

Perancangan dan Implementasi *Programmable Function Generator* menggunakan H-Bridge L298N untuk Rangkaian *Wireless Power Transfer*

Arya Rizky Imansyah Harahap¹, Sabriansyah Rizqika Akbar², Eko Setiawan³

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹aryarimansyah@student.ub.ac.id, ²sabrian@ub.ac.id, ³ekosetiawan@ub.ac.id

Abstrak

Salah satu faktor yang memengaruhi tingkat efisiensi transfer daya pada teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT) adalah frekuensi tegangan yang digunakan pada kumparan. Tidak sembarang frekuensi tegangan yang dapat digunakan, melainkan terdapat puncak frekuensi yang dapat memaksimalkan efisiensi transmisi daya WPT. Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian ini merancang sebuah *programmable function generator* yang dapat menghasilkan gelombang AC berbentuk *square wave* yang dapat diprogram menggunakan mikrokontroler pada rentang frekuensi keluaran 100 Hz hingga 25 kHz untuk diuji pada rangkaian *Wireless Power Transfer*. Sistem ini memanfaatkan periode perubahan fase PWM Arduino UNO dengan siklus kerja 50% sehingga dihasilkan keluaran berupa *square wave* dengan frekuensi tertentu pada H-Bridge L298N. Metode tersebut mendapatkan akurasi frekuensi *square wave* keluaran sebesar 99,46% dengan nilai error tertinggi sebesar 1,992%. Pengujian sistem pada rangkaian WPT dengan melakukan perubahan frekuensi pada rentang 1 kHz hingga 25 kHz pada jarak 1 cm hingga 3 cm, didapatkan nilai daya yang diterima maksimum pada rangkaian receiver sebesar 79,72 mW pada jarak 1 cm; 73,68 mW pada jarak 2 cm; dan 53,24 mW pada jarak 3 cm. Didapatkan nilai efisiensi transmisi daya maksimum pada pengujian senilai 7,76% pada jarak 1 cm; 7,558% pada jarak 2 cm; dan 3,71% pada jarak 3 cm.

Kata kunci: *arduino uno, WPT, H-bridge, function generator*

Abstract

One of the factors that affect the level of power transfer efficiency in *Wireless Power Transfer* (WPT) technology is the frequency of the voltage used on the coil. Not just any voltage frequency can be used, but there are frequency peaks that can maximize the efficiency of WPT power transmission. To overcome this problem, this study designed a *programmable function generator* that can produce AC waves in the form of *square waves* which can be programmed using a microcontroller in the output frequency range of 100 Hz to 25 kHz to be tested in the *Wireless Power Transfer* circuit. This system utilizes the Arduino UNO PWM phase change period with a 50% duty cycle so that a *square wave* output with a certain frequency is produced on the H-Bridge L298N. This method obtains an accuracy of the output *square wave* frequency of 99,46% with the highest error value of 1,992%. Implementation of the system in the WPT circuit by analyzing frequency changes in the range 1 kHz to 25 kHz and a distance of 1 cm to 3 cm, the maximum received power value is obtained in the receiver circuit of 79,72 mW at a distance of 1 cm; 73,68 mW at a distance 2 cm; and 53,24 mW at a distance of 3 cm. The maximum power transmission efficiency values obtained in the test were 7,76% at a distance of 1 cm; 7,558% at a distance of 2 cm; and 3,71% at a distance of 3 cm.

Keywords: *arduino uno, WPT, H-bridge, function generator*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi nirkabel masa kini telah sampai pada penggunaan transmisi daya listrik secara nirkabel. *Wireless Power Transfer* (WPT) merupakan teknologi transfer daya listrik tanpa adanya bentuk interkoneksi antara beban

listrik dengan sumber daya listriknya (Okoyeighbo, et al., 2020). Perangkat WPT terdiri atas transmitter yang terhubung dengan sumber tegangan yang akan menghasilkan medan elektromagnetik (EMF) yang dapat mengirimkan daya melintasi ruang menuju

receiver yang akan mengekstrak daya listrik dari EMF ke beban listrik, sehingga transfer daya secara nirkabel dapat dilakukan. Implementasi WPT dapat menjadi sebuah terobosan teknologi pada berbagai bidang seperti perangkat mobile tanpa baterai, teknologi kendaraan listrik (Ponnalagarsamy, et al., 2022), implan biomedis (Khan, et al., 2020), dan teknologi *Internet of Things* (Fan, et al., 2018).

Rendahnya tingkat efisiensi transmisi daya listrik pada teknologi WPT masih menjadi kendala yang dihadapi hingga saat ini. Penelitian oleh (Kurs, et al., 2007) dengan menggunakan metode Non-Radiative Inductive Power Transfer berhasil mentransmisikan daya sebesar 60 W pada jarak 2 Meter dengan tingkat efisiensi 40%. Hal ini disebabkan oleh banyaknya parameter yang dapat mempengaruhi tingkat efisiensi pada implementasi WPT. Menurut (Degen, 2021), beberapa parameter yang dapat mempengaruhi efisiensi pada WPT adalah kualitas kumparan (resistansi pada kumparan), coupling coefficient (jarak antar kumparan/ketidaksejajaran kumparan), dan frekuensi tegangan yang digunakan pada kumparan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Akbar, et al., 2021) yang menganalisis pengaruh antara penggunaan frekuensi square wave yang berbeda pada rangkaian kumparan WPT menunjukkan bahwa terdapat beberapa peak frequency dimana pada nilai frekuensi tersebut, efisiensi transmisi daya WPT dapat dimaksimalkan. Ada berbagai metode yang diusulkan dari beberapa penelitian untuk meningkatkan efisiensi transmisi daya pada aplikasi WPT. Penelitian oleh (Akbar & Hodaka, 2020) melakukan deteksi frekuensi optimal pada WPT dengan menggunakan algoritma Automatic Multiscale-based Peak Detection. Penelitian selanjutnya adalah implementasi frekuensi adaptif untuk pengisian baterai dengan teknologi WPT (Patil, et al., 2016) dengan menggunakan algoritma Maximum Efficiency Power Tracking (MEPT) untuk menyamakan impedansi antara sumber daya dengan beban daya pada rangkaian WPT. Ada juga penelitian yang mengimplementasikan deteksi efisiensi maksimum pada WPT menggunakan estimasi coupling coefficient dinamis oleh (Dai, et al., 2018) untuk mendapatkan nilai efisiensi maksimum pada sistem WPT.

Untuk mengembangkan penelitian oleh (Akbar, et al., 2021), maka penulis berencana untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah *programmable function generator*

dengan memanfaatkan modul H-Bridge untuk menghasilkan frekuensi square wave yang dapat diprogram dengan sebuah mikrokontroler. Sistem ini nantinya akan dimanfaatkan pada sistem WPT sebagai sebuah sumber tegangan dengan frekuensi yang bervariasi untuk mengetahui pengaruh frekuensi sumber tegangan yang berbeda pada rangkaian WPT dengan efisiensi transmisi dayanya. Untuk mengimplementasikan sistem ini, maka modul H-Bridge akan diberikan input dari sinyal PWM mikrokontroler, dimana dengan membolak-balikkan arah arus keluaran H-Bridge pada periode tertentu, dapat dihasilkan tegangan AC dengan bentuk square wave pada frekuensi tertentu. Dengan implementasi sistem ini, diharapkan penelitian kedepannya pada pencarian nilai frekuensi optimal untuk transmisi daya listrik nirkabel dapat semakin berkembang dalam misi optimasi pada teknologi WPT.

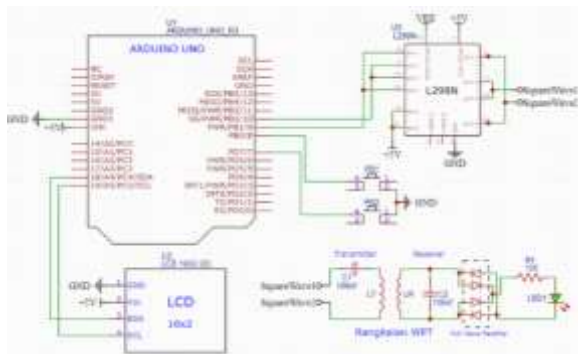
Fokus penelitian ini adalah perancangan *Programmable Function Generator* dengan memanfaatkan H-Bridge L298N yang diprogram menggunakan Arduino UNO sehingga dapat menghasilkan gelombang *square wave* dengan frekuensi yang bervariasi antara 100 Hz hingga 25 kHz. Sistem tersebut kemudian akan diimplementasikan pada rangkaian *transmitter* WPT untuk kemudian dilakukan analisis pada perubahan frekuensi tegangan *transmitter* dan perubahan jarak transmisi daya terhadap daya yang diterima pada rangkaian *receiver* WPT. Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah *Function Generator* yang dapat menghasilkan frekuensi *square wave* dengan akurasi tinggi serta dapat menampilkan karakteristik transmisi daya WPT pada frekuensi yang berbeda-beda.

2. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

2.1. Perancangan Perangkat Keras

Sistem pada penelitian ini dirancang menggunakan Arduino UNO sebagai mikrokontroler, modul H-Bridge L298N yang akan dimanfaatkan menjadi sebuah *Square Wave Function Generator*, dua buah *push button* sebagai masukan yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan nilai frekuensi keluaran, dan LCD berukuran 16x2 untuk menampilkan frekuensi yang diatur pada sistem dengan modul I2C sehingga meminimalisir kebutuhan pin pada Arduino UNO. H-Bridge L298N dihubungkan pada pin D9 dan D10

Arduino UNO yang merupakan pin dari Timer1A dan Timer1B sebagai logic input pada kedua pasang channel keluaran modul H-Bridge L298N. Pasangan *channel* output H-Bridge L298N diparalelkan untuk memaksimalkan daya keluaran H-Bridge sebelum dihubungkan ke rangkaian *transmitter* WPT.



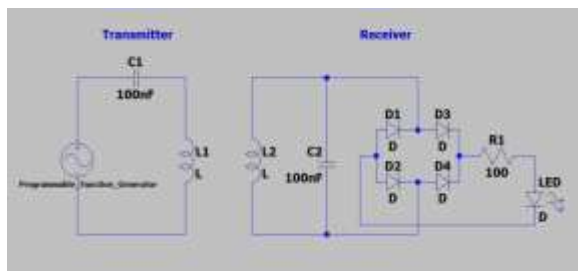
Gambar 1. Skematik perangkat keras sistem

Rangkaian WPT pada sistem ini dirancang dengan metode resonansi kumparan. Pada rangkaian *receiver* diberikan rangkaian penyearah gelombang penuh menggunakan 4 buah diode untuk mengkonversi arus AC pada kumparan menjadi arus DC. Pada penelitian ini digunakan konfigurasi rangkaian Induktor-Kapasitor (LC) sebagai berikut.

Tabel 1. Konfigurasi rangkaian LC

Spesifikasi	Keterangan
Bahan Kawat	Tembaga enamel
Diameter Kawat	1 mm
Putaran Kumparan	25 kali
Diameter Kumparan	8 cm
Tebal Kumparan	8 mm
Induktansi Kumparan	493.48 µH
Kapasitor	100 nF

Skematik rangkaian WPT yang akan dihubungkan dengan sistem *programmable function generator* ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Skematik rangkaian LC untuk penerapan WPT dengan metode resonansi kumparan

2.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak pada sistem

ini merupakan rancangan program Arduino UNO yang dilakukan pada Arduino IDE. Arduino IDE digunakan untuk membuat kode program, mengkompilasi, dan men-upload kode program ke dalam Arduino UNO. Perancangan kode program pada bagian ini meliputi program output Arduino sebagai masukan logic H-Bridge L298N, program pengaturan nilai frekuensi dengan masukan push button, dan program tampilan nilai frekuensi yang diatur pada LCD I2C.

Modul H-Bridge L298N membutuhkan dua buah input logic (HIGH/LOW) untuk mengatur arah arus keluarannya. Kedua input logic harus berada pada state yang berbeda, sehingga tidak terjadi short circuit pada modul H-Bridge. Dengan mengatur periode perubahan arah arus keluaran H-Bridge dalam satu satuan waktu, maka bisa didapatkan hasil keluaran berupa suatu frekuensi gelombang Square Wave pada output H-Bridge. Konsep ini dapat dijelaskan melalui persamaan (1) berikut.

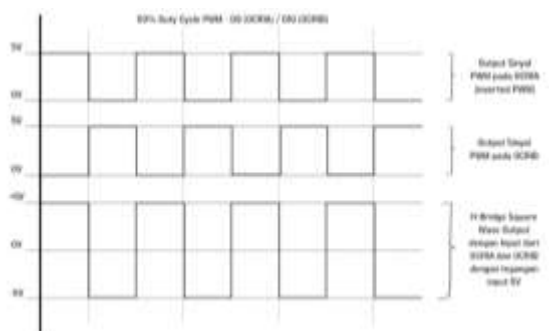
$$T = 1/F \tag{1}$$

Keterangan:

T: Periode gelombang (detik)

F: Frekuensi gelombang (hertz)

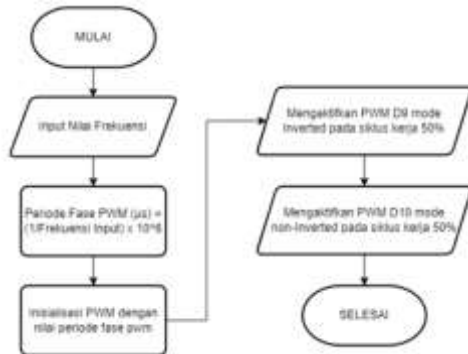
Penelitian ini akan memanfaatkan penggunaan sinyal PWM sebagai sinyal logic pada H-Bridge L298N. Dengan keluaran dua buah pin PWM dengan fase berlawanan pada siklus kerja 50%, dapat dihasilkan sinyal logic yang konsisten tanpa mengganggu jalannya keseluruhan program Arduino UNO. Implementasi pada sistem ini akan menggunakan Timer1 Arduino UNO pada pin D9 (OCR1A) dan D10 (OCR1B), dimana untuk mempermudah inialisasi Timer1 PWM akan menggunakan library TimerOne.h. Gambaran penggunaan PWM sebagai input logic H-Bridge L298N dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Penggunaan sinyal PWM dengan fase yang berkebalikan pada periode tertentu sebagai input logic H-Bridge L298N dan keluaran

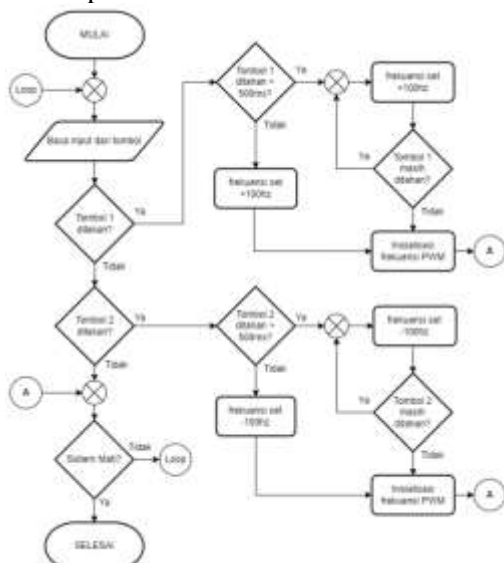
gelombang *square wave*

Flowchart program PWM Arduino UNO sebagai input logic H-Bridge L298N ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Flowchart inisialisasi PWM dengan mode *Inverted* dan *Non-Inverted* sebagai input logic H-Bridge L298N

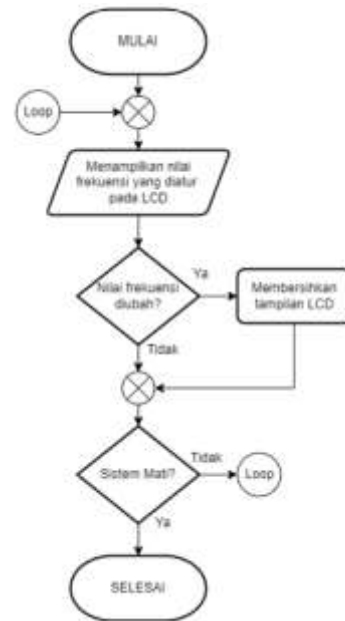
Pengaturan frekuensi dilakukan dengan menggunakan dua buah tombol yang dapat menaikkan dan menurunkan nilai frekuensi. Tiap tombol memiliki dua mode pembacaan, yaitu pelepasan tombol secara langsung dan penahanan tombol. Apabila tombol dilepaskan secara langsung, maka nilai frekuensi akan dinaikkan atau diturunkan 1 langkah senilai 100 Hz dan nilai frekuensi keluaran akan langsung diubah. Apabila tombol ditahan lebih dari 500 ms, maka nilai frekuensi akan dinaikkan atau diturunkan secara terus menerus dengan langkah 100 Hz hingga tombol dilepas, lalu nilai frekuensi keluaran akan diubah. Untuk memudahkan inisialisasi push button, akan digunakan library *EasyButton.h* pada Arduino UNO. Gambar 5 adalah flowchart program masukan push button.



Gambar 5. Flowchart pengaturan frekuensi

menggunakan dua buah tombol

Nilai frekuensi yang diatur pada sistem akan ditampilkan dengan LCD 16x2 I2C. Antarmuka I2C pada LCD akan meringkas kebutuhan pin data pada Arduino UNO. Inisialisasi LCD 16x2 I2C akan menggunakan library *LiquidCrystal_I2C.h* dan *Wire.h*. Tampilan nilai frekuensi akan diubah setiap terjadi perubahan nilai frekuensi dari input pengguna menggunakan tombol. Flowchart program pada LCD dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Flowchart keluaran tampilan frekuensi yang diatur pada LCD 16x2 I2C

2.3. Implementasi Sistem

Pada implementasi rangkaian *programmable function generator*, keseluruhan sistem yang terdiri atas Arduino UNO, H-Bridge L298N, LCD 16x2 I2C, dan dua buah Push Button dikemas pada sebuah kotak hasil cetak 3D dengan dimensi 122mm x 94mm x 44mm. Sebagai tambahan, pada H-Bridge L298N diberikan pula sebuah kipas berukuran 3x3cm dengan tegangan kerja 5V untuk mendinginkan modul H-Bridge apabila digunakan pada daya yang besar, dimana pada kotak juga telah diberikan lubang ventilasi udara untuk H-Bridge. Modul LCD dan push button diletakkan pada tutup bagian atas untuk memudahkan pengguna dalam melakukan perubahan nilai frekuensi. Gambaran implementasi rangkaian sistem *programmable function generator* dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8 berikut.



Gambar 7. Implementasi rangkaian sistem *programmable function generator* pada kotak



Gambar 8. Penggunaan konektor dan saklar pada rangkaian sistem *programmable function generator*

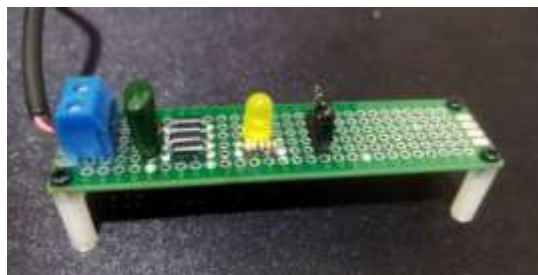
Pada gambar 8 ditunjukkan penggunaan 3 buah *female jack socket* sebagai konektor daya pada sistem. Konektor pertama berfungsi sebagai sumber daya untuk Arduino UNO, IC L298N, dan kipas DC. Konektor kedua berfungsi untuk sumber daya DC yang akan dikonversi menjadi AC pada H-Bridge. Konektor ketiga merupakan keluaran AC yang menuju kumparan *transmitter* WPT. Terdapat dua buah saklar yang digunakan untuk mengatur kelistrikan sistem. Saklar utama berfungsi untuk mengontrol keseluruhan sistem. Saklar kedua merupakan saklar dengan 3 mode untuk mengontrol masukan daya pada H-Bridge L298N, yaitu mode non-aktif, mode sumber daya melalui konektor pertama, dan mode sumber daya melalui konektor kedua.

Implementasi rangkaian LC WPT dengan metode resonansi kumparan menggunakan kawat tembaga, 25 putaran, dan diameter 8 cm yang diterapkan pada kumparan *transmitter* dan *receiver*. Pada rangkaian *transmitter* kapasitor 100 nF dihubungkan secara seri dengan kumparan sedangkan pada rangkaian *receiver* kapasitor 100 nF dihubungkan secara paralel dengan kumparan sebelum dihubungkan ke beban listrik.



Gambar 9. Kumparan *transmitter* dan *receiver*

Seluruh rangkaian *receiver* dirangkai pada sebuah PCB matrix. Rangkaian *receiver* menggunakan penyearah gelombang penuh untuk menyearahkan arus masuk sebelum menuju LED. LED menggunakan resistor 100Ω untuk mengurangi tegangan yang masuk pada LED. Rangkaian *receiver* diberikan 4 buah pin header yang digunakan untuk mengukur arus total dan tegangan total pada rangkaian.



Gambar 10. Rangkaian *receiver* pada PCB matrix

Rangkaian *transmitter* dihubungkan dengan rangkaian sistem *programmable function generator* sebagaimana ditunjukkan pada gambar 11.

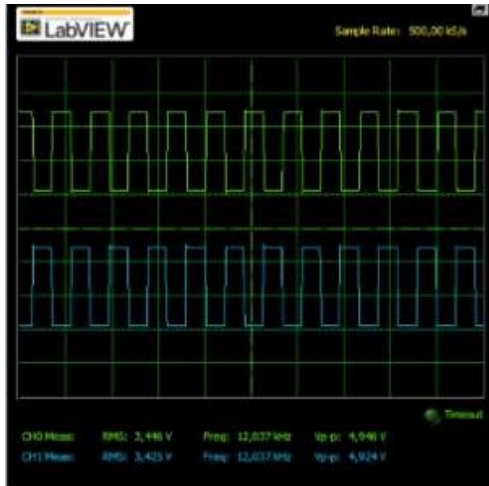


Gambar 11. Rangkaian *transmitter* WPT yang menggunakan *programmable function generator* sebagai sumber daya

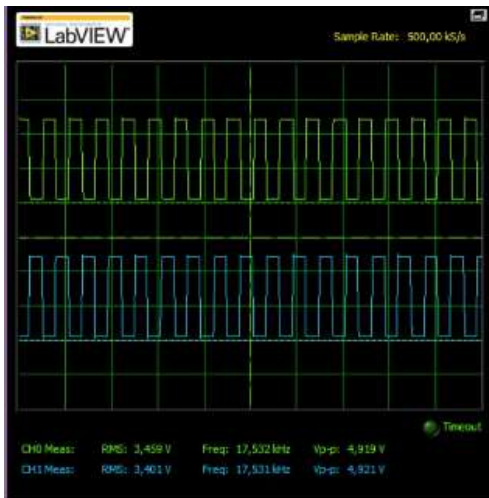
3. PENGUJIAN DAN ANALISIS

3.1. Pengujian Keluaran Sinyal PWM

Pengujian pada keluaran sinyal PWM dengan mode *inverted* dan *non-inverted* yang dilakukan dengan menggunakan oscilloscope pada NI Elvis II dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 12. Keluaran sinyal PWM D9 dan D10 pada frekuensi 12 kHz



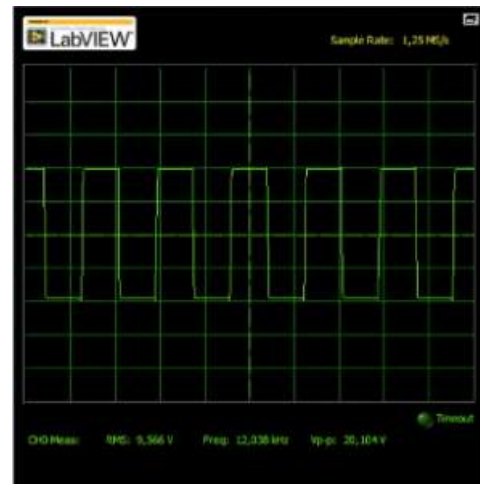
Gambar 13. Keluaran sinyal PWM D9 dan D10 pada frekuensi 17,5 kHz

Sebanyak 61 data pengujian frekuensi PWM dengan meningkatkan nilai frekuensi dari 100 Hz hingga 30 kHz mendapatkan rata-rata nilai error frekuensi yang dihasilkan sebesar 0,66% dengan nilai error frekuensi tertinggi sebesar 2,647%. Sedangkan dengan batasan 25kHz didapatkan rata-rata error frekuensi yang dihasilkan sebesar 0,54% dengan nilai error tertinggi sebesar 1,992%. Berdasarkan hasil yang didapatkan pada pengujian, bentuk sinyal PWM Arduino UNO sudah dapat diimplementasikan sebagai input logika pada H-Bridge L298N untuk menghasilkan gelombang

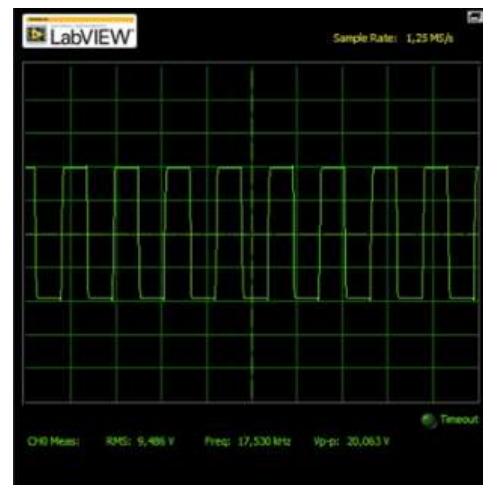
square wave. Nilai error pada frekuensi yang bisa menjadi semakin tinggi pada frekuensi yang meningkat disebabkan oleh batasan nilai delay sebagai periode PWM pada Arduino yang hanya pada satuan mikrosekon, sehingga tidak dapat memberikan akurasi yang baik pada frekuensi yang lebih tinggi dikarenakan nilai periode yang terlalu kecil.

3.2. Pengujian Keluaran H-Bridge L298N Sebagai *Square Wave Generator*

Pengujian pada keluaran gelombang *square wave* yang dihasilkan H-Bridge L298N dilakukan dengan menggunakan oscilloscope pada NI Elvis II pada tegangan masukan 10V dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 14. Hasil gelombang *square wave* pada frekuensi 12 kHz



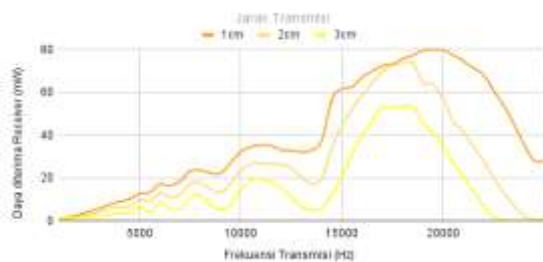
Gambar 15. Hasil gelombang *square wave* pada frekuensi 17,5 kHz

Pengujian menunjukkan bahwa H-Bridge L298N berhasil menghasilkan gelombang *square wave* dengan menggunakan input logika PWM Arduino. Akurasi frekuensi gelombang *square wave* tidak memiliki perbedaan

signifikan dengan akurasi frekuensi PWM sebagai input logika dengan selisih rata-rata error antara kedua pengujian pada batas 25 kHz hanya senilai 0,015%, sehingga akurasi nilai frekuensi gelombang *square wave* bergantung pada akurasi nilai frekuensi PWM Arduino UNO.

3.3. Pengujian Implementasi Programmable Function Generator Pada Rangkaian Wireless Power Transfer

Pengujian pada implementasi *programmable function generator* pada rangkaian WPT dilakukan dengan meningkatkan frekuensi tiap 500 Hz mulai dari 1 kHz hingga 25 kHz tpada jarak 1 cm, 2 cm, dan 3 cm dengan menggunakan tegangan masukan H-Bridge sebesar 10V. Gambar 16 menunjukkan grafik daya yang diterima rangkaian *receiver* WPT pada tiap frekuensi.



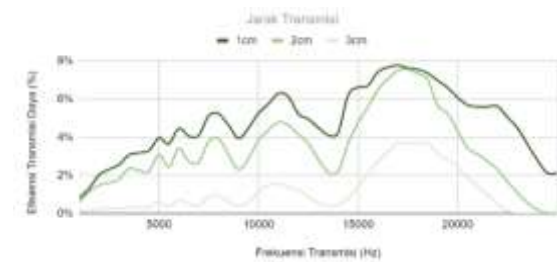
Gambar 16. Grafik daya yang diterima *receiver* pada tiap frekuensi *transmitter*

Tabel 2 menunjukkan *peak frequency* penerimaan daya.

Tabel 2. *peak frequency* pada penerimaan daya

Jarak Transmisi	Frekuensi Transmisi (Hz)	Daya diterima Receiver (mW)
1 cm	5500	13,13
	6000	16,96
	8000	23,49
	11.000	35,18
	19.500	79,72
2 cm	5000	9,86
	6000	12,98
	8000	17,62
	11.000	26,75
	18.500	73,68
3 cm	5000	6,44
	6000	8,17
	8000	11,51
	11.000	19,65
	17.000	53,24

Gambar 17 menunjukkan grafik efisiensi transmisi daya pada tiap frekuensi.



Gambar 17. Grafik efisiensi transmisi daya pada tiap frekuensi

Hasil pengujian menunjukkan terdapat beberapa *peak frequency* sebelum nilai efisiensi transmisi daya kembali turun yang dipaparkan pada tabel 3.

Tabel 3. *peak frequency* efisiensi transmisi daya

Jarak Transmisi	Frekuensi Transmisi (Hz)	Efisiensi Transmisi Daya (%)
1 cm	5000	3,96%
	6000	4,46%
	8000	5,22%
	11.000	6,28%
	17.000	7,76%
2 cm	5000	3,083%
	6000	3,416%
	8000	3,915%
	17.500	7,558%
3 cm	5000	0,58%
	6000	0,69%
	8000	0,94%
	17.000	3,71%

Berdasarkan data pada tabel 2 dan tabel 3 didapatkan nilai daya yang diterima maksimum pada rangkaian *receiver* sebesar 79,72 mW pada jarak 1 cm, 73,68 mW pada jarak 2 cm, dan 53,24 mW pada jarak 3 cm. Sedangkan efisiensi maksimum transmisi daya senilai 7,76% pada jarak 1 cm, 7,558% pada jarak 2 cm, dan 3,71 % pada jarak 3 cm.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan perancangan, implementasi, dan pengujian pada sistem

programmable function generator menggunakan H-bridge L298N untuk rangkaian *wireless power transfer*, dapat diambil kesimpulan berdasarkan rumusan masalah pada penelitian. Kesimpulan yang diberikan pada hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi PWM Timer1 Arduino UNO dengan mode *Inverted* (OCR1A) dan *non-inverted* (OCR1B) menggunakan library *TimerOne.h* pada siklus kerja 50% dengan pengaturan periode fase PWM berhasil menghasilkan keluaran sinyal logika HIGH-LOW yang dapat diimplementasikan pada H-Bridge L298N sebagai sebuah *programmable function generator*. Pengujian pada output nilai frekuensi PWM menunjukkan bahwa sistem masih dapat dijalankan hingga frekuensi 30 kHz dengan rata-rata error sebesar 0,66% dengan nilai error terbesar pada 2,647% di frekuensi pengaturan 29,5 kHz yang menghasilkan keluaran frekuensi 30.281 Hz.
2. H-Bridge L298N dengan *logic Input* PWM Arduino UNO berhasil dijadikan sebagai *programmable function generator* yang menghasilkan gelombang *square wave* dengan siklus kerja dan amplitudo tegangan yang sesuai. Pengujian menunjukkan bahwa dengan input logika PWM Arduino UNO, H-Bridge L298N dapat menghasilkan gelombang *square wave* dengan frekuensi yang bervariasi pada rentang 100 Hz hingga 25 kHz.
3. Selisih antara rata-rata error pengujian 6.1 dan 6.2 senilai 0,015% menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara frekuensi yang dihasilkan PWM Arduino UNO dengan frekuensi *Square Wave* yang dihasilkan H-Bridge L298N sehingga akurasi frekuensi *square wave* yang dihasilkan oleh *function generator* tergantung pada *input logic* mikrokontroler, yaitu Arduino UNO.
4. Rangkaian *wireless power transfer* dengan sumber daya dari sistem *programmable function generator* berhasil melakukan transfer daya listrik secara nirkabel. Pengujian transfer daya dengan frekuensi yang bervariasi antara

1 kHz hingga 25 kHz di jarak 1cm hingga 3cm, berhasil menunjukkan karakter transmisi daya nirkabel yang memiliki frekuensi *peak* dimana pada frekuensi tersebut efisiensi daya listrik yang ditransmisikan dapat mencapai nilai maksimalnya.

4.2. Saran

1. Dapat digunakan mikrokontroler lain dengan kendali PWM yang lebih baik dan implementasi program yang dapat mengendalikan keluaran frekuensi sinyal PWM dengan lebih presisi sehingga dapat memberikan akurasi frekuensi keluaran pada H-Bridge yang lebih baik lagi.
2. Disarankan untuk menggunakan H-Bridge dengan kendali MOSFET dibandingkan dengan menggunakan modul L298N karena batasan daya yang bisa dikendalikan oleh modul H-Bridge L298N masih terbilang kecil.
3. Perubahan nilai frekuensi dapat menggunakan modul keypad dan diberikan fungsi preset frekuensi untuk memudahkan perubahan nilai frekuensi pada sistem.

5. DAFTAR REFERENSI

- Ahmad, A. & Maqbool, S., 2019. Square Wave Inverters –A performance Comparison with Pure Sine wave Inverters. *IJRECE*.
- Akbar, S. R. & Hodaka, I., 2020. A Fast Spotting Strategy of Optimal Frequency in Wireless Power Transfer. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*.
- Akbar, S. R. et al., 2021. The Frequency Response and Steady-State analysis on Wireless Power Transfer using Square Wave Input. *SIET*.
- Arduino, 2022. *Secrets of Arduino PWM*. [Online] Available at: <https://docs.arduino.cc/tutorials/generic/secrets-of-arduino-pwm> [Accessed 15 11 2022].
- Arduino, n.d. *Arduino Docs*. [Online] Available at: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> [Accessed 25 Agustus 2022].

- Bohare, A., 2021. *Study of Wireless Power Transfer*. Uttar PRadesh, s.n.
- Circuit Basics, 2016. *Basics of the I2C Communication Protocol*. [Online] Available at: <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/> [Accessed 12 2022].
- Dai, X., Li, X., Li, Y. & Hu, A. P., 2018. Maximum efficiency tracking for wireless power transfer systems with dynamic coupling coefficient estimation. *IEEE Trans. on Power Electronics*, pp. 5005-5015.
- Degen, C., 2021. Inductive Coupling for Wireless Power Transfer and Communication. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-20.
- Fan, X. et al., 2018. Energy-Ball: Wireless Power Transfer for Batteryless Internet Of Things through Distributed Beamforming. *Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies*, 2(2), pp. 1-22.
- Khan, S. R., Pavuluri, S. K., Cummins, G. & Desmulliez, M. P., 2020. Wireless Power Transfer Techniques for Implantable Medical Devices: A Review. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(12).
- Kim, J. et al., 2011. Reduction of Electromagnetic Field from Wireless Power Transfer Using a Series-Parallel resonance Circuit Topology. *Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, September.11(3).
- Kurs, A. et al., 2007. Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonance. *Science*, pp. 83-86.
- Maghfiroh, H., Affandy, J. T., Adriyanto, F. & Nizam, M., 2021. Single Phase Inverter with Power Monitoring using Arduino. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1844.
- Okoyeighbo, O. et al., 2020. *Wireless power transfer: a review*. Ota, IOP Science.
- Patil, D., Sirico, M., L.Gu & B.Fahimi, 2016. *Maximum efficiency tracking in wireless power transfer for battery charger: Phase shift and frequency control*. Milwaukee, s.n.
- Ponnalagarsamy, S., R, H., M, P. & P, A., 2022. Wireless Power Transfer For Electric Vehicle. *ECS Transactions*, 107(1).
- Smith, S., 2013. *H-BRIDGE PULSE GENERATOR*. United States, Patent No. US 8,509,031 B2.
- Zheng, Z., Wang, N. & Ahmed, S., 2020. Adaptive Frequency Tracking Control with Fuzzy PI Compound Controller for Magnetically Coupled Resonant Wireless Power Transfer. *International Journal of Fuzzy Systems*.