

## Rancang Bangun Elektrostimulator Portable Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Dilengkapi Dengan Pengatur Frekuensi Dan Timer

Nanang Galih Kusuma<sup>1</sup>, Desak Ketut Sutiyari<sup>2</sup>, Ratna Umi Nurlila<sup>3</sup>, Triana Rahmawati<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>D-III Teknologi Elektro-Medik, Universitas Mandala Waluya

<sup>3</sup>Farmasi, Universitas Mandala Waluya

<sup>4</sup>Teknologi Elektro Medis. Poltekkes Surabaya

<sup>1,2,3</sup>Jl.Jend. A.H Nasution Kota Kendari 93231

<sup>4</sup>Jalan Pucang Jajar Tengah No. 56, Surabaya

Corresponding author: Author (e-mail: [galihkusuma0409@gmail.com](mailto:galihkusuma0409@gmail.com))

### Abstrak

Terapi listrik merupakan salah satu alternatif non-farmakologis untuk meredakan nyeri, meningkatkan sirkulasi darah, dan mendukung rehabilitasi otot. Salah satu perangkat yang banyak digunakan adalah elektrostimulator, yang bekerja dengan memberikan rangsangan listrik melalui permukaan kulit. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat alat elektrostimulator portable berbasis mikrokontroler ATmega328 dengan tiga mode stimulasi, yaitu continuous, intermitten, dan modulation. Perangkat dilengkapi LCD 16x2 sebagai tampilan, buzzer sebagai indikator akhir terapi, serta baterai Li-ion 18650 dan modul step-up MT3608 sebagai sumber dan pengatur daya. Pengujian dilakukan untuk menilai kestabilan frekuensi (1–150 Hz), akurasi timer (1–30 menit), serta keamanan tegangan dan arus. Hasil pengujian menunjukkan alat bekerja sesuai rancangan, dengan *error* yang rendah pada pengaturan frekuensi maupun waktu, serta menghasilkan stimulasi listrik yang aman digunakan. Berdasarkan penelitian ini, disarankan pengembangan alat dengan menambahkan fitur penyimpanan data otomatis terapi untuk memantau riwayat penggunaan, serta integrasi modul Bluetooth thermal printer agar dapat mencetak laporan hasil terapi secara langsung.

**Kata kunci** : Elektrostimulator, ATmega328, Portable, Terapi Nyeri, Rehabilitasi Otot

## Design Of A Portable Electrostimulator Based On An Atmega328 Microcontroller Equipped With A Frequency Controller And Timer

### Abstract

Electrical therapy is a non-pharmacological alternative commonly applied to reduce pain, improve blood circulation, and support muscle rehabilitation. One of the widely used devices is an electrostimulator, which delivers electrical stimulation through the skin surface. This study aimed to design and develop a portable electrostimulator based on the ATmega328 microcontroller with three stimulation modes: continuous, intermittent, and modulation. The device is equipped with a 16x2 LCD for display, a buzzer as a therapy completion indicator, and powered by Li-ion 18650 batteries with an MT3608 step-up module. Testing was conducted to evaluate frequency stability (1–150 Hz), timer accuracy (1–30 minutes), and the safety of output voltage and current. The results showed that the device functioned as designed, with low *error* levels in both frequency and timer settings, and produced safe electrical stimulation. Based on this study, it is recommended to further develop the device by adding an automatic therapy data storage feature to monitor usage history, as well as integrating a Bluetooth thermal printer module to directly print therapy reports.

**Keywords**: Electrostimulator, ATmega328, Portable, Pain Therapy, Muscle Rehabilitation.

### I. PENDAHULUAN

Berbagai metode terapi telah dikembangkan untuk mengatasi nyeri, baik melalui pendekatan farmakologis maupun non-farmakologis. Terapi non-farmakologis, seperti stimulasi listrik dan terapi fisik, menjadi alternatif populer karena memiliki efek samping yang minimal [1]. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation* (TENS), yaitu pemberian stimulasi listrik pada permukaan kulit dengan tujuan meredakan nyeri. Terapi ini sering diterapkan dalam fisioterapi karena mekanisme kerjanya memanfaatkan rangsangan elektrik untuk menstimulasi saraf atau otot, sehingga dapat mengurangi rasa nyeri sekaligus mendukung rehabilitasi jaringan [2]. Pada pasien stroke, TENS diketahui bermanfaat dalam mengurangi nyeri, seperti pada kasus frozen shoulder. Pemberian stimulasi listrik pada titik saraf atau otot

tertentu dapat merangsang saraf motorik dan membantu otak memperkuat jalur neuromuskular yang terganggu. Dengan demikian, stimulasi ini diharapkan mampu memperbaiki konektivitas otak terhadap otot pasca stroke dan mendorong peningkatan kontrol otot pasien [3].

Meskipun alat elektrostimulator aman digunakan, penting untuk memastikan bahwa frekuensi yang digunakan aman bagi kesehatan manusia. Frekuensi yang terlalu tinggi atau intensitas arus yang berlebihan dapat menyebabkan ketidaknyamanan, iritasi kulit, atau bahkan kerusakan jaringan jika digunakan dalam jangka waktu lama [4]. Oleh karena itu, frekuensi dan intensitas pengaturan pada elektrostimulator diatur pada rentang yang aman dan sesuai dengan kebutuhan terapi.

Agar sinyal listrik dapat ditransmisikan secara efektif, penggunaan gel elektroda memiliki peran penting. Gel elektroda adalah bahan yang diaplikasikan di antara

elektroda alat elektrostimulator dan permukaan kulit [5]. Fungsinya adalah untuk memastikan transmisi sinyal listrik yang efisien dengan mengurangi resistansi listrik ke kulit [6]. Kulit manusia secara alami memiliki hambatan listrik yang tinggi, sehingga gel elektroda diperlukan untuk meningkatkan konduktivitas dan memastikan bahwa impuls listrik dapat menembus lapisan kulit dengan lebih mudah [7]. Tanpa gel ini, distribusi arus listrik bisa menjadi tidak merata, menyebabkan ketidaknyamanan atau bahkan rasa sakit bagi pasien. Selain itu, gel elektroda juga berperan dalam menjaga kontak yang stabil antara elektroda dan kulit. Hal ini mencegah elektroda bergeser selama sesi terapi, yang bisa memengaruhi efektivitas perawatan. Dengan adanya gel, risiko iritasi kulit juga berkurang, karena gel membantu mendistribusikan arus listrik secara merata di seluruh area kontak [8].

Perkembangan teknologi alat terapi terus berkembang, didukung oleh kemajuan teknologi *microcontroller* yang berperan sebagai komponen otomatis sekaligus pengontrol. Penggunaan teknologi *microcontroller* pada perangkat kesehatan semakin maju seiring perkembangan teknologi sensor dan pemrograman. Kehadiran *microcontroller* memungkinkan alat kesehatan diatur dengan lebih presisi serta memberikan fitur tambahan yang meningkatkan efektivitas alat [9]. telah dikembangkan sebuah perangkat kesehatan untuk menganalisis indeks massa tubuh (IMT), berat badan, dan kebutuhan kalori harian berbasis *microcontroller*. Sistem terintegrasi ini menggunakan sensor beban (*load cell*) untuk mengukur berat badan, *keypad* untuk memasukkan data (tinggi badan, usia, jenis kelamin), serta printer termal untuk menampilkan hasil analisis [10]. Penelitian lain oleh Ketut Sutiari et al. [11] mengembangkan alat pengukur kadar hemoglobin (Hb) noninvasif berbasis *microcontroller* Atmega328. Pengukuran dilakukan tanpa pengambilan sampel darah, melainkan cukup dengan menempelkan jari pasien pada sensor MAX30100. Kuspranoto et al. [12] merancang sebuah elektrostimulator berbasis Arduino Mega Pro Mini 2560 yang mampu menghasilkan tiga jenis gelombang (sinus, kotak, dan segitiga) untuk keperluan terapi. Alat ini bekerja pada frekuensi rendah, di bawah 100 Hz, dengan pengaturan level frekuensi 30 Hz, 60 Hz, dan 90 Hz. Elektrostimulator ini dirancang untuk memberikan stimulasi aman dan nyaman pada otot motorik maupun sensorik dengan parameter frekuensi, tegangan, dan duty cycle. Berdasarkan penelitian Kevin Nugraha Putra [13], telah dirancang elektrostimulator berbasis Arduino dengan dua mode terapi, yaitu *intermittent* dan *continuous*, yang menghasilkan frekuensi 10 Hz hingga 50 Hz serta dilengkapi timer hingga 30 menit. Zulqifli [14] juga merancang alat elektrostimulator dengan dua mode terapi, yaitu *burst* dan *continuous*. Pada mode *continuous*, stimulasi diberikan secara berkesinambungan dengan frekuensi 35–180 Hz. Sedangkan pada mode *burst*, gelombang diberikan dengan jeda 1 detik pada frekuensi

100 Hz. Alat ini juga dilengkapi dengan timer yang dapat diatur 15, 20, dan 30 menit.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat elektrostimulator portabel berbasis *microcontroller* dengan desain praktis dan efisien, sehingga mudah dibawa serta digunakan sesuai kebutuhan. Dalam bidang fisioterapi dan manajemen nyeri, perangkat terapi yang nyaman dan fleksibel sangat penting, terutama bagi pasien dengan kebutuhan terapi berkala maupun pengguna yang sering bepergian. *Microcontroller* ATmega328 digunakan sebagai pusat kendali untuk mengatur impuls listrik secara akurat, mencakup parameter frekuensi, durasi, dan mode stimulasi. Informasi terapi ditampilkan melalui layar LCD untuk memudahkan pengguna dalam memantau dan menyesuaikan pengaturan. Perangkat ini dilengkapi tiga mode stimulasi (*continuous, intermittent, dan modulation*), serta fitur *timer* 1–30 menit yang memungkinkan durasi terapi presisi dan aman. Sebagai pengaman, *buzzer* akan berbunyi saat sesi selesai dan alat otomatis berhenti untuk mencegah overstimulasi.

## II. METODE PENELITIAN

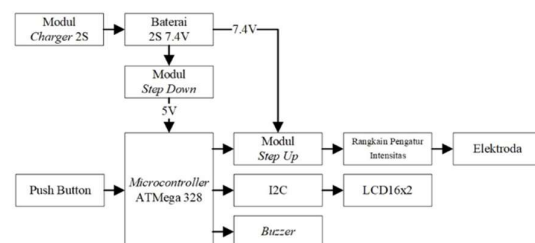
Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen pembuatan alat yang menggunakan beberapa tahapan dalam mendesain alat mulai dari penyiapan alat dan bahan, perancangan blok diagram dan pembuatan skematik rangkaian. Setelah alat selesai dirangkai selanjutnya dilakukan uji coba.

### A. Alat dan Bahan

Alat ini dirancang menggunakan mikrokontroler ATmega328 sebagai pusat kendali dengan dukungan LCD 16x2 berbasis I2C untuk tampilan. Sistem catu daya berasal dari baterai lithium 18650 yang dilengkapi modul charger BMS, step up, dan step down guna menstabilkan tegangan. Elektroda berfungsi sebagai media penghantar arus ke pasien, sedangkan transistor TIP41, potensiometer, push button, buzzer, LED, dan konektor jack digunakan sebagai pengatur serta indikator kerja. Seluruh rangkaian ditempatkan dalam box plastik berukuran  $7,5 \times 15$  cm sehingga lebih praktis dan portabel.

### B. Blok Diagram

Gambar 1 yaitu blok diagram dari alat rancang bangun elektrosimulatro portable berbasis mikrokontroler ada beberapa blok.



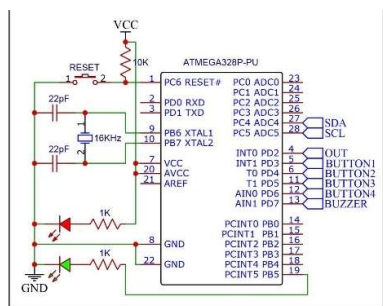
Gambar 1. Blok Diagram

### C. Skematik Rangkaian

Rangkaian alat ini terdiri dari beberapa rangkaian utama yakni rangkaian sistem minimum berbasis mikrokontroler ATmega328, rangkaian LCD 16x2 dengan modul I2C untuk tampilan informasi, rangkaian baterai Li-ion 18650 dilengkapi modul BMS dan step-up MT3608 untuk sumber daya stabil, serta rangkaian elektroda dan buzzer yang melibatkan transistor TIP41 serta potensiometer untuk pengaturan intensitas dan indikasi suara.

#### a. Rangkaian Sistem Minimum

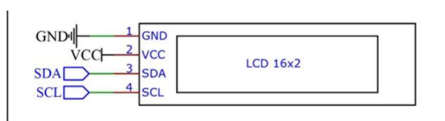
Rangkaian sistem minimum pada Gambar 2 ini menggunakan *microcontroller* ATmega328 sebagai inti utama pengendali sistem. *Microcontroller* ini didukung oleh osilator kristal eksternal 16 MHz yang dipasangkan dengan dua kapasitor 22 pF untuk menjaga kestabilan dan akurasi waktu kerja sistem. Pin-pin I/O pada *microcontroller* digunakan untuk berbagai fungsi, seperti menerima input dari tombol 1 hingga button 4, mengendalikan output ke *buzzer*, serta mengatur sinyal ke LCD I2C melalui pin SDA dan SCL. Pin reset disertakan dengan resistor *pull-up* 10k ohm untuk memastikan *microcontroller* dapat di-*reset* dengan stabil. Dua buah LED dengan resistor 1k ohm juga disertakan sebagai indikator status sistem. Sumber tegangan 5 V diberikan ke pin VCC dan AVCC untuk mendukung operasi *microcontroller*, sedangkan pin GND digunakan sebagai referensi ground. Secara keseluruhan, rangkaian ini memastikan mikrokontroler bekerja optimal sebagai pusat kendali alat elektrostimulator.



Gambar 2 Rangkaian sistem minimum

#### b. Rangkaian LCD

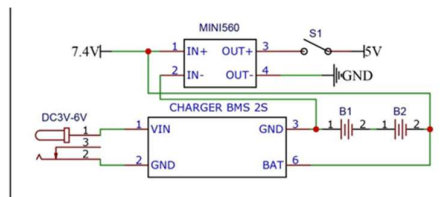
Pada rangkaian LCD di Gambar 3 yang digunakan yaitu jenis LCD dengan ukuran 16x2. LCD ini dihubungkan dengan modul konverter I2C yang terhubung pada pin SDA dan SCL mikrokontroler.



Gambar 3. Rangkaian LCD

#### c. Rangkaian Baterai

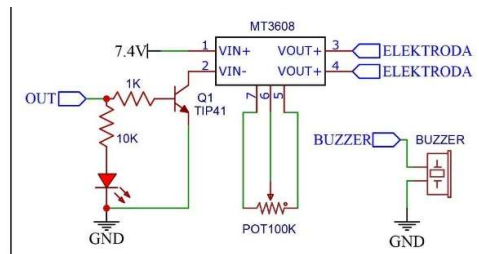
Sumber tegangan pada Gambar 4 menggunakan baterai *Li-Ion* 18650 yang dapat diisi ulang. Baterai jenis ini memiliki rating tegangan berkisar 3,7 - 4,2 volt. Untuk proses pengisian dan pengosongan baterai digunakan modul BMS2S yang akan mengontrol proses pengisian agar tidak terjadi *overcharge* dan proses pengosongan yang dapat merusak baterai.



Gambar 4. Rangkaian Baterai

#### d. Rangkaian Elektroda dan Buzzer

Rangkaian elektroda dan *buzzer* pada Gambar 5 berfungsi sebagai output sistem yang terdiri dari modul MT3608, transistor TIP41, potensiometer 100K, serta *buzzer*. Tegangan 7,4V masuk ke modul MT3608 untuk dinaikkan dan dialirkan ke elektroda sebagai media terapi. Transistor TIP41 dengan resistor 1K dan 10K berperan sebagai penguat arus agar sinyal yang dikirim stabil, sedangkan potensiometer digunakan untuk mengatur besar kecilnya tegangan keluaran sesuai kebutuhan. Selain itu, buzzer dipasang sebagai indikator suara yang menandakan bahwa rangkaian dalam kondisi aktif dan bekerja dengan baik.

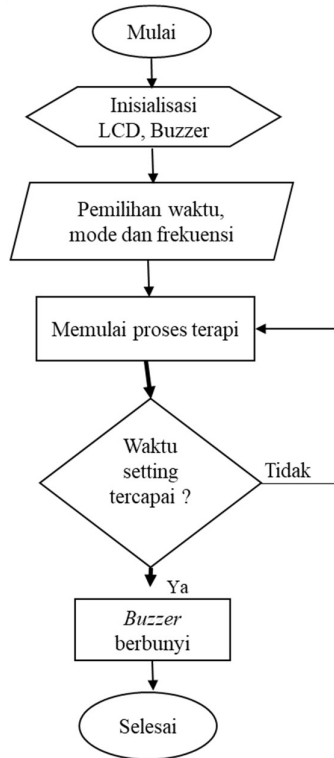


Gambar 5. Rangkaian Elektroda dan Buzzer

### D. Diagram Alir Kerja Alat

Diagram alir kerja alat pada Gambar 6 merupakan gambaran lengkap dari seluruh proses operasional elektrostimulator *portable* berbasis mikrokontroler ATmega328 ini, yang secara sistematis menggambarkan urutan langkah-langkah mulai dari inisialisasi awal sistem termasuk pengaktifan LCD 16x2 dan *buzzer* saat alat dinyalakan, dilanjutkan dengan tahap interaksi pengguna melalui pemilihan parameter penting seperti durasi waktu terapi (1-30 menit), mode stimulasi (*continuous*, *intermittent*, atau *modulation*), serta

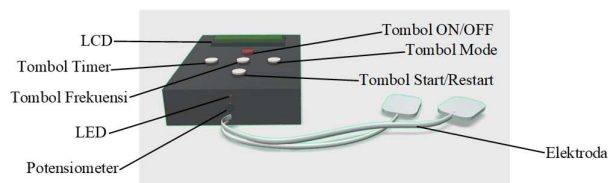
pengaturan frekuensi (1-150 Hz), kemudian masuk ke proses eksekusi terapi dengan monitoring *real-time* terhadap waktu yang telah ditentukan, dan diakhiri dengan indikasi akhir berupa bunyi *buzzer* serta penghentian otomatis sistem ketika sesi terapi selesai untuk mencegah overstimulasi.



Gambar 6. Diagram Alir Kerja Alat

### E. Desain Mekanik

Desain mekanik dari alat yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Mekanik

### G. Standar Operasional Prosedur (SOP)

Mengoperasikan alat elektrostimulator portable ada beberapa langkah-langkah yang dapat diikuti. Adapun standar operasional prosedur pada alat adalah sebagai berikut:

#### SOP (Standard Operasional Prosedur)

- Pastikan alat dalam kondisi baik dan tidak ada kabel atau komponen rusak.
- Minta pengguna untuk melepas semua aksesoris logam seperti cincin, jam tangan, dan gelang.

- Bersihkan area kulit yang akan dipasang elektroda dari keringat, minyak, atau krim .
- Pasang elektroda di area tubuh sesuai titik terapi yang ditentukan.
- Hubungkan elektroda ke alat elektrostimulator portable.
- Nyalakan alat dan atur parameter intensitas, frekuensi, dan durasi sesuai kebutuhan.
- Mulai terapi dengan intensitas rendah dan tingkatkan secara perlahan sesuai dengan kenyamanan pengguna.
- Awasi pasien selama terapi berlangsung dan hentikan jika ada keluhan tidak nyaman.
- Setelah terapi selesai, matikan alat sebelum melepas elektroda dari kulit.
- Setelah alat telah selesai digunakan, tekan tombol saklar ON/OFF ke posisi OFF untuk mematikan alat.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh alat elektrostimulator portable berbasis microcontroller ATmega328 dengan spesifikasi lengkap sebagai berikut: nama alat Karya Tulis Ilmiah Rancang Bangun Elektrostimulator *Portable* Berbasis *Microcontroller* Atmega328 Dilengkapi Dengan Pengaturan Frekuensi dan Timer yang berfungsi untuk memberikan stimulasi aman dan nyaman pada otot motorik maupun sensorik dengan parameter frekuensi, tegangan, dan *duty cycle* melalui tiga mode *continuous*, *intermittent*, dan *modulation*, menggunakan tegangan *charger* 5V yang kompatibel dengan baterai *Li-ion* 18650 serta modul BMS untuk pengisian aman, dan memiliki ukuran box kompak 14,2 x 10,7 x 5 cm agar praktis untuk penggunaan portabel dalam terapi nyeri serta rehabilitasi otot.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat elektrostimulator *portable* yang dibuat dan dibandingkan dengan alat pembanding osiloskop dan hasil nilai rata rata frekuensi. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 1:

**Tabel 1.** Hasil Pengukuran dan Pengujian Frekuensi

Frekuensi Alat (Hz)	Rata-rata frekuensi osiloskop (Hz)
20	20,00
30	30,03
40	40,00
50	50,00
60	60,05
70	70,01
80	80,00
90	90,01
100	99,93
110	109,98
120	119,97
130	129,99
140	140,01
150	149,97

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat elektrostimulator *portable* yang dibuat dan dibandingkan dengan alat *stopwatch*. Data hasil pengukuran keakuratan dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil analisa data nilai *error* dan keakuratan waktu

No.	Waktu (menit)	Error (%)	Keakuratan (%)
1.	5	0,66	99,34
2.	10	0,25	99,75
3.	15	0,18	99,82
4.	20	0,2	99,8
5.	25	0,116	99,89
6.	30	0,093	99,91

## B. Pembahasan

Rancang bangun alat elektrostimulator Portable berbasis microcontroller ATmega328 dilengkapi dengan pengatur frekuensi dan timer bertujuan untuk memberikan solusi terapi nyeri dan rehabilitasi otot dengan perangkat yang ringkas dan fleksibel. Elektrostimulator merupakan perangkat yang memanfaatkan arus listrik frekuensi rendah untuk memberikan rangsangan pada otot atau saraf melalui permukaan kulit, dengan tujuan meredakan nyeri, meningkatkan sirkulasi darah, dan mempercepat proses pemulihan jaringan. Dalam alat ini, penggunaan tiga mode stimulasi continuous memungkinkan pengguna menyesuaikan terapi berdasarkan kebutuhan fisiologis pasien. Prinsip kerja alat elektrostimulator portable berbasis mikrokontroler ATmega328 dimulai dari sumber daya baterai *Li-ion* 18650 yang tegangannya distabilkan dengan modul step-up MT3608, kemudian mikrokontroler ATmega328 sebagai pusat kendali mengatur mode stimulasi, frekuensi, dan waktu terapi sesuai input pengguna melalui tombol pengatur. Sinyal listrik keluaran yang dihasilkan mikrokontroler diproses sesuai pilihan mode continuous lalu dialirkan ke elektroda yang ditempelkan pada permukaan kulit untuk memberikan rangsangan listrik rendah yang menimbulkan kontraksi dan relaksasi otot. Selama proses terapi, LCD 16x2 menampilkan informasi mode, frekuensi, serta waktu terapi, sedangkan *buzzer* berbunyi sebagai penanda akhir sesi, sehingga alat ini dapat digunakan dengan mudah, aman, dan efektif dalam membantu mengurangi nyeri serta mendukung rehabilitasi otot.

Proses kerja alat dimulai dengan menyalakan sistem, kemudian pengguna memilih pengaturan waktu, frekuensi, dan mode sesuai kebutuhan terapi. Data input dari tombol akan diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada LCD. Setelah semua parameter disesuaikan, pengguna menekan tombol “*start*” untuk memulai terapi. Sinyal listrik yang dihasilkan akan ditransmisikan melalui dua elektroda ke permukaan kulit pasien. Setelah waktu terapi selesai, *buzzer* akan berbunyi

sebagai indikator sesi telah berakhir, dan sistem akan otomatis berhenti.

Penggunaan dua elektroda pada alat elektrostimulator *portable* ini memiliki peran penting dalam menghantarkan sinyal listrik dari perangkat menuju jaringan tubuh. Kedua elektroda ini terdiri atas kutub positif (*anoda*) dan kutub negatif (*katoda*) yang bekerja secara berpasangan untuk membentuk jalur aliran arus listrik tertutup. *Anoda* berfungsi sebagai penghantar arus dari alat menuju tubuh, sedangkan *katoda* menjadi jalur kembalinya arus ke perangkat. Mekanisme ini memungkinkan terjadinya stimulasi listrik yang terarah dan terkontrol pada area terapi. Penempatan elektroda yang tepat pada titik stimulasi akan memastikan distribusi arus yang merata, sehingga respon efek terapi seperti stimulasi saraf, kontraksi otot, penurunan nyeri, dan peningkatan sirkulasi darah dapat dicapai secara optimal. Kontak yang baik antara permukaan elektroda dan kulit juga menjadi faktor penting untuk mencegah hambatan listrik yang dapat mengurangi efektivitas terapi [15].

Setelah proses pembuatan alat elektrostimulator selesai, dilakukan pengujian untuk mengetahui keakuratan dan kestabilan alat. Pengujian frekuensi pada Tabel 1 dilakukan menggunakan osiloskop dengan tiga mode, yaitu mode *continuous*, *intermittent*, dan *modulation*. Pengaturan ketiga mode ini dibuat dan dikendalikan sepenuhnya melalui bahasa pemrograman yang diimplementasikan pada *microcontroller* ATmega328. Kode program yang digunakan untuk mengatur mode dapat dilihat pada lembar lampiran, di mana setiap mode memiliki pola sinyal keluaran yang berbeda. Mode *continuous* adalah mode di mana sinyal listrik diberikan secara terus-menerus tanpa jeda selama durasi terapi [16]. Mode ini umumnya digunakan untuk merangsang otot secara terus-menerus, meningkatkan aliran darah, dan mengurangi nyeri otot [17], mode *intermittent* adalah mode di mana sinyal listrik diberikan secara periodik dengan jeda tertentu antara rangsangan, sehingga otot mendapat waktu istirahat di antara kontraksi [18]. Mode *modulation* adalah mode dimana frekuensi atau intensitas sinyal listrik diubah secara bertahap atau bergantian untuk mengurangi adaptasi saraf terhadap rangsangan listrik [19].

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran frekuensi alat elektrostimulator *portable* pada mode *continuous* yang dibandingkan dengan pembacaan osiloskop, dengan rentang pengujian dari 10 Hz hingga 150 Hz di mana rata-rata frekuensi osiloskop sangat mendekati pengaturan alat dengan *error* rata-rata kurang dari 0,5% di seluruh rentang, seperti pada 10 Hz *error* 0,1% (9,99 Hz), 60 Hz *error* 0,08% (60,05 Hz), dan 110 Hz *error* 0,02% (109,98 Hz) yang menandakan kestabilan sinyal PWM mikrokontroler ATmega328 yang tinggi, serta pola deviasi konsisten baik di frekuensi rendah (10-50 Hz, *error* <0,1%) maupun tinggi (100-150 Hz, *error* 0,02-0,03%) dengan penyimpangan maksimum hanya 0,07% pada 60 Hz, sehingga membuktikan sistem pengaturan frekuensi bekerja akurat untuk kebutuhan terapi nyeri dan

rehabilitasi otot menunjukkan bahwa sistem PWM pada microcontroller bekerja optimal sesuai dengan pembuatan bahasa program. Sinyal frekuensi ini dihasilkan oleh ATmega328 melalui pin keluaran PWM, yaitu pada pin D2, D5, D6, D9, D10, dan D11, yang selanjutnya dihubungkan ke rangkaian driver sinyal. Pengaturan nilai frekuensi dilakukan melalui bahasa pemrograman, sehingga pengguna dapat memilih nilai frekuensi pada rentang 10–150 Hz. Rentang ini diambil dari kemampuan ATmega328 yang secara teoritis mampu menghasilkan sinyal PWM maksimum hingga 16 MHz, sehingga nilai frekuensi rendah untuk terapi dapat dihasilkan secara stabil, akurat, dan konsisten [20].

Pengujian *timer* dilakukan untuk memastikan bahwa durasi terapi sesuai dengan waktu yang telah diatur oleh pengguna. *Timer* berfungsi mengendalikan lama kerja alat sehingga proses dapat berhenti otomatis ketika waktu yang ditentukan tercapai. Pengaturan *timer* ini dilakukan melalui bahasa pemrograman yang di upload pada *microcontroller*, di mana nilai waktu kerja diinput melalui kode program. Instruksi pemrograman tersebut memungkinkan sistem membaca dan menjalankan durasi yang diinginkan secara presisi. Rincian kode yang mengatur fungsi *timer* ini dapat dilihat pada lembar lampiran, sehingga dapat diketahui bagaimana *timer* diatur dan dijalankan oleh sistem. Pada Tabel 2 pada pengaturan 5 menit, hasil rata-rata pengukuran dengan *stopwatch* yaitu 5,033 menit dengan nilai *error* 0,66%. Hal ini menunjukkan sistem pengatur waktu bekerja sangat baik, dengan rata-rata keakuratan lebih dari 99% pada semua rentang waktu dari 5 hingga 30 menit.

Hasil pengujian efek terapi pada pengguna dapat dilihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa variasi frekuensi dan durasi terapi menghasilkan efek yang berbeda pada pengguna. Frekuensi rendah 10 Hz dengan durasi 10 menit menimbulkan sensasi kesemutan ringan disertai penurunan nyeri. Peningkatan frekuensi menjadi 20 Hz selama 15 menit memberikan efek penurunan nyeri yang lebih terasa. Frekuensi 50 Hz selama 10 menit memunculkan sensasi kesemutan, sedangkan frekuensi 80 Hz selama 10 menit juga menghasilkan efek yang sama tanpa pengurangan nyeri yang signifikan. Frekuensi 40 Hz dengan durasi 15 menit menunjukkan efek paling optimal, yaitu penurunan nyeri yang signifikan dengan sedikit sensasi kesemutan. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan *timer* yang tepat, dikombinasikan dengan frekuensi yang sesuai, berpengaruh terhadap efektivitas dan sensasi terapi yang dirasakan serta tingginya intensitas yang diatur pada potensio juga berpengaruh pada kejut terapi yang dirasakan oleh pengguna, semakin diputar maksimal knop potensio maka efek kejut listrik yang dirasakan akan semakin kuat.

Berdasarkan hasil dari pengujian dan pengukuran alat elektrostimulator portable ini memiliki tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi dalam pengaturan frekuensi, tegangan, dan durasi terapi. Meskipun terdapat variasi kecil dalam nilai pengukuran, rata-rata *error* masih dalam batas toleransi yang ditentukan, yaitu di bawah 5% sesuai

dengan standar yang berlaku. Hasil pengujian membuktikan bahwa alat ini layak digunakan sebagai perangkat terapi elektrostimulasi yang praktis dan aman.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan dan pembuatan hasil modul ini, dapat disimpulkan bahwa alat elektrostimulator portable berbasis mikrokontroler ATmega328 telah berhasil dibuat dan berfungsi optimal sesuai rancangan teknis yang telah direncanakan dengan matang, dilengkapi dengan mode stimulasi *continuous* yang memberikan rangsangan listrik secara berkesinambungan untuk terapi pemulihan otot intensif. Sistem pengaturan waktu terapi yang fleksibel dari 1 menit hingga 30 menit dengan tingkat akurasi tinggi yang dikonfirmasi melalui pengujian *stopwatch* serta indikator *buzzer* otomatis di akhir sesi, dan pengaturan frekuensi presisi dalam rentang 1-150 Hz yang memungkinkan fisioterapis menyesuaikan intensitas stimulasi secara tepat sesuai kebutuhan klinis untuk pengelolaan nyeri kronis, rehabilitasi pasca-stroke, maupun peningkatan sirkulasi darah.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa dukungan dari Laboratorium Workshop D-III Teknologi Elektro-Medis, Universitas Mandala Waluya. Ucapan terima kasih atas segala fasilitas dan sumber daya yang telah disediakan. Penulis juga menyampaikan apresiasi yang tulus kepada semua individu yang telah berpartisipasi dan berkontribusi secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penelitian dan artikel ini.

#### REFERENSI

- [1] K. N. Putra, "Rancang Bangun Alat Terapi Elektrostimulator Berbasis Arduino Dengan 2 Mode," 2023, [Online]. Available: <https://repository.poltekkesjkt2.ac.id/index.php?P=Fstream&Fid=12215&Bid=9989#Page=1&Zoom=Auto,-82,848>
- [2] N. M. S. A. Desak Ketut Sutiari, Muhhammad Fajri, Ridia Utami Kasih, "Desain Alat Pengukuran Kadar Hemoglobin Noninvasif," Vol. 1, No. 1, Pp. 115–120, 2023.
- [3] U. Kulsum, "Pola Menstruasi Dengan Terjadinya Anemia Pada Remaja Putri," 2020, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/349499831\\_Pola\\_Menstruasi\\_Dengan\\_Terjadinya\\_Anemia\\_Pada\\_Remaja\\_Putri](https://www.researchgate.net/publication/349499831_Pola_Menstruasi_Dengan_Terjadinya_Anemia_Pada_Remaja_Putri)
- [4] S. D. Pranata, I. S. Faradisa, A. H. Yuwono, And F. T. Industri, "Stimulator Listrik Portabel Untuk Rehabilitasi Pasca Stroke Yang Terintegrasi Dengan Pemantauan Emg Sistem Berbasis Iot," Pp. 73–84, 2023.

- [5] D. Arifianto, K. Ais, M. Limassari, And K. Ain, "Functional Electrical Stimulation Dengan Pulsa Biphasic Untuk Membantu Fungsi Ekstremitas Atas Pasien Pasca Stroke," Vol. 23, 2021.
- [6] G. J. Rodriguez-Rivera *Et Al.*, "Injectable Hydrogel Electrodes As Conduction Highways To Restore Native Pacing," No. August 2023, Pp. 1–10, 2024, Doi: 10.1038/S41467-023-44419-0.
- [7] A. P. Hutomo And S. D. Astuti, "Rancang Bangun Sistem Pengendali Tegangan Stimulasi Elektrostimulator Otomatis Berbasis Resistansi Tubuh," Vol. 20, No. 3, Pp. 146–162, 2018.
- [8] N. Fitriyah, S. D. Astuti, And R. Destiani, "Pemanfaatan Elektrostimulator Aes-5 Sebagai Terapi Komplementer Untuk Meningkatkan Imunitas Tubuh Di Pt. Petro Graha Medika Klinik Satelit Kalimantan Gresik," 2022.
- [9] H. Nasruddin, "Angka Kejadian Anemia Pada Remaja Di Indonesia," 2021, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/360651710\\_Angka\\_Kejadian\\_Anemia\\_Pada\\_Remaja\\_Di\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/360651710_Angka_Kejadian_Anemia_Pada_Remaja_Di_Indonesia)
- [10] E. W. Ningsih, H. R. Fajrin, And A. Fitriyah, "Pendeteksi Hemoglobin Non Invasive," 2019.
- [11] A. Rosinta, "Penatalaksanaan Fisioterapi Dengan Micro Wave Diathermy (Mwd), Terapi Latihan Shoulder Wheel Dan Finger Ladder Pada Pasien Frozen Shoulder Dextra Et Causa Capsulitis Adhesive," 2022.
- [12] Q. Qomaruddin, "Pengukuran Kadar Hemoglobin (Hb) Darah Dengan Metode Noninvasif Menggunakan Laser," 2016, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/324801798\\_Pengukuran\\_Kadar\\_Hemoglobin\\_Hb\\_Darah\\_Dengan\\_Metode\\_Noninvasif\\_Menggunakan\\_Laser](https://www.researchgate.net/publication/324801798_Pengukuran_Kadar_Hemoglobin_Hb_Darah_Dengan_Metode_Noninvasif_Menggunakan_Laser)
- [13] N. N. Desak Ketut Sutiari, Andi Muhammad Fajri, Muhammad Sainal Abidin, Ridia Utami Kasih, "Desain Alat Pengukur Kadar Hemoglobin Noninvasive," 2023, [Online]. Available: Desain Alat Pengukur Kadar Hemoglobin Noninvasive
- [14] A. N. Zulkarnain, K. F. Hardini, And I. Cahyadinata, "Analisis Kombinasi Iastm Dan Sport Massage Dalam Mempercepat Pemulihan Pasca Lomba Marathon Analysis Of The Combination Of Iastm And Sports Massage In Accelerating Recovery After Marathon Race," Vol. 6, No. 1, Pp. 71–77, 2025.
- [15] W. Broto, F. Busalim, A. Prasetyowati, And N. Suryaningsih, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 4 Tahun 2019 Aplikasi Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation ( Tens ) Sebagai Terapi Pemulihan Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 4 Tahun 2019," Vol. 4, Pp. 341–346, 2019.
- [16] N. A. Ramadhan, "Latihan Rehabilitasi Lansia Berbasis Komunitas." [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=Hr-Yeqaaqbaj&oi=fnd&pg=pa1&dq=mode+continuous+adalah+mode+di+mana+sinyal+listrik+diberikan+secara+terus-menerus+tanpa+jeda+selama+durasi+terapi&ots=6lhelspovq&sig=M4wy\\_Bwfb9inxrevqv-ljd9wcc&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=Hr-Yeqaaqbaj&oi=fnd&pg=pa1&dq=mode+continuous+adalah+mode+di+mana+sinyal+listrik+diberikan+secara+terus-menerus+tanpa+jeda+selama+durasi+terapi&ots=6lhelspovq&sig=M4wy_Bwfb9inxrevqv-ljd9wcc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
- [17] D. D. Simamora, I. T. Harsoyo, And P. Kusumanigntyas, "Rancang Bangun Alat Elektrostimulator Portable," No. September, 2025.
- [18] R. Pubudanang, "Rancang Bangun Elektro-Stimulator Untuk Refleksi Telapak Kaki," Vol. 25, No. 1, Pp. 59–65, 2015.
- [19] M. Nurfadli, "Rancang Bangun Alat Terapi Elektrostimulator Portable Dengan 3 Mode," 2024.
- [20] E. A. Prastyo, "Atmega328." [Online]. Available: <https://www.arduinoindonesia.id/2022/08/pengertian-dan-penjelasan-arduino-uno.html>