

Inovasi Elektrostimulator Berbasis Arduino: Solusi Sederhana untuk Eksperimen dan Aplikasi Medis

Eko Arianto¹, Dwi Susanto²

^{1,2} Universitas Sanata Dharma

¹eko.arianto@usd.ac.id, ²dsusanto48.ds@gmail.com

ABSTRACT

Electrostimulation has become a widely utilized method in various fields, such as medicine, sports, and research, to stimulate biological tissues using electrical currents of specific frequencies. However, commercially available electrostimulation devices are often expensive and complex, making them less accessible for educational purposes or researchers with limited budgets. This study aims to develop a simple Arduino-based electrostimulator capable of generating sinusoidal waves with adjustable frequency and amplitude. The device was designed using PWM signals from Arduino filtered through an RC circuit to produce smooth sinusoidal waves, which were then amplified using transistors and stepped up in voltage through a step-up transformer. Testing demonstrated that the device could generate stable sinusoidal waves with frequencies of up to 600 Hz. Trials on human skin revealed varying sensations, ranging from mild vibrations to muscle contractions, depending on the frequency applied. This research highlights the potential of an Arduino-based electrostimulator as a cost-effective and flexible alternative for educational and research purposes, as well as for exploring the effects of electrostimulation. With its simple design, the device can be further developed for various medical and scientific applications in the future.

Keywords: *Arduino-based electrostimulator, sinusoidal wave generation, adjustable frequency and amplitude, electrostimulation device development, educational and research applications.*

ABSTRAK

Elektrostimulasi telah menjadi metode yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, seperti medis, olahraga, dan penelitian, untuk merangsang jaringan biologis menggunakan arus listrik dengan frekuensi tertentu. Namun, perangkat elektrostimulasi yang tersedia di pasaran sering kali mahal dan kompleks, sehingga sulit diakses oleh kalangan pendidikan atau peneliti dengan anggaran terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan perangkat elektrostimulator sederhana berbasis Arduino yang mampu menghasilkan gelombang sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat diatur. Perangkat ini dirancang menggunakan sinyal PWM dari Arduino yang disaring melalui rangkaian RC untuk menghasilkan gelombang sinus halus, kemudian diperkuat menggunakan transistor dan ditingkatkan tegangannya melalui transformator step-up. Hasil pengujian menunjukkan perangkat mampu menghasilkan gelombang sinus stabil dengan frekuensi hingga 600 Hz. Uji coba pada kulit manusia menunjukkan variasi sensasi mulai dari getaran lembut hingga kontraksi otot, tergantung pada frekuensi yang digunakan. Penelitian ini menunjukkan bahwa perangkat elektrostimulator berbasis Arduino memiliki potensi besar sebagai solusi alternatif yang ekonomis dan fleksibel untuk aplikasi pendidikan, penelitian, serta eksplorasi efek elektrostimulasi. Dengan desain sederhana, perangkat ini dapat dikembangkan lebih lanjut untuk berbagai aplikasi medis maupun ilmiah di masa depan.

Kata kunci: *Elektrostimulator berbasis Arduino, gelombang sinusoidal, frekuensi dan amplitudo dapat diatur, pengembangan perangkat elektrostimulasi, aplikasi pendidikan dan penelitian.*

I. PENDAHULUAN

Elektrostimulasi telah menjadi salah satu metode yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, baik dalam dunia medis, olahraga, maupun penelitian ilmiah dengan menerapkan arus listrik frekuensi rendah dan menengah untuk merangsang tubuh manusia [1]. Dalam bidang medis, elektrostimulasi digunakan untuk terapi rehabilitasi otot, pengurangan rasa sakit, dan stimulasi saraf [2][3]. Dalam dunia olahraga, teknologi ini dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan otot dan mempercepat pemulihan setelah latihan intensif. Selain itu, elektrostimulasi juga digunakan sebagai alat diagnostik dan penelitian untuk mempelajari respons jaringan biologis terhadap rangsangan listrik [4][5][6].

Meski teknologi elektrostimulasi telah tersedia secara luas, banyak perangkat yang ada di pasaran memiliki harga yang cukup mahal dan dirancang dengan kompleksitas tinggi. Hal ini menyulitkan akses bagi peneliti pemula, institusi pendidikan, atau pihak-pihak yang memiliki keterbatasan anggaran. Oleh karena itu, diperlukan alternatif perangkat elektrostimulator yang lebih sederhana, ekonomis, namun tetap mampu menghasilkan performa yang dapat diandalkan.

Mikrokontroler seperti Arduino memberikan peluang untuk menciptakan solusi inovatif di bidang ini. Arduino dikenal sebagai platform yang fleksibel, murah, dan mudah digunakan oleh kalangan profesional maupun pemula. Dengan kemampuan Arduino untuk menghasilkan sinyal gelombang, seperti gelombang sinus, teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk merancang perangkat elektrostimulator yang sederhana namun efektif [7][8]. Gelombang sinus sendiri merupakan salah satu jenis sinyal yang sering digunakan dalam elektrostimulasi karena memiliki transisi yang halus, sehingga lebih aman dan nyaman bagi pengguna.

Dalam rangkaian sederhana berbasis Arduino, gelombang sinus dapat dihasilkan menggunakan modulasi lebar pulsa (PWM) yang diproses melalui rangkaian filter RC untuk mendapatkan bentuk gelombang yang lebih halus [7][9]. Sinyal ini kemudian diperkuat dengan transistor dan ditingkatkan tegangannya menggunakan transformator

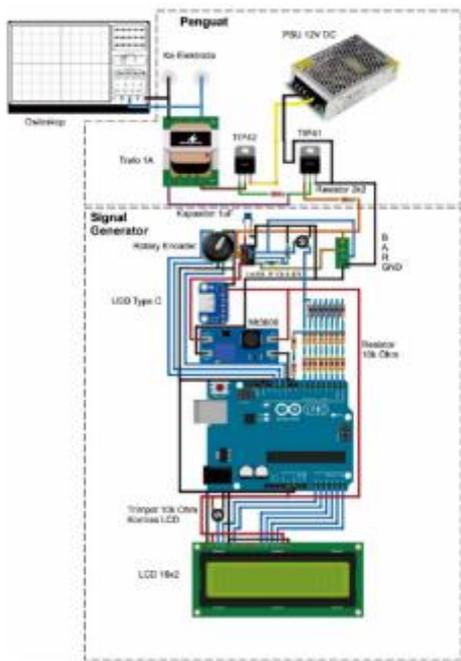
step-up, sehingga mampu menghasilkan tegangan yang cukup besar untuk aplikasi elektrostimulasi [10]. Keunggulan dari pendekatan ini adalah fleksibilitas dalam pengaturan frekuensi dan amplitudo gelombang, yang dapat disesuaikan melalui pemrograman Arduino. Dengan demikian, perangkat ini memungkinkan eksplorasi berbagai efek elektrostimulasi pada jaringan biologis manusia.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan perangkat elektrostimulator sederhana berbasis Arduino yang mampu menghasilkan gelombang sinus dengan frekuensi dan amplitudo yang dapat diatur. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menguji performa perangkat dalam memberikan stimulus listrik pada kulit manusia serta menganalisis efek fisiologis yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif solusi bagi pengguna yang membutuhkan perangkat elektrostimulator sederhana, terutama untuk keperluan pendidikan dan penelitian dengan biaya terjangkau. Dengan komponen yang mudah didapat dan rangkaian yang relatif sederhana, perangkat ini juga dapat berfungsi sebagai model dasar untuk pengembangan lebih lanjut di masa depan.

II. METODE

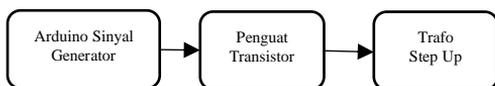
Perancangan perangkat ini dimulai dengan pengembangan sinyal gelombang sinus menggunakan fitur Pulse Width Modulation (PWM) dari Arduino Uno. Untuk menghasilkan gelombang sinus yang halus, kode program dirancang untuk menghasilkan delapan sinyal PWM yang terkoordinasi, dengan frekuensi dan fase yang tepat. Setiap sinyal PWM dihasilkan secara bersamaan dan saling berinteraksi untuk membentuk gelombang sinus. Sinyal ini kemudian disaring menggunakan rangkaian RC yang dirancang untuk menghaluskan bentuk gelombang. Pemilihan komponen resistor dan kapasitor dilakukan dengan cermat untuk memastikan kualitas sinyal yang dihasilkan. Hasil akhirnya adalah gelombang sinus dengan tingkat distorsi yang sangat minimal, mendekati bentuk sinus ideal, sehingga

menghasilkan sinyal yang lebih stabil dan dapat digunakan untuk aplikasi yang memerlukan kualitas sinyal tinggi.



Gambar 1. Wiring perancangan Elektrostimulator berbasis Arduino

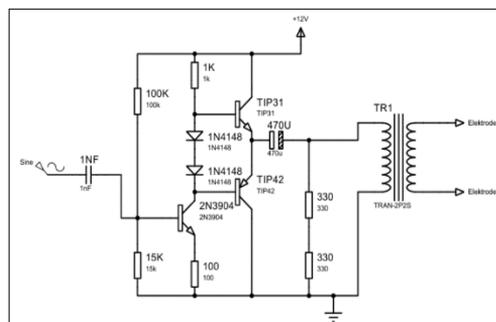
Setelah itu, sinyal sinus diperkuat menggunakan transistor yang berfungsi sebagai penguat arus. Transistor ini memastikan bahwa sinyal memiliki kekuatan yang cukup untuk menggerakkan transformator step-up. Pada tahap ini, pemilihan jenis transistor, nilai resistor basis, dan konfigurasi rangkaian diperhatikan untuk mengoptimalkan efisiensi penguatan dan menghindari distorsi bentuk gelombang. Transistor bekerja dalam mode aktif untuk memastikan transfer energi yang stabil dan sinyal sinus yang bersih menuju transformator.



Gambar 2. Blok Diagram Elektrostimulator

Transformator step-up kemudian digunakan untuk meningkatkan tegangan

input dari transistor hingga mencapai 18V pada outputnya. Transformator ini dirancang untuk menjaga integritas bentuk gelombang sinus meskipun ada peningkatan tegangan. Perhitungan rasio lilitan primer dan sekunder dilakukan untuk memastikan tegangan output sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, transformator dilengkapi dengan inti ferit untuk meminimalkan kerugian daya dan memastikan efisiensi tinggi pada pengoperasian frekuensi yang bervariasi.



Gambar 3. Rangkaian penguat dan step-up

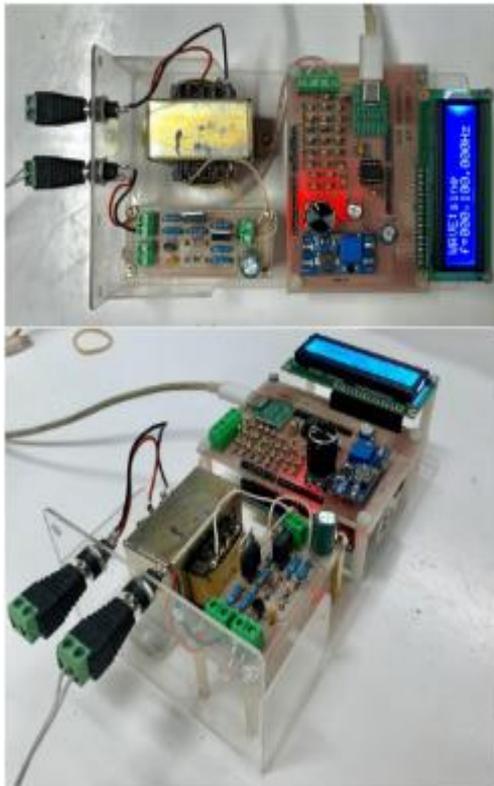
Rangkaian yang telah dirancang diimplementasikan pada papan *breadboard* untuk pengujian awal. Dalam tahap ini, semua komponen diuji satu per satu untuk memastikan tidak ada gangguan atau malfungsi. Hasil output gelombang sinus diukur menggunakan osiloskop untuk memastikan keakuratan bentuk gelombang. Frekuensi dan amplitudo sinyal disesuaikan melalui kode program Arduino untuk mengevaluasi performa rangkaian pada berbagai kondisi. Setiap parameter diatur secara bertahap untuk mengidentifikasi batas kemampuan sistem dan potensi area untuk perbaikan.

Pada tahap pengujian, elektroda dari output transformator ditempatkan pada kulit subjek manusia untuk mengamati efek elektrostimulasi. Respons fisiologis diukur pada berbagai frekuensi, mencakup sensasi yang dirasakan dan efek elektrostimulasi yang dihasilkan. Semua pengujian dilakukan dalam kondisi terkontrol untuk memastikan keamanan subjek serta keandalan hasil pengujian. Elektroda yang digunakan dibuat dari bahan konduktif yang ramah kulit untuk

menghindari iritasi dan memastikan distribusi arus yang merata pada permukaan kulit.

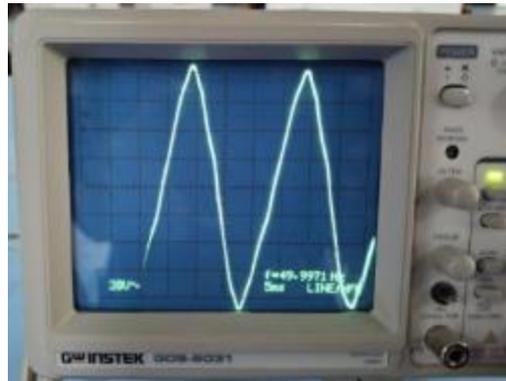
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perangkat elektrostimulator sederhana berbasis Arduino berhasil menghasilkan gelombang sinus yang stabil dengan berbagai frekuensi.

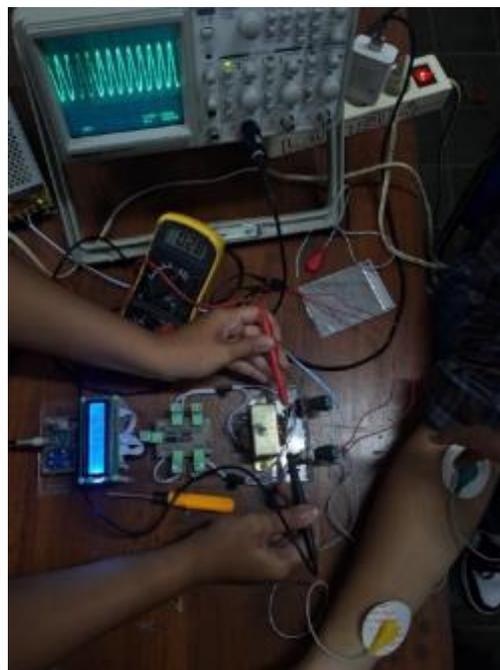


Gambar 4. Prototipe Elektrostimulator berbasis Arduino

Bentuk gelombang yang dihasilkan diukur menggunakan osiloskop, menunjukkan sinyal yang halus dengan distorsi minimal setelah melewati rangkaian RC. Pada frekuensi 50–600 Hz, gelombang sinus memiliki bentuk yang lebih stabil dibandingkan pada frekuensi tinggi (diatas 650 Hz), meskipun pada pada setiap kenaikan frekuensi terdapat sedikit peningkatan amplitudo yang disebabkan oleh keterbatasan respons transformator step-up, 12 V pada frekuensi 50 Hz dan 18,5 V pada frekuensi 600 Hz.



Gambar 5. Sinyal pada frekuensi 50 Hz



Gambar 6. Sinyal pada frekuensi 600 Hz

Pengamatan menggunakan osiloskop menunjukkan bahwa frekuensi gelombang sinus tetap konsisten dengan sinyal sumber dari Arduino, tanpa adanya perubahan atau penurunan kualitas bentuk gelombang pada rentang frekuensi 50Hz sampai dengan 600 Hz, frekuensi diluar itu bentuk sinyal mengalami perubahan tidak sinus sempurna.

Dalam uji coba aplikasi elektrostimulasi pada kulit manusia, perangkat ini mampu memberikan stimulus yang dapat dirasakan pada berbagai frekuensi. Pada frekuensi rendah (1–10 Hz), subjek melaporkan tidak

ada sensasi getaran pada permukaan kulit, yang meningkat intensitasnya seiring dengan bertambahnya frekuensi. Pada frekuensi menengah 20–50 Hz, subyek merasakan sensasi getaran lembut. Pada frekuensi 50 Hz sampai 200 Hz stimulus yang diberikan dirasakan lebih kuat dan menimbulkan kontraksi otot. Di sisi lain, pada frekuensi tinggi (200–500 Hz), sensasi menjadi lebih tajam, dan subjek melaporkan perasaan seperti ditusuk jarum dan semakin tinggi semakin intens di area sekitar elektroda. Pengujian hanya dilakukan sampai frekuensi 500 Hz.



Gambar 7. Penulis melakukan ujicoba 120 Hz menimbulkan kontraksi otot yang terasa seperti di pijat. 80-120 Hz adalah frekuensi yang paling optimal untuk penulis.

Efek fisiologis yang diamati menunjukkan bahwa perangkat ini dapat memberikan variasi stimulasi sesuai dengan frekuensi yang dipilih. Hal ini membuktikan bahwa perangkat memiliki potensi untuk digunakan sebagai alat eksperimental dalam mempelajari respons saraf dan otot terhadap stimulus listrik. Selain itu, pengujian menunjukkan

bahwa tegangan dan frekuensi dapat dikontrol dengan presisi tinggi melalui pengaturan kode pada Arduino, memberikan fleksibilitas dalam eksperimen dan aplikasi.

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa perangkat elektrostimulator berbasis Arduino mampu menghasilkan gelombang sinus yang dapat digunakan untuk aplikasi elektrostimulasi sederhana. Keberhasilan ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, termasuk peningkatan performa perangkat dan eksplorasi aplikasi medis atau penelitian yang lebih luas. Perangkat ini juga menunjukkan potensi besar sebagai alat edukasi dan penelitian dengan biaya rendah namun memiliki performa yang dapat diandalkan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil uji coba perangkat elektrostimulasi menunjukkan bahwa perangkat ini berhasil memberikan stimulus yang dapat dirasakan pada berbagai frekuensi. Sensasi yang dirasakan oleh subjek bervariasi,

1. Frekuensi Rendah (1–10 Hz): Tidak menimbulkan sensasi berarti pada kulit subjek.
2. Frekuensi Menengah (20–50 Hz): Menimbulkan sensasi getaran lembut.
3. Frekuensi Tinggi (50–200 Hz): Memberikan stimulus yang kuat, termasuk kontraksi otot.
4. Frekuensi Sangat Tinggi (200–500 Hz): Menimbulkan sensasi tajam seperti ditusuk jarum, semakin intens di area sekitar elektroda.

Uji coba ini hanya dilakukan hingga frekuensi 500 Hz untuk memastikan kenyamanan dan keamanan subjek, dengan penggunaan elektroda EKG yang terbukti memberikan distribusi arus yang baik tanpa efek samping pada kulit subjek.

Berdasarkan hasil tersebut, perangkat dapat dioptimalkan dengan menyesuaikan frekuensi sesuai tujuan aplikasi, seperti frekuensi rendah untuk stimulasi minimal, frekuensi menengah untuk sensasi lembut, dan frekuensi tinggi untuk kontraksi otot.

Pengujian lebih lanjut dengan berbagai tipe elektroda dan melibatkan lebih banyak subjek perlu dilakukan untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif. Selain itu, desain perangkat dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur kontrol presisi untuk frekuensi dan amplitudo, serta pengaturan batas maksimal frekuensi untuk menjaga kenyamanan subjek. Dengan pengembangan lebih lanjut, perangkat ini berpotensi diaplikasikan di bidang fisioterapi, penelitian neuromuskular, atau alat pembelajaran. Rentang pengujian juga dapat diperluas untuk memahami efek stimulus pada frekuensi yang lebih tinggi, jika dianggap aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Demidas, "Electrical stimulation: Then and now. Applications and limitations," *Physiother. Q.*, vol. 29, no. 4, pp. 81–86, 2021, doi: 10.5114/PQ.2021.110987.
- [2] C. B. Allen, T. K. Williamson, S. M. Norwood, and A. Gupta, "Do Electrical Stimulation Devices Reduce Pain and Improve Function?—A Comparative Review," *Pain Ther.*, vol. 12, no. 6, pp. 1339–1354, 2023, doi: 10.1007/s40122-023-00554-6.
- [3] L. Ni *et al.*, "Electrical stimulation therapy for peripheral nerve injury," *Front. Neurol.*, vol. 14, no. 1, 2023, doi: 10.3389/fneur.2023.1081458.
- [4] J. Astra, D. Syafrianto, Y. Ockta, and F. I. Cahyani, "Analyzing the Role of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in Sports: A Literature Perspective on Its Application and Benefits in Physiotherapy," vol. 10, pp. 76–82, 2024, doi: 10.29303/jppipa.v10iSpecialIssue.8704.
- [5] T. Taylor *et al.*, "The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players," *J. Sci. Med. Sport*, vol. 18, no. 3, pp. 328–332, 2015, doi: 10.1016/j.jsams.2014.04.004.
- [6] B. Barra *et al.*, "High-frequency amplitude-modulated sinusoidal stimulation induces desynchronized yet controllable neural firing," *bioRxiv*, p. 2024.02.14.580219, 2024, [Online]. Available: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.02.14.580219v1%0Ahttps://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.02.14.580219v1.abstract>
- [7] M. Luqman, A. Komarudin, and S. Nurcahyo, "Rancang bangun pembangkit Sinusoidal Pulse Width Modulation berbasis arduino," *J. Eltek*, vol. 20, no. 1, pp. 25–32, 2022, doi: 10.33795/eltek.v20i1.333.
- [8] B. M. Franklin, E. Maroudas, and J. L. Osborn, "Sine-wave electrical stimulation initiates a voltage-gated potassium channel-dependent soft tissue response characterized by induction of hemocyte recruitment and collagen deposition," *Physiol. Rep.*, vol. 4, no. 12, pp. 1–10, 2016, doi: 10.14814/phy2.12832.
- [9] F. Baskoro, E. Sulistiyo, I. Basuki, A. Widodo, and A. P. Nurdiansyah, "Design of function generator using arduino due 12 bit dac," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1569, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1569/3/032097.
- [10] S. Rahayu and J. Kustija, "Aplikasi Transistor Darlington Pada Rangkaian Inverter Portable," *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 2, pp. 119–128, 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.229.