokkalingam and Mihet-Popa, 2021).

Pada penelitian ini, penulis memanfaatkan konsep *Wireless Power Transfer* pada resonansi gerak gaya listrik atau *electromotive force* (EMF) antar kumparan atau medan magnet yang menjadi perantara (Suroso et al., 2023). Metode penghantaran daya listrik yang sering digunakan dalam sistem WPT dan memiliki efisiensi transfer daya yang tinggi adalah *Inductive Power Transfer* (IPT) (Soni and Gupta, 2022).

Inductive Power Transfer (IPT) adalah metode pengiriman daya listrik melalui induksi elektromagnetik dengan menggunakan dua koil yang tidak terhubung secara langsung. Metode ini menghasilkan medan magnet yang memungkinkan transfer daya dari koil pengirim ke koil penerima. Biasanya, IPT beroperasi pada frekuensi dalam kisaran kilohertz (kHz) (Chittoor, Chokkalingam and Mihet-Popa, 2021).

Dalam implementasi WPT, rangkaian WPT dipengaruhi oleh nilai frekuensi, nilai kapasitor, jarak antar koil (Akbar et al., 2023). Dengan adanya nilai sinyal frekuensi, perangkat *transmitter* yang terhubung dengan sumber tegangan akan menghasilkan medan elektromagnetik (EMF) yang dapat mengirimkan daya melintasi ruang perantara menuju ke *receiver* yang akan mengubah daya listrik dari EMF ke beban listrik, sehingga transfer daya secara nirkabel dapat dilakukan

(Rizky et al., 2022). Kumparan penerima yang terinduksi oleh medan elektromagnetik (EMF) akan menghasilkan arus listrik AC. Arus ini kemudian dapat diubah menjadi arus DC menggunakan penyearah (*rectifier*) sehingga dapat digunakan untuk beban listrik DC (Suroso et al., 2023).



Gambar 2.3 Mengenai Ilustrasi WPT secara Inductive Coupling

Sumber : (Suroso et al., 2023)

Mutual Inductance (M) adalah sifat dua kumparan ketika keduanya saling berdekatan. Hal ini mengacu pada besarnya fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan pengirim yang dihubungkan ke kumparan penerima dengan cara menginduksi tegangan atau EMF pada kumparan penerima. Fluks magnet yang diterima oleh kumparan penerima juga sedikit banyak bergantung pada jarak dan arah antar kumparan, dilambangkan dengan *coupling coefficients* (K) dengan skala nilai dari 0 sampai 1 (Hughes, et al., 2024). Dengan teori yang telah disebutkan, Hubungan antara M dan K pada rangkaian WPT dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (2,2)$$

Keterangan

K = *Coupling Coefficient*

M = Mutual Inductance

L_1 = Induktansi Kumparan 1

L_2 = Induktansi Kumparan 2

2.2.3 Quality Factor

Rasio antara induktansi (L) dan resistansi (R) pada sebuah kumparan tetap konstan untuk berbagai konfigurasi lilitan dalam volume dan bentuk yang sama. Oleh karena itu, nilai ini masuk akal untuk didefinisikan sebagai indikator kualitas yang membedakan struktur kumparan yang berbeda. Faktor kualitas (Q) didefinisikan berdasarkan rasio ini (Waffenschmidt, 2011).

Tegangan yang diinduksi oleh arus yang sama dalam sebuah induktor akan meningkat seiring dengan frekuensi (f), demikian pula daya semu pada perangkat tersebut. Secara umum, definisi faktor kualitas didasarkan pada rasio antara daya semu terhadap rugi daya dalam suatu perangkat. Berdasarkan definisi ini, faktor kualitas dari sebuah kumparan ditentukan sebagai berikut:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} \quad (2,3)$$

Keterangan

Q = *Quality Factor*

f = nilai Frekuensi

L = nilai Induktansi

R = nilai Resistansi

Faktor kualitas (Q) dapat memiliki nilai antara 0 hingga tak terhingga, meskipun sulit untuk mencapai nilai yang jauh di atas 1000 pada kumparan. Untuk produksi massal, nilai Q biasanya berada di sekitar 100. Faktor kualitas di bawah 10 dianggap kurang bermanfaat. Nilai-nilai ini harus dipahami sebagai urutan besaran yang umum. Pada frekuensi operasi yang tetap, faktor kualitas (Q) terutama dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran kumparan, serta jenis material yang digunakan. Faktor kualitas ini umumnya disediakan untuk teknik kumparan standar, seperti kumparan gulung kawat atau kumparan pada PCB.

Pada penelitian ini, sistem WPT yang diteliti berfokus kepada nilai *quality factor* yang dijadikan standar produksi massal. Perhitungan *quality factor* diperlukan agar peneliti mengetahui sistem yang ingin dirancang sudah mendekati prototipe yang setara dengan produksi massal di pasaran.

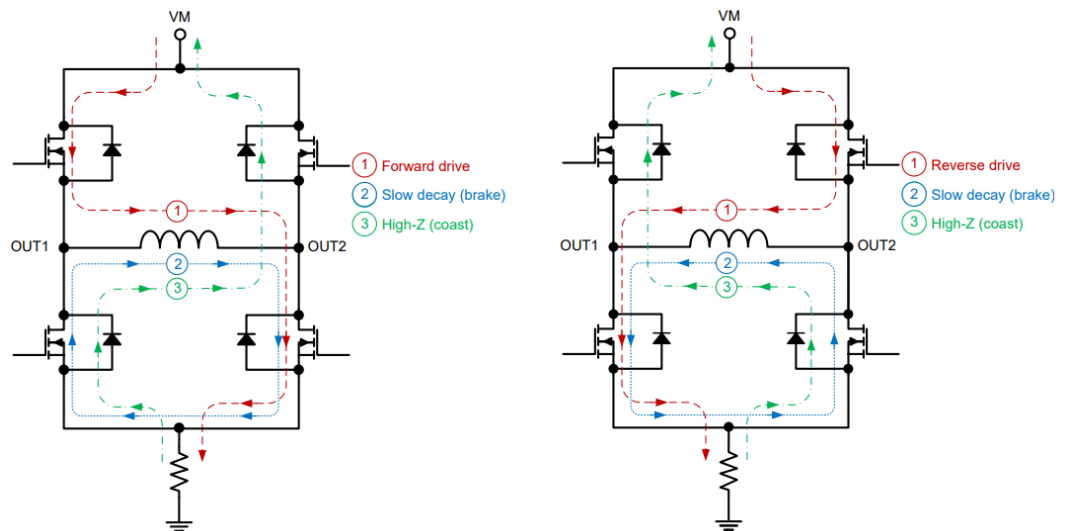
Perhitungan *quality factor* juga harus mempertimbangkan RLC Circuit yang dirangkai, sehingga pada penelitian yang ingin di rancang, *quality factor* bisa

tercapai dengan syarat RLC *circuit* pada rangkaian pengirim dan penerima sudah dikalkulasikan sedemikian rupa. Nilai komponen yang digunakan pada RLC *Circuit* harus memenuhi syarat pada perhitungan resonansi frekuensi. Sehingga dengan harapan peneliti sudah melakukan perhitungan resonansi frekuensi dan memenuhi nilai *quality factor* yang berstandarkan produksi pasaran, nilai daya yang diperoleh dari percobaan adalah nilai optimal yang dikeluarkan oleh sistem.

2.2.4 H-Bridge

Menurut (Das et al., 2020), *H-Bridge* adalah rangkaian elektronik yang dirancang untuk mengontrol polaritas atau arah arus yang mengalir melalui motor DC. Saat mengendalikan motor DC, sinyal PWM dikeluarkan yang mengontrol kecepatan dan arah putaran motor. Keuntungan dari rangkaian ini adalah daripada memutuskan satu terminal dengan terminal lainnya, melainkan dapat dihubungkan langsung ke terminal motor DC untuk menghasilkan ggl balik (*back-EMF*) yang memperlambat putaran rotor.

Dengan adanya *Back-EMF* pada output *H-Bridge* dengan keadaan motor yang dibuat kondisi logika *HIGH* dan *LOW* secara simultan, maka dari rangkaian tersebut bisa terbentuk generator sinyal *Volt peak-to-peak* (V_{pp}) yang mana sinyal ini mempunyai tegangan bersifat tegangan AC (Suroso et al., 2023). Tegangan V_{pp} yang dihasilkan dari hasil generator sinyal dari *H-Bridge* umumnya memiliki beda potensial yang sangat tinggi sehingga berpotensi dapat merusak MOSFET. Dengan pertimbangan tersebut, umumnya *H-Bridge motor driver* disematkan juga IC atau dioda yang disusun secara parallel dengan fungsi sebagai pembuat jalur arus kepada MOSFET saat terjadi *switching* yang mana bisa mempengaruhi gerakan atau logika dari arah motor (Gambar 2.4).



Gambar 2.4 H-Bridge Circuit Paths

Pada umumnya pengaturan dari arah arus dari *H-Bridge* mempengaruhi pada logika dari output *H-Bridge* itu sendiri berdasarkan MOSFET yang dilalui. Nilai logika yang keluar dari *H-Bridge* itu sendiri antara lain ; *Reverse* , *Forward*, dan *Brake*. Untuk mendapatkan sinyal V_{pp} agar bisa menghasilkan back-EMF maka perlu membuat *H-Bridge* tersebut mempunyai logika *output Forward* dan *Reverse* secara bergantian (Suroso et al., 2023).

2.2.5 Pulse Width Modulation di Raspberry Pi 5

Frequency generator pada penelitian terkini umumnya adalah generator sinyal – sinyal elektronik yang masukannya dapat diatur oleh pengguna dengan parameter yang bermacam macam seperti amplitudo, bentuk sinyal, frekuensi, dan periode sinyalnya dan pada implementasinya, *frequency generator* bisa memanfaatkan fitur PWM pada *microcomputer* (Suroso et al., 2023). Berdasarkan pada bentuk sinyal, bentuk dari sinyal itu sendiri ada tiga macam yaitu, *square wave*, *sine wave* , dan *triangle wave*.

Generator frekuensi PWM (*Pulse Width Modulation*) pada Raspberry Pi dapat digunakan secara efektif untuk mendukung sistem Wireless Power Transfer (WPT) (Suroso et al., 2023). PWM adalah teknik yang mengatur sinyal digital menjadi sebuah gelombang persegi yang memiliki variabel duty cycle, yang artinya durasi sinyal "on" terhadap periode total dapat diubah sesuai kebutuhan. Dalam konteks WPT, PWM berperan penting dalam mengontrol frekuensi dan daya yang ditransmisikan (Akbar et al., 2021).

Raspberry Pi dilengkapi dengan pin GPIO (General Purpose Input/Output) dapat digunakan sebagai penghasil sinyal PWM. Melalui modul perangkat lunak seperti RPi.GPIO atau pigpio , *Raspberry Pi* mampu menghasilkan PWM dengan frekuensi dan duty cycle yang dapat disesuaikan. Untuk aplikasi WPT, frekuensi

PWM yang dihasilkan harus disesuaikan dengan frekuensi resonansi dari sistem WPT, yang biasanya berada pada rentang puluhan hingga ratusan kHz.

Pengaturan frekuensi PWM pada *Raspberry Pi* memungkinkan kontrol yang presisi atas daya yang ditransmisikan melalui WPT. Ini sangat penting untuk efisiensi transfer daya, karena resonansi antara pengirim dan penerima di sistem WPT sangat bergantung pada frekuensi yang tepat (Akbar and Hodaka, 2020). Selain itu, dengan menyesuaikan *duty cycle* PWM, *Raspberry Pi* dapat mengatur jumlah daya yang ditransmisikan, memungkinkan kontrol dinamis terhadap sistem pengisian daya nirkabel. Dengan demikian, *Raspberry Pi* dapat diandalkan sebagai sumber sinyal PWM untuk WPT, memberikan kontrol fleksibel terhadap frekuensi dan daya yang ditransmisikan, yang keduanya merupakan faktor kritis dalam optimasi sistem WPT.

2.2.6 Serial Peripheral Interface

SPI (Serial Peripheral Interface) adalah protokol komunikasi serial sinkron yang banyak digunakan untuk menghubungkan perangkat master dengan satu atau lebih perangkat. Keunggulan utama SPI adalah kemampuannya untuk melakukan komunikasi penuh-dupleks, yang memungkinkan pengiriman data secara bersamaan dalam kedua arah, sehingga meningkatkan efisiensi komunikasi. SPI bekerja dengan menggunakan arsitektur master-slave, di mana perangkat master mengontrol jalannya komunikasi dan perangkat slave merespon perintah yang diberikan oleh master. Karena fleksibilitas dan kecepatannya, SPI cocok digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sensor dan perangkat memori (Y. Sreeja et al., 2023).

SPI menggunakan konfigurasi empat jalur untuk komunikasi, yaitu *Master Out Slave In (MOSI)*, *Master In Slave Out (MISO)*, *Serial Clock (SCK)*, dan *Chip Select (CS)* untuk setiap perangkat slave. Pada konfigurasi ini, perangkat master bertugas untuk menghasilkan sinyal *clock* dan mengontrol komunikasi antar perangkat. Keunggulan SPI dibandingkan dengan protokol lain, seperti I2C, adalah kemampuannya untuk melakukan komunikasi dua arah secara bersamaan atau *full-duplex*. Hal ini memungkinkan data dikirim dan diterima secara bersamaan, yang meningkatkan efisiensi dalam proses komunikasi.

Penggunaannya SPI sangat beragam, mulai dari komunikasi dengan memori flash, sensor, hingga jam *real-time*. Meskipun SPI menawarkan komunikasi dengan kecepatan tinggi dan fleksibilitas, penggunaan protokol ini dapat memerlukan lebih banyak kabel dibandingkan dengan metode komunikasi paralel, yang bisa menambah kompleksitas pada desain rangkaian elektronik.

BAB 3 METODOLOGI

Bab ini memaparkan langkah-langkah yang digunakan penulis dalam mempertimbangkan suatu masalah penelitian berdasarkan alasan yang melatarbelakangi masalah penelitian tersebut. Fokus pembahasannya adalah pada perancangan langkah-langkah strategis, yang disusun berdasarkan analisis terhadap permasalahan yang disajikan, dengan harapan mampu menjawab rumusan masalah dan tujuan yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya.

3.1 Tipe, Strategi, dan Rancangan Penelitian

Pengujian dilakukan dengan mengacu pada tipe penelitian implementatif pengembangan, yang berfokus pada pendekatan sistematis melalui tahapan-tahapan analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Dalam penelitian ini, proses analisis komponen berperan penting untuk mengidentifikasi dan memahami kondisi aktual yang ada, dengan berlandaskan pada teori-teori yang telah dibahas sebelumnya. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai permasalahan yang dihadapi serta solusi yang dapat diimplementasikan untuk mencapai hasil yang optimal.

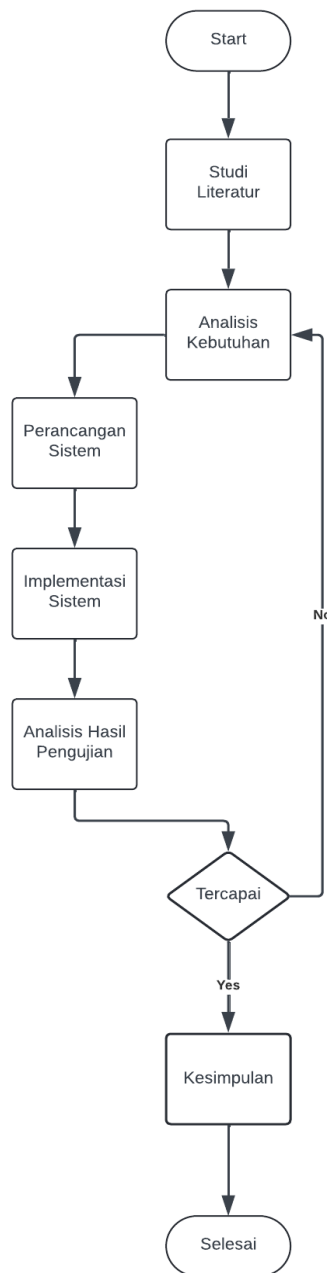
Strategi dan perancangan penelitian ditujukan untuk mendapatkan jawaban atas rumusan masalah yang telah dikemukakan dengan mengacu pada kebutuhan sistem yang diusung. Tahapan perancangan sangat bergantung pada kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta algoritma sistem. Hal ini disebabkan oleh peran penting kebutuhan-kebutuhan tersebut dalam menentukan solusi yang tepat untuk permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini.

3.1.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui berbagai tahapan yang mengacu pada kebutuhan dan tujuan penelitian. Tahapan-tahapan yang dirancang oleh penulis dapat dilihat pada Gambar 3.1. Secara sistematis, penelitian ini melibatkan tinjauan pustaka yang mendalam untuk menemukan solusi yang relevan dengan permasalahan yang diangkat. Selanjutnya, sistem dirancang berdasarkan kebutuhan fungsionalitas dan implementasi yang sesuai dengan rumusan dan tujuan penelitian.

Tahapan-tahapan ini dirancang untuk menguraikan aspek rekayasa perangkat keras dan perangkat lunak, yang kemudian diimplementasikan dalam kondisi nyata. Setelah sistem selesai dirancang, akan dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa sistem dapat menjawab rumusan masalah yang ada. Jika hasil pengujian tidak memuaskan, maka akan dilakukan evaluasi dan penyesuaian kebutuhan. Sebaliknya, jika penelitian berhasil menjawab rumusan masalah, maka

sistem akan menghasilkan temuan analisis dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.



Gambar 3.1 Flowchart Model

3.1.2 Objek dan Lokasi Penelitian

Objek penelitian yang digunakan adalah hasil dari transfer daya yang dihasilkan di rangkaian penerima, selain itu bentuk presentasi eror frekuensi yang dihasilkan oleh sistem juga menjadi objek penelitian. Penelitian ini berfokus kepada kebutuhan frekuensi secara presisi untuk proses transfer daya pada rangkaian WPT

Selama dilakukan penelitian, lokasi penelitian dilakukan di Gedung F9.3, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya

3.1.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan teknik pengambilan data yang diambil langsung menggunakan *Oscilloscope* untuk menganalisis frekuensi pada pengirim mikrokontroler dan pada *H-Bridge*. Mikrokontroler digunakan untuk sebagai masukan pada sistem untuk menghasilkan frekuensi PWM yang diinginkan. Data frekuensi PWM yang telah disimpan akan di analisis pengaruhnya pada rangkaian WPT yang sudah dibuat

Adapun juga dari pengambilan data secara manual untuk mengukur daya menggunakan multimeter yang kemudian datanya lebih dispesifikan pada rentang tertentu setelah mengetahui nilai puncak pada pengukuran daya di rangkaian *receiver*.

Validasi data diperlukan agar setiap pengambilan data dalam pengujian yang dilakukan peneliti akurat dan tervalidasi. Pengambilan data menggunakan *oscilloscope* divalidasi dengan cara fitur *self calibration*, sehingga fitur ini menggunakan referensi internal osiloskop untuk memastikan alat bekerja sesuai spesifikasi. Sedangkan pada pengukuran data dengan menggunakan multimeter divalidasi dengan sertifikasi kalibrasi yang dikeluarkan oleh produk multimeter yang digunakan

3.1.4 Teknik Analisis Data

Penelitian pertama menganalisis presentase error pada frekuensi yang diukur pada periferil PWM di *Raspberry Pi 5* dan pada periferil *output H-Bridge*. Presentase error akan diukur pada masukan frekuensi yang dilakukan oleh peneliti dalam rentang interval tertentu untuk melihat grafik presentase errornya.

Penelitian kedua menganalisis data dengan melihat nilai arus, voltase, dan daya pada rangkaian penerima untuk melihat nilai maksimal daya pada beberapa masukan sistem dari peneliti. Selain itu, dilakukan analisis dengan menggunakan grafik perbandingan daya yang dihasilkan pada frekuensi tinggi. Tujuannya adalah untuk mengamati hubungan antara frekuensi yang digunakan dengan daya yang dihasilkan.

3.1.5 Peralatan Pendukung

Peralatan Pendukung dalam penelitian berguna dalam menunjang dan memudahkan kegiatan dalam perancangan dan implementasi sistem. Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian sebagai berikut.

1. Laptop

Laptop digunakan dalam perancangan desain dari sistem dan integrasi terhadap perangkat lunak dengan perangkat keras (*microcomputer*) dalam rangka implementasi sistem. Penelitian ini menggunakan beberapa *software* penunjang seperti.

a. LtSpice

LtSpice digunakan dalam mensimulasikan rangkaian WPT yang akan dibuat dan data dari LtSpice nantinya akan dijadikan uji banding dengan data yang dihasilkan rangkaian WPT yang sudah dibuat

b. Fritzing

Fritzing digunakan dalam merancang atau mendesain rangkaian WPT sebelum sistem dieksekusi secara demi menganstisipasi kegagalan atau error yang terjadi saat perancangan langsung sistem

c. Visual Studio Code (VsCode)

VsCode sebagai bentuk media interkoneksi yang digunakan untuk menulis kode program ditujukan terhadap Microcontroller. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah python dengan menggunakan library rpi.gpio untuk akses general purpose input output (GPIO) pada mikroprosesor yang digunakan.

d. Github

Github digunakan untuk mengirim dan menyimpan data yang perlu selama uji coba atau pengambilan data dari sistem yang sudah dibuat.

2. LCR Meter

LCR meter digunakan untuk mengukur induktansi koil dan kapasitansi kapasitor yang digunakan dalam rangkaian. Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh nilai yang akurat sesuai dengan alat yang tersedia.

3. *Oscilloscope*

Oscilloskop digunakan untuk memvisualisasikan keluaran sinyal kendali pada H-Bridge yang terhubung ke mikroprosesor. Keluaran yang diamati berupa sinyal gelombang persegi pada modul H-Bridge, serta frekuensi gelombang tersebut digunakan sebagai data uji dalam penelitian ini.

4. Multimeter Digital

Multimeter digital digunakan untuk mengukur daya yang diterima pada rangkaian penerima WPT selama pengujian jarak dan orientasi antara koil. Dengan demikian, pengaruh jarak dan orientasi terhadap daya yang diterima atau dihasilkan oleh koil dapat diukur dan dianalisis secara matematis.

5. *Microcomputer*

Microcomputer digunakan untuk memfasilitasi pengambilan data daya pada sisi koil penerima. Dengan demikian, data yang diterima dapat dianalisis dengan presisi karena tersimpan secara digital.

BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN

Bagian ini membahas beberapa hal yang diperlukan untuk merancang sistem secara menyeluruh dan menjadi bagian integral dari sistem tersebut. Pembahasan akan dilakukan secara detail dan komprehensif agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan harapan peneliti.

4.1 Kajian Masalah

Sebuah sistem yang dibuat untuk WPT di perlukan frequency generator yang nantinya bertujuan untuk menghasilkan sinyal (*signal generator*). Menurut (Suroso et al., 2023) ketelitian frekuensi sangat berpengaruh terhadap keluaran tegangan dan arus yang ada di sisi *reciever* dalam pengoperasian sistem WPT. Dengan karakteristik yang sudah disebutkan, diperlukan sistem yang dapat mengatur frekuensi secara presisi dan akurat sesuai dengan keinginan pengguna agar membuat sinyal *Alternating current* (AC). Berdasarkan keterbatasan penelitian sebelumnya, frekuensi yang di uji dengan cara *sweeping frequency* dari 0 Khz sampai dengan 700 Khz agar mengetahui daya tertinggi pada penelitian dengan Qi sebagai standar WPT.

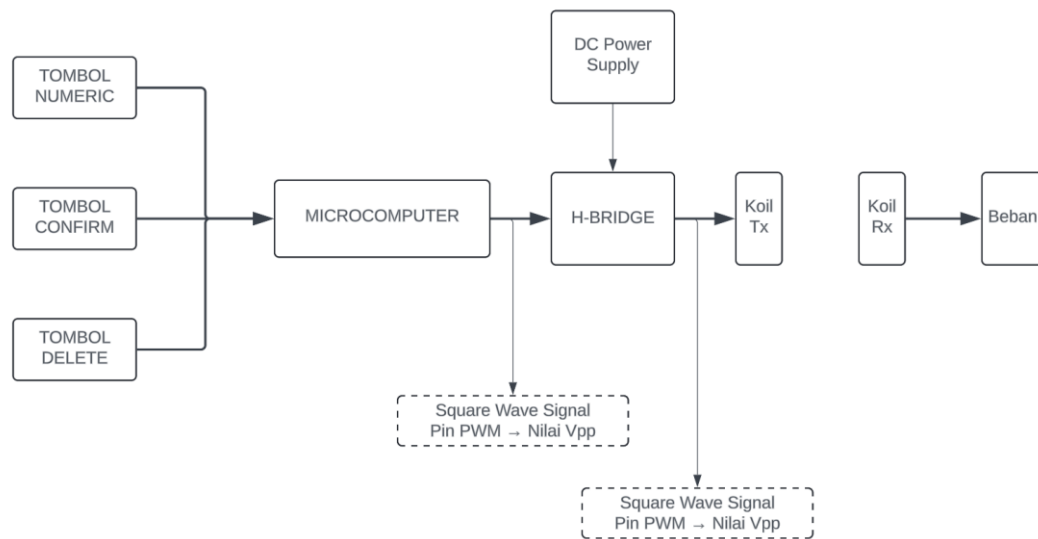
Dengan mempertimbangkan kepentingan pada penelitian yang disinggung sebelumnya, dipilihlah *Raspberry Pi 5* dan *Dual Motor H-Bridge 450W PWM*. Hal ini didasarkan pada *Raspberry Pi 5* yang mempunyai kemampuan untuk bisa menginstall *library* yang bisa digunakan untuk menentukan frekuensi agar bisa dikirim ke kontrol sistem dan *H-Bridge* supaya bisa menghasilkan nilai frekuensi secara presisi dan akurat. Dengan frekuensi ini juga peneliti dapat mengetahui pengaruh dari ketelitian frekuensi terhadap daya yang di ukur pada sisi penerima.

4.2 Identifikasi Stakeholder

Stakeholder pada penelitian ini adalah para peneliti, organisasi, atau individu yang membutuhkan pemahaman dan penerapan mengenai *Wireless Power Transfer*. Para *stakeholder* memerlukan analisis terkait pengaruh nilai induktansi koil, penggunaan frekuensi dengan masukan secara presisi dan akurat, serta nilai kapasitor yang dipakai untuk mencapai hasil transmisi daya yang lebih optimal.

4.3 Diagram Sistem

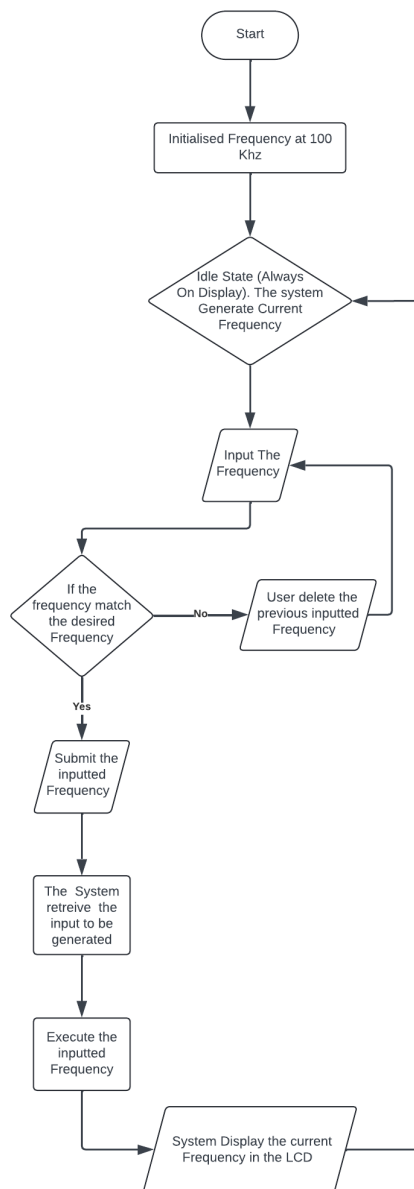
Diagram sistem disusun untuk memberikan gambaran keseluruhan sistem yang dikembangkan, termasuk interkoneksi antar komponen dan batasan atau area fokus yang menjadi objek penelitian. Penelitian ini berfokus pada pengembangan *frequency generator* dengan peningkatan nilai daya pada rangkaian penerima untuk mendukung proses transmisi daya. Sistem ini menitikberatkan pada penambahan komponen dalam rangkaian sebelum *H-Bridge* (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Diagram Sistem

4.4 Behavioral Model

Behavioral Model adalah diagram yang menggambarkan perilaku operasional sistem. Model ini merepresentasikan fungsi kerja sistem dengan tujuan memudahkan pemahaman terhadap sistem yang dirancang (Gambar4.4)



Gambar 4.2 Behavioral Model

Sistem ketika pertama kali dijalankan dengan nilai frekuensi default yang dapat di set otomatis 100 Khz. Di sini user akan bisa memasukkan nilai frequency sesuai dengan user inginkan dengan ketelitian sampai 1Hz dengan catatan frekuensi yang dimasukkan tidak lebih kurang dari 0. Lalu juga ada tampilan frekuensi untuk menampilkan frekuensi yang di input sebelumnya. Ada tombol *Submit* dan tombol *delete* untuk mengkonfirmasi frekuensi yang dimasukkan dan menghapus frekuensi.

4.5 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional mencakup berbagai persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem agar pengguna dapat mengoperasikannya sesuai dengan tujuan dan fungsi yang diharapkan. Berikut adalah kebutuhan-kebutuhan tersebut.

1. Sistem mampu memasukkan nilai frekuensi yang diinginkan kepada rangkaian H-Bridge
2. Sistem mampu menampilkan masukan frekuensi sebelumnya.
3. Sistem bisa menampilkan tampilan antarpengguna agar pengguna bisa memasukkan nilai dengan fitur *touchscreen*.

4.6 Spesifikasi Sistem

Sebelum masuk ke spesifikasi sistem, peneliti merinci setiap kebutuhan sistem dalam tabel yang disajikan dalam bentuk *form-based specification*. (Tabel 4.1; Tabel 4.2; Tabel 4.3;)

Tabel 4.1 Input Frekuensi

Input Frekuensi	
Fungsi	Memasukan nilai frekuensi pada H-Bridge
Keterangan	Proses memasukkan nilai frekuensi agar bisa membuat <i>square wave signal</i> yang digunakan sebagai <i>frequency generator</i> .
Masukan	Nilai frekuensi pada <i>Microcontroller</i> sebagai bahan pengujian
Sumber	Microcontroller
Keluaran	Nilai Square wave signal dengan masukan frekuensi tertentu
Tujuan	Agar bisa memenuhi perhitungan <i>frequency resonant</i> pada sistem WPT
Memerlukan	Button display touchscreen
Prasyarat	Nilai masukan harus lebih dari 0 dan kurang dari 1000000
Pasca Kondisi	Terjadi peningkatan nilai V_{pp} pada rangkaian setelah H Bridge
Efek samping	Pada frekuensi Lebih dari 500 Khz, Suhu di H-Bridge akan memanass.

Tabel 4.2 Menampilkan Frekuensi pada Display

Menampilkan Frekuensi pada Display	
Fungsi	Untuk menampilkan berapa frekuensi yang dihasilkan pada saat <i>microcomputer</i> beroperasi
Keterangan	Proses dimana memonitoring hasil dari frekuensi yang dihasilkan oleh Microcomputer berdasarkan masukan frekuensi sebelumnya.
Masukan	Nilai PWM pada <i>Microcontroller</i>
Sumber	Perangkat display yang terhubung dengan <i>microcomputer</i>
Keluaran	Nilai frekuensi
Tujuan	Agar bisa memenuhi perhitungan <i>frequency resonant</i>
Memerlukan	<i>Microcomputer</i> harus terkoneksi dengan perangkat display frekuensi
Prasyarat	Nilai masukan harus terpenuhi
Pasca Kondisi	Frekuensi yang di <i>generate</i> oleh <i>microcomputer</i> akan terlihat
Efek samping	-

Tabel 4.3 Default Frequency

Default Frequency	
Fungsi	Untuk memasukan nilai 100 Khz adalah masukan standar frekuensi.
Keterangan	100 Khz akan di masukan secara otomatis oleh sistem pada <i>microcomputer</i> saat pertama kali menghidupkan <i>microcomputer</i>
Masukan	Nilai standar frekuensi
Sumber	Sistem yang telah ditanamkan pada <i>Microcomputer</i>
Keluaran	Square wave signal dengan nilai frekuensi standar
Tujuan	Memastikan H-Bridge bisa terkoneksi dengan <i>Microcomputer</i>
Memerlukan	<i>Microcomputer</i> harus dinyalakan terlebih dahulu dan menjalankan script kode yang sudah di atur

Pasca Kondisi	H-Bridge akan menerima <i>square wave signal</i> agar di ubah menjadi sinyal Vpp yang bersifat AC
Efek samping	-

Tiga tabel di atas menjelaskan berbagai fungsi dan proses yang terjadi dalam sistem WPT terkait dengan pengaturan dan monitoring frekuensi. Tabel 4.1 menggambarkan proses memasukkan nilai frekuensi pada H-Bridge melalui microcontroller untuk menghasilkan sinyal *square wave* yang digunakan sebagai *frequency generator*. Input frekuensi yang dimasukkan harus lebih besar dari 0 dan kurang dari 1.000.000 Hz, dengan tujuan untuk memenuhi perhitungan frekuensi resonan pada sistem WPT. Namun, pada frekuensi lebih dari 500 kHz, suhu pada *H-Bridge* dapat meningkat. Tabel 4.2 menunjukkan bagaimana frekuensi yang dihasilkan oleh *microcomputer* ditampilkan pada perangkat display untuk memonitor hasil dari masukan frekuensi sebelumnya. Proses ini memungkinkan pengguna untuk melihat nilai frekuensi yang dihasilkan dan memastikan bahwa sistem bekerja sesuai dengan perhitungan resonansi frekuensi yang diinginkan. Tabel 4.3 menjelaskan tentang *default frequency*, di mana sistem secara otomatis memasukkan nilai frekuensi standar 100 kHz saat pertama kali menghidupkan *microcomputer*. Frekuensi ini bertujuan untuk memastikan bahwa *H-Bridge* dapat terkoneksi dengan *microcomputer* dan menghasilkan sinyal *square wave* yang akan diubah menjadi sinyal AC dengan nilai Vpp pada sisi penerima. Semua proses ini bekerja untuk memastikan sistem WPT berfungsi dengan baik dan frekuensi yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Penjelasan yang lebih rinci mengenai kebutuhan fungsional sistem yang disampaikan melalui *form-based specification* di atas menjadi dasar awal dalam merumuskan spesifikasi sistem yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan fungsional tersebut.

Tabel 4.4 Form Based Specification

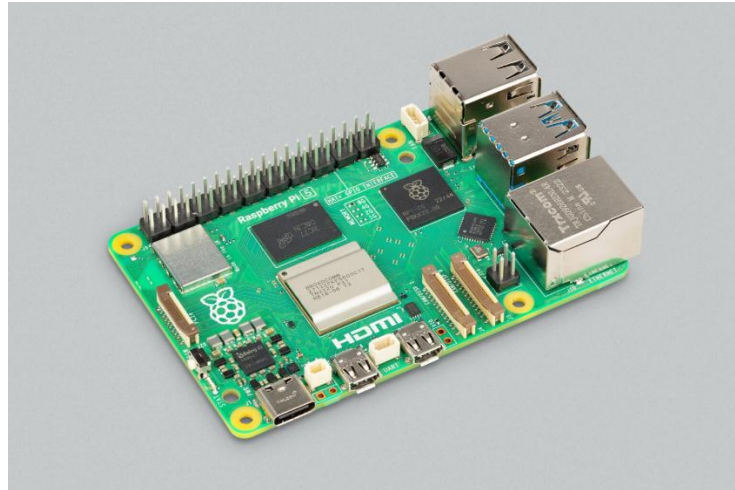
No	Spesifikasi	Usulan	Alasan
1	Input Frekuensi	LCD 3.5, Raspbery Pi 5, Modul Driver Motor H-Bridge & IC NOT Gate SN74LS04	Modul driver pada pengujian sebelumnya terbukti bisa menghasilkan frekuensi tinggi sampai 700 Khz dan Raspbery Pi 5 dapat

			menghasilkan square wave signal PWM dengan pengaturan frekuensi secara presisi dan akurat. LCD digunakan sebagai <i>user interface</i> pengguna ketika ingin memasukan frekuensi yang diinginkan.
2	Menampilkan nilai frekuensi pada display	Raspberry pi 5 dan LCD 3.5	Agar bisa memonitor masukan sebelumnya dari frekuensi PWM pada Raspberry Pi 5 yang nantinya akan dijadikan sebagai bahan pengujian
3	Default Frekuensi	Raspberry Pi 5, Modul Driver Motor H-Bridge & IC NOT Gate SN74LS04	Agar bisa mengetahui bahwasanya H-Bridge sudah terhubung dengan Raspberry Pi 5 sebagai inisiasi penelitian

4.7 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

4.7.1 Kebutuhan Perangkat Keras

1. Raspberry Pi 5



Gambar 4.4 Raspberry Pi 5

Sumber : <https://www.raspberrypi.com/news/introducing-raspberry-pi-5/>

Raspberry Pi 5 (Gambar 4.4) merupakan SBC terbaru yang hadir di kelas minicomputer dengan peningkatan performa dan fleksibilitas tinggi, sebagaimana rincian spesifikasinya pada Tabel 4.5 . Pada penelitian ini, Raspberry Pi 5 difungsikan sebagai pengendali utama, menghubungkan perangkat seperti sensor, display, dan sistem I/O lainnya. Selain itu, dengan peningkatan CPU dan GPU serta fitur dual 4K HDMI dan PCIe 2.0, *Raspberry Pi 5* menawarkan kinerja dua kali lipat lebih cepat dari pendahulunya. *Raspberry Pi 5* juga digunakan sebagai penghasil frekuensi melalui pin PWM yang terhubung ke *H-Bridge*. Pemilihan komponen ini didasari oleh kemampuannya menghasilkan frekuensi yang diklaim dapat mencapai rentang hingga 25 MHz.

Berkat kapabilitasnya, banyak penelitian yang melibatkan perangkat *Internet of Things* (IoT) dan robotika memanfaatkan Raspberry Pi 5, baik sebagai kontroler utama maupun sebagai sub-kontroler dalam sistem yang dirancang. Hal ini juga didukung oleh sistem operasi berbasis *Linux* dan berbagai library kode yang tersedia.

Tabel 4.5 Spesifikasi Raspberry Pi 5

Spesifikasi	Keterangan
SoC	Broadcomm BCM2712 SoC
Prosesor	2.4GHz quad-core 64-bit Arm Cortex-A76 CPU
RAM	Up to 8GB LPDDR4
Multimedia	VideoCore VII GPU, supporting OpenGL ES 3.1, Vulkan 1.2 Dual 4Kp60 HDMI® display output 4Kp60 HEVC decoder

Konektivitas	<ul style="list-style-type: none"> - High-speed microSD card interface with SDR104 mode support - 2 × USB 3.0 ports, supporting simultaneous 5Gbps operation - 2 × USB 2.0 ports - Gigabit Ethernet, with PoE+ support (requires separate PoE+ HAT, coming soon) - 2 × 4-lane MIPI camera/display transceivers - PCIe 2.0 x1 interface for fast peripherals
Penyimpanan	MicroSD
GPIO	40-pin GPIO header (Backwards-compatible with previous boards)
Daya	5V 3A DC USB-C Connector; 5V 3A GPIO Connection; Power over Ethernet (PoE) Enabled

2. 450W PWM Modul Driver Motor H-Bridge

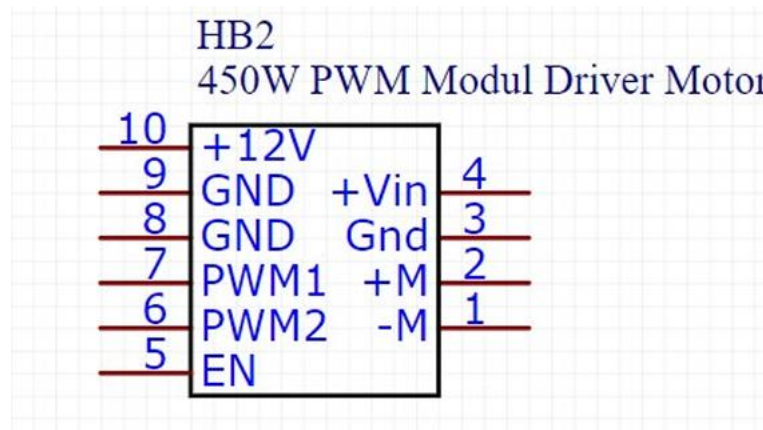


Gambar 4.5 450W PWM Modul Driver Motor H-Bridge

Sumber: <https://id.aliexpress.com/i/1005005358502983.html>

Modul *Driver Motor H-Bridge* 450W PWM (Gambar 4.5) adalah modul *H-Bridge* yang dilengkapi dengan komponen MOSFET F3205s dan *controller* L7812CV. Modul ini terdiri dari empat MOSFET yang berfungsi mengarahkan aliran arus melalui beban dan berperan sebagai saklar utama. Pengaturan ini dilengkapi oleh *controller* modul L7812CV, yang mampu menjaga tegangan stabil sebesar 12V

meskipun tegangan sumber bervariasi. Konfigurasi pin pada modul driver ini ditunjukkan pada Gambar 4.6, dengan penjelasan rinci yang disajikan di Tabel 4.6.



Gambar 4.6 Skematik 450W PWM Modul Driver Motor

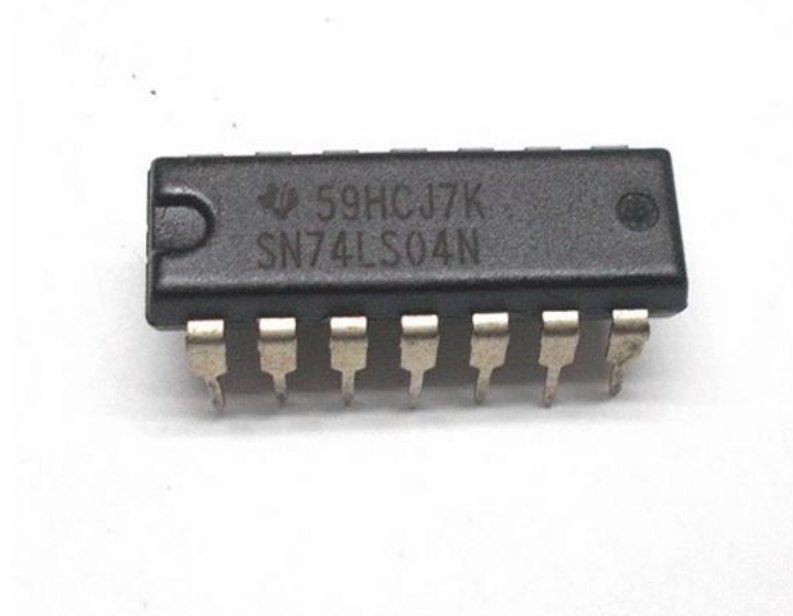
Tabel 4.6 Keterangan Pin H-Bridge

Pin	Keterangan
+Vin	Masukan catu daya elektroda positif
GND	Masukan catu daya elektroda negatif
+M	Sambungan kabel motor positif
-M	Sambungan kabel motor negatif
+12V	Masukan daya H-Bridge
GND	Masukan catu daya elektroda negatif
GND	Masukan catu daya elektroda negatif
PWML1	Kontrol rotasi maju
PWML2	Kontrol inversi atau mundur
EN	Pin aktivasi terminal

3. IC NOT GATE 74ls04

IC NOT GATE 74ls04 adalah gerbang logika NOT yang dikemas dalam sebuah integrated circuit (IC). Komponen ini dapat membalikkan nilai HIGH yang masuk menjadi LOW pada *output* sistemnya. IC ini berperan penting dalam penggunaan modul H-Bridge yang sedang digunakan. Ketiadaan pin DIR pada modul H-Bridge saat ini membuatnya kurang optimal sebagai Frequency Generator. Penggunaan IC ini menjadi solusi dengan membalikkan nilai yang masuk pada salah satu pin PWM menjadi LOW. Dengan demikian, kedua pin

PWM dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai V_{pp} pada output sistem. Bentuk IC NOT Gate ini dapat dilihat pada Gambar 4.7 .



Gambar 4.7 IC NOT GATE

Sumber: <https://components101.com/ics/74ls04-hex-inverting-gates>

4. LCD 3.5inch RPi Display



Gambar 4.8 3.5inch RPi Display

Sumber : http://www.lcdwiki.com/3.5inch_RPi_Display

Modul 3.5inch RPi Display (Gambar 4.8) adalah perangkat *display* yang sering digunakan untuk menampilkan berbagai informasi dalam sistem tertanam. Modul ini dipilih karena kemudahan penggunaannya, didukung oleh komunikasi SPI, sehingga dapat dihubungkan bersama perangkat lain yang menggunakan

protokol yang sama. Modul ini mampu menampilkan resolusi 320*480 (Pixel), menjadikannya ideal untuk kebutuhan informasi teks. Dalam penelitian ini, LCD display digunakan untuk menampilkan nilai frekuensi serta bisa untuk memasukan nilai frekuensi digunakan. Konfigurasi pin pada LCD ini ditunjukkan pada penjelasan rinci yang disajikan di Tabel 4.7 .

Tabel 4.7 Keterangan Pin 3.5 Inch LCD

PIN NO.	SYMBOL	DESCRIPTION
1, 17	3.3V	Power positive (3.3V power input)
2, 4	5V	Power positive (5V power input)
3, 5, 7, 8, 10, 12, 13, 15, 16	NC	NC
6, 9, 14, 20, 25	GND	Ground
11	TP_IRQ	Touch Panel interrupt, low level while the Touch Panel detects touching
18	LCD_RS	Instruction/Data Register selection
19	LCD_SI / TP_SI	SPI data input of LCD/Touch Panel
21	TP_SO	SPI data output of Touch Panel
22	RST	Reset
23	LCD_SCK / TP_SCK	SPI clock of LCD/Touch Panel
24	LCD_CS	LCD chip selection, low active
26	TP_CS	Touch Panel chip selection, low active

5. *Variable Power Supply*

Variable Power Supply adalah perangkat elektronik yang memungkinkan pengguna mengatur nilai tegangan dan arus sesuai kebutuhan. Perangkat ini sangat bermanfaat dalam eksperimen atau uji coba rangkaian, sehingga sering ditemui di laboratorium atau dalam proyek elektronik lainnya. Alat ini berperan penting dalam proses pengujian dan kalibrasi berbagai rangkaian atau komponen elektronika. *Variable Power Supply* sebagai bagian dari penelitian, ditampilkan pada Gambar 4.9, adalah DC *digital variable adjustable voltage* MDB 305EC, yang digunakan untuk menyediakan daya 12V bagi sistem.



Gambar 4.9 Variable Power Supply

6. Koil *Magnetic Copper*



Gambar 4.10 Koil *Magnetic Wire Copper*

Koil atau kumparan yang terbuat dari *magnetic copper wire* adalah komponen penting dalam proses transmisi daya nirkabel pada penelitian ini (Gambar 4.10). Desain atau pembuatan koil sangat mempengaruhi jumlah daya yang dapat ditransfer dari pengirim ke penerima. Selama transmisi daya, koil menyimpan energi listrik yang kemudian dikonversi menjadi medan magnet. Pola medan magnet ini bergantung pada bentuk, jumlah lilitan, dan ketebalan diameter koil. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan jenis koil lingkaran yang berdesain sirkular spilar. Pemilihan desain spiral sirkular mengacu pada penelitian desain koil spiral yang memungkinkan efisiensi tinggi pada jarak transfer pendek hingga menengah. Selain itu Koil lingkaran menunjukkan efisiensi transfer daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan koil jenis lain dalam berbagai konfigurasi dan frekuensi, seperti desain persegi (Stankiewicz and Choroszucho, 2021) . Desain koil mengikuti spesifikasi yang tercantum pada Tabel 4.8 .

Tabel 4.8 Spesifikasi Koil

Koil	Spesifikasi
Pengirim	Tebal tembaga = 1,1mm Putaran (N) = 25 Dimater dalam = 5 cm Nilai induktansi = 63 uH
Penerima	Tebal tembaga = 1,1mm Putaran (N) = 20 Dimater dalam = 5 cm Nilai induktansi = 39 uH

4.7.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat Lunak yang dibutuhkan berdasarkan fungsi dan spesifikasi sistem yang dirancang pada Tabel 4.9 sebagai berikut

Tabel 4.9 Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat Lunak	Fungsi
Library rpi-hardware-pwm	Berfungsi sebagai pengatur agar pin PWM pada <i>raspberrypi 5</i> bisa mengeluarkan frekuensi pada fitur PWM (Pulse with modulation)
Library gpod	Library yang mengatur agar semua pin pada <i>raspberrypi 5</i> bisa diakses
Library Tkinter	Berfungsi sebagai mengatur tampilan antar pengguna agar lebih dalam mudah dalam mengoperasikan pin PWM pada <i>raspberrypi 5</i>
Fish CLI	Sebuah ekstensi pada bash agar memudahkan dalam membuat arsitektur perangkat lunak pembuatan kode pada CLI di <i>raspberrypi 5</i>
Library LCD35-Show	Berfungsi agar bisa mengoperasikan perangkat keras LCD 3.5 inch yang akan diintegrasikan pada <i>raspberrypi 5</i>

Library Enum	Berfungsi sebagai pemudahan penamaan pin PWM sebagai representatif yang akan diwakili oleh angka pada pembuatan kode di perangkat <i>raspberry pi 5</i>
Bash Script	Berfungsi sebagai <i>script</i> yang akan mengkonfigurasi <i>library</i> - <i>libary</i> yang dibutuhkan selama penelitian berlangsung
Python	Bahasa komputasi yang difungsikan untuk menunjang kebutuhan sistem karena dukungan library yang beragam dan sesuai dengan kebutuhan peneliti

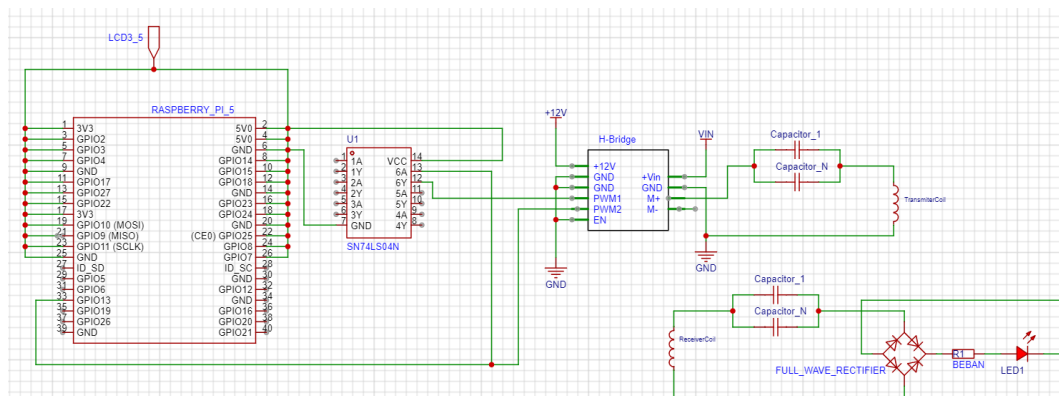
BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini membahas tahapan rekayasa sistem yang dimulai dari proses perancangan hingga implementasi yang diperlukan. Pada tahap perancangan, dilakukan persiapan sistem yang didasarkan pada hasil rekayasa kebutuhan agar implementasi dapat berlangsung dengan baik. Bagian implementasi berfokus pada penerapan desain sistem sampai terbentuknya purwarupa yang siap diuji dan dianalisis.

5.1 Perancangan Sistem

Bagian ini menguraikan perancangan penelitian "Implementasi Raspberry Pi 5 Pulse Width Modulation pada Sistem Penghantar Daya Nirkabel." Perancangan ini terdiri dari dua bagian utama, yaitu perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak.

5.1.1 Perancangan Perangkat Keras

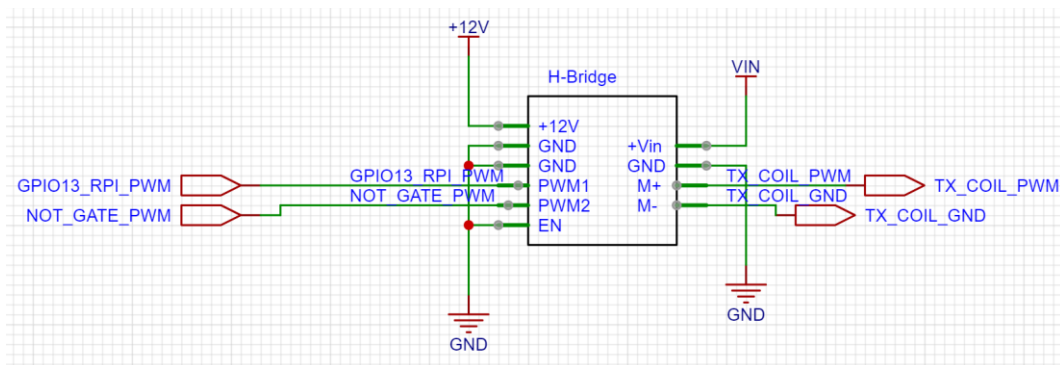


Gambar 5.1 Skema Diagram

(Sumber : Dokumen Pribadi)

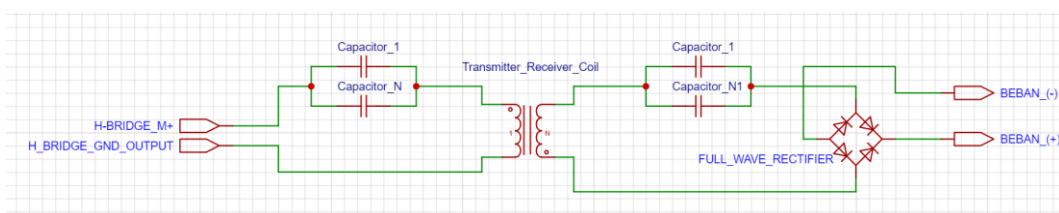
Gambar 5.1 merupakan skematik sistem dari perangkat keras peneliti. Pada skematik ini menunjukkan interkoneksi masing masing pada beberapa komponen seperti *Raspberry Pi 5*, Modul *H-Bridge*, IC *NOT GATE*, lilitan hingga *full wave rectifier* dan komponen antar muka pengguna atau *user interface* (UI) seperti LCD 3.5 yang akan memuat tampilan antar muka serta menjadi tempat untuk memasukkan input frekuensi yang di inginkan oleh pengguna. Perancanganan perangkat keras dibuat dalam memenuhi penelitian yang meliputi kebutuhan fungsional yang telah disebutkan sebelumnya yaitu pengaturan masukan frekuensi PWM secara presisi dan akurat serta pembacaan data yang diterima dari *receiver coil* untuk mengetahui berapa daya yang diterima dari rangkaian pengirim setelah melalui rangkaian penyearah. Dalam menjalankan fitur tersebut peneliti menggunakan *Raspberry Pi 5* sebagai microcomputer untuk

dihubungkan kepada beberapa kompoonen lain seperti *H-Bridge*, IC *NOT GATE*, komponen UI, dan rangkaian Lilitan pada pengirim dan penerima. Pemilihan *Raspberry Pi 5* sebagai *microcomputer* karena perangkat tersebut dapat menghasilkan sinyal PWM ke perangkat *H-Bridge*. Dengan adanya masukan frekuensi sinyal PWM pada pin PWM1 dan PWM2 *H-Bridge* yang diparalelkan oleh IC *NOT GATE* Memungkinkan bisa meningkatkan output nilai V_{pp} demi kebutuhan *inverting square wave signal*. Untuk pengukuran daya dan frekuensi akan dilakukan melalui perangkat eksternal seperti multimeter dan *oscilloscope* sebagai bagian dari pengambilan data dimana data daya yang diterima diambil pada bagian rangkaian penerima yang telah melalui *full wave rectifier* (Gambar 5.2 dan Gambar 5.3). Fitur UI yang ditanamkan pada sistem dimana LCD 3.5 Inch akan berfungsi sebagai input dan output dalam satu layar. LCD di sini akan menampilkan data frekuensi yang digunakan pada sistem dan berfungsi juga sebagai inputan pengguna dalam memasukan frekuensi yang di inginkan sebagai uji penelitian (Gambar 5.4).



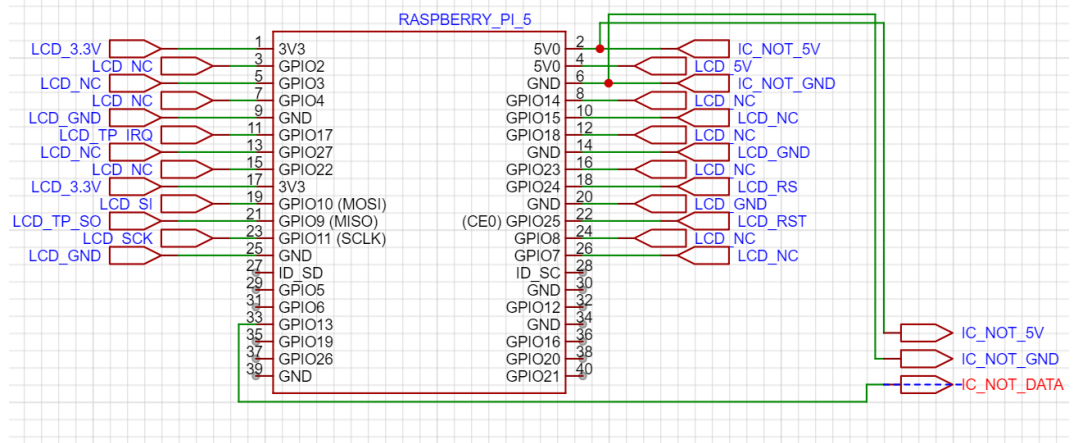
Gambar 5.2 Skematik Rangkaian H-Bridge

(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5.3 Skematik Rangkaian Lilitan Pengirim dan Penerima

(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 5.4 Skematik Rangkaian LCD

(Sumber : Dokumen Pribadi)

5.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Proses perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menggunakan nano sebagai CLI untuk membuat program yang menggunakan bahasa *python* untuk memproses *input* dan *output* sistem. Input pada sistem berfungsi kepada bagaimana pengguna bisa memasukkan frekuensi secara presisi dan akurat untuk pengambilan data. Setiap perubahan frekuensi akan berkorelasi dengan nilai daya yang akan diambil datanya pada rangkaian koil penerima.

5.1.2.1 Perancangan *Signal Pulse With Modulation (PWM)*

Sinyal PWM yang digunakan sebagai bahan penelitian pengujian akan dihasilkan oleh *microcomputer* yang terkoneksi pada perangkat *H-Bridge*, dimana pengguna bisa mengatur masukan frekuensi yang diinginkan. Pada *microcomputer* dapat dilakukan pemrograman untuk mengatur frekuensi arus AC dari *H-Bridge*. Frekuensi yang disarankan bisa dimasukkan untuk dijadikan arus dalam sistem WPT adalah 0 KHz – 500 KHz mengingat keterbatasan dari *H-Bridge* itu sendiri dalam menerima arus. Adapun perancangan *pseudocode* PWM adalah sebagai berikut:

Pseudocode Perancangan PWM	
1	# Impor modul yang diperlukan dan definisikan konstanta
2	
3	# Definisikan konstanta duty cycle
4	DUTY_CYCLE = 50 # 50% duty cycle
5	
6	# Definisikan exception khusus untuk menangani error
7	class AlreadyStartedException # Dilempar jika mencoba memulai
8	PWM yang sudah diinisialisasi
9	class ChannelNotFoundException # Dilempar jika mencoba
10	mengakses channel PWM yang tidak terinisialisasi
11	
12	# Enum untuk channel PWM dengan penugasan GPIO
13	

```

14 # Definisikan kelas PwmControl untuk mengelola operasi PWM
15 class PwmControl
16     - Inisialisasi dictionary untuk menyimpan instance PWM
17
18     # Metode untuk inisialisasi channel PWM
19     def init(channel, frequency)
20         - Periksa apakah channel sudah diinisialisasi
21         - Lempar AlreadyStartedException jika sudah
22         diinisialisasi
23         - Buat dan mulai instance PWM dengan frekuensi yang
24         diberikan
25         - Tambahkan instance PWM ke dalam dictionary
26
27     # Metode untuk mengatur duty cycle dari channel PWM
28     def set(channel, value)
29         - Ambil instance PWM untuk channel yang diberikan
30         - Periksa apakah instance PWM ada; jika tidak, lempar
31         ChannelNotFoundException
32         - Batasi nilai duty cycle antara 0% hingga 50%
33         - Perbarui duty cycle untuk instance PWM
34
35     # Metode untuk mengubah frekuensi channel PWM
36     def change_frequency(channel, frequency)
37         - Ambil instance PWM untuk channel yang diberikan
38         - Periksa apakah instance PWM ada; jika tidak, lempar
39         ChannelNotFoundException
40         - Perbarui frekuensi untuk instance PWM
41
42     # Metode untuk menghentikan PWM pada suatu channel
43     def stop(channel)
44         - Ambil instance PWM untuk channel yang diberikan
45         - Periksa apakah instance PWM ada; jika tidak, lempar
46         ChannelNotFoundException
47         - Hentikan instance PWM
48
49
50 # Buat instance dari PwmControl
51
52 # Inisialisasi PWM pada GPIO 13 dengan frekuensi awal
53 initial_frequency = 100000 # 100 kHz
54 pwm_control.init(Channel.GPIO_13, initial_frequency)
55
56 # Loop utama untuk kontrol PWM dan LED
57 try:
58     - Secara terus menerus:
59         - Atur duty cycle PWM ke 50%
60
61     - Minta pengguna untuk memasukkan frekuensi baru atau
62     keluar
63         - Jika pengguna memasukkan 'q', keluar dari loop
64         - Coba konversi input pengguna ke integer untuk
65         frekuensi baru
66             - Jika valid, perbarui frekuensi PWM
67             - Jika tidak valid, cetak pesan error
68
69 except KeyboardInterrupt:
70     - Tangani penghentian program melalui keyboard interrupt
71
72

```

73	finally: - Hentikan PWM pada GPIO 13 dan cetak pesan penghentian
----	---

5.1.2.2 Perancangan Masukan dengan LCD

Sistem dilengkapi dengan tombol *numeric* (dari 0 sampe 9) yang di animasikan layaknya seperti tombol pada LCD. Selain itu ada tombol *submit* yang berfungsi apabila tombol ini ditekan, masukan frekuensi akan langsung di kerjakan oleh sistem. Ada juga tombol *delete* yang bisa menghapus masukan dari frekuensi satu digit kebelakang ketika pengguna melakukan kesalahan saat melakukan input frekuensi. Berikut *pseudocode* perancangan masukan tombol.

Pseudocode Masukan Dengan LCD	
1	# Fungsi untuk menangani input tombol angka
2	fungsi button_click(dengan parameter value):
3	- Ambil teks yang saat ini ada di input_entry dan simpan
4	ke dalam current_input
5	- Hapus semua isi dari input_entry
6	- Tambahkan current_input dengan nilai dari value,
7	kemudian masukkan hasilnya ke input_entry
8	
9	# Fungsi untuk menghapus karakter terakhir (backspace)
10	fungsi delete_last:
11	- Ambil teks yang saat ini ada di input_entry dan simpan
12	ke dalam current_input
13	- Hapus semua isi dari input_entry
14	- Masukkan current_input tanpa karakter terakhir ke
15	input_entry
16	
17	# Fungsi untuk mengirimkan input (submit) dan memperbarui
18	output
19	fungsi submit_input:
20	- Ambil teks yang saat ini ada di input_entry dan simpan
21	ke dalam current_output
22	- Hapus semua isi dari output_entry
23	- Masukkan current_output ke output_entry
24	- Hapus semua isi dari input_entry
25	
26	# Membuat tombol angka dan fungsinya
27	daftar tombol = [
28	('1', 1, 0), ('2', 1, 1), ('3', 1, 2),
29	('4', 2, 0), ('5', 2, 1), ('6', 2, 2),
30	('7', 3, 0), ('8', 3, 1), ('9', 3, 2),
31	('<-', 4, 0), ('0', 4, 1), ('v', 4, 2)
32]
33	
34	# Menambahkan tombol ke jendela dengan posisi grid
35	untuk setiap (teks, baris, kolom) di daftar tombol:
36	jika teks == '<-':
37	- Buat tombol dengan teks '<-' yang memiliki padding
38	20 dan font 'Arial' ukuran 18
39	- Tetapkan perintah untuk tombol ini sebagai
40	'delete_last'
41	jika teks == 'v':

42	- Buat tombol dengan teks 'v' yang memiliki padding
43	20 dan font 'Arial' ukuran 18
44	- Tetapkan perintah untuk tombol ini sebagai
45	`submit_input`
46	jika bukan:
47	- Buat tombol dengan teks dari variabel `text` yang
48	memiliki padding 20 dan font 'Arial' ukuran 18
49	- Tetapkan perintah untuk tombol ini sebagai
50	`button_click` dengan parameter `t=text`
51	
52	- Tempatkan tombol pada grid di posisi baris+1 dan kolom
53	
54	# Menjalankan loop utama aplikasi
55	jalankan `window.mainloop`

5.1.2.3 Perancangan Informasi Frekuensi Melalui LCD

Penampilan informasi frekuensi yang dijalankan oleh sistem kepada pengguna akan ditampilkan oleh LCD dan terminal (jika pengguna menghubungkannya ke *thirdparty output*). Berikut pseudocode layar keluaran melalui LCD.

Pseudocode Informasi Frekuensi Melalui LCD	
1	# Pseudocode untuk pembuatan kolom input dan output pada GUI
2	
3	# Inisialisasi kolom input
4	Inisialisasi input_entry dengan lebar 15, border width 5, font
5	Arial ukuran 18, dan teks rata kanan
6	Tempatkan input_entry di grid pada baris 0, kolom 0 dengan
7	padding horizontal 10 dan padding vertikal 10
8	
9	# Inisialisasi kolom output
10	Inisialisasi output_entry dengan lebar 15, border width 5,
11	font Arial ukuran 18, dan teks rata kanan
12	Tempatkan output_entry di grid pada baris 0, kolom 1 dengan
13	padding horizontal 10 dan padding vertikal 10

5.2 Implementasi Sistem

Bagian implementasi sistem menjelaskan secara mendetail cara penerapan sistem yang telah dirancang. Proses implementasi ini dibagi menjadi dua bagian utama: perangkat keras dan perangkat lunak. Setiap bagian menyoroti komponen serta proses spesifik yang terlibat dalam penerapan sistem tersebut.

5.2.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras pada sistem WPT dilakukan dengan merujuk pada diagram skematik yang telah disinggung pada bab sebelumnya. *Raspberry Pi 5* akan dijadikan menjadi pusat kontrol yang akan menghubungkan dengan perangkat perangkat yang telah disebutkan pada diagram skematik dengan tambahan PCB sebagai jalur bus dan konfigurasi pergantian nilai kapasitor guna mencocokkan resonansi frekuensi pada dasar teori yang sudah disinggung

demi menunjang kebutuhan data yang diambil oleh peneliti. Implementasi bisa dilihat pada gambar 5.5



Gambar 5.5 Implementasi Perangkat Keras

Interkoneksi *Raspberry Pi 5*, H-Bridge, dan IC NOT GATE tertera pada diagram skematik 5.1 dalam monitoring frekuensi akan dilakukan oleh LCD sebagai masukan dan monitoring frekuensi pada sistem.

5.2.2 Implementasi Perangkat Lunak

Penerapan perangkat lunak dilakukan sesuai dengan kebutuhan fungsional sistem yang telah dibahas di bab sebelumnya. Implementasi ini berupa kode program yang berfungsi untuk menjalankan fitur-fitur yang diperlukan dalam penelitian.

5.2.2.1 Implementasi *Signal Pulse Width Modulation (PWM)*

Untuk bisa mengakses fitur sinyal PWM dengan frekuensi yang diinginkan, perlu dilakukan penginstallan library `rpi-hardware-pwm` pada raspberry pi 5 . akses pin hardware yang digunakan adalah pin 12 dan pin 13 untuk mengaktifkan fitur PWM. Pada sistem ini , peneliti menggunakan Pin 12 dengan duty cycle 50% untuk pendapatkan sinyal berbentuk kotak sempurna. Berikut kode program inisialisasi agar bisa mengakses Pin PWM. Kode ini akan dijalankan hanya satu kali dengan rincian kode seperti berikut

```
dynamiCHZ.py
```

```

1  from rpi_hardware_pwm import HardwarePWM
2  from enum import Enum
3  import gpiod
4
5  # Constants
6  DUTY_CYCLE = 50  # 50% duty cycle
7
8  # Custom exceptions
9  class AlreadyStartedException(Exception):
10     pass
11
12  class ChannelNotFoundException(Exception):
13     pass
14
15  # Enum untuk Channel PWM
16  class Channel(Enum):
17     GPIO_12 = 0
18     GPIO_13 = 1
19
20  # Kelas untuk kontrol PWM
21  class PwmControl:
22     _pwms = {}
23
24     def init(self, channel: Channel, frequency: int):
25         if channel in self._pwms:
26             raise AlreadyStartedException("Already
27 initialized.")
28         else:
29             print(f"Init {channel} with frequency
30 {frequency} Hz")
31             pwm = HardwarePWM(pwm_channel=channel.value,
32 hz=frequency, chip=2)
33             pwm.start(0)
34             self._pwms[channel] = pwm
35
36     def set(self, channel: Channel, value: int):
37         pwm = self._pwms[channel]
38         if not pwm:
39             raise ChannelNotFoundException("Channel not
40 found. Did you init it first?")
41         value = min(value, 50)
42         value = max(value, 0)
43         print(f"Set {channel} {value}% duty cycle")
44         pwm.change_duty_cycle(value)
45
46     def change_frequency(self, channel: Channel, frequency:
47 int):
48         pwm = self._pwms[channel]
49         if not pwm:
50             raise ChannelNotFoundException("Channel not
51 found. Did you init it first?")
52         print(f"Changing frequency to {frequency} Hz")
53         pwm.change_frequency(frequency)
54
55     def stop(self, channel: Channel):
56         pwm = self._pwms[channel]
57         if not pwm:
58             raise ChannelNotFoundException("Channel not
59 found. Should it be stopped?")

```



```

59         pwm.stop()
60
61     # Inisialisasi GPIO menggunakan gpiod
62     chip = gpiod.Chip('/dev/gpiochip0')
63
64     type=gpiod.LINE_REQ_DIR_OUT)
65
66     # Membuat instance PwmControl
67     pwm_control = PwmControl()
68
69     # Inisialisasi PWM di GPIO 12 dengan frekuensi awal
70     initial_frequency = 100000 # 100 kHz
71     pwm_control.init(Channel.GPIO_12, initial_frequency)
72
73     # Loop utama untuk mengontrol PWM
74     try:
75         while True:
76             # Set PWM duty cycle ke 50%
77             pwm_control.set(Channel.GPIO_12, DUTY_CYCLE)
78
79
80             # Meminta input untuk frekuensi baru
81             user_input = input("Enter new frequency in Hz (or
82 'q' to quit): ")
83
84             if user_input.lower() == 'q':
85                 break
86
87             try:
88                 new_frequency = int(user_input)
89                 pwm_control.change_frequency(Channel.GPIO_12,
90 new_frequency)
91             except ValueError:
92                 print("Please enter a valid integer for the
93 frequency.")
94
95     except KeyboardInterrupt:
96         pass
97     finally:
98         # Matikan PWM dan reset GPIO saat program dihentikan
99         pwm_control.stop(Channel.GPIO_12)
100        print("Program terminated.")

```

5.2.2.2 Implementasi LCD Sebagai Informasi Frekuensi dan Masukan Frekuensi

Dalam implementasi Sistem WPT, diperlukan LCD sebagai informasi Frekuensi dan masukan frekuensi dari pengguna sebagai bahan dari pengujian. Kode ini membuat aplikasi GUI sederhana menggunakan Tkinter yang berfungsi sebagai keypad numerik. Aplikasi ini memiliki dua kolom input: kolom kiri untuk menampilkan angka yang sedang diketik dan kolom kanan untuk menampilkan hasil akhir setelah tombol kirim ditekan. Pengguna dapat menekan tombol angka 0-9 untuk memasukkan angka ke kolom input kiri, tombol "<-" untuk menghapus karakter terakhir, dan tombol "v" untuk mengirim input yang ditampilkan ke kolom output di sebelah kanan. Setiap tombol angka ditambahkan ke antarmuka dengan posisi grid yang ditentukan, sementara fungsi terkait (tambah angka,

hapus karakter, dan kirim input) diatur dalam fungsi-fungsi terpisah. Kode akan dijabarkan sebagai berikut.

GUI.py	
1	import tkinter as tk
2	
3	# Fungsi untuk menangani input tombol angka
4	def button_click(value):
5	current_input = input_entry.get()
6	input_entry.delete(0, tk.END)
7	input_entry.insert(0, current_input + str(value))
8	
9	# Fungsi untuk menghapus karakter terakhir (backspace)
	def delete_last():
10	current_input = input_entry.get()
11	input_entry.delete(0, tk.END)
12	input_entry.insert(0, current_input[:-1])
13	
14	# Fungsi untuk mengirimkan input (submit) dan memperbarui
15	output
16	def submit_input():
17	current_output = input_entry.get()
18	output_entry.delete(0, tk.END)
19	output_entry.insert(0, current_output)
20	input_entry.delete(0, tk.END)
21	
22	# Membuat jendela utama
23	window = tk.Tk()
24	window.title("Keypad Tkinter")
25	
26	# Membuat kolom input untuk menampilkan angka yang ditekan
27	(kiri)
28	input_entry = tk.Entry(window, width=15, borderwidth=5,
29	font=('Arial', 18), justify='right')
30	input_entry.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=10)
31	
32	# Membuat kolom output untuk menampilkan angka output (kanan)
33	output_entry = tk.Entry(window, width=15, borderwidth=5,
34	font=('Arial', 18), justify='right')
35	output_entry.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=10)
36	
37	# Membuat tombol angka dan fungsinya
38	buttons = [
39	('1', 1, 0), ('2', 1, 1), ('3', 1, 2),
40	('4', 2, 0), ('5', 2, 1), ('6', 2, 2),
41	('7', 3, 0), ('8', 3, 1), ('9', 3, 2),
42	('<-', 4, 0), ('0', 4, 1), ('v', 4, 2)
43]
44	
45	# Menambahkan tombol ke jendela dengan grid
46	for (text, row, col) in buttons:
47	if text == '<-':
48	button = tk.Button(window, text=text, padx=20,
49	pady=20, font=('Arial', 18), command=delete_last)
50	elif text == 'v':
51	

```
52         button = tk.Button(window, text=text, padx=20,  
53         pady=20, font=('Arial', 18), command=submit_input)  
54     else:  
55         button = tk.Button(window, text=text, padx=20,  
56         pady=20, font=('Arial', 18), command=lambda t=text:  
57         button_click(t))  
58  
59         button.grid(row=row+1, column=col)  
60  
61 # Menjalankan loop utama  
window.mainloop()
```

BAB 6 PENGUJIAN

Bab ini menguraikan pengujian sistem yang telah dikembangkan, di mana pengujian ini diharapkan dapat memberikan jawaban atas rumusan masalah yang diajukan oleh peneliti. Proses pengujian yang dibahas dalam bab ini dirancang untuk menjawab dua rumusan masalah utama, yaitu metode pengaturan nilai frekuensi secara presisi dan akurat pada sistem serta pengaruh frekuensi tinggi terhadap transmisi daya pada rangkaian penerima.

6.1 Pengujian Sistem *Frequency Generator*

6.1.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perancangan pembangkit frekuensi pada sistem sudah bisa memenuhi peran sebagai sumber tegangan pada sisi pengirim *wireless power transfer*. Sistem ini diharapkan bisa menghasilkan frekuensi dari pin PWM yang kemudian bisa dibesarkan tegangan pada *square wave signal* menggunakan *H-Bridge*.

6.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sistem sudah bisa menghasilkan frekuensi pada *microcomputer* dan diperbesar tegangannya menggunakan *H-Bridge*. Kemudian pengujian ini juga untuk mengetahui apakah fitur yang tersedia pada bisa berjalan dengan baik. Berikut prosedur pengujiannya.

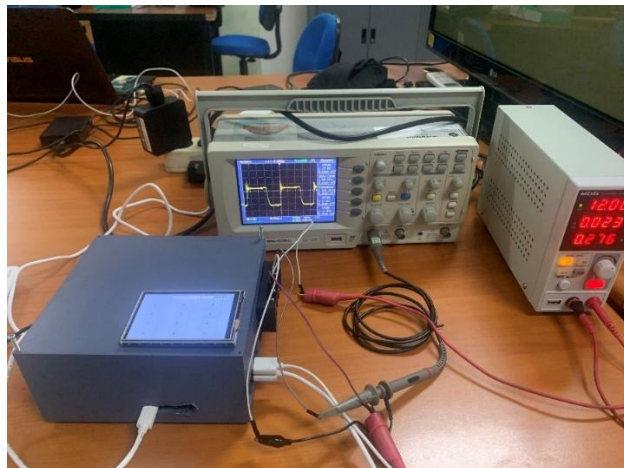
1. Sebelum dilakukan pengujian, dipastikan semua komponen sudah dirancang baik dari perangkat lunak maupun perangkat keras untuk menunjang *frequency generator* pada sistem *Wireless Power Transfer*.
2. Menyalakan *frequency generator* setelah seluruh komponen telah terkoneksi dengan baik.
3. Untuk masukan frekuensi yang diperlukan, peneliti memasukkan frekuensi 446950 Hz dengan cara memasukan input frekuensi yang di inginkan pada antar muka LCD
4. Setelah itu tekan tombol *submit* agar *microcomputer* menghasilkan frekuensi yang di inginkan oleh peneliti.
5. Untuk mengetahui sistem berjalan, di pasangkan *oscilloscope GW INSTEK* seri *GDS-1072-U* kepada pin GPIO 13 *Raspberry Pi 5* dan pada pin motor positif *H-Bridge* (Pastikan DC Supply sudah terhubung pada Motor *H-Bridge* dengan tegangan 12V dan arus 1A)
6. Amati pada *oscilloscope* yang terukur pada pin *raspberry pi 5* apakah ada perbedaan nilai puncak tegangan pada sinyal kotak yang terukur pada *oscilloscope*
7. Lebih lanjut amati fitur tombol *submit* dan *delete* untuk mengetahui kedua fitur ini berjalan sesuai dengan perancangan design yang telah dibuat

6.1.3 Hasil Pengujian

Uji pengujian yang didokumentasikan berdasarkan mengikuti prosedur tertera pada gambar 6.1 dan 6.2 sebagai berikut

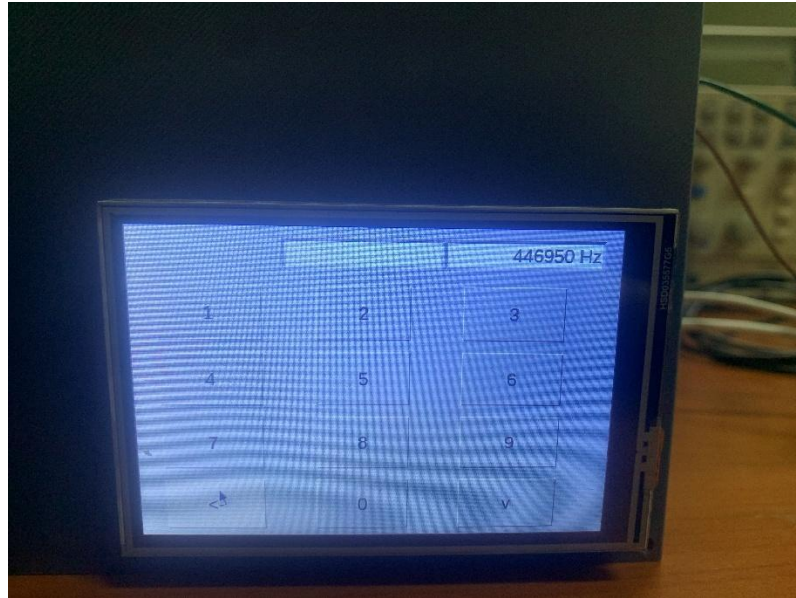


Gambar 6.1 Persiapan Uji Coba Pengukuran Frekuensi di GPIO

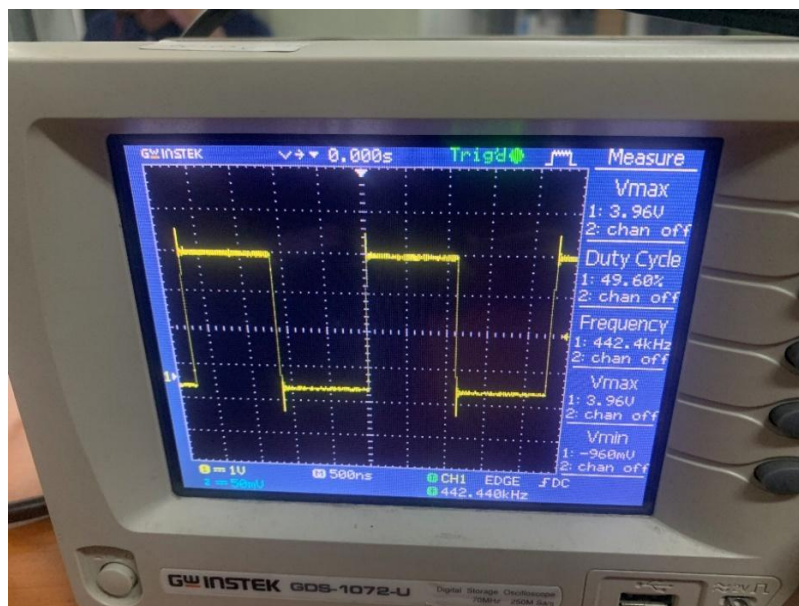


Gambar 6.2 Persiapan Uji Coba Pengukuran Frekuensi di Output H-Bridge

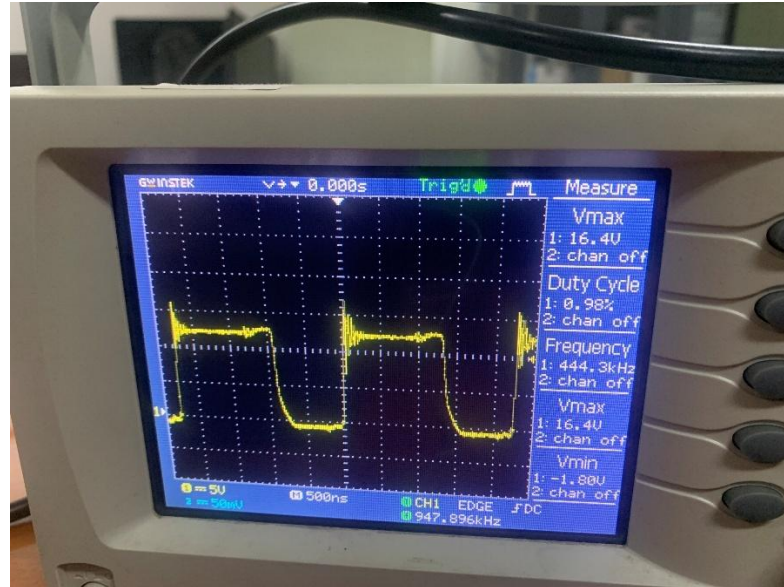
Hasil pengujian yang didapatkan berdasarkan prosedur yang disampaikan tertera pada gambar 6.3, gambar 6.4, gambar 6.5, gambar 6.6 . pengujian ini mendokumentasikan ketika sistem menghasilkan frekuensi dan diukur pada pin PWM



Gambar 6.3 Tampilan Antar Muka Saat Frekuensi 446950 Hz



Gambar 6.4 Hasil Pengukuran Frekuensi di GPIO 13



Gambar 6.5 Hasil Pengukuran pada Motor Positif H-Bridge

6.1.4 Analisis Pengujian

Pengujian dilakukan dengan pertama kali memasang alat pengukuran (oscilloscope) yang terhadap GPIO13 dan pin motor output H-Bridge. Berdasarkan gambar 6.1 dan 6.2, oscilloscope bisa terhubung pada kedua pin agar bisa diambil datanya sebagai bagian dari penelitian untuk menjawab rumusan masalah kedua. Untuk tampilan antar muka sistem telah dilakukan uji coba seperti pada gambar 6.3 dimana sistem bisa untuk memasukkan frekuensi dan sebagai monitoring frekuensi yang dimasukkan sebelumnya.

Pada pengujian yang dilakukan, pengukuran frekuensi pada GPIO 13 (Gambar 6.4) tercatat nilai tegangan maksimal yang dihasilkan sebesar 3.9V. Setelah dipasang pada perifer H-Bridge diketahui pengukuran frekuensi pada H-Bridge memiliki tegangan maksimal sebesar 16.4 V (Gambar 6.5). Perbandingan antara kedua nilai tegangan pada sinyal puncak ini membuktikan bahwa H-Bridge bisa berfungsi sebagai pembesar nilai tegangan yang nantinya sinyal kotak dengan tegangan tinggi ini bisa di dimanfaatkan dalam implementasi WPT sebagai sumber tegangan pada rangkaian RLC yang sudah dirancang.

Mempertimbangkan pembahasann di atas, sistem yang telah dirancang telah teruji memiliki fitur yang dibutuhkan pada penelitian rumusan kedua atau dalam WPT itu sendiri, seperti tampilan antarmuka yang berfungsi sebagai input frekuensi dan output nilai frekuensi yang dimasukkan sebelumnya. Lebih lanjut dengan adanya tampilan antar muka ini, peneliti bisa menghasilkan sinyal *square wave* terhadap sistem WPT agar bisa melakukan penelitian selanjutnya.

6.2 Pengujian Ketelitian Frekuensi terhadap Daya di *Reciever* WPT

6.2.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai PWM yang terukur pada pin PWM *raspberry Pi 5* dan pin motor H-Bridge. Kedua keluaran nilai PWM ini akan dibandingkan nilai errornya. Perbandingan antara dua nilai keluaran ini akan menjawab bagaimana keakuratan nilai PWM yang dihasilkan sistem WPT.

Lebih lanjut hasil pengujian ini akan menjadi bahan pembahasan pengujian selanjutnya yang berfokus mengukur daya yang masuk pada rangkaian penerima yang sudah di searahkan melalui *rectifier* dan hasil dari daya yang dikeluarkan *rectifier* akan diukur oleh multimeter yang dipasang. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut

6.2.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan cara mengambil data keluaran frekuensi PWM pada pin *microcomputer* langsung dan pin motor pada H-Bridge yang kemudian kedua nilai data ini akan dibandingkan presentase errornya. Pengambilan data dilakukan dalam kondisi sistem telah hidup dan dijalankan programnya. Berikut prosedur pengujiannya.

1. Pengujian dilakukan pada frekuensi 0 Khz sampai dengan 800 Khz dengan pengujian dan pengambilan data diambil pada kelipatan 5000 Hz pada dua sumber PWM yang telah disediakan.
2. Mengkoneksikan *oscilloscope* GW INSTEK seri GDS-1072-U kepada pin GPIO 13 *Raspberry Pi 5* dan pada pin motor H-Bridge
3. Pengambilan data pada dua sumber diwajibkan dilakukan secara terpisah, sehingga peneliti menyiapkan dua channel pada *oscilloscope* dengan probe sebagai perantara
4. Saat sistem dijalankan, tampilkan opsi "*measure*" pada tombol *oscilloscope* untuk menampilkan jumlah frekuensi yang terukur pada kedua sumber
5. Diwajibkan untuk mengatur volt/div dan time/div agar data bisa di analisa secara tepat serta mode 10x pada probe wajib di aplikasikan pada pengambilan data.
6. Setiap 100Khz pengukuran, dilakukan fitur *self calibration* pada *oscilloscope* dengan menekan tombol *self calibration* sehingga keakuratan pengukuran frekuensi tetap terjaga.
7. Data yang di ukur pada *oscilloscope* dimasukkan kepada spreadsheet agar data terekam. Perekaman data pada kedua sumber dilakukan secara manual oleh peneliti.
8. Setiap frekuensi yang diukur pada GPIO13 dibandingkan dengan inputan dari peneliti untuk melihat presentase errornya, begitu juga dengan frekuensi

yang di ukur pada output motor H-Bridge dibandingkan dengan inputan dari peneliti dengan rumus presentase error sebagai berikut;

$$Ep = \frac{|Fi - Mf|}{Fi} \times 100\% \quad (6,1)$$

Keterangan

Ep = Error Percentange (%)

Fi = Frequency Input (Hz)

Mf = Measured Frequency (Hz)

Pengujian selanjutnya berfokus mengukur daya yang masuk pada rangkaian penerima yang sudah di searahkan melalui *rectifier* dan hasil dari daya yang dikeluarkan *rectifier* akan diukur oleh multimeter yang dipasang. Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut

1. Sebelum berjalannya kode pada sistem WPT, pastikan interkoneksi antar rangkaian atau sub sistem terkoneksi dengan baik dan kondisi awal sistem mati.
2. Setelah sistem dihidupkan, pastikan sistem WPT telah berjalan dimana *Raspberry Pi 5* bisa mengirim masukan Frekuensi pada H-Bridge yang diteruskan pada rangkaian pengirim.
3. Persiapan koil pengirim dan penerima diletakkan pada bagian tempat untuk pengujian dengan mengkalkulasikan jarak antara dua rangkaian koil yaitu; 0 cm, 4 cm, 6 cm, 10 cm. Penempatan jarak dilakukan secara vertikal dengan bantuan bahan 3D printing sebagai representasi jarak yang dibuat.
4. Pengujian dilakukan dengan menetapkan rangkaian lilitan yang mengacu pada rumus frekuensi resonance dengan *quality factor* bernilai 101 mengacu pada *wireless charging Qi* (Eberhard Waffenschmidt, 2022) dengan penetapan lilitan dan kapasitor sebagai berikut:
 - a. Rangkaian Pengirim mempunyai nilai induktansi 63 uH dengan kapasitor pada rangkaian pengirim bernilai 2 nF.
 - b. Rangkaian penerima mempunyai nilai induktansi bernilai 39 uH dengan kapasitor di rangkaian penerima bernilai 3.194 nF. Pada rangkaian penerima terdapat full wave rectifier untuk menyearahkan gelombang AC agar menjadi DC pada rangkaian penerima.
 - c. Beban pada reciever setelah rangkaian penyearah berupa resistor bernilai 10 K Ohm dan sebuah LED. Pengukuran akan berfokus diuji pada resistor dan LED sebagai penanda bahwa ada daya yang mengalir pada sisi penerima.

5. Dengan melakukan penyesuaian nilai tetap pada penyusun rangkaian penerima dan pengirim, nilai frekuensi yang mengacu pada perhitungan frekuensi resonan sebesar 446950 Hz (pada tabel akan ditandai dengan *bold text* sebagai penanda frekuensi hasil dari perhitungan frekuensi resonan). Peneliti melakukan sweeping frekuensi pada sekitar frekuensi yang sudah ditentukan pada perhitungan dengan batas bawah pengujian daya pada frekuensi 350000Hz dan batas atas pengujian daya pada frekuensi 530000 Hz. Sweeping frekuensi dilakukan dengan interval setiap 10000 Hz di tiap pengujiannya.
6. Setiap melakukan pergantian frekuensi, dilihat data yang dihasilkan yaitu berupa arus dan daya pada multimeter bertipe SANWA CD800a yang dipasangkan setelah rangkaian rectifier pada rangkaian penerima dengan mengikuti tahapan sebagai berikut;
 - a. Pada pengukuran voltase dilakukan dengan menghubungkan probe positif dan negatif multimeter terhadap beban yang ada di rangkaian penerima (beban harus dipasang setelah dioda penyearah). Pemasangan probe dilakukan pada kedua kaki resistor agar pengukuran dilakukan secara paralel
 - b. Pada pengukuran arus dilakukan dengan menghubungkan probe positif dan negatif multimeter terhadap beban resistor yang dihubungkan secara linear agar bisa mengetahui nilai arus yang mengalir pada rangkain
 - c. Pada pengukuran daya pada frekuensi tertentu, dilakukan dengan cara mengkalkulasikan arus dan daya yang sudah disimpan datanya untuk melihat nilai daya pada setiap pengukuran frekuensi tertentu. Rumus untuk mengkalkulasikan daya adalah sebagai berikut

$$P = V \times I \quad (6.2)$$

Keterangan :

P = Daya dalam listrik (*Watt*)

V = Tegangan listrik (*Volt*)

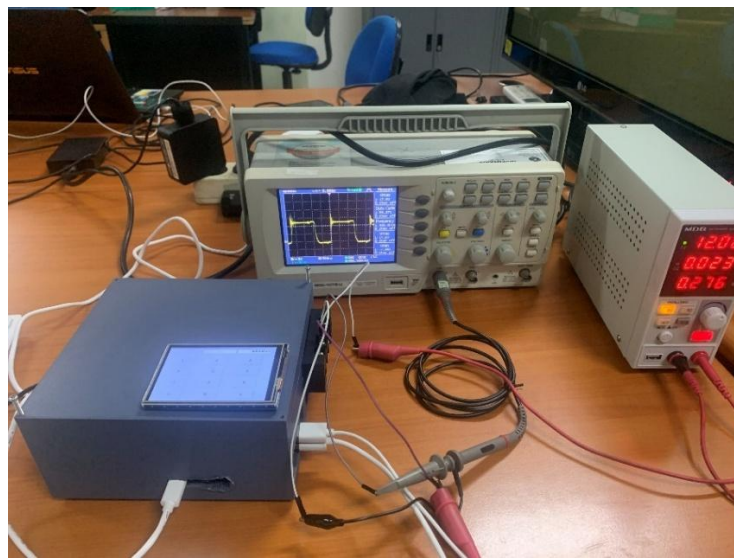
I = Arus listrik (*Ampere*)

7. Setelah melihat datanya, akan dibuatkan sebuah grafik yang merepresentasikan data yang telah diterima, dari grafik tersebut, dilakukan pengecilan interval pada nilai daya yang tertinggi (berbentuk bukit) untuk diukur lagi.
8. Dengan melihat grafik yang sudah dibuat, diperlukan pengerucutan interval pengukuran rentang frekuensi pada bagian rentang peak daya yang diperoleh.

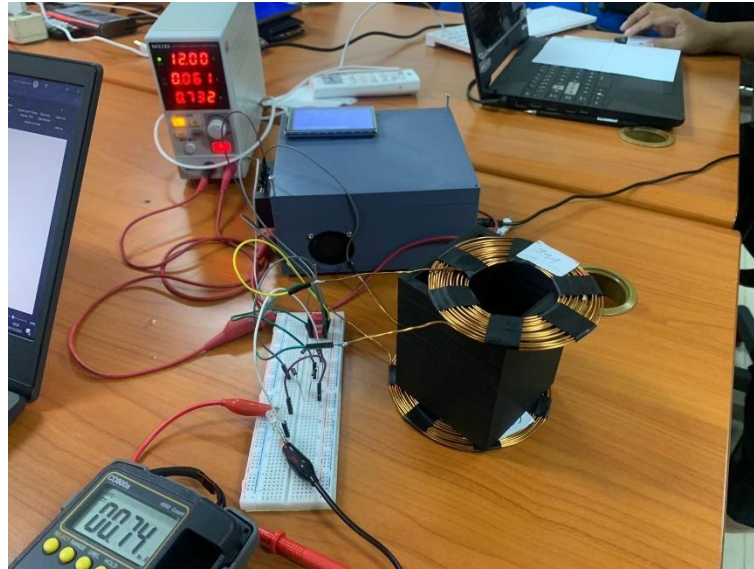
9. Pengukuran dilakukan kembali dengan meneliti rentang frekuensi hasil dari jarak frekuensi yang lebih diperkecil dengan selisih setiap kali pengukuran data adalah 1000 Hz. Data yang diperoleh berupa nilai arus, voltase, dan daya yang akan diukur menggunakan multimeter.
10. Data yang diukur akan di ambil dan dibuatkan bentuk grafik agar mengetahui nilai daya maksimal secara spesifik.

6.2.3 Hasil Pengujian

Uji pengujian yang didapatkan berdasarkan mengikuti prosedur tertera pada gambar 6.7 dan 6.8 sebagai berikut



Gambar 6.5 Uji ketelitian Frekuensi



Gambar 6.6 Uji Pengukuran Arus dan Voltase

Hasil pengujian yang didapatkan berdasarkan prosedur yang disampaikan tertera pada Tabel 6.1, 6.2, 6.3, 6.4 sampai Tabel 6.8 pengukuran direkam pada setiap 100 Khz, 200 Khz, 300 Khz, 400 Khz, 500 Khz, 600 Khz, 700 Khz, dan 800 Khz. Tabel ditunjukan sebagai berikut.

Tabel 6.1 Pengukuran frekuensi di skala 0 Hz sampai 100Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
5000	5000	0	5000	0
...
50000	50000	0	50000	0
...
95000	94870	0.136	94960	0.042
100000	99800	0.2	99900	0.1
AVERAGE OF ERROR		0.10%		0.05%

Tabel 6.2 Pengukuran frekuensi di skala 100 KHz sampai 200 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
105000	104800	0.1904761905	104800	0.1904761905
...
150000	149690	0.2066666667	150000	0
...
190000	189382	0.3252631579	189800	0.1052631579
195000	194540	0.2358974359	195100	0.05128205128
AVERAGE OF ERROR		0.30%		0.95%

Tabel 6.3 Pengukuran frekuensi di skala 200 KHz sampai 300 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
205000	204100	0.4390243902	205000	0
...
250000	248700	0.52	249500	0.2
...
290000	289000	0.3448275862	289300	0.2413793103
295000	294100	0.3050847458	294600	0.1355932203
AVERAGE OF ERROR		0.62%		0.25%

Tabel 6.4 Pengukuran frekuensi di skala 300 KHz sampai 400 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
305000	303000	0.6557377049	303800	0.393442623
...
350000	347200	0.8	347700	0.6571428571
...
390000	387600	0.6153846154	387800	0.5641025641
395000	390600	1.113924051	394400	0.1518987342
AVERAGE OF ERROR		0.71%		0.39%

Tabel 6.5 Pengukuran frekuensi di skala 400 KHz sampai 500 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
405000	403200	0.4444444444	403900	0.2716049383
...
450000	446400	0.8	448200	0.4
...
490000	485400	0.9387755102	485500	0.9183673469
495000	490200	0.9696969697	490300	0.9494949495
AVERAGE OF ERROR		0.86%		0.47%

Tabel 6.6 Pengukuran frekuensi di skala 500 KHz sampai 600 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
505000	500000	0.9900990099	503200	0.3564356436
...
550000	543500	1.181818182	548900	0.2
...
590000	581300	1.474576271	581500	1.440677966
595000	588100	1.159663866	590200	0.8067226891
AVERAGE OF ERROR		0.99%		0.52%

Tabel 6.7 Pengukuran frekuensi di skala 600 KHz sampai 700 Khz

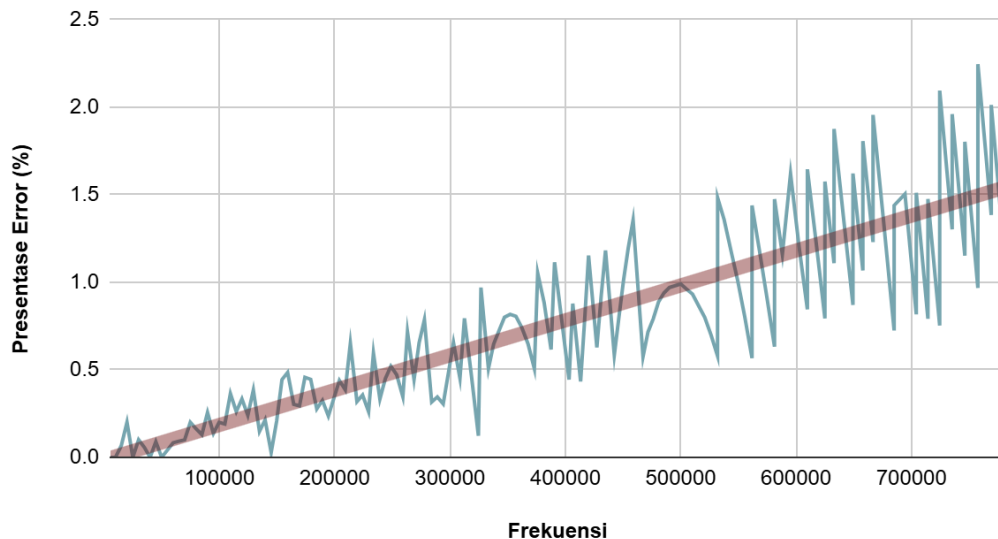
Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
605000	595200	1.619834711	600000	0.826446281
...
650000	641100	1.369230769	644500	0.8461538462
...
690000	685000	0.7246376812	690700	0.1014492754
695000	685000	1.438848921	691200	0.5467625899
AVERAGE OF ERROR		1.37%		0.52%

Tabel 6.8 Pengukuran frekuensi di skala 700 KHz sampai 800 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
705000	694400	1.503546099	703800	1.353686636
...
750000	735300	1.96	736500	0.1631986944
...
790000	781300	1.101265823	785300	0.5119672341
795000	781300	1.72327044	786500	0.6655574043
AVERAGE OF ERROR		1.50%		0.75%

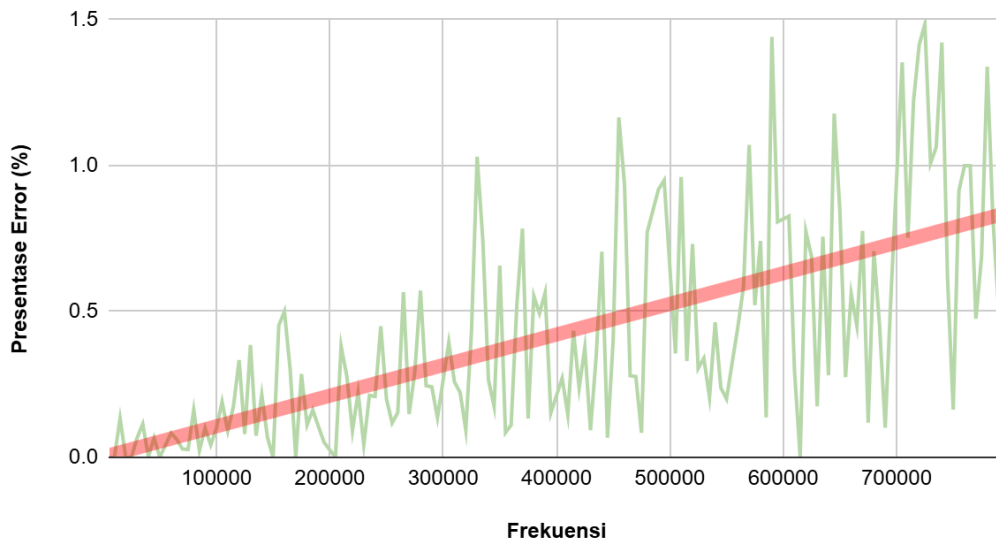
Tabel dalam bentuk pergerakan grafik ditunjukkan pada gambar 6.1 yang menunjukkan presentase error yang diukur pada pin GPIO raspberry Pi 5 dan gambar 6.2 yang menunjukkan presentase error yang diukur pada pin output H-Bridge. Kedua grafik ini berdasarkan dari tabel 6.1, tabel 6.2, tabel 6.3, tabel 6.4, tabel 6.5, tabel 6.6, tabel 6.7, tabel 6.8, tabel 6.9 yang ditunjukkan sebagai berikut

Pengukuran Presentase Error di Raspberry Pi 5



Gambar 6.7 Grafik Presentase Error di GPIO 13

Pengukuran Presentase Error di H-Bridge



Gambar 6.8 Grafik Presentase Error di H-Bridge

Dengan melihat presentase error frekuensi yang dihasilkan, peneliti melanjutkan pengukuran daya pada sisi penerima. Hasil dari pengujian pada jarak 0 cm, 4 cm, 6cm, dan 10 cm secara berturut turut tertera pada tabel 6.9, 6.10, dan 6.11 dan ketiga tabel ini akan divisualisasikan melalui grafik yang akan ditunjukkan pada gambar 6.3 dan 6.4 . Dengan kondisi nilai daya yang sudah dikalkulasikan berdasarkan nilai arus dan voltase yang didapat.

Tabel 6.9 Pengukuran nilai Voltase pada rangkaian penerima

Frekuensi	Voltase yang terukur (V)			
	Jarak 0 cm	Jarak 4 cm	Jarak 6 cm	Jarak 10 cm
536950	2.9	9.4	1.5	0.017
...
...
...
466950	1.6	14.7	24.4	31.5
456950	1.6	15.4	23.7	23.1
446950	1.8	19.1	27	12
436950	1.9	21.9	22.7	5
426950	2.3	29.8	9	0.8

...
...
...
306950	2.9	0	0	0

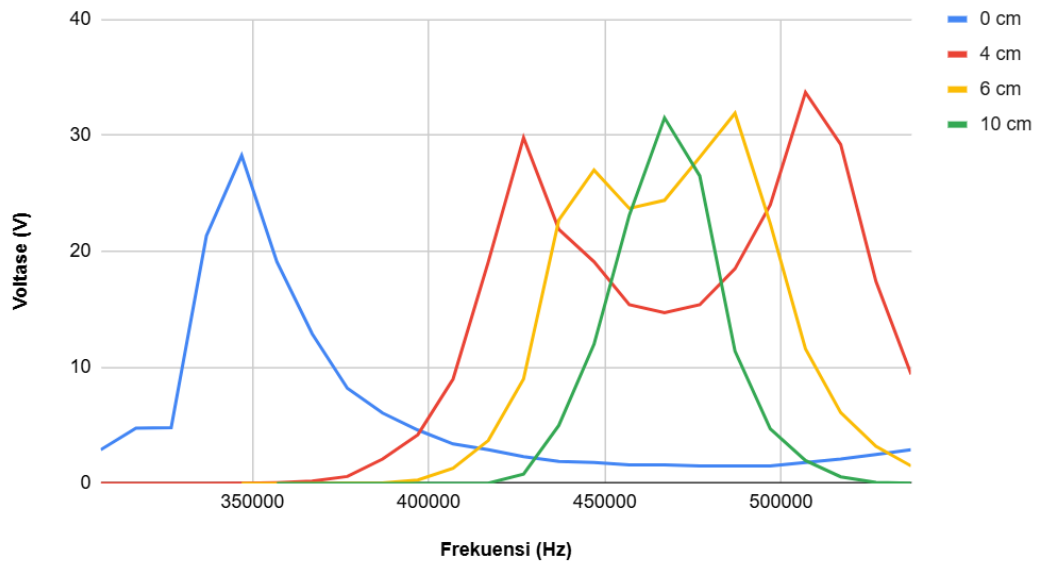
Tabel 6.10 Pengukuran nilai arus pada rangkaian penerima

Frekuensi	Arus yang terukur (A)			
	Jarak 0 cm	Jarak 4 cm	Jarak 6 cm	Jarak 10 cm
536950	0.00123	0.00339	0.00035	0.00008
...
466950	0.00092	0.00315	0.0076	0.0082
456950	0.00098	0.00346	0.0067	0.0076
446950	0.001	0.00471	0.0077	0.0024
436950	0.001	0.00672	0.0055	0.00104
426950	0.001	0.00756	0.00265	0.00028
...
306950	0.0012	0	0	0

Tabel 6.11 Pengkalkulasian nilai Daya pada rangkaian penerima

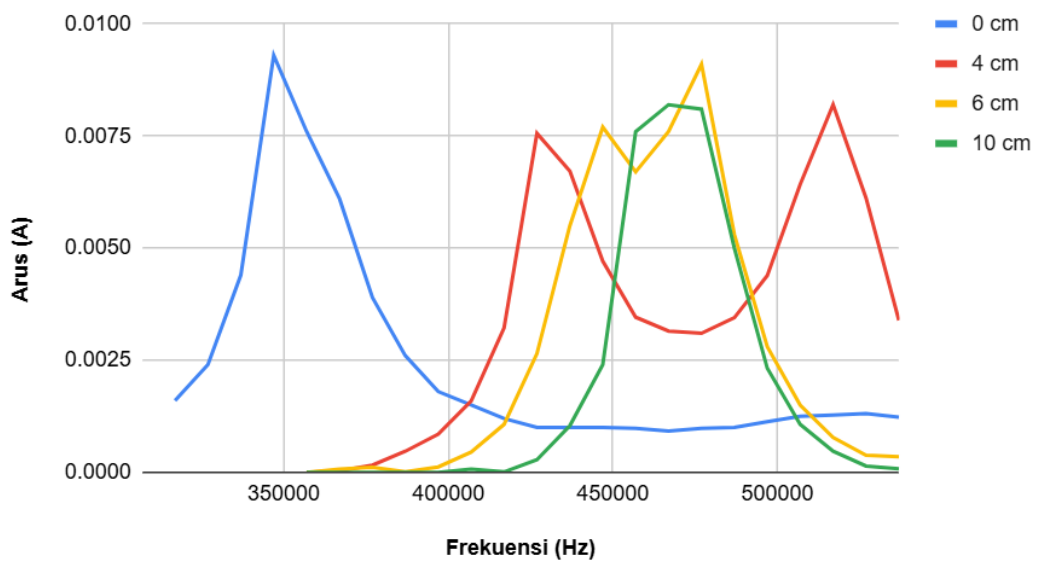
Frekuensi	Daya yang dikalkulasikan (W)			
	Jarak 0 cm	Jarak 4 cm	Jarak 6 cm	Jarak 10 cm
536950	0.003567	0.031866	0.000525	0.00000136
...
466950	0.001472	0.046305	0.18544	0.2583
456950	0.001568	0.053284	0.15879	0.17556
446950	0.0018	0.089961	0.2079	0.0288
436950	0.0019	0.147168	0.12485	0.0052
426950	0.0023	0.225288	0.02385	0.000224
...
306950	0.00348	0	0	0

Pengukuran Voltase Pada Rangkaian Penerima (DC)



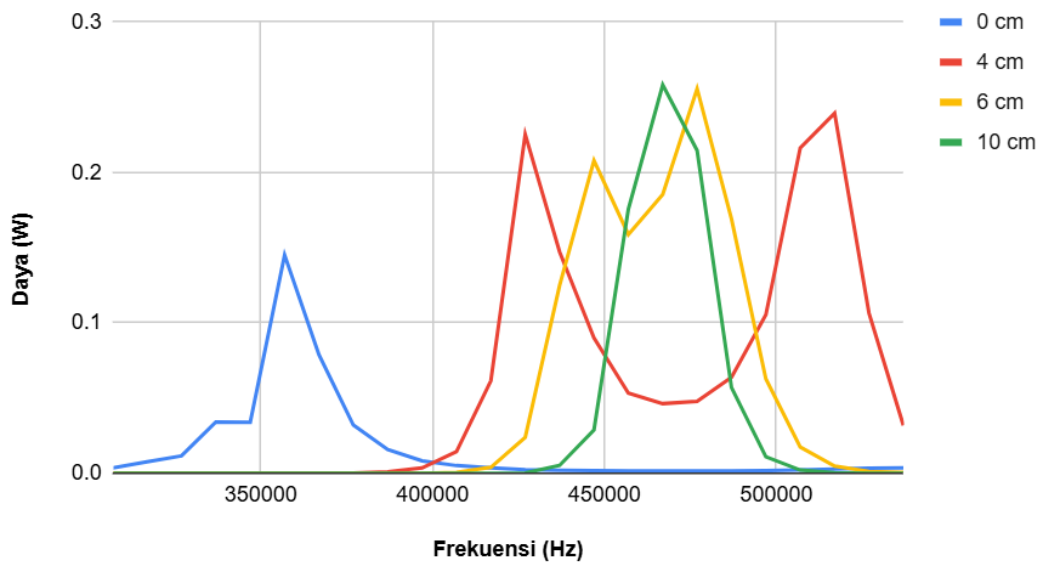
Gambar 6.9 Mengenai Grafik Pengukuran Voltase (DC)

Pengukuran Arus Pada Rangkaian Penerima (DC)



Gambar 6.10 Mengenai Grafik Pengukuran Arus (DC)

Pengukuran Daya Pada Rangkaian Penerima (DC)



Gambar 6.11 Mengenai Grafik Pengukuran Daya (DC)

Dari data yang didapatkan, peneliti melakukan pengukuran lagi dengan mengerucutkan frekuensi yang diukur menjadi 420 KHz sampai dengan 520 KHz dengan interval di tiap pengukuran yaitu 1000 Hz untuk melihat ketelitian nilai daya maksimal pada rangkaian penerima. Data akan ditampilkan pada Tabel 6.12 , 6.13. dan 6.14 dan ketiga tabel ini akan divisualisasikan berupa grafik yang akan ditampilkan pada Gambar 6.6, 6.7, dan 6.8 sebagai berikut.

Tabel 6.12 Pengukuran Nilai Voltase pada Frekuensi Setelah Slicing Data

Frekuensi	Voltase yang terukur (V)			
	0 cm	4 cm	6 cm	10 cm
426950	2.3	25.3	13.4	0.7
...
446950	1.68	16.1	22.8	12.9
447950	1.68	16.1	22.9	12.9
448950	1.63	15.3	22	16.2
449950	1.62	15.4	22	16.1
450950	1.58	15.2	21.8	15.8
451950	1.57	15.2	21.8	15.8
...
500950	1.16	28.3	13.3	2.6
501950	1.16	28.8	13.2	2.6

502950	1.19	29.99	10	1.7
503950	1.18	30.01	10.05	1.7
504950	1.2	29.5	9.99	1.7
505950	1.21	29.9	9.94	1.7
506950	1.2	29.19	9.99	1.6

Tabel 6.13 Pengukuran Nilai Arus pada Frekuensi Setelah Slicing Data

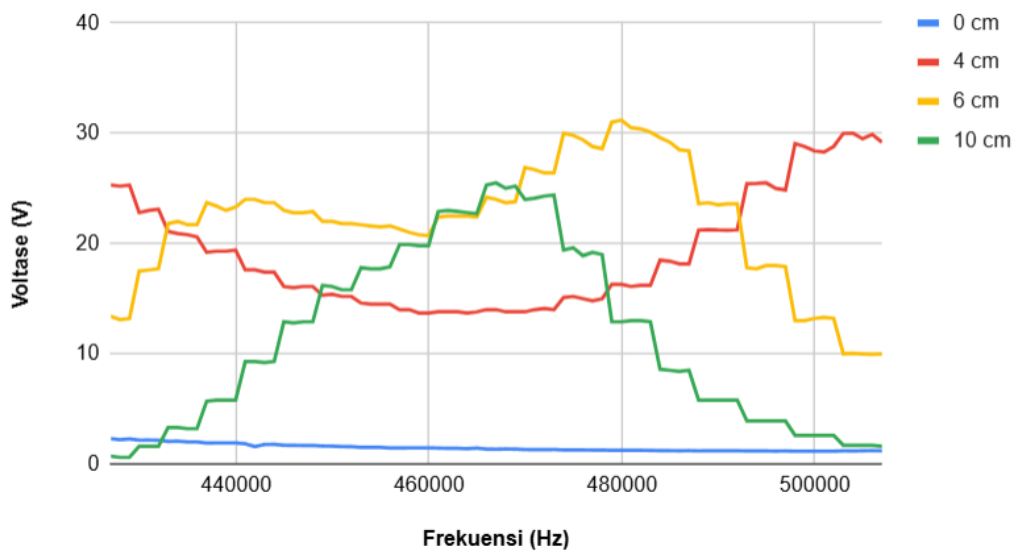
Frekuensi	Arus yang terukur (A)			
	0 cm	4 cm	6 cm	10 cm
426950	0.00101	0.0079	0.001	0.00018
...
446950	0.00086	0.005	0.0101	0.00192
447950	0.00086	0.005	0.0101	0.00192
448950	0.00083	0.0043	0.0095	0.00296
449950	0.00082	0.0043	0.0094	0.00297
450950	0.0008	0.0043	0.0095	0.00294
451950	0.0008	0.0043	0.0095	0.00295
...
500950	0.00066	0.0045	0.0069	0.00117
501950	0.00066	0.0056	0.0071	0.0012
502950	0.00068	0.0056	0.0047	0.00077
503950	0.00069	0.0057	0.0047	0.0008
504950	0.00069	0.0056	0.0046	0.0007
505950	0.00069	0.0056	0.0047	0.00076
506950	0.00069	0.0056	0.0046	0.00075

Tabel 6.14 Pengukuran Nilai Daya pada Frekuensi Setelah Slicing Data

Frekuensi	Daya yang terukur (W)			
	0 cm	4 cm	6 cm	10 cm
426950	0.002323	0.19987	0.0134	0.000126
...
446950	0.0013944	0.0805	0.23028	0.024768

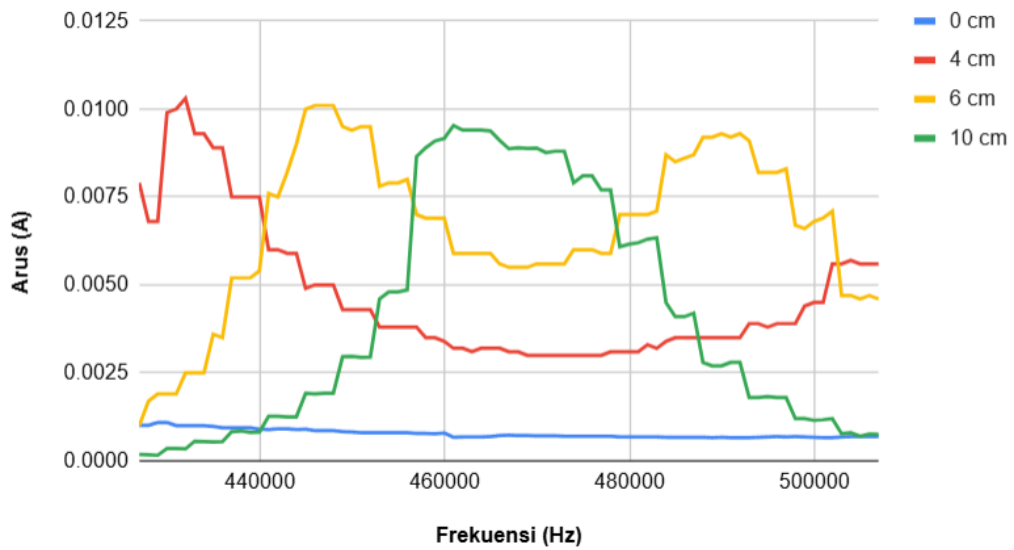
447950	0.0014448	0.0805	0.23129	0.024768
448950	0.0013529	0.06579	0.209	0.047952
449950	0.0013284	0.06622	0.2068	0.047817
450950	0.001264	0.06536	0.2071	0.046452
451950	0.001256	0.06536	0.2071	0.04661
...
500950	0.0007656	0.12735	0.09177	0.003042
501950	0.0007656	0.16128	0.09372	0.00312
502950	0.0008092	0.167944	0.047	0.001309
503950	0.0008142	0.171057	0.047235	0.00136
504950	0.000828	0.1652	0.045954	0.00119
505950	0.0008349	0.16744	0.046718	0.001292
506950	0.000828	0.163464	0.045954	0.0012

Pengukuran Voltase DC (426 KHz - 506 KHz)



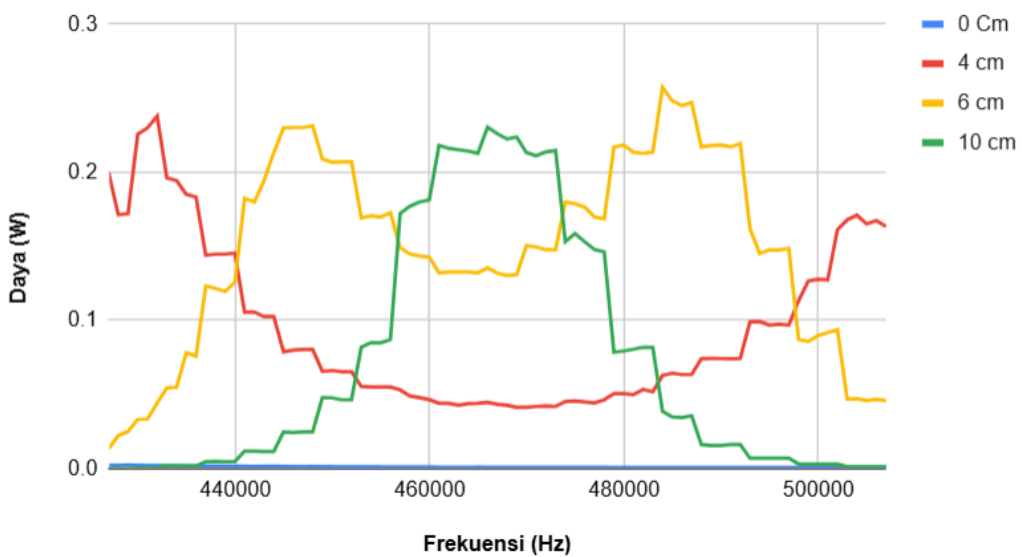
Gambar 6.12 Grafik Pengukuran Voltase (DC) pada 420 KHz – 506 KHz

Pengukuran Arus DC (426 KHz - 506 KHz)



Gambar 6.13 Grafik Pengukuran Arus (DC) pada 420 KHz – 506 KHz

Pengukuran Daya DC (426 KHz - 506 KHz)



Gambar 6.14 Grafik Pengukuran Daya (DC) pada 420 KHz – 506 KHz

6.2.4 Analisis Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwasanya error rate pada *raspberry Pi 5* dan pada H-Bridge memiliki selisih error yang berbeda di tiap kelipatan frekuensi tertentu. Perbedaan error pada dua sumber data dikarenakan pada rambatan sinyal PWM terhadap koneksi yang telah dibangun pada sistem. Pada grafik 6.1 dan grafik 6.2 ditunjukkan bahwa inputan frekuensi berbanding lurus dengan presentase errornya yang artinya, semakin besar inputan frekuensi yang dimasukkan oleh peneliti, maka semakin besar juga presentase errornya. Terlihat pada grafik bahwa error tertinggi yang diukur pada skala 0 Hz sampai 800 Khz 2,24% pada pin GPIO 12 *Raspberry Pi 5* dan 1,5% ketika di ukur pada output keluaran H-Bridge.

Melihat dari presentase error yang di diukur pada kedua jalur PWM, pengaruh utama dari presentase error ini disebabkan dari *clock* yang dimiliki oleh *System On Chip* dari *Raspberry Pi 5*. Mengacu pada dokumentasi resmi (Eben Upton, 2024) , *Raspberry Pi 5* menggunakan SoC dari *Broadcom* dengan seri BCM2712. SoC ini mempunyai kemampuan clock sampai dengan 2.4GHz. Dengan melihat data di atas, semakin tinggi nilai frekuensi yang dihasilkan, maka *clock divider* tidak mungkin memberikan presisi yang cukup yang mengakibatkan keselisihan pada nilai yang diukur pada peripherals raspberry pi dan pada H-Bridge.

Presentasi error pada pengukuran frekuensi berpengaruh terhadap implementasi sistem WPT itu sendiri dikarenakan untuk mendapatkan daya maksimal, diperlukan perancangan RLC circuit yang mengacu pada perhitungan resonan frekuensi. Perhitungan resonan frekuensi membutuhkan ketelitian terhadap nilai kapasitansi , induktansi, dan frekuensi pada implementasi rangkaianannya agar memenuhi pengujian kedua yaitu pengukuran daya berdasarkan interval yang di inginkan. Dengan melihat presentase error yang telah diukur, pergeseran nilai daya maksimal yang diukur saat dibandingkan dengan perhitungan teoritis RLC *Circuit* sangat mungkin terjadi.

Pengujian selanjutnya mengukur daya pada sisi penerima daya sistem WPT untuk melihat ketelitian frekuensi pada daya yang bisa diterima. Data pada pengujian sistem WPT divisualisasikan menjadi grafik untuk menganalisis hubungan antara daya, voltase, dan arus terhadap frekuensi yang diterapkan. Hasil pengukuran yang ditunjukan pada grafik gambar 6.7, gambar 6, dan gambar 6.9 menunjukkan bahwa frekuensi resonan teoritis sebesar 446950 Hz tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi pengukuran. Pada sistem yang telah dibuat, nilai tertinggi daya, voltase, dan arus memiliki nilai puncak daya yang bervariasi tergantung dari dua jarak antar lilitan.

Pengukuran pada interval yang lebih di spesifikan diperlukan untuk melihat seberapa berpengaruh ketelitian frekuensi yang dimasukkan dalam menghasilkan pengukuran daya yang lebih spesifik. Berdasarkan grafik pengkalkulasian daya yang di dihasilkan pada Gambar 6.6, peneliti melakukan pengambilan sampel data lebih difokuskan pada frekuensi 426950 Hz sampai dengan 506950 Hz dengan

interval pengukuran 1000 Hz. Pada grafik pengukuran arus, voltase, dan daya yang disajikan pada Gambar 6.6, 6.7, dan 6.8 memiliki nilai yang lebih spesifik. Hal ini membuktikan bahwa ketelitian frekuensi sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan pada sistem wireless power transfer karena merujuk pada perhitungan resonan frekuensi pada sirkuit RLC yang disediakan.

Setelah dilakukannya pengukuran yang berfokus pada frekuensi 420 Khz sampai 506 Khz, diketahui pada skenario jarak antar lilitan 4 cm mempunyai nilai puncak daya yang diukur pada frekuensi 431950 Hz dengan daya sebesar 0.23793 watt. Sementara pada jarak 6 cm, terdapat dua nilai puncak daya yang diukur pada frekuensi 446950 Hz dan 483950 Hz yang masing masing memiliki nilai daya 0.23028 watt dan 0.25752 watt. Lebih lanjut pada pengukuran 10 cm nilai puncak daya yang terukur sebesar 0.230483 pada frekuensi 465960 Hz.

Pengaruh dari grafik yang terlihat pada hasil analisa data adalah disebabkan oleh *frequency splitting*. *Frequency Splitting Phenomenon* (FSP) adalah sebuah fenomena yang terjadi pada sistem transfer daya nirkabel (WPT) ketika karakteristik transfer daya bergeser dari satu puncak pada frekuensi resonansi menjadi dua puncak di sekitar frekuensi tersebut. FSP biasanya muncul saat parameter operasional sistem, seperti koefisien kopling antara kumparan atau resistansi beban, berada di luar kondisi tertentu. Penyebab utama dari FSP adalah meningkatnya koefisien kopling antara kumparan primer dan sekunder, yang dapat terjadi jarak 4 cm, 6cm, dan 10 cm. Ketika salah satu dari kondisi ini terjadi, mutual inductance yang tinggi menyebabkan perubahan distribusi energi dalam sistem, sehingga frekuensi resonansi tidak lagi menjadi satu-satunya titik di mana daya maksimum terjadi.

Karakteristik utama FSP adalah terbentuknya dua frekuensi baru, yang disebut frekuensi pemisahan (*splitting frequencies*). Pada kedua titik ini, daya yang ditransfer mencapai puncaknya, namun efisiensi transfer daya sedikit menurun dibandingkan dengan kondisi resonansi ideal. Fenomena ini menggeser efisiensi maksimum dari titik resonansi ke dua frekuensi pemisahan di atas dan di bawah resonansi. Secara fisik, FSP menunjukkan bahwa efisiensi transfer daya maksimum tidak lagi terjadi secara eksklusif pada frekuensi resonansi. Sebaliknya, sistem mencapai daya puncaknya pada kedua frekuensi pemisahan ini, yang mengindikasikan bahwa WPT kini bergantung pada pengendalian frekuensi penggerak untuk mencapai performa optimal (Liu et al., 2021).

Lebih lanjut terdapat indikasi ketidak akuratan ketelitian frekuensi yang dihasilkan dan berakibat pada data yang diperoleh. Dugaan ini berpengaruh pada penyimpangan nilai frekuensi resonan yang dicapai. Seperti yang juga ditemukan dalam literatur, kondisi nyata sering kali menunjukkan bahwa teori frekuensi resonan tidak dapat sepenuhnya diterapkan secara ideal pada sistem yang dibuat. Hal ini menggarisbawahi pentingnya memahami bahwa pengujian nyata dapat dipengaruhi oleh berbagai variabel, termasuk pengaturan eksperimen dan faktor teknis yang tidak terprediksi.

Faktor lain yang mempengaruhi daya yang diukur pada rangkaian penerima adalah karena jarak antar lilitan itu sendiri. Pada grafik yang disajikan, terlihat pada jarak 6 cm dan 10 cm memiliki karakteristik grafik yang mirip dibandingkan dengan pada jarak 4 cm dan jarak 0 cm. Hal ini membuktikan bahwasanya RLC circuit juga dipengaruhi oleh jarak antar dua lilitan.

BAB 7 PENUTUP

Bagian ini mencakup kesimpulan dan saran terkait skripsi. Kesimpulan dan saran disajikan secara terpisah, dengan penjelasan sebagai berikut:

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan nilai ketelitian frekuensi yang dihasilkan serta melihat karakteristik daya yang dihasilkan pada sistem WPT. Didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian perancangan yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem yang dirancang berhasil berfungsi sesuai dengan kebutuhan penelitian. Pengukuran frekuensi pada GPIO 13 dan H-Bridge menghasilkan tegangan yang sesuai dengan yang diharapkan, dengan H-Bridge berfungsi sebagai pembesar tegangan untuk menghasilkan sinyal kotak dengan tegangan tinggi yang dapat digunakan dalam implementasi WPT. Tampilan antarmuka pada sistem juga berfungsi dengan baik sebagai input dan output frekuensi, memungkinkan peneliti untuk memasukkan dan memonitor frekuensi yang digunakan. Dengan demikian, sistem ini siap untuk mendukung penelitian lebih lanjut dalam pengembangan WPT. Lebih lanjut perancangan sistem WPT yang telah melakukan tahap pengujian menunjukkan bahwa H-Bridge berhasil meningkatkan tegangan maksimal dari 3,9 V pada GPIO 13 menjadi 16,4 V pada output H-Bridge, membuktikan fungsinya sebagai penguat tegangan. Peningkatan tegangan ini memungkinkan sinyal kotak bertegangan tinggi yang dihasilkan digunakan dalam implementasi Wireless Power Transfer (WPT) sebagai sumber tegangan untuk menggerakkan rangkaian RLC yang telah dirancang.
2. Pengujian dari sistem transfer daya nirkabel (WPT) menunjukkan bahwa ketelitian frekuensi sangat memengaruhi daya yang dihasilkan, terutama dalam perancangan sirkuit RLC yang membutuhkan frekuensi resonan yang presisi. Error yang diukur pada PWM Raspberry Pi 5 dan H-Bridge disebabkan oleh keterbatasan clock divider pada SoC Raspberry Pi 5, yang memengaruhi presisi frekuensi input. Fenomena *frequency splitting* juga terdeteksi, di mana daya maksimum tidak hanya terjadi pada frekuensi resonansi, tetapi juga pada dua frekuensi pemisahan, dipengaruhi oleh koefisien kopling antara lilitan. Hasil menunjukkan bahwa jarak antar lilitan memengaruhi daya maksimum dan karakteristik grafik daya, arus, dan voltase, dengan puncak daya berbeda pada berbagai jarak. Hal ini menegaskan bahwa kondisi eksperimental nyata sering kali menghasilkan penyimpangan dari teori resonansi ideal, sehingga optimalisasi sistem memerlukan penyesuaian terhadap faktor teknis dan operasional.

7.2 Saran

Setelah menyelesaikan tahapan studi literatur, perancangan, implementasi, dan pengujian pada sistem yang dikembangkan, terdapat beberapa rekomendasi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang. Rekomendasi yang diajukan oleh peneliti adalah sebagai berikut:

1. Mempertimbangkan untuk merancang sistem yang bisa mengatur frekuensi secara otomatis berdasarkan komponen RLC yang sehingga *frequency generator* pada sistem WPT yang akan dibuat bisa menghasilkan frekuensi secara otomatis berdasarkan frekuensi resonan yang dibutuhkan pada RLC *circuit*.
2. Mempertimbangkan untuk merancang *capacitor switching* untuk konfigurasi nilai kapasistansi yang bisa secara otomatis berubah nilainya berdasarkan perhitungan teoritis RLC *Circuit* pada sistem WPT

DAFTAR REFERENSI

- Akbar, S., Setiawan, E., Hirata, T., Yamaguchi, K. and Hodaka, I., 2021. The Frequency Response and Steady-State analysis on Wireless Power Transfer using Square Wave Input. In: *6th International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology 2021*. New York, NY, USA: ACM. pp.38–43. <https://doi.org/10.1145/3479645.3479659>.
- Akbar, S.R., 2021. *Study on Resonance and Symmetry of Wireless Power Transfer*. [online] UNIVERSITY OF MIYAZAKI. Available at: <https://miyazaki-u.repo.nii.ac.jp/record/6451.1/files/honbun_197.pdf> [Accessed 2 December 2024].
- Akbar, S.R. and Hodaka, I., 2020. A fast spotting strategy of optimal frequency in wireless power transfer. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications*, 9(4), pp.242–246. <https://doi.org/10.18178/ijeetc.9.4.242-246>.
- Akbar, S.R., Setiawan, E., Hirata, T. and Hodaka, I., 2023. Optimal Wireless Power Transfer Circuit without a Capacitor on the Secondary Side. *Energies*, 16(6), p.2922. <https://doi.org/10.3390/en16062922>.
- Allamehzadeh, H., 2021. Wireless Power Transfer (WPT) Fundamentals with Resonant Frequency-Dependent Parameters, Energy Transfer Efficiency, and Green Technology Applications. In: *2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*. IEEE. pp.0036–0040. <https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9518505>.
- Chittoor, P.K., Chokkalingam, B. and Mihet-Popa, L., 2021. A Review on UAV Wireless Charging: Fundamentals, Applications, Charging Techniques and Standards. *IEEE Access*, 9, pp.69235–69266. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3077041>.
- Das, S., Rashid, Md.M., Firdous, J. and Haque, Md.N.M., 2020. Design, Analysis and Simulation of a Solar Powered DC Motor using MOSFET H-bridge Converter. In: *2020 11th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE. pp.1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT49239.2020.9225583>.
- Detka, K. and Górecki, K., 2022. Wireless Power Transfer—A Review. *Energies*, 15(19), p.7236. <https://doi.org/10.3390/en15197236>.
- Eben Upton, 2024. *Processor*. [online] Raspberry Pi Documentation. Available at: <<https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/processors.html>> [Accessed 25 November 2024].
- Eberhard Waffenschmidt, 2022. *Quality Factor*. [online] Wireless Power Consortium. Available at: <<https://www.wirelesspowerconsortium.com/knowledge-base/magnetic-induction/quality-factor/>> [Accessed 12 November 2024].

- Hughes, R.R., Arroyo, A.H. and Mulholland, A.J., 2024. Analytical Approximations for Fitting Magnetic Coupling Coefficients Between Adjacent Coils. *IEEE Transactions on Magnetics*, 60(2), pp.1–9. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2023.3344214>.
- Krishnamoorthy, K. and Dr.m.sangeetha, 2023. wireless power transfer. 42, pp.11306–12096.
- Le, A., Truong, L., Quyen, T., Nguyen, C. and Nguyen, M., 2020. Wireless Power Transfer Near-field Technologies for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Review. *EAI Endorsed Transactions on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 7(22), p.162831. <https://doi.org/10.4108/eai.31-1-2020.162831>.
- Liu, X., Yuan, X., Xia, C. and Wu, X., 2021. Analysis and Utilization of the Frequency Splitting Phenomenon in Wireless Power Transfer Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, [online] 36(4), pp.3840–3851. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3025480>.
- MohamedZain, A.O., Hou, L.W., Chua, H., Yap, K. and Boon, L.K., 2023. The Design and Fabrication of Multiple-Transmitter Coils and Single-Receiver Coils for a Wireless Power Transfer System to Charge a 3s LiPo Drone's Battery. *Energies*, 16(9), p.3629. <https://doi.org/10.3390/en16093629>.
- Mourgelas, C., Kokkinos, S., Milidonis, A. and Voyiatzis, I., 2020. Autonomous drone charging stations: A survey. In: *24th Pan-Hellenic Conference on Informatics*. New York, NY, USA: ACM. pp.233–236. <https://doi.org/10.1145/3437120.3437314>.
- Rizky, A., Harahap, I., Rizqika Akbar, S. and Setiawan, E., 2022. *Perancangan dan Implementasi Programmable Function Generator menggunakan H-Bridge L298N untuk Rangkaian Wireless Power Transfer*. [online] Available at: <<http://j-ptiik.ub.ac.id>>.
- Soni, S. and Gupta, S., 2022. WPT Techniques based Power Transmission: A State-of-Art Review. In: *2022 13th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE. pp.1–6. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT54827.2022.9984606>.
- Stankiewicz, J.M. and Choroszucho, A., 2021. Comparison of the Efficiency and Load Power in Periodic Wireless Power Transfer Systems with Circular and Square Planar Coils. *Energies*, 14(16), p.4975. <https://doi.org/10.3390/en14164975>.
- Suroso, D.M., Sabriansyah, R., Akbar, S.T. and Eng, M., 2023. *Rancang Bangun Programmable High Frequency Generator untuk Peningkatan Daya pada Wireless Power Transfer*. [online] Available at: <<http://j-ptiik.ub.ac.id>>.
- Tonthat, L., Chakarothai, J., Suzuki, R., Fujii, K. and Yabukami, S., 2024. Thin Film Magnetic Sensor for Magnetic Near-Field Measurement in Wireless Power Transfer System. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*. <https://doi.org/10.1002/tee.24148>.

Waffenschmidt, E., 2011. Wireless power for mobile devices. In: *2011 IEEE 33rd International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*. IEEE. pp.1–9. <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2011.6099840>.

Walecka, J.D., 2019. *Introduction to Electricity and Magnetism*. WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/11342>.

Xie, L., Cao, X., Xu, J. and Zhang, R., 2021. UAV-Enabled Wireless Power Transfer: A Tutorial Overview. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 5(4), pp.2042–2064. <https://doi.org/10.1109/TGCN.2021.3093718>.

Y. Sreeja, B. Bhavani, S. Ramya, T. Praveen Kumar and M. Raj Shekar, 2023. SPI Master Slave Communication. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp.703–706. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-14295>.

Yan, Y., Shi, W. and Zhang, X., 2020. Design of UAV wireless power transmission system based on coupling coil structure optimization. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-020-01679-4>.

LAMPIRAN A KODE PROGRAM

A.1 Kode Program Implementasi PWM

dynamicHZ.py	
1	from rpi_hardware_pwm import HardwarePWM
2	from enum import Enum
3	import gpiod
4	
5	# Constants
6	DUTY_CYCLE = 50 # 50% duty cycle
7	
8	# Custom exceptions
9	class AlreadyStartedException(Exception):
	pass
10	
11	class ChannelNotFoundException(Exception):
12	pass
13	
14	# Enum untuk Channel PWM
15	class Channel(Enum):
16	GPIO_12 = 0
17	GPIO_13 = 1
18	
19	# Kelas untuk kontrol PWM
20	class PwmControl:
21	_pwms = {}
22	
23	def init(self, channel: Channel, frequency: int):
24	if channel in self._pwms:
25	raise AlreadyStartedException("Already
26	initialized.")
27	else:
28	print(f"Init {channel} with frequency
29	{frequency} Hz")
30	pwm = HardwarePWM(pwm_channel=channel.value,
31	hz=frequency, chip=2)
32	pwm.start(0)
33	self._pwms[channel] = pwm
34	
35	def set(self, channel: Channel, value: int):
36	pwm = self._pwms[channel]
37	if not pwm:
38	raise ChannelNotFoundException("Channel not
39	found. Did you init it first?")
40	value = min(value, 50)
41	value = max(value, 0)
42	print(f"Set {channel} {value}% duty cycle")
43	pwm.change_duty_cycle(value)
44	
45	def change_frequency(self, channel: Channel, frequency:
46	int):
47	pwm = self._pwms[channel]
48	if not pwm:
49	raise ChannelNotFoundException("Channel not
50	found. Did you init it first?")
51	print(f"Changing frequency to {frequency} Hz")


```

52         pwm.change_frequency(frequency)
53
54     def stop(self, channel: Channel):
55         pwm = self._pwms[channel]
56         if not pwm:
57             raise ChannelNotFoundException("Channel not
58 found. Should it be stopped?")
59         pwm.stop()
60
61     # Inisialisasi GPIO menggunakan gpiod
62     chip = gpiod.Chip('/dev/gpiochip0')
63
64     type=gpiod.LINE_REQ_DIR_OUT)
65
66     # Membuat instance PwmControl
67     pwm_control = PwmControl()
68
69     # Inisialisasi PWM di GPIO 12 dengan frekuensi awal
70     initial_frequency = 100000 # 100 kHz
71     pwm_control.init(Channel.GPIO_12, initial_frequency)
72
73     # Loop utama untuk mengontrol PWM
74     try:
75         while True:
76             # Set PWM duty cycle ke 50%
77             pwm_control.set(Channel.GPIO_12, DUTY_CYCLE)
78
79
80             # Meminta input untuk frekuensi baru
81             user_input = input("Enter new frequency in Hz (or
82 'q' to quit): ")
83
84             if user_input.lower() == 'q':
85                 break
86
87             try:
88                 new_frequency = int(user_input)
89                 pwm_control.change_frequency(Channel.GPIO_12,
90 new_frequency)
91             except ValueError:
92                 print("Please enter a valid integer for the
93 frequency.")
94
95     except KeyboardInterrupt:
96         pass
97     finally:
98         # Matikan PWM dan reset GPIO saat program dihentikan
99         pwm_control.stop(Channel.GPIO_12)
100        print("Program terminated.")

```

A.2 Kode Program Antarmuka LCD

GUI.py	
1	import tkinter as tk
2	
3	# Fungsi untuk menangani input tombol angka
4	def button_click(value):
5	current_input = input_entry.get()
6	input_entry.delete(0, tk.END)
7	input_entry.insert(0, current_input + str(value))
8	
9	# Fungsi untuk menghapus karakter terakhir (backspace)
10	def delete_last():
11	current_input = input_entry.get()
12	input_entry.delete(0, tk.END)
13	input_entry.insert(0, current_input[:-1])
14	# Fungsi untuk mengirimkan input (submit) dan memperbarui
15	output
16	def submit_input():
17	current_output = input_entry.get()
18	output_entry.delete(0, tk.END)
19	output_entry.insert(0, current_output)
20	input_entry.delete(0, tk.END)
21	
22	# Membuat jendela utama
23	window = tk.Tk()
24	window.title("Keypad Tkinter")
25	
26	# Membuat kolom input untuk menampilkan angka yang ditekan
27	(kiri)
28	input_entry = tk.Entry(window, width=15, borderwidth=5,
29	font=('Arial', 18), justify='right')
30	input_entry.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=10)
31	
32	# Membuat kolom output untuk menampilkan angka output (kanan)
33	output_entry = tk.Entry(window, width=15, borderwidth=5,
34	font=('Arial', 18), justify='right')
35	output_entry.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=10)
36	
37	# Membuat tombol angka dan fungsinya
38	buttons = [
39	('1', 1, 0), ('2', 1, 1), ('3', 1, 2),
40	('4', 2, 0), ('5', 2, 1), ('6', 2, 2),
41	('7', 3, 0), ('8', 3, 1), ('9', 3, 2),
42	('<-', 4, 0), ('0', 4, 1), ('v', 4, 2)
43]
44	
45	# Menambahkan tombol ke jendela dengan grid
46	for (text, row, col) in buttons:
47	if text == '<-':
48	button = tk.Button(window, text=text, padx=20,
49	pady=20, font=('Arial', 18), command=delete_last)
50	elif text == 'v':
51	button = tk.Button(window, text=text, padx=20,
52	pady=20, font=('Arial', 18), command=submit_input)
53	else:
54	

55	button = tk.Button(window, text=text, padx=20,
56	pady=20, font=('Arial', 18), command=lambda t=text:
57	button_click(t))
58	
59	button.grid(row=row+1, column=col)
60	
61	# Menjalankan loop utama
	window.mainloop()

A.3 Kode Program Inisialisasi PWM

Install.sh	
1	#!/bin/bash
2	
3	sudo apt-get install -y git \
4	python3
5	
6	# https://github.com/Pioreactor/rpi_hardware_pwm
7	pip3 install rpi-hardware-pwm --break-system-packages
8	
9	sudo bash -c 'echo "dtoverlay=pwm-
	2chan,pin=12,func=4,pin2=13,func2=4" >>
10	/boot/firmware/config.txt'
11	
12	# Get the current kernel version
13	current_kernel=\$(uname -r)
14	
15	# https://github.com/Pioreactor/rpi_hardware_pwm/issues/14
16	if [["\$current_kernel" == "6.6.20+rpt-rpi-2712"]]; then
17	echo "Kernel version has issues. Updating..."
18	sudo apt install raspberrypi-kernel
19	sudo rpi-update
20	else
21	echo "Kernel is OK"
22	fi
23	
24	sudo reboot now

A.4 Inisialisasi Fitur LCD

LCD3_5.sh	
1	#!/bin/bash
2	
3	sudo ./system_backup.sh
4	
5	if [-f /etc/X11/xorg.conf.d/40-libinput.conf]; then
6	sudo rm -rf /etc/X11/xorg.conf.d/40-libinput.conf
7	fi
8	if [! -d /etc/X11/xorg.conf.d]; then
9	sudo mkdir -p /etc/X11/xorg.conf.d
	fi
10	sudo cp ./usr/tft35a-overlay.dtb /boot/overlays/
11	sudo cp ./usr/tft35a-overlay.dtb /boot/overlays/tft35a.dtbo
12	

```

13 #root_dev=`grep -oPr "root=[^\s]*" /boot/cmdline.txt | awk -
14 F= '{printf $NF}'`
15 #if test "$root_dev" = "/dev/mmcblk0p7";then
16 #sudo cp -rf ./boot/config-noobs-nomal.txt
17 ./boot/config.txt.bak
18 #else
19 #sudo cp -rf ./boot/config-nomal.txt ./boot/config.txt.bak
20 #sudo echo "hdmi_force_hotplug=1" >> ./boot/config.txt.bak
21 #fi
22
23 source ./system_config.sh
24 #sudo sed -i -e 's/dtoverlay=vc4-kms-v3d/#dtoverlay=vc4-kms-
25 v3d/' ./boot/config.txt.bak
26 sudo echo "hdmi_force_hotplug=1" >> ./boot/config.txt.bak
27 sudo echo "dtparam=i2c_arm=on" >> ./boot/config.txt.bak
28 sudo echo "dtparam=spi=on" >> ./boot/config.txt.bak
29 sudo echo "enable_uart=1" >> ./boot/config.txt.bak
30 sudo echo "dtoverlay=tft35a:rotate=90" >>
31 ./boot/config.txt.bak
32 sudo echo "hdmi_group=2" >> ./boot/config.txt.bak
33 sudo echo "hdmi_mode=1" >> ./boot/config.txt.bak
34 sudo echo "hdmi_mode=87" >> ./boot/config.txt.bak
35 sudo echo "hdmi_cvt 480 320 60 6 0 0 0" >>
36 ./boot/config.txt.bak
37 sudo echo "hdmi_drive=2" >> ./boot/config.txt.bak
38 sudo cp -rf ./boot/config.txt.bak /boot/config.txt
39
40 sudo cp -rf ./usr/99-calibration.conf-35-90
41 /etc/X11/xorg.conf.d/99-calibration.conf
42 if [ "$deb_version" < "12.1" ]; then
43 sudo cp -rf ./usr/99-fbturbo.conf
44 /usr/share/X11/xorg.conf.d/99-fbturbo.conf
45 fi
46 #if test "$root_dev" = "/dev/mmcblk0p7";then
47 #sudo cp ./usr/cmdline.txt-noobs /boot/cmdline.txt
48 #else
49 #sudo cp ./usr/cmdline.txt /boot/
50 #fi
51 sudo cp ./usr/inittab /etc/
52 #sudo cp ./boot/config-35.txt /boot/config.txt
53 sudo touch ./have_installed
54 echo "gpio:resistance:35:90:480:320" > ./have_installed
55
56 sudo apt-get update
57 #FBCEP install
58 wget --spider -q -o /dev/null --tries=1 -T 10
59 https://cmake.org/
60 if [ $? -eq 0 ]; then
61 #sudo apt-get update
62 sudo apt-get install cmake libraspberrypi-dev -y 2>
63 error_output.txt
64 result=`cat ./error_output.txt`
65 echo -e "\033[31m$result\033[0m"
66 grep -q "^E:" ./error_output.txt
67 type cmake > /dev/null 2>&1
68 if [ $? -eq 0 ]; then
69 sudo rm -rf rpi-fbcep
70 wget --spider -q -o /dev/null --tries=1 -T 10
71 https://github.com

```

```

72  if [ $? -eq 0 ]; then
73  sudo git clone https://github.com/tasanakorn/rpi-fbcp
74  if [ $? -ne 0 ]; then
75  echo "download fbcp failed, copy native fbcp!!!"
76  sudo cp -r ./usr/rpi-fbcp .
77  fi
78  else
79  echo "bad network, copy native fbcp!!!"
80  sudo cp -r ./usr/rpi-fbcp .
81  fi
82  sudo mkdir ./rpi-fbcp/build
83  cd ./rpi-fbcp/build/
84  sudo cmake ..
85  sudo make
86  sudo install fbcp /usr/local/bin/fbcp
87  cd - > /dev/null
88  type fbcp > /dev/null 2>&1
89  if [ $? -eq 0 ]; then
90  if [ [ "$deb_version" < "12.1" ] ]; then
91  sudo cp -rf ./usr/99-fbturbo-fbcp.conf
92  /usr/share/X11/xorg.conf.d/99-fbturbo.conf
93  fi
94  sudo cp -rf ./etc/rc.local /etc/rc.local
95  fi
96  else
97  echo "install cmake error!!!!"
98  fi
99  else
100 echo "bad network, can't install cmake!!!"
101 fi
102
103 #evdev install
104 #nodeplatform=`uname -n`
105 #kernel=`uname -r`
106 version=`uname -v`
107 #if test "$nodeplatform" = "raspberrypi";then
108 #echo "this is raspberrypi kernel"
109 input_result=0
110 version=${version##* }
111 #version=${version##*#}
112 echo $version
113 if test $version -lt 2017;then
114 echo "reboot"
115 else
116 echo "need to update touch configuration"
117 wget --spider -q -o /dev/null --tries=1 -T 10
118 http://mirrors.zju.edu.cn/raspbian/raspbian
119 if [ $? -ne 0 ]; then
120 input_result=1
121 else
122 sudo apt-get install xserver-xorg-input-evdev 2>
123 error_output.txt
124 dpkg -l | grep xserver-xorg-input-evdev > /dev/null 2>&1
125 if [ $? -ne 0 ]; then
126 input_result=1
127 fi
128 fi
129 if [ $input_result -eq 1 ]; then
130 if [ $hardware_arch -eq 32 ]; then

```

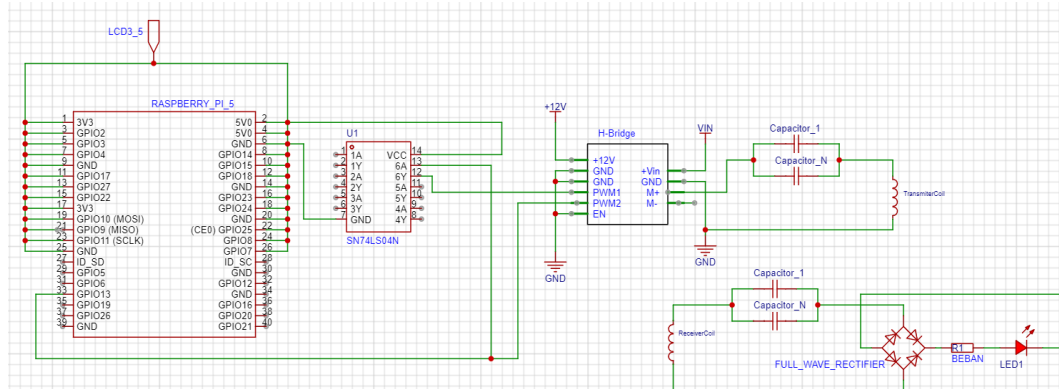
```

131 sudo dpkg -i -B ./xserver-xorg-input-evdev_1%3a2.10.6-
132 1+b1_armhf.deb 2> error_output.txt
133 elif [ $hardware_arch -eq 64 ]; then
134 sudo dpkg -i -B ./xserver-xorg-input-evdev_1%3a2.10.6-
135 2_arm64.deb 2> error_output.txt
136 fi
137 fi
138 result=`cat ./error_output.txt`
139 echo -e "\033[31m$result\033[0m"
140 grep -q "error:" ./error_output.txt && exit
141 sudo cp -rf /usr/share/X11/xorg.conf.d/10-evdev.conf
142 /usr/share/X11/xorg.conf.d/45-evdev.conf
143 #echo "reboot"
144 fi
145 #else
146 #echo "this is not raspberrypi kernel, no need to update
147 touch configure, reboot"
148 #fi
149
150 sudo sync
151 sudo sync
152 sleep 1
153 if [ $# -eq 1 ]; then
154 sudo ./rotate.sh $1
155 elif [ $# -gt 1 ]; then
156 echo "Too many parameters"
157 fi
158
159 echo "reboot now"
sudo reboot

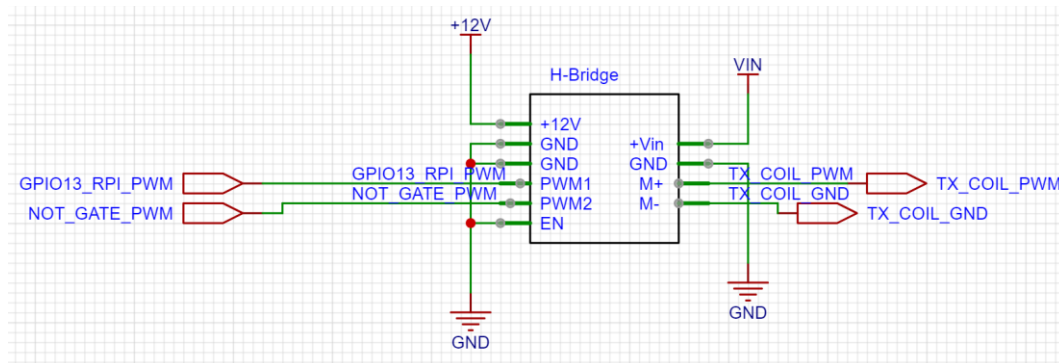
```

LAMPIRAN B SKEMATIK DIAGRAM

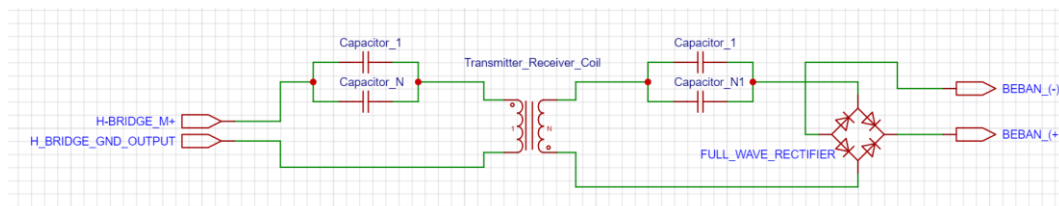
B.1 Diagram Keseluruhan Sistem



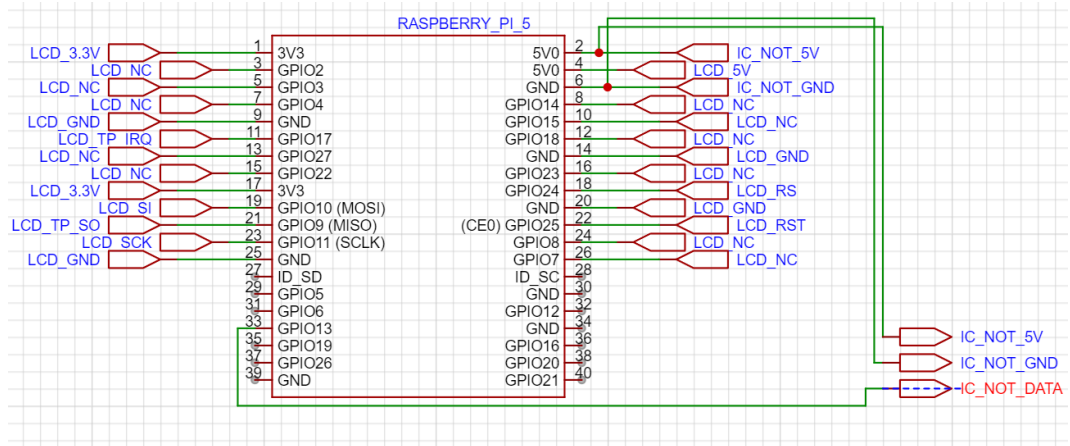
B.2 Diagram Skematik Perancangan H-Bridge



B.3 Diagram Skematik Rangkaian Pengirim dan Penerima



B.4 Diagram Skematik Rangkaian LCD



LAMPIRAN C DATA PENGUJIAN

C.1 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 5 Khz Sampai 100 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
5000	5000	0	5000	0
10000	10000	0	10000	0
15000	15010	0.06666666667	15020	0.1333333333
20000	19960	0.2	20000	0
25000	25000	0	25000	0
30000	30030	0.1	29980	0.06666666667
35000	34980	0.05714285714	34960	0.1142857143
40000	40000	0	39999	0.0025
45000	44960	0.08888888889	44970	0.06666666667
50000	50000	0	50000	0
60000	59950	0.08333333333	59950	0.08333333333
65000	64940	0.09230769231	64960	0.06153846154
70000	69930	0.1	69980	0.02857142857
75000	74850	0.2	75020	0.02666666667
80000	79870	0.1625	79870	0.1625
85000	84890	0.1294117647	85020	0.02352941176
90000	89770	0.2555555556	89910	0.1
95000	94870	0.1368421053	94960	0.04210526316
100000	99800	0.2	99900	0.1
AVERAGE OF ERROR		0.10%		0.05%

C.2 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 105 Khz Sampai 200 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
105000	104800	0.1904761905	104800	0.1904761905
110000	109600	0.3636363636	109900	0.09090909091
115000	114700	0.2608695652	114800	0.1739130435
120000	119600	0.3333333333	119600	0.3333333333
125000	124700	0.24	124900	0.08
130000	129500	0.3846153846	129500	0.3846153846
135000	134800	0.1481481481	135100	0.07407407407
140000	139700	0.2142857143	139700	0.2142857143
145000	144960	0.0275862069	145100	0.06896551724
150000	149690	0.2066666667	150000	0
155000	154312	0.4438709677	154300	0.4516129032
160000	159224	0.485	169500	5.9375
165000	164500	0.303030303	164500	0.303030303
170000	169500	0.2941176471	170000	0
175000	174200	0.4571428571	174500	0.2857142857
180000	179198	0.4455555556	179800	0.1111111111
185000	184488	0.2767567568	184700	0.1621621622
190000	189382	0.3252631579	189800	0.1052631579
195000	194540	0.2358974359	195100	0.05128205128
AVERAGE OF ERROR		0.30%		0.95%

C.3 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 205 Khz Sampai 300 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
205000	204100	0.4390243902	205000	0
210000	209190	0.3857142857	209200	0.380952381
215000	213600	0.6511627907	214400	0.2790697674
220000	219300	0.3181818182	219800	0.09090909091
225000	224200	0.3555555556	224500	0.2222222222
230000	229400	0.2608695652	230100	0.04347826087
235000	233600	0.5957446809	234500	0.2127659574
240000	239200	0.3333333333	240500	0.2083333333
245000	243900	0.4489795918	243900	0.4489795918
250000	248700	0.52	249500	0.2
255000	253800	0.4705882353	254700	0.1176470588
260000	259100	0.3461538462	259600	0.1538461538
265000	263100	0.7169811321	263500	0.5660377358
270000	268800	0.4444444444	269600	0.1481481481
275000	273200	0.6545454545	274200	0.2909090909
280000	277800	0.7857142857	278400	0.5714285714
285000	284100	0.3157894737	285700	0.2456140351
290000	289000	0.3448275862	289300	0.2413793103
295000	294100	0.3050847458	294600	0.1355932203
AVERAGE OF ERROR		0.62%		0.25%

C.4 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 305 Khz Sampai 400 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
305000	303000	0.6557377049	303800	0.393442623
310000	308600	0.4516129032	309200	0.2580645161
315000	312500	0.7936507937	314300	0.2222222222
320000	318500	0.46875	320300	0.09375
325000	324600	0.1230769231	323600	0.4307692308
330000	326800	0.9696969697	326600	1.03030303
335000	333300	0.5074626866	332500	0.7462686567
340000	337800	0.6470588235	339100	0.2647058824
345000	342500	0.7246376812	344400	0.1739130435
350000	347200	0.8	347700	0.6571428571
355000	352100	0.8169014085	354700	0.08450704225
360000	357100	0.8055555556	359600	0.1111111111
365000	362300	0.7397260274	363100	0.5205479452
370000	367600	0.6486486486	367100	0.7837837838
375000	373100	0.5066666667	375500	0.1333333333
380000	376000	1.052631579	377900	0.5526315789
385000	381600	0.8831168831	383100	0.4935064935
390000	387600	0.6153846154	387800	0.5641025641
395000	390600	1.113924051	394400	0.1518987342
AVERAGE OF ERROR		0.71%		0.39%

C.5 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 405 Khz Sampai 500 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
405000	403200	0.4444444444	403900	0.2716049383
410000	406400	0.8780487805	409400	0.1463414634
415000	413200	0.4337349398	413200	0.4337349398
420000	416700	0.7857142857	419000	0.2380952381
425000	420100	1.152941176	423400	0.3764705882
430000	427300	0.6279069767	430400	0.09302325581
435000	431000	0.9195402299	433500	0.3448275862
440000	434800	1.181818182	436900	0.7045454545
445000	442400	0.5842696629	445300	0.06741573034
450000	446400	0.8	448200	0.4
455000	450400	1.010989011	449700	1.164835165
460000	454500	1.195652174	455700	0.9347826087
465000	458700	1.35483871	463700	0.2795698925
470000	467300	0.5744680851	471300	0.2765957447
475000	471600	0.7157894737	474600	0.08421052632
480000	476200	0.7916666667	476300	0.7708333333
485000	480700	0.8865979381	480900	0.8453608247
490000	485400	0.9387755102	485500	0.9183673469
495000	490200	0.9696969697	490300	0.9494949495
AVERAGE OF ERROR		0.86%		0.47%

C.6 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 505 Khz Sampai 600 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
505000	500000	0.9900990099	503200	0.3564356436
510000	505100	0.9607843137	505100	0.9607843137
515000	510200	0.932038835	513300	0.3300970874
520000	515500	0.8653846154	516200	0.7307692308
525000	520800	0.8	523400	0.3047619048
530000	526300	0.6981132075	528200	0.3396226415
535000	531900	0.5794392523	536100	0.2056074766
540000	532000	1.481481481	537500	0.462962963
545000	537600	1.357798165	543700	0.2385321101
550000	543500	1.181818182	548900	0.2
555000	549400	1.009009009	553200	0.3243243243
560000	555500	0.8035714286	557500	0.4464285714
565000	561800	0.5663716814	561700	0.5840707965
570000	561800	1.438596491	563900	1.070175439
575000	568200	1.182608696	572000	0.5217391304
580000	574700	0.9137931034	575700	0.7413793103
585000	581300	0.6324786325	584200	0.1367521368
590000	581300	1.474576271	581500	1.440677966
595000	588100	1.159663866	590200	0.8067226891
AVERAGE OF ERROR		0.99%		0.52%

C.7 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 605 Khz Sampai 700 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
605000	595200	1.619834711	600000	0.826446281
610000	602700	1.196721311	608200	0.2950819672
615000	609800	0.8455284553	615000	0
620000	609800	1.64516129	615200	0.7741935484
625000	617300	1.232	620700	0.688
630000	625000	0.7936507937	628900	0.1746031746
635000	625000	1.57480315	630200	0.7559055118
640000	632900	1.109375	638200	0.28125
645000	632900	1.875968992	637400	1.178294574
650000	641100	1.369230769	644500	0.8461538462
655000	649300	0.8702290076	653200	0.2748091603
660000	649300	1.621212121	656300	0.5606060606
665000	657900	1.067669173	662000	0.4511278195
670000	657900	1.805970149	664800	0.776119403
675000	666700	1.22962963	675800	0.1185185185
680000	666700	1.955882353	675200	0.7058823529
685000	675700	1.357664234	681900	0.4525547445
690000	685000	0.7246376812	690700	0.1014492754
695000	685000	1.438848921	691200	0.5467625899
AVERAGE OF ERROR		1.37%		0.52%

C.8 Tabel Data pengujian ketelitian Frekuensi 705 Khz Sampai 800 Khz

Nilai Masukan	Frekuensi yang Terukur	Presentasi Error	Frekuensi yang terukur di H-Bridge	Presentase Error (%) di H-BRIDGE
705000	694400	1.503546099	703800	1.353686636
710000	704200	0.8169014085	709500	0.7526270946
715000	704200	1.51048951	712800	1.221243965
720000	714300	0.7916666667	724400	1.413971721
725000	714300	1.475862069	724900	1.483970321
730000	724500	0.7534246575	731800	1.007591442
735000	724500	1.428571429	732200	1.062801932
740000	724500	2.094594595	734800	1.421670117
745000	735300	1.302013423	739800	0.611995104
750000	735300	1.96	736500	0.1631986944
755000	746300	1.152317881	746200	0.01339943722
760000	746300	1.802631579	746200	0.01339943722
765000	757600	0.9673202614	757500	0.01319957761
770000	757600	1.61038961	761200	0.4751847941
775000	757600	2.24516129	762800	0.6863780359
780000	769200	1.384615385	779500	1.339053562
785000	769200	2.012738854	775500	0.8190327613
790000	781300	1.101265823	785300	0.5119672341
795000	781300	1.72327044	786500	0.6655574043
AVERAGE OF ERROR		1.50%		0.75%

C.9 Pengukuran nilai Voltase Pada Rangkaian Penerima (306 Khz – 536 Khz)

Frekuensi	Voltase yang terukur (V)			
	Jarak 0 cm	Jarak 4 cm	Jarak 6 cm	Jarak 10 cm
536950	2.9	9.4	1.5	0.017
526950	2.5	17.4	3.2	0.078
516950	2.1	29.2	6.1	0.57
506950	1.8	33.7	11.6	1.97
496950	1.5	24	22.4	4.7
486950	1.5	18.5	31.9	11.4
476950	1.5	15.4	28.1	26.5
466950	1.6	14.7	24.4	31.5
456950	1.6	15.4	23.7	23.1
446950	1.8	19.1	27	12
436950	1.9	21.9	22.7	5
426950	2.3	29.8	9	0.8
416950	2.9	19.1	3.7	0.023
406950	3.4	9	1.3	0.001
396950	4.6	4.2	0.3	0
386950	6.06	2.1	0.03	0
376950	8.2	0.6	0.005	0
366950	12.9	0.2	0.001	0
356950	19.09	0.07	0.001	0
346950	28.25	0.0048	0	0
336950	21.34	0.0003	0	0
326950	4.8	0	0	0
316950	4.76	0	0	0
306950	2.9	0	0	0

C.10 Pengukuran Nilai Arus Pada Rangkaian Penerima (306 Khz – 536 Khz)

Frekuensi	Arus yang terukur (A)			
	Jarak 0 cm	Jarak 4 cm	Jarak 6 cm	Jarak 10 cm
536950	0.00123	0.00339	0.00035	0.00008
526950	0.00131	0.00612	0.00038	0.00014

516950	0.00128	0.0082	0.00078	0.00047
506950	0.00125	0.00642	0.0015	0.00107
496950	0.00113	0.00439	0.0028	0.00232
486950	0.001	0.00345	0.0053	0.005
476950	0.00098	0.0031	0.0091	0.0081
466950	0.00092	0.00315	0.0076	0.0082
456950	0.00098	0.00346	0.0067	0.0076
446950	0.001	0.00471	0.0077	0.0024
436950	0.001	0.00672	0.0055	0.00104
426950	0.001	0.00756	0.00265	0.00028
416950	0.0012	0.00322	0.00107	0.00001
406950	0.0015	0.00159	0.00045	0.00007
396950	0.0018	0.00085	0.00012	0
386950	0.0026	0.00047	0.00001	0
376950	0.0039	0.00016	0.00011	0
366950	0.0061	0.00003	0.00007	0
356950	0.0076	0	0	0
346950	0.0093	0	0	0
336950	0.0044	0	0	0
326950	0.0024	0	0	0
316950	0.0016	0	0	0
306950	0.0012	0	0	0

C.11 Pengukuran Nilai Daya Pada Rangkaian Penerima (306 Khz – 536 Khz)

Frekuensi	Daya yang dikalkulasikan (W)			
	Jarak 0 cm	Jarak 4 cm	Jarak 6 cm	Jarak 10 cm
536950	0.003567	0.031866	0.000525	0.00000136
526950	0.003275	0.106488	0.001216	0.00001092
516950	0.002688	0.23944	0.004758	0.0002679
506950	0.00225	0.216354	0.0174	0.0021079
496950	0.001695	0.10536	0.06272	0.010904
486950	0.0015	0.063825	0.16907	0.057
476950	0.00147	0.04774	0.25571	0.21465

466950	0.001472	0.046305	0.18544	0.2583
456950	0.001568	0.053284	0.15879	0.17556
446950	0.0018	0.089961	0.2079	0.0288
436950	0.0019	0.147168	0.12485	0.0052
426950	0.0023	0.225288	0.02385	0.000224
416950	0.00348	0.061502	0.003959	0.00000023
406950	0.0051	0.01431	0.000585	0.00000007
396950	0.00828	0.00357	0.000036	0
386950	0.015756	0.000987	0.0000003	0
376950	0.03198	0.000096	0.00000055	0
366950	0.07869	0.000006	0.00000007	0
356950	0.145084	0	0	0
346950	0.0339	0	0	0
336950	0.034144	0	0	0
326950	0.01152	0	0	0
316950	0.007616	0	0	0
306950	0.00348	0	0	0

C.12 Pengukuran Nilai Voltase Pada Hasil Slicing (420 Khz – 506 Khz)

Frekuensi	Voltase yang terukur (V)			
	0 cm	4 cm	6 cm	10 cm
426950	2.3	25.3	13.4	0.7
427950	2.2	25.2	13.1	0.6
428950	2.27	25.3	13.2	0.6
429950	2.16	22.8	17.5	1.6
430950	2.17	23	17.6	1.6
431950	2.15	23.1	17.7	1.6
432950	2.05	21.1	21.8	3.3
433950	2.07	20.9	22	3.3
434950	2	20.8	21.7	3.2
435950	2	20.6	21.7	3.2
436950	1.9	19.2	23.7	5.7

437950	1.91	19.3	23.4	5.8
438950	1.91	19.3	23	5.8
439950	1.91	19.4	23.3	5.8
440950	1.83	17.6	24	9.3
441950	1.58	17.6	24	9.3
442950	1.77	17.4	23.7	9.2
443950	1.78	17.4	23.7	9.3
444950	1.7	16.1	23	12.9
445950	1.69	16	22.8	12.8
446950	1.68	16.1	22.8	12.9
447950	1.68	16.1	22.9	12.9
448950	1.63	15.3	22	16.2
449950	1.62	15.4	22	16.1
450950	1.58	15.2	21.8	15.8
451950	1.57	15.2	21.8	15.8
452950	1.51	14.6	21.7	17.8
453950	1.51	14.5	21.6	17.7
454950	1.51	14.5	21.5	17.7
455950	1.45	14.5	21.6	17.9
456950	1.45	14	21.3	19.9
457950	1.46	14	21	19.9
458950	1.46	13.7	20.8	19.8
459950	1.46	13.7	20.7	19.8
460950	1.44	13.8	22.4	22.9
461950	1.42	13.8	22.5	23
462950	1.42	13.8	22.5	22.9
463950	1.39	13.7	22.5	22.8
464950	1.44	13.8	22.4	22.7
465950	1.35	14	24.2	25.3
466950	1.34	14	24	25.5
467950	1.36	13.8	23.7	25

468950	1.35	13.8	23.8	25.2
469950	1.31	13.8	26.9	24
470950	1.3	14	26.7	24.1
471950	1.3	14.1	26.4	24.3
472950	1.31	14	26.4	24.4
473950	1.27	15.1	30	19.4
474950	1.27	15.2	29.8	19.6
475950	1.27	15	29.4	18.9
476950	1.26	14.8	28.8	19.2
477950	1.26	15	28.6	19
478950	1.24	16.3	31	12.9
479950	1.24	16.3	31.2	12.9
480950	1.24	16.1	30.5	13
481950	1.24	16.2	30.4	13
482950	1.23	16.2	30.1	12.9
483950	1.21	18.49	29.6	8.6
484950	1.21	18.4	29.2	8.5
485950	1.2	18.15	28.5	8.4
486950	1.21	18.15	28.4	8.5
487950	1.19	21.22	23.6	5.8
488950	1.2	21.27	23.7	5.8
489950	1.2	21.23	23.5	5.8
490950	1.2	21.21	23.6	5.8
491950	1.2	21.25	23.6	5.8
492950	1.18	25.42	17.8	3.9
493950	1.18	25.45	17.7	3.9
494950	1.18	25.5	18	3.9
495950	1.17	25	18	3.9
496950	1.18	24.85	17.9	3.9
497950	1.16	29.05	13	2.6
498950	1.16	28.8	13	2.6

499950	1.16	28.4	13.2	2.6
500950	1.16	28.3	13.3	2.6
501950	1.16	28.8	13.2	2.6
502950	1.19	29.99	10	1.7
503950	1.18	30.01	10.05	1.7
504950	1.2	29.5	9.99	1.7
505950	1.21	29.9	9.94	1.7
506950	1.2	29.19	9.99	1.6

C.13 Pengukuran Nilai Arus Pada Hasil Slicing (420 Khz – 506 Khz)

Frekuensi	Arus yang terukur (A)			
	0 cm	4 cm	6 cm	10 cm
426950	0.00101	0.0079	0.001	0.00018
427950	0.00101	0.0068	0.0017	0.00017
428950	0.00109	0.0068	0.0019	0.00016
429950	0.00109	0.0099	0.0019	0.00035
430950	0.001	0.01	0.0019	0.00035
431950	0.001	0.0103	0.0025	0.00034
432950	0.001	0.0093	0.0025	0.00056
433950	0.001	0.0093	0.0025	0.00055
434950	0.00098	0.0089	0.0036	0.00054
435950	0.00094	0.0089	0.0035	0.00055
436950	0.00094	0.0075	0.0052	0.00083
437950	0.00094	0.0075	0.0052	0.00085
438950	0.00094	0.0075	0.0052	0.00081
439950	0.0009	0.0075	0.0054	0.00082
440950	0.00089	0.006	0.0076	0.00127
441950	0.00091	0.006	0.0075	0.00127
442950	0.00091	0.0059	0.0082	0.00125
443950	0.00089	0.0059	0.009	0.00125
444950	0.0009	0.0049	0.01	0.00192
445950	0.00086	0.005	0.0101	0.0019
446950	0.00086	0.005	0.0101	0.00192
447950	0.00086	0.005	0.0101	0.00192

448950	0.00083	0.0043	0.0095	0.00296
449950	0.00082	0.0043	0.0094	0.00297
450950	0.0008	0.0043	0.0095	0.00294
451950	0.0008	0.0043	0.0095	0.00295
452950	0.0008	0.0038	0.0078	0.0046
453950	0.0008	0.0038	0.0079	0.0048
454950	0.0008	0.0038	0.0079	0.0048
455950	0.0008	0.0038	0.008	0.00486
456950	0.00078	0.0038	0.007	0.00865
457950	0.00078	0.0035	0.0069	0.0089
458950	0.00077	0.0035	0.0069	0.00909
459950	0.00079	0.0034	0.0069	0.00916
460950	0.00067	0.0032	0.0059	0.00953
461950	0.00068	0.0032	0.0059	0.0094
462950	0.00068	0.0031	0.0059	0.0094
463950	0.00068	0.0032	0.0059	0.0094
464950	0.00069	0.0032	0.0059	0.009378
465950	0.00072	0.0032	0.0056	0.00911
466950	0.00073	0.0031	0.0055	0.00887
467950	0.00072	0.0031	0.0055	0.0089
468950	0.00072	0.003	0.0055	0.00888
469950	0.00071	0.003	0.0056	0.00889
470950	0.00071	0.003	0.0056	0.00876
471950	0.00071	0.003	0.0056	0.0088
472950	0.0007	0.003	0.0056	0.0088
473950	0.0007	0.003	0.006	0.0079
474950	0.0007	0.003	0.006	0.0081
475950	0.0007	0.003	0.006	0.0081
476950	0.0007	0.003	0.0059	0.0077
477950	0.0007	0.0031	0.0059	0.0077
478950	0.00068	0.0031	0.007	0.00609
479950	0.00068	0.0031	0.007	0.00616
480950	0.00068	0.0031	0.007	0.0062
481950	0.00068	0.0033	0.007	0.0063
482950	0.00068	0.0032	0.0071	0.00634
483950	0.00067	0.0034	0.0087	0.0045
484950	0.00067	0.0035	0.0085	0.0041

485950	0.00067	0.0035	0.0086	0.0041
486950	0.00067	0.0035	0.0087	0.0042
487950	0.00067	0.0035	0.0092	0.0028
488950	0.00066	0.0035	0.0092	0.0027
489950	0.00067	0.0035	0.0093	0.0027
490950	0.00066	0.0035	0.0092	0.0028
491950	0.00066	0.0035	0.0093	0.0028
492950	0.00066	0.0039	0.0091	0.0018
493950	0.00067	0.0039	0.0082	0.0018
494950	0.00068	0.0038	0.0082	0.00183
495950	0.00069	0.0039	0.0082	0.0018
496950	0.00068	0.0039	0.0083	0.0018
497950	0.00069	0.0039	0.0067	0.0012
498950	0.00068	0.0044	0.0066	0.0012
499950	0.00067	0.0045	0.0068	0.00115
500950	0.00066	0.0045	0.0069	0.00117
501950	0.00066	0.0056	0.0071	0.0012
502950	0.00068	0.0056	0.0047	0.00077
503950	0.00069	0.0057	0.0047	0.0008
504950	0.00069	0.0056	0.0046	0.0007
505950	0.00069	0.0056	0.0047	0.00076
506950	0.00069	0.0056	0.0046	0.00075

C.14 Pengukuran Nilai Daya Pada Hasil Slicing (420 Khz – 506 Khz)

Frekuensi	Daya yang terukur (W)			
	0 cm	4 cm	6 cm	10 cm
426950	0.002323	0.19987	0.0134	0.000126
427950	0.002222	0.17136	0.02227	0.000102
428950	0.0024743	0.17204	0.02508	0.000096
429950	0.0023544	0.22572	0.03325	0.00056
430950	0.00217	0.23	0.03344	0.00056
431950	0.00215	0.23793	0.04425	0.000544
432950	0.00205	0.19623	0.0545	0.001848
433950	0.00207	0.19437	0.055	0.001815
434950	0.00196	0.18512	0.07812	0.001728

435950	0.00188	0.18334	0.07595	0.00176
436950	0.001786	0.144	0.12324	0.004731
437950	0.0017954	0.14475	0.12168	0.00493
438950	0.0017954	0.14475	0.1196	0.004698
439950	0.001719	0.1455	0.12582	0.004756
440950	0.0016287	0.1056	0.1824	0.011811
441950	0.0014378	0.1056	0.18	0.011811
442950	0.0016107	0.10266	0.19434	0.0115
443950	0.0015842	0.10266	0.2133	0.011625
444950	0.00153	0.07889	0.23	0.024768
445950	0.0013858	0.08	0.23028	0.02432
446950	0.0013944	0.0805	0.23028	0.024768
447950	0.0014448	0.0805	0.23129	0.024768
448950	0.0013529	0.06579	0.209	0.047952
449950	0.0013284	0.06622	0.2068	0.047817
450950	0.001264	0.06536	0.2071	0.046452
451950	0.001256	0.06536	0.2071	0.04661
452950	0.001208	0.05548	0.16926	0.08188
453950	0.001208	0.0551	0.17064	0.08496
454950	0.001208	0.0551	0.16985	0.08496
455950	0.00116	0.0551	0.1728	0.086994
456950	0.001131	0.0532	0.1491	0.172135
457950	0.0011388	0.049	0.1449	0.17711
458950	0.0011242	0.04795	0.14352	0.179982
459950	0.0011534	0.04658	0.14283	0.181368
460950	0.0009648	0.04416	0.13216	0.218237
461950	0.0009656	0.04416	0.13275	0.2162
462950	0.0009656	0.04278	0.13275	0.21526
463950	0.0009452	0.04384	0.13275	0.21432
464950	0.0009936	0.04416	0.13216	0.2128806
465950	0.000972	0.0448	0.13552	0.230483
466950	0.0009782	0.0434	0.132	0.226185
467950	0.0009792	0.04278	0.13035	0.2225
468950	0.000972	0.0414	0.1309	0.223776
469950	0.0009301	0.0414	0.15064	0.21336
470950	0.000923	0.042	0.14952	0.211116
471950	0.000923	0.0423	0.14784	0.21384

472950	0.000917	0.042	0.14784	0.21472
473950	0.000889	0.0453	0.18	0.15326
474950	0.000889	0.0456	0.1788	0.15876
475950	0.000889	0.045	0.1764	0.15309
476950	0.000882	0.0444	0.16992	0.14784
477950	0.000882	0.0465	0.16874	0.1463
478950	0.0008432	0.05053	0.217	0.078561
479950	0.0008432	0.05053	0.2184	0.079464
480950	0.0008432	0.04991	0.2135	0.0806
481950	0.0008432	0.05346	0.2128	0.0819
482950	0.0008364	0.05184	0.21371	0.081786
483950	0.0008107	0.062866	0.25752	0.0387
484950	0.0008107	0.0644	0.2482	0.03485
485950	0.000804	0.063525	0.2451	0.03444
486950	0.0008107	0.063525	0.24708	0.0357
487950	0.0007973	0.07427	0.21712	0.01624
488950	0.000792	0.074445	0.21804	0.01566
489950	0.000804	0.074305	0.21855	0.01566
490950	0.000792	0.074235	0.21712	0.01624
491950	0.000792	0.074375	0.21948	0.01624
492950	0.0007788	0.099138	0.16198	0.00702
493950	0.0007906	0.099255	0.14514	0.00702
494950	0.0008024	0.0969	0.1476	0.007137
495950	0.0008073	0.0975	0.1476	0.00702
496950	0.0008024	0.096915	0.14857	0.00702
497950	0.0008004	0.113295	0.0871	0.00312
498950	0.0007888	0.12672	0.0858	0.00312
499950	0.0007772	0.1278	0.08976	0.00299
500950	0.0007656	0.12735	0.09177	0.003042
501950	0.0007656	0.16128	0.09372	0.00312
502950	0.0008092	0.167944	0.047	0.001309
503950	0.0008142	0.171057	0.047235	0.00136
504950	0.000828	0.1652	0.045954	0.00119
505950	0.0008349	0.16744	0.046718	0.001292
506950	0.000828	0.163464	0.045954	0.0012