

Rancang Bangun Elektrostimulator dengan Output Tiga Gelombang Berbasis Arduino Mega Pro Mini 2560

Abdul Haris Kuspranoto*, Muhammad Ulin Nuha ABA

Politeknik Bina Trada Semarang, Indonesia

E-mail: abdulhariskuspranoto@polbitrada.ac.id, ulinnuha.aba1@polbitrada.ac.id

INFO ARTIKEL

Alamat Web Artikel:

<https://journal.umy.ac.id/index.php/mt/article/view/15867>

DOI:

<https://doi.org/10.18196/mt.v5i2.15867>

Data Artikel:

Diterima:

07 Januari 2024

Direview:

14 Maret 2024

Direvisi:

18 Maret 2024

Disetujui:

30 April 2024

Korespondensi:

abdulhariskuspranoto@polbitrada.ac.id

ABSTRAK

Gelombang listrik mempunyai sebuah peran penting dalam berbagai unsur dalam kehidupan manusia, salah satunya dibidang kesehatan dimanfaatkan untuk diagnosa, sumber alat kesehatan, dan terapi penyakit. Pada proses terapi, arus listrik yang mempunyai frekuensi rendah dapat menstimulus bagian otot – otot saraf pada motorik maupun sensorik yang sakit dengan menggunakan aliran tenaga listrik yang sering disebut elektrostimulator. Elektrostimulator adalah sebuah perangkat elektronik yang menghasilkan gelombang listrik serta memiliki bentuk gelombang, amplitudo, frekuensi, dan lebar pulsa tertentu yang digunakan untuk menstimulasikan otot pada manusia. Dari parameter bentuk gelombang, peneliti bertujuan melakukan penelitian dengan jenis gelombang yang berbeda pada setiap terapi sehingga dilakukan penelitian tentang jenis gelombang yang diterapkan pada terapi. Pada metode penelitian ini dilakukan uji coba elektrostimulator dengan output tiga gelombang yaitu gelombang sinus, square, dan triangle yang dilengkapi dengan parameter setting level satu sampai tiga dengan nilai frekuensi dan duty cycle yang telah ditentukan. Uji fungsi alat dilakukan dengan memasang elektroda pada bagian lengan atas kemudian di uji cobakan pada semua jenis parameter dan setting level untuk membandingkan hasil yang didapat agar dapat mengetahui perbedaan hasil setiap parameter. Setiap jenis gelombang menimbulkan efek terapi yang berbeda, dan setting level memberikan tingkat rasa efek terapi yang berbeda pula. Semakin tinggi level maka semakin terasa efek terapi yang diberikan. Tingkat rasa stimulan dipengaruhi oleh tegangan, frekuensi, dan duty cycle. Hasil rancang bangun alat memiliki persentase nilai kesalahan yang dilakukan dari uji fungsi alat ini yaitu 1,5%, 1,0%, dan 3,3%.

Kata Kunci: Elektrostimulator, Arduino Mega Pro Mini 2560, Terapi, Gelombang Listrik.

ABSTRACT

Electric waves have an important role in various elements in human life, one of which is in the health sector, they are used for diagnosis, a source of medical equipment, and disease therapy. In the therapy process, a low frequency electric current can stimulate the painful motor and sensory nerve muscles using a flow of electric power which is often called an electrostimulator. An electrostimulator is an electronic device that produces electrical waves and has a certain wave shape, amplitude, frequency and pulse width which is used to stimulate muscles in humans. From the waveform parameters, researchers aim to conduct research with different types of waves for each therapy so that research is carried out on the types of waves applied to therapy. In this research method, an electro-stimulator was tested with three wave outputs, namely sine, square and triangle waves, which were equipped with parameter setting levels one to three with predetermined frequency and duty cycle values. Testing the function of the tool is carried out by installing electrodes on the upper arm and then testing all types of parameters and level settings to compare the results obtained so that you can find out the differences in the results of each parameter. Each type of wave causes a different therapeutic effect, and the level setting provides a different level of therapeutic effect. The higher the level, the more pronounced the therapeutic effect provided. The level of stimulant sensation is influenced by voltage, frequency, and duty cycle. The results of the design of the tool have a percentage value of errors made from the function test of this tool, namely 1.5%, 1.0% and 3.3%.

Keywords: *Electrostimulator, Arduino Mega Pro Mini 2560, Therapy, Electric Waves.*

1. PENDAHULUAN

Gelombang listrik mempunyai faktor utama dalam berbagai unsur kehidupan manusia. Sebagai contoh penggunaan listrik pada pelayanan kesehatan seperti di rumah sakit, pukesmas ataupun di klinik - klinik. Selain sebagai sumber energi, kelistrikan dalam dunia kesehatan digunakan untuk terapi penyakit dan diagnose. Pada proses terapi akan dimanfaatkan arus listrik dalam frekuensi dibawah 100 Hz atau rendah untuk menstimulus bagian otot-otot saraf baik motorik maupun sensorik[1]. Sebuah cara atau metode terapi suatu penyakit dalam penanganan gangguan kesehatan dengan menggunakan aliran listrik sebagai sarana pengobatan sering disebut terapi elektrik atau elektroterapi. Elektrostimulator adalah salah satu alat terapi yang termasuk elektroterapi. Dengan melibatkan fungsi sistem saraf pusat pada penderita stroke dapat digunakan elektrostimulator sehingga memiliki unsur reduksi dan digunakan pada aktivitas kontraksi otot yang fungsional[2].

Parameter bentuk gelombang, amplitudo, frekuensi dan lebar pulsa tertentu yang digunakan untuk menstimulasikan pada tubuh manusia dan di kemas pada suatu perangkat elektronik yang menghasilkan gelombang listrik sering disebut elektrostimulator[3].

Amplitudo adalah nilai tegangan puncak dalam fase yang disampaikan oleh masing masing pulsa, sedangkan lebar pulsa merupakan lama waktu stimulus per siklus, keduanya menghasilkan jumlah aliran ion untuk memicu potensial aksi yang mengontrol kekuatan kontraksi otot[4]. Frekuensi stimulasi merupakan faktor penting untuk mengontrol jenis kontraksi otot dan jumlah kontraksi yang diproduksi [2]. Berbagai parameter gelombang tersebut merupakan penentu keberhasilan terapi[2].

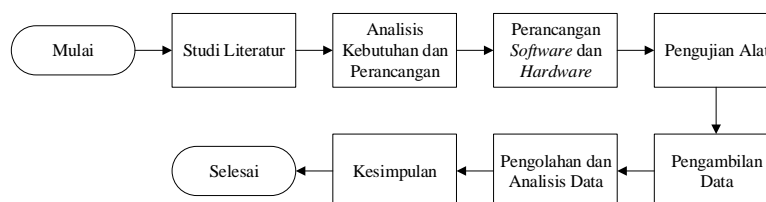
Sebagai alat terapi, perangkat elektrostimulator sering digunakan untuk meningkatkan kekuatan otot[5], melancarkan sirkulasi darah [6], mengurangi sakit atau nyeri dan pemulihan jaringan yang rusak[1].

Pada tubuh, elektrostimulator tidak menimbulkan efek samping baik berupa efek kimia maupun efek radiasi. Elektrostimulator memiliki fungsi memberikan arus listrik pada bagian otot yang mengalami kelainan fungsi agar dapat normal kembali[7]. Prinsip kerja alat ini dengan memanfaatkan frekuensi rendah yang mempunyai efek untuk merangsang saraf otot sehingga terjadi kontraksi otot[2].

Dapat disimpulkan bahwa elektrostimulator merupakan alat terapi yang umum untuk digunakan di Indonesia. Selain itu terapi elektrostimulator juga memiliki berbagai manfaat bagi tubuh tanpa memiliki efek samping. Penelitian yang telah Implementasi stimulator dapat dijadikan efek positif sesuai dengan tujuan sinyal perancangan, alat ini menembus ke saraf target ada, beberapa gelombang diyakini lebih baik melalui elektroda pada permukaan kulit atau lebih nyaman digunakan untuk terapi manusia[5][8][9]. Pada penelitian ini dilakukan karena prinsip kerja elektrostimulator menarik untuk dipelajari.

2. METODE PENELITIAN

Pada proses penelitian rancang bangun elektrostimulator dengan output tiga gelombang ini memiliki tahapan proses penelitian yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada proses pencarian latar belakang tema penelitian perlu dilakukan studi literatur untuk mengidentifikasi masalah dengan mengumpulkan permasalahan yang melatar belakangi pengambilan tema penelitian ini. Setelah melakukan studi literatur dan mendapatkan sebuah gagasan penelitian. Dalam mendukung proses kelancaran sistem perlu dilakukan proses analisa atau penjabaran komponen yang dibutuhkan. Dua jenis kebutuhan diperlukan dalam mempermudah menganalisis sebuah sistem dibutuhkan yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non fungsional,

kebutuhan non fungsional yaitu komponen-komponen yang diperlukan oleh sistem. Dan kebutuhan fungsional merupakan kebutuhan yang berisi proses apa saja yang diperlukan oleh rancangan sistem.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian studi literatur dan terapan. Studi literatur adalah cara yang dipakai untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian. Studi literatur bisa didapat dari berbagai sumber, buku dokumentasi, jurnal, pustaka dan internet. Penelitian terapan adalah penelitian yang bertujuan untuk memecahkan masalah - masalah kehidupan praktis. Penelitian terapan ini lebih bersifat praktis dan aplikatif oleh karenanya penelitian seperti ini bermula dari sebuah permasalahan yang real dan bukan permasalahan yang bersifat teoritis, lebih tepatnya perhatian dan keingintahuan terhadap sistem dan cara kerja sebuah peralatan elektronik khususnya peralatan elektromedik.. Untuk menyelesaikan masalah bagaimana untuk meringankan penyakit otot - otot saraf dengan menggunakan sinyal elektrik sebagai sarana terapi.

2.1. Rancangan Perangkat Lunak

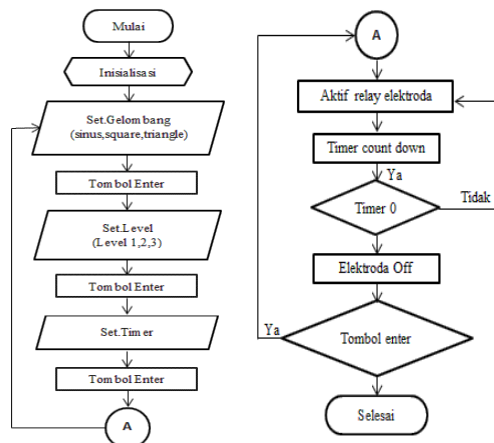
Pada rancang bangun ini diperlukan kode program yang menggunakan bahasa pemrograman yaitu bahasa C yang dibuat dengan program arduino IDE. Program ini akan menampilkan hasil datanya pada LCD.

Bahasa C merupakan bahasa pemrograman dengan tingkat *high level language* yang dibuat oleh Brian W.Kernighan dan Dennis M.Ritchie, dimana para *programmer* disediakan sederetan sintaks (aturan penulisan) yang dapat dipahami oleh manusia. Akan tetapi bahasa pemrograman C juga dapat digolongkan sebagai *low level language* karena pada bahasa C disediakan pula sintaks dalam bentuk bahasa *assembly* yang merupakan salah satu *low level language*. Bahasa C memberikan beberapa komponen yang disediakan oleh perangkat lunak atau *software* tersebut agar seorang *programmer* dapat dengan mudah menerapkan hasil rancangan kodenya. Beberapa bagian atau komponen pada bahasa C adalah *interpreter*, *editor*, *debugging* dan *compiler*[10].

IDE atau *Integrated Development Environment* adalah sebuah ruang sistem terintegrasi yang digunakan untuk melakukan pengembangan. Disebut sebagai ruang lingkup karena melalui *software* inilah arduino dilakukan pemrograman untuk melakukan perintah-perintah yang ditanamkan melalui sintaks atau aturan pemrograman. Bahasa pemrograman arduino (*sketch*) telah dilakukan perubahan dalam memudahkan pemula dalam melakukan pemrograman dari bahasa aslinya[11]. Sebelum dijual ke pasaran, IC mikrokontroler arduino telah ditanamkan suatu program bernama bootlader yang berfungsi sebagai penengah antara compiler arduino dengan mikrokontroler. Arduino IDE juga dilengkapi dengan fitur *library C/C++* yang membuat operasi atau perintah input dan output menjadi lebih praktis dan mudah. Arduino IDE ini dikembangkan dari *software processing* yang dikembangkan menjadi arduino IDE khusus untuk pemrograman dengan arduino[4][10][12].

2.1.1 Diagram Alir Software Sistem

Rancang bangun elektrostimulator dengan output tiga gelombang ini memiliki diagram alir *software* yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Program

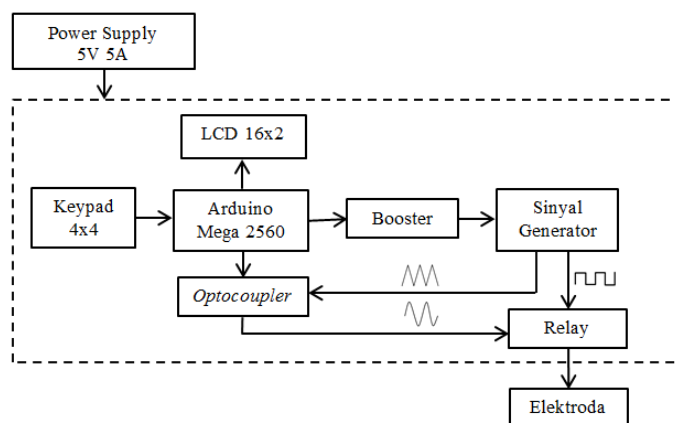
Prinsip kerja dari diagram alir atau *flow chart* program pada Gambar 2 diatas yaitu *start* untuk memulai proses program kemudian dilakukan inisialisasi setiap *port* mikrokontroler yang akan digunakan sebagai perangkat *input* maupun *output*. Setelah itu atur jenis gelombang yang dibutuhkan, jenis gelombang yang dapat dipilih yaitu *sinus*, *square*, dan *triangle*. Pada proses ini, selama tombol *enter/start* belum ditekan maka program akan terus *looping* pada program pengaturan gelombang. Apabila input tombol *enter/start* telah ditekan maka alur selanjutnya adalah *setting level*. *Setting level* dapat dapat diatur dari level 1, 2, dan 3, jika sudah tekan kembali tombol *enter/start*. Selanjutnya *setting timer*, pengaturan pewaktuan merupakan pengaturan lamanya waktu proses terapi. Waktu terapi dapat diatur dari 1 – 15 menit, apabila proses pengaturan sudah selesai perlu dilakukan penekanan kembali tombol *enter/start*, maka elektroda akan aktif dan waktu akan menghitung mundur. Jika waktu yang di-setting telah tercapai, elektroda akan off.

2.2. Perancangan Box (*Hardware*)

Pada tahap perancangan box ini, komponen-komponen yang digunakan akan dijelaskan secara detail dengan menampilkan *wiring* rangkaian keseluruhan yang digunakan dan blok diagram pada penelitian elektrostimulator ini.

2.2.1. Blok Diagram

Untuk memberikan kemudahan dalam memahami keseluruhan sistem rancang bangun diperlukan sebuah Blok Diagram pada penelitian elektrostimulator ini. Blok diagram sistem dibuat berdasarkan prinsip kerja rangkaian yang digunakan secara keseluruhan. Blok diagram di tunjukkan pada Gambar 3 berikut :

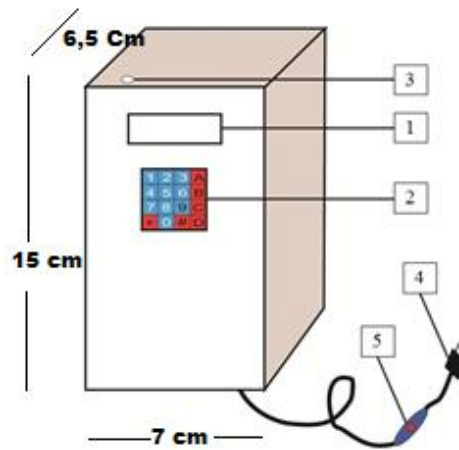


Gambar 3. Blok Diagram Elektrostimulator

Adapun cara kerja sistem diagram blok, Ketika alat dihubungkan dengan jala-jala PLN, power supply akan mendistribusikan tegangan ke seluruh rangkaian. Ketika tombol “ON” ditekan, tampilan(*display*) akan menampilkan perintah untuk pengaturan gelombang, pengaturan level, dan lama proses terapi. Pengaturan tersebut dilakukan pada bagian keypad. Setelah semua pengaturan tersebut di setting, maka bagian arduino akan memproses sesuai perintah yang diberikan, untuk pemilihan gelombang segitiga dan gelombang sinus dibentuk oleh arduino dengan melakukan pewaktuan pencacahan pada array di pin arduino kemudian amplitudo tegangan output gelombang akan dinaikan oleh booster sedangkan untuk gelombang kotak akan dibentuk di sinyal generator melalui komunikasi serial antara arduino dan sinyal generator. Kemudian optocoupler sebagai saklar untuk gelombang sinus dan triangle yang mana akan mengaktifkan relay dan diteruskan ke elektroda. Sedangkan untuk gelombang square dari sinyal generator diteruskan melalui relay dan dilanjutkan ke elektroda. maka keluar gelombang, level, dan lamanya waktu terapi yang telah di atur sebelumnya. Berakhirnya proses terapi saat waktu yang di-setting telah tercapai dan system ini kembali dalam keadaan *stand-by*.

2.3. Desain alat

Rancangan desain box sistem ini adalah tempat untuk menaruh semua komponen-komponen yang digunakan. Isi dari box terdiri dari saklar atau tombol, lcd 2x16, Mikrokontroler, Port Elektroda, power jack, keypad. alat pengontrol arduino diletakkan dibawah kotak. Berikut ini gambar desain mekanis alat yang ditunjukkan pada Gambar 4:



Gambar 4. Rancangan *Design* Alat

Keterangan gambar:

1. LCD 16x2
2. Keypad
3. Port elektroda
4. Power Jack
5. Power ON

Spesifikasi Alat

Nama Alat	: Elektrostimulator dengan output tiga gelombang
Microcontroller	: Arduino Mega 2560
Tegangan	: 5V DC

2.4. Landasan Proses Ukur dan Analisis Data

Proses pengambilan data pengukuran merupakan proses pengambilan data dengan pengukuran dari masing-masing titik pengukuran yang telah ditentukan oleh peneliti. Hal ini memiliki tujuan untuk mengetahui apakah hasil rangkaian yang dibuat sesuai. Hasil uji pengukuran yang dilakukan pada beberapa titik uji pengukuran akan dibandingkan dengan data yang berdasarkan *datasheet*. Proses ini menghasilkan selisih dengan cara berikut:

Selisih Tegangan = tegangan berdasarkan *datasheet* – tegangan aktual

Hasil teori atau data rujukan dibandingkan dengan hasil uji pengukuran pada titik pengukuran dan untuk mengetahui besarnya persentase kesalahan pada rangkaian yang dibuat merupakan tujuan dari analisa data, cara mengetahui persentasi kesalahan dapat diketahui dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase Kesalahan (\%)} = \left[\frac{\text{Selisih Pengukuran alat ukur dan hasil perhitungan}}{\text{hasil perhitungan}} \right] \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sub Bab ini merupakan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, termasuk di dalamnya pengujian pada fungsi alat, pengukuran hasil dan analisisnya. Pada rancang bangun elektrostimulator dengan output tiga gelombang dilakukan pengumpulan data ukur dengan sampel beberapa kali pengujian serta pengukuran dengan waktu pengukuran yang telah ditentukan oleh peneliti.

3.1. Pengujian Tegangan Pada Titik Pengukuran Input

Pada tahap ini untuk dilakukan pengujian komponen dan rangkaian yang digunakan berfungsi dengan semestinya. Tahap ini terdiri dari pengujian pengukuran tegangan pada tegangan yang

dikeluarkan oleh *power supply*, keluaran pada *boost converter*, dan keluaran tegangan gelombang *sinus*, *square* dan *triangle*. Besarnya nilai tegangan keluaran yang terbaca pada multimeter digital diharapkan sama dengan pembacaan tegangan gelombang pada osiloskop. Setelah pengujian pada titik pengukuran dilakukan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Pengukuran Tegangan Komponen

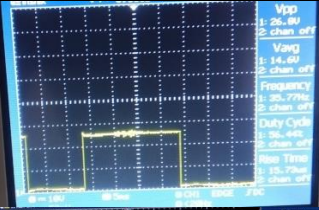
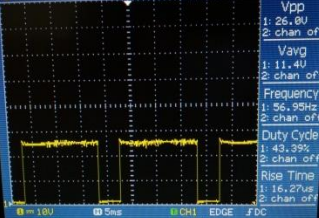
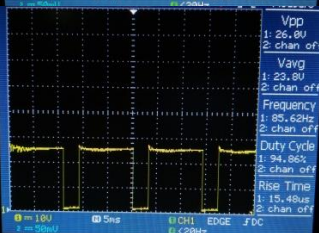
Titik Pengukuran	Tegangan Aktual (V)	Tegangan Teori (V)	Selisih
Input Arduino Mega	4,92	5	0,08
<i>Boost converter</i>	24,4	24	0,4
<i>Optocoupler pada Gelombang sinus</i>	24,8	24	0,8
<i>Optocoupler pada Gelombang triangle</i>	24,6	24	0,6
<i>Optocoupler pada Gelombang square</i>	24,45	24	0,45

Tabel 1 merupakan nilai tegangan berdasarkan titik input pengukuran pada input Arduino Mega Pro Mini, boost converter dan optocoupler. Pada Tabel 1, hasil tegangan pada titik pengukuran ketiga komponen menunjukkan selisih tegangan kurang dari 1 Volt DC. Hal ini masih dalam batas toleransi perbedaan tegangan sehingga rangkaian dapat bekerja dengan semestinya. Arduino Mega menunjukkan tegangan pengukuran sebesar 4,92 Volt DC, sedangkan menurut datasheet terlihat tegangan pembacaan seharusnya 5 Volt DC dan selisihnya adalah 0,08 Volt. Boost converter menampilkan hasil tegangan 24,4 Volt DC pada saat pengukuran, sedangkan hasil tegangan harus terbaca 24 Volt DC sesuai target dan selisihnya 0,4 Volt DC. Pengukuran optokopler pada bagian sinusoidal, segitiga dan persegi menunjukkan tegangan pengukuran rata-rata sebesar 24,61 volt, sedangkan sesuai target hasil tegangan seharusnya 24 volt dan selisih dari rata-rata sebesar 0,61 volt DC. Perbedaan tegangan pada titik pengukuran dibandingkan dengan hasil tegangan berdasarkan teori disebabkan oleh banyak faktor, misalnya toleransi alat ukur yang digunakan mempunyai toleransi dibandingkan dengan hasil pengukuran, penyebab perbedaan tegangan juga bisa timbul dari Karena tegangan pada titik pengukuran, yaitu toleransi komponen yang digunakan, mempunyai toleransi tegangan, maka berlaku hal berikut: semakin besar dan semakin baik komponen yang digunakan, maka toleransi tegangan akan semakin rendah.

3.2. Pengujian bentuk keluaran gelombang dan besarnya nilai frekuensi

Dalam mengetahui pengukuran pada output elektrostimulator untuk melihat bentuk keluaran gelombang dan besarnya nilai frekuensi yang dihasilkan oleh arduino dan signal generator dengan menggunakan osiloscope. Hasil pengukuran dari osiloscope akan dibandingkan dengan settingan yang diinput ke alat untuk memastikan bahwa hasil keluaran pada alat elektrostimulator sudah sesuai dengan setting yang telah ditentukan. Keluaran gelombang yang akan dicek adalah gelombang *sinus*, *triangle*, dan *square*. Sedangkan setting level yang diukur adalah *duty cycle* dan frekuensi. Faktor yang mempengaruhi tingkat stimulan pada lengan yaitu besarnya tegangan. Pada penelitian ini, menggunakan tegangan sebesar $\pm 24V$ sudah dapat dirasakan efek stimulannya. Besarnya frekuensi juga mempengaruhi tingkat stimulan pada lengan, dimana semakin besar nilai frekuensi, semakin banyak atau semakin sering rasa kejut yang diberikan dan semakin dalam juga rasa kejut yang dapat dicapai ke jaringan. *Duty cycle* berfungsi untuk mengatur durasi waktu kerja stimulus, semakin tinggi nilai *duty cycle* semakin lama durasi waktu kerja stimulus. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 dibawah ini. Frekuensi dari uji coba ini menggunakan frekuensi rendah kurang dari 100Hz. pemilihan frekuensi untuk Level 1 $\pm 30Hz$, Level 2 $\pm 60 Hz$, dan level 3 $\pm 90 Hz$. Dan pada percobaan rancang bangun alat digunakan pad level 1 adalah 34,77 Hz, level 2 adalah 56,95 Hz dan untuk level 3 adalah 85,62 Hz.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Frekuensi Gelombang *Square*

No.	Setting alat	Bentuk gelombang	Hasil pengukuran	%Kesalahan
1.	Gelombang kotak/ <i>square</i> Level 1 (35Hz, 56%)		35,77Hz 56,44%	2,2%
2.	Gelombang kotak/ <i>square</i> Level 2 (56Hz, 43%)		56,95Hz 43,39%	1,6%
3.	Gelombang kotak/ <i>square</i> Level 3 (85Hz, 94%)		85,62Hz 94,86%	0,7%
Nilai rata-rata				1,5%

Pada pengukuran untuk gelombang kotak didapatkan hasil pada pengukuran setting level 1 dengan nilai frekuensi 35Hz dan *duty cycle* nya 56%. Karena setting level 1 merupakan penggunaan untuk level rendah digunakan frekuensi dengan nilai 35Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang akut. Dan memiliki %kesalahan sebesar 2,2%. Dengan *duty cycle* sebesar 56% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned}
 T &= 1/F \\
 &= 1/35 \\
 &= 0,0285 \text{ detik} \\
 &= 28,5 \text{ milidetik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Duty Cycle} &= T_{\text{on}} / (T_{\text{on}} + T_{\text{off}}) \\
 0.56 &= T_{\text{on}} / 28,5 \text{ milidetik} \\
 T_{\text{on}} &= 0,56 \times 28,5 \text{ milidetik} \\
 T_{\text{on}} &= 15,96 \text{ milidetik}
 \end{aligned}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 56% gelombang tersebut memiliki waktu on 15,96 milidetik dan 12,54 milidetik waktu off.

Pada pengukuran untuk gelombang kotak didapatkan hasil pada pengukuran setting level 2 dengan nilai frekuensi 56Hz dan *duty cycle* nya 43%. Karena setting level 2 merupakan penggunaan untuk level sedang digunakan frekuensi dengan nilai 56Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang akut. Dan memiliki % kesalahan sebesar 1,6%. Dengan *duty cycle* sebesar 43% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned}
 T &= 1/F \\
 &= 1/56 \\
 &= 0,0178 \text{ detik} \\
 &= 17,8 \text{ milidetik}
 \end{aligned}$$

$$Duty\ Cycle = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$$

$$0.43 = T_{on} / 17,8 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 0,43 \times 17,8 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 7,654 \text{ milidetik}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 56% gelombang tersebut memiliki waktu on 7,654 milidetik dan 10,146 milidetik waktu off.

Pada pengukuran untuk gelombang kotak didapatkan hasil pada pengukuran setting level 3 dengan nilai frekuensi 85Hz dan *duty cycle* nya 94%. Karena setting level 3 merupakan penggunaan untuk level berat digunakan frekuensi dengan nilai 85Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang kronik. Dan memiliki %kesalahan sebesar 0,7%. Dengan *duty cycle* sebesar 94% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$T = 1/F$$

$$= 1/85$$

$$= 0,0117 \text{ detik}$$

$$= 11,7 \text{ milidetik}$$

$$Duty\ Cycle = T_{on} / (T_{on} + T_{off})$$

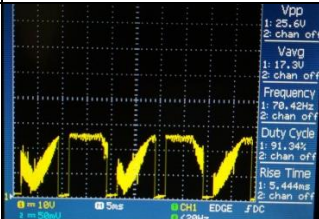
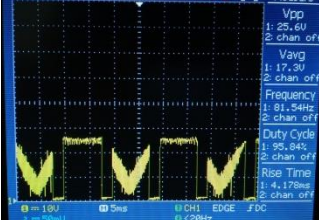
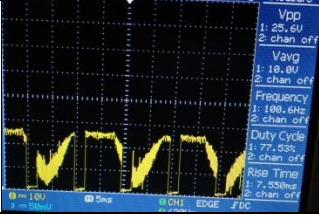
$$0.94 = T_{on} / 11,7 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 0,94 \times 11,7 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 10,988 \text{ milidetik}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 94% gelombang tersebut memiliki waktu on 10,988 milidetik dan 0,702 milidetik waktu off.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Frekuensi Gelombang *Triangle*

No.	Setting alat	Bentuk Gelombang	Hasil pengukuran	%Kesalahan
1.	Gelombang segitiga /triangle Level 1 (70Hz,90%)		70,42Hz 91,34%	0,6%
2.	Gelombang segitiga /triangle Level 2 (80Hz,95%)		81,54Hz 95,84%	1,9%
3.	Gelombang segitiga /triangle Level 3 (100Hz,77%)		100,6Hz 77,53%	0,6%
Nilai rata-rata				1,0%

Pada pengukuran untuk gelombang segitiga didapatkan hasil pada pengukuran setting level 1 dengan nilai frekuensi 70Hz dan *duty cycle* nya 90%. Karena setting level 1 merupakan penggunaan

untuk level rendah digunakan frekuensi dengan nilai 70Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang normal. Dan memiliki %kesalahan sebesar 0,4%. Dengan *duty cycle* sebesar 90% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned} T &= 1/F \\ &= 1/70 \\ &= 0,14 \text{ detik} \\ &= 14 \text{ milidetik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= T_{\text{on}} / (T_{\text{on}} + T_{\text{off}}) \\ 0.9 &= T_{\text{on}} / 14 \text{ milidetik} \\ T_{\text{on}} &= 0,9 \times 14 \text{ milidetik} \\ T_{\text{on}} &= 12,6 \text{ milidetik} \end{aligned}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 90% gelombang tersebut memiliki waktu on 12,6 milidetik dan 1,4 milidetik waktu off.

Pada pengukuran untuk gelombang segitiga didapatkan hasil pada pengukuran setting level 2 dengan nilai frekuensi 80Hz dan *duty cycle* nya 95%. Karena setting level 2 merupakan penggunaan untuk level menengah digunakan frekuensi dengan nilai 80Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang kronik. Dan memiliki %kesalahan sebesar 1,9%. Dengan *duty cycle* sebesar 95% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned} T &= 1/F \\ &= 1/80 \\ &= 0,0125 \text{ detik} \\ &= 12,5 \text{ milidetik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= T_{\text{on}} / (T_{\text{on}} + T_{\text{off}}) \\ 0.95 &= T_{\text{on}} / 12,5 \text{ milidetik} \\ T_{\text{on}} &= 0,95 \times 12,5 \text{ milidetik} \\ T_{\text{on}} &= 11,875 \text{ milidetik} \end{aligned}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 95% gelombang tersebut memiliki waktu on 11,875 milidetik dan 0,625 milidetik waktu off.

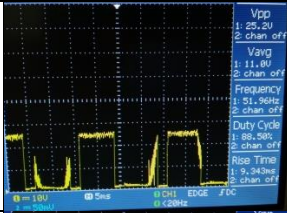
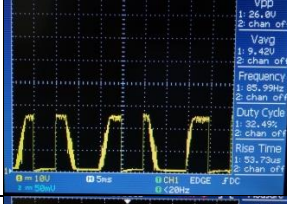
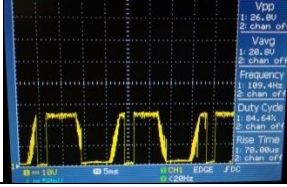
Pada pengukuran untuk gelombang segitiga didapatkan hasil pada pengukuran setting level 3 dengan nilai frekuensi 100Hz dan *duty cycle* nya 77%. Karena setting level 3 merupakan penggunaan untuk level berat digunakan frekuensi dengan nilai 100Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang kronik. Dan memiliki %kesalahan sebesar 0,6%. Dengan *duty cycle* sebesar 77% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned} T &= 1/F \\ &= 1/100 \\ &= 0,01 \text{ detik} \\ &= 10 \text{ milidetik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle} &= T_{\text{on}} / (T_{\text{on}} + T_{\text{off}}) \\ 0.7 &= T_{\text{on}} / 10 \text{ milidetik} \\ T_{\text{on}} &= 0,7 \times 10 \text{ milidetik} \\ T_{\text{on}} &= 7 \text{ milidetik} \end{aligned}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 77% gelombang tersebut memiliki waktu on 7 milidetik dan 3 milidetik waktu off.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Frekuensi Dan Bentuk Gelombang Sinus

No.	Setting alat	Bentuk Gelombang	Hasil pengukuran	%Kesalahan
1.	Gelombang sinus Level 1 (51Hz,88%)		51,96Hz 88,50%	1,8%
2.	Gelombang sinus Level 2 (85Hz,32%)		85,99Hz 32,49%	1,2%
3.	Gelombang sinus Level 3 (109Hz,84%)		109,4Hz 84,64%	0,3%
Nilai rata-rata				3,3%

Pada pengukuran untuk gelombang sinus didapatkan hasil pada pengukuran setting level 1 dengan nilai frekuensi 51Hz dan *duty cycle* nya 88%. Karena setting level 1 merupakan penggunaan untuk level rendah digunakan frekuensi dengan nilai 51Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang normal. Dan memiliki %kesalahan sebesar 1,8%. Dengan *duty cycle* sebesar 88% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned}
 T &= 1/F \\
 &= 1/51 \\
 &= 0,0196 \text{ detik} \\
 &= 19,6 \text{ milidetik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Duty Cycle} &= T_{on}/(T_{on}+T_{off}) \\
 0.88 &= T_{on}/19,6 \text{ milidetik} \\
 T_{on} &= 0,88 \times 19,6 \text{ milidetik} \\
 T_{on} &= 17,24 \text{ milidetik}
 \end{aligned}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 88% gelombang tersebut memiliki waktu on 17,24 milidetik dan 2,35 milidetik waktu off.

Pada pengukuran untuk gelombang sinus didapatkan hasil pada pengukuran setting level 2 dengan nilai frekuensi 85Hz dan *duty cycle* nya 32%. Karena setting level 2 merupakan penggunaan untuk level menengah digunakan frekuensi dengan nilai 85Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang kronik. Dan memiliki %kesalahan sebesar 1,2%. Dengan *duty cycle* sebesar 88% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$\begin{aligned}
 T &= 1/F \\
 &= 1/85 \\
 &= 0,0117 \text{ detik} \\
 &= 11,7 \text{ milidetik}
 \end{aligned}$$

$$\text{Duty Cycle} = T_{on}/(T_{on}+T_{off})$$

$$0.85 = T_{on}/11,7 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 0,85 \times 11,7 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 9,945 \text{ milidetik}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 88% gelombang tersebut memiliki waktu on 9,945 milidetik dan 1,75 milidetik waktu off.

Pada pengukuran untuk gelombang sinus didapatkan hasil pada pengukuran setting level 3 dengan nilai frekuensi 109Hz dan *duty cycle* nya 84%. Karena setting level 3 merupakan penggunaan untuk level berat digunakan frekuensi dengan nilai 109Hz untuk mengatasi nyeri atau otot kejang kronik. Dan memiliki %kesalahan sebesar 0,3%. Dengan *duty cycle* sebesar 84% dapat diketahui waktu on yaitu:

$$T = 1/F$$

$$= 1/109$$

$$= 0,009 \text{ detik}$$

$$= 9 \text{ milidetik}$$

$$Duty \ Cycle = T_{on}/(T_{on}+T_{off})$$

$$0.84 = T_{on}/9 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 0,84 \times 9 \text{ milidetik}$$

$$T_{on} = 7,56 \text{ milidetik}$$

Jadi dengan nilai *duty cycle* 88% gelombang tersebut memiliki waktu on 7,56 milidetik dan 1,44 milidetik waktu off.

3.3. Hasil Pengujian Efek Terapi dari Keluaran Gelombang Elektrostimulator

Pada tahap uji ini yaitu efek dari keluaran elektrostimulator apakah memiliki sebuah efek samping yang dihasilkan berbeda beda gelombang keluaran, maka perlu dilakukan pengujian efek terapi pada gelombang yang berbeda-beda. pengujian ini dilakukan pada beberapa objek manusia yang berbeda. Ada 10 orang yang berbeda yang dilakukan percobaan dan melakukan terapi. Setelah melakukan terapi para pasien memberikan respon akan efek yang dirasakan pada saat terapi dan berbeda jenis gelombang yang diberikan. Hasil efek terapi dari respon pasien dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7.

Tabel 5. Hasil Pengujian Pada Gelombang *Square*

No.	Bentuk gelombang	Setting level	Waktu	Efek terapi yang dirasa
1.	Gelombang kotak/ <i>square</i>	1	5 menit	Sedikit kejutan
2.	Gelombang kotak/ <i>square</i>	2	5 menit	Kejutan sedang
3.	Gelombang kotak/ <i>square</i>	3	5 menit	Kejutan berat

Tabel 6. Hasil Pengujian Pada Gelombang *Triangle*

No.	Bentuk gelombang	Setting level	Waktu	Efek terapi yang dirasa
1.	Gelombang segitiga/ <i>triangle</i>	1	5 menit	seperti tertusuk jarum rendah
2.	Gelombang segitiga/ <i>triangle</i>	2	5 menit	seperti tertusuk jarum sedang
3.	Gelombang segitiga/ <i>triangle</i>	3	5 menit	seperti tertusuk jarum sedang

Tabel 7. Hasil Pengujian Pada Gelombang *Sinus*

No.	Bentuk gelombang	Setting level	Waktu	Efek terapi yang dirasa
1.	Gelombang <i>sinus</i>	1	5 menit	Seperti kesemutan rendah
2.	Gelombang <i>sinus</i>	2	5 menit	Seperti kesemutan sedang
3.	Gelombang <i>sinus</i>	3	5 menit	Seperti kesemutan sedang

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa setiap bentuk gelombang menghasilkan efek terapi yang berbeda-beda. Pada efek terapi yang paling terasa dihasilkan oleh gelombang kotak/*square* dengan efek kejut yang kuat. Dengan setting level memberikan rasa kejut yang berbeda, semakin tinggi level maka semakin besar rasa kejut yang dirasa.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uji fungsi, hasil penelitian, dan analisis data rancang bangun sistem elektrostimulator dengan output tiga jenis gelombang maka dapat diambil kesimpulan:

- Elektrostimulator dapat digunakan dengan keluaran frekuensi rendah serta merubah jenis gelombang yang dihasilkan yaitu jenis gelombang *sinus*, *triangle*, *square*. Dengan melakukan pengaturan pada frekuensi rendah <100 Hz dapat digunakan sebagai mode pada proses terapi.
- Berdasarkan hasil analisa pada Tabel 5,6,7, fungsi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa setiap bentuk gelombang memiliki efek terapi yang berbeda-beda. Dan tingkat dari rasa efek terapi yang diberikan dapat dinaikan dengan mengatur setting level pada parameternya. Serta didapatkan persentase nilai kesalahan yang dilakukan dari uji fungsi alat ini yaitu 1,5%, 1,0%, dan 3,3%. Sehingga dapat dikatakan alat tergolong kedalam layak pakai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Pubudanang and A. Suprianto, "Rancang Bangun Elektro-Stimulator Untuk Refleksi Telapak Kaki," *Sainstech J. Penelit. dan Pengkaj. Sains dan Teknol.*, vol. 25, no. 1, pp. 59–65, 2018, doi: 10.37277/stch.v25i1.138.
- [2] M. M., "Kontraksi Otot Skelet," *J. MensSana*, vol. 2, no. 2, p. 69, 2017, doi: 10.24036/jm.v2i2.25.
- [3] S. Mangold, T. Keller, A. Curt, and V. Dietz, "Transcutaneous functional electrical stimulation for grasping in subjects with cervical spinal cord injury," *Spinal Cord*, vol. 43, no. 1, pp. 1–13, 2005, doi: 10.1038/sj.sc.3101644.
- [4] K. Kamarudin, M. Ridwan, J. Saputra, and K. M. Aby, "Sistem Pengukuran Arus dan Tegangan pada Rangkaian Kombinasi Virtual Lab," *J. Integr.*, vol. 14, no. 2, pp. 103–109, 2022, doi: 10.30871/ji.v14i2.4384.
- [5] D. Arifianto, "Functional Electrical Stimulation dengan Pulsa Biphasic Untuk Membantu Fungsi Ekstremitas Atas Pasien Pasca Stroke," *J. Biosains Pascasarj.*, vol. 23, no. 1, p. 40, 2021, doi: 10.20473/jbp.v23i1.2021.40-48.
- [6] A. P. Hutomo, S. Suhariningsih, and S. D. Astuti, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Tegangan Stimulasi Elektrostimulator Otomatis Berbasis Resistansi Tubuh," *J. Biosains Pascasarj.*, vol. 20, no. 3, p. 146, 2019, doi: 10.20473/jbp.v20i3.2018.146-159.
- [7] E. L. Utari, I. Buyung, and I. M. G. G. Putra, "Simulasi Alat Elektrostimulator Akupuntur Berbasis Mikrokontroler Atmega16," *Teknoin*, vol. 23, no. 1, pp. 29–42, 2017, doi: 10.20885/teknoin.vol23.iss1.art4.
- [8] A. Haris Kuspranoto and M. F. Alfatih, "Rancang Bangun Robot Line Follower Pada Examination Lamp Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Medika. Trada*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.59485/jtemp.v4i1.25.
- [9] S. Nasional, *Buku prosiding*, no. SNTE. 2014.
- [10] A. H. Kuspranoto, *Operasi Dasar-Dasar Pemrograman*. Semarang: Amerta Media, 2021.
- [11] F. N. Putri, "Pengembangan Media Computer Assisted Instruction (CAI) Materi

Kuspranoto, ABA

Rancang Bangun Elektrostimulator dengan Output Tiga Gelombang Berbasis Arduino Mega Pro Mini 2560

Mengevaluasi Perangkat Eksternal/Peripheral Mata Pelajaran Sistem,” *J. Mhs. Teknol. Pendidik.*, vol. 9, 2018.

- [12] B. Raharjo, *Ilmu Big Data dan Mesin Cerdas*, vol. 1, no. 1. yayasan prima agus teknik, 2022. doi: 10.47689/inlibrary-sspbsids-2022-pp135-143.