

## Kajian Biofisika FRRS untuk Mengurangi Nyeri Kelelahan pada Kaki dengan Stimulasi Listrik dan Magnet

Primasari Cahya Wardhani<sup>1,\*</sup>, Nia Dwi Puspitasari<sup>2</sup>, Zakiyah Dania Billah<sup>3</sup>, Tri Anggono Prijo<sup>4</sup>, Bagas Aryaseto<sup>2</sup>, Sakinah<sup>1</sup>, Widya Rachma Wulan<sup>1</sup>, Syahrul Munir<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

<sup>3</sup>Information Sistem Department, Faculty of Technology and Informatics, Universitas Dinamika, Surabaya, Indonesia, 60298

<sup>4</sup>CV. Amarta Abadi Baarokah, Surabaya, Indonesia

<sup>5</sup>College of Electrical Engineering and Computer Science, National Taipei University of Technology, Taipei, Taiwan

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 15 Juli 2024

Direvisi: 8 Agustus 2024

Diterima: 19 Oktober 2024

#### Kata kunci:

Medan magnet  
Nyeri kaki  
Sirkulasi darah  
Stimulasi listrik  
Terapi refleksi kaki

#### Keywords:

magnetic field  
leg pain  
blood circulation  
electrical stimulation  
foot reflexology therapy

#### Penulis Korespondensi:

Primasari Cahya Wardhani

Email:

[primasari.cahya.fisika@upnjatim.ac.id](mailto:primasari.cahya.fisika@upnjatim.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji efektivitas *Foot Reflection-Relaxation Stimulator* (FRRS) yang menggabungkan stimulasi listrik dan magnetik sebagai metode terapi refleksi kaki untuk mengurangi nyeri akibat kelelahan. FRRS dirancang untuk merangsang titik-titik refleksi di kaki, dengan mengaplikasikan prinsip-prinsip fisika seperti medan magnet statis dan gaya Lorentz, yang diharapkan dapat meningkatkan sirkulasi darah dan merelaksasi otot-otot yang tegang. Pengujian dilakukan terhadap 25 partisipan laki-laki sehat yang mengalami kelelahan kaki setelah berkendara sejauh 20 km. Tingkat nyeri diukur menggunakan skala *Numerical Rating Scale* (NRS) sebelum dan sesudah perlakuan dengan FRRS. Hasil menunjukkan penurunan skala nyeri yang signifikan, dari rata-rata 7 sebelum perlakuan menjadi 3,12 setelah perlakuan. Penggunaan FRRS terbukti efektif dalam mengurangi nyeri akibat kelelahan pada kaki, yang diduga karena peningkatan sirkulasi darah dan relaksasi otot. Dengan demikian, FRRS dapat menjadi solusi praktis dan efisien untuk meningkatkan kualitas hidup individu yang sering mengalami kelelahan dan nyeri pada kaki.

*This research aims to design and test the effectiveness of the Foot Reflection-Relaxation Stimulator (FRRS), which combines electrical and magnetic stimulation as a reflexology therapy method to reduce pain caused by fatigue. FRRS is designed to stimulate reflex points in the feet by applying principles of physics such as static magnetic fields and Lorentz force, which are expected to enhance blood circulation and relax tense muscles. The testing was conducted on 25 healthy male participants who experienced leg fatigue after traveling a distance of 20 km. Pain levels were measured using the Numerical Rating Scale (NRS) before and after treatment with FRRS. The results showed a significant decrease in pain scale, from an average of 7 before treatment to 3.12 after treatment. The use of FRRS has proven effective in reducing pain due to fatigue in the legs, which is believed to be due to increased blood circulation and muscle relaxation. Thus, FRRS can be a practical and efficient solution to improve the quality of life for individuals who often experience fatigue and pain in their legs.*

Copyright © 2024 Author(s).

## I. PENDAHULUAN

Salah satu terapi alternatif yang sudah sering digunakan untuk mengatasi cedera pada kaki, kekakuan otot kaki, dan melancarkan aliran darah pada tubuh terutama kaki dapat digunakan terapi akupunktur, perendaman kaki menggunakan air hangat maupun dingin, ataupun melakukan kompres otot kaki (Fu et al., 2020; vakilinia et al., 2020). Salah satu metode pengobatan alternatif yang efektif untuk meningkatkan kesehatan seseorang telah lama dikenal sebagai terapi refleksi kaki. Terapi ini bertujuan untuk merangsang titik-titik refleksi pada kaki untuk memberikan berbagai manfaat kesehatan, seperti meredakan nyeri, meningkatkan sirkulasi darah, dan mengurangi stres, berdasarkan studi yang telah dilakukan menyebutkan bahwa titik-titik tertentu pada kaki memiliki hubungan dengan organ dan sistem tubuh lainnya (Kamill et al., 2020; Wafaa & Yousif, 2022). Terapi refleksi telah digunakan sebagai terobosan terapi alternatif dalam beberapa dekade terakhir, termasuk penggunaan teknologi untuk meningkatkan hasilnya (Cai et al., 2023). Terapi refleksi tradisional tersebut banyak diterapkan pada atlet olahraga saat mengalami cedera otot (Artioli et al., 2021).

Pada ilmu akupunktur, jarum akupunktur merangsang saraf di titik-titik tertentu, menyebabkan depolarisasi membran sel saraf. Depolarisasi ini menghasilkan potensi aksi yang mengirimkan sinyal melalui serabut saraf ke pusat sistem saraf, termasuk otak. Dalam teori akupunktur, titik-titik akupunktur dianggap sebagai lokasi di mana energi  $Qi$  (energi vital) dapat dipengaruhi (Saputra, 2017). Stimulasi jarum di titik-titik ini dipercaya dapat mengembalikan keseimbangan energi dan meningkatkan fungsi tubuh. Walaupun ini adalah aspek yang lebih tradisional dan tidak sepenuhnya dapat dijelaskan dengan prinsip fisika modern, beberapa penelitian menunjukkan bahwa efek terapi akupunktur mungkin berhubungan dengan perubahan dalam fungsi seluler dan jaringan (Saputra, 2017). Akupunktur dapat memodulasi keseimbangan sistem saraf otonom, yaitu sistem simpatis dan parasimpatis. Peningkatan aktivitas sistem saraf parasimpatis dapat mengurangi stres dan mengurangi respons inflamasi, yang dapat membantu dalam pengurangan nyeri dan penyembuhan otot yang mengalami inflamasi (Rambod et al., 2019).

Pada alat yang dikembangkan untuk studi ini menggunakan *Foot Reflection Relaxation Stimulator* (FRRS) dirancang agar dapat menjadi salah satu pengembangan teknologi terapi akupunktur dengan refleksi tradisional yang mana dalam sistem kerja alat tersebut menggunakan impulse listrik yang dihasilkan (Wardhani et al., 2023). Pemberian impuls listrik tersebut digunakan mengaktifkan otot dan saraf di kaki. Membran otot dan sel-sel saraf mengalami depolarisasi sebagai sebuah bentuk respon dalam menanggapi impuls listrik yang diberikan. Melalui proses yang dapat mengurangi sinyal rasa sakit, proses ini merangsang saraf dan menyebabkan kontraksi otot, yang dapat mengurangi pengalaman rasa sakit. Selain itu, stimulasi listrik mengurangi peradangan, mempercepat perbaikan jaringan, dan meningkatkan aktivitas metabolisme seluler di daerah yang didorong (Fitriyah et al., 2022; Hutomo et al., 2019). Penggunaan stimulator yang menggabungkan stimulasi listrik dan medan magnet adalah salah satu inovasi dalam terapi refleksi. Stimulasi listrik pada titik refleksi dianggap dapat meningkatkan konduktivitas saraf dan merangsang otot yang tegang, sementara medan magnet dianggap dapat meningkatkan sirkulasi darah dan mempercepat proses penyembuhan (Embong et al., 2015; Himmelstoss et al., 2007). Hasil terapi dapat ditingkatkan secara signifikan dengan kombinasi kedua metode ini pada satu perangkat. Hasil yang paling signifikan termasuk meningkatkan tingkat relaksasi dan pengurangan ketegangan pada kaki (Wafaa & Yousif, 2022; Yeun et al., 2021).

Beberapa studi sebelumnya telah menyatakan bahwa terapi refleksiologi dapat meringankan kekakuan otot dan nyeri otot pada pasien pasca-kemoterapi, diabetes, cedera olahraga, dan pasien dengan *Premenstrual Syndrome* (Liu et al., 2022; Wang & Zhang, 2021). Keberadaan metode non-invasif, non-farmakologis melalui administrasi energi listrik ke tubuh manusia dapat mempengaruhi kesehatan tubuh manusia secara positif (Farnia et al., 2019; Liu et al., 2022; Shafeik et al., 2023). Namun, ini tidak diikuti oleh pengembangan perangkat terapi stimulator kaki yang lebih modern yang dapat digunakan oleh masyarakat umum. Pengembangan perangkat terapi kesehatan dengan mengadministrasikan energi listrik ke tubuh manusia, yang masih langka, pada penelitian terdahulu pengembangan perangkat *reflexology* yaitu merancang sandal refleksi yang terbuat dari kapas sehingga nyaman digunakan (S et al., 2019). Oleh karena itu, langkanya pengembangan alat terapi refleksi kaki menjadi sebuah urgensi bagi penelitian ini untuk mengembangkan inovasi di dunia kesehatan. Dengan demikian, studi ini bertujuan untuk merancang alat terapi refleksiologi dan relaksasi untuk kaki untuk membantu orang dengan aktivitas yang ketat mengatasi kekakuan dan ketidaknyamanan, serta untuk menyelidiki profil frekuensi dan nilai tegangan *output* yang disediakan oleh FRRS. FRRS dirancang

untuk menggabungkan elektrostimulasi dan terapi magnetik dalam merendam kaki untuk mencapai efek terapeutik. Pada penelitian ini juga membahas aspek biofisika, termasuk interaksi jaringan biologis dengan medan listrik dan magnetik, konduktivitas listrik, dan media terapi.

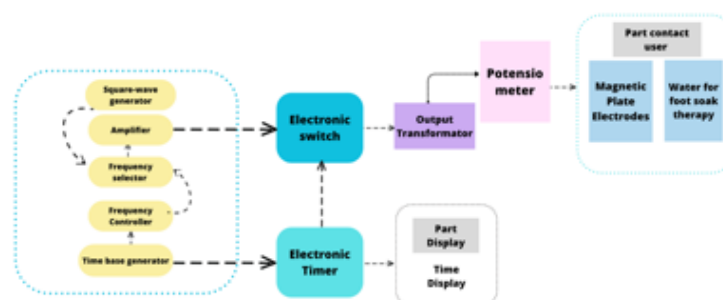
Prinsip kerja elektroda magnetik didasarkan pada konsep dasar fisika medan magnet dan gaya Lorentz. Elektroda magnetik dalam FRRS memancarkan medan magnet statis yang berfungsi mempengaruhi pergerakan partikel bermuatan dalam tubuh, terutama ion dalam darah dan cairan jaringan (Sluka & Walsh, 2003; Suryaningsih et al., 2022; Zhao et al., 2020). Dalam FRRS, medan magnet yang dihasilkan oleh elektroda magnetik berinteraksi dengan ion yang bermuatan dalam darah, menyebabkan perubahan dalam gerakan ion tersebut. Gaya Lorentz ini berfungsi mengurangi viskositas darah dan meningkatkan aliran darah dengan mempercepat pergerakan ion dan molekul yang terlibat dalam proses sirkulasi (Hayes & Melrose, 2020; James et al., 2018). Peningkatan sirkulasi darah ini sangat penting untuk mendukung proses penyembuhan jaringan dan mengurangi peradangan (Fadlilah et al., 2020; Ying et al., 2023).

## II. METODE

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen rancang bangun alat yang terdiri dari rancang bangun perangkat elektronik dan perangkat pada elektroda pada bak celup kaki. Dengan demikian, dibutuhkan beberapa rangkaian yang dirancang pada sistem perangkat elektronik, diantaranya Rangkaian Transformator, pembangkit gelombang *square*, *time controller*, dan *display*. Pada perancangan sistem elektronik tersebut diperlukan beberapa alat dan bahan diantaranya resistor, kapasitor, IC NE 555, IC 4518, IC 4017, transformator, LED, *push button*, dan kabel. Sedangkan pada rancang bangun bak celup diperlukan beberapa alat dan bahan diantaranya bak celup kaki, air bersih, kabel hitam dan merah, magnet neodymium, lem, dan isolator. Pada rancang bangun alat FRRS ini mengkombinasikan stimulasi listrik dan stimulasi dari elektroda magnet.

### 2.1 Perancangan Diagram Blok Sistem FRRS

Pada penelitian ini terdiri dari beberapa sirkuit elektronik, termasuk rangkaian *square-wave generator* persegi, *power supply*, *time display*, kontrol frekuensi, dan bak celup kaki dengan *electrode* magnet. Adapun diagram alir sistem ditampilkan pada Gambar 1. Dalam sistem FRRS, modul alat tersebut terhubung ke sumber daya dengan tegangan DC konstan 9 V. Pengguna perangkat FRRS dapat menyesuaikan kategori frekuensi sesuai dengan kebutuhan, yaitu frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Sistem ini dilengkapi dengan potensiometer sebagai selektor untuk intensitas *output* yang dihasilkan oleh perangkat. Intensitas *output* perangkat dapat disesuaikan sesuai dengan kondisi pengguna terapi FRRS. Selain itu, panel *display* menunjukkan durasi terapi pada skala menit, yang secara otomatis *off* ketika mencapai durasi 15 menit. Durasi tersebut didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan terdahulu bahwa waktu optimal terapi rendam kaki dapat meredakan rasa sakit pada 15-20 menit (Fadlilah et al., 2020; vakilinia et al., 2020; Warisyu et al., 2023). Pada rangkaian elektronik pada FRRS ini menggunakan pembangkit gelombang *square* yang kemudian menghasilkan frekuensi gelombang *spike*, Gambar 2 menunjukkan rangkaian pembangkit gelombang *square*. Dengan menggunakan rangkaian Differensiator RL maka akan diperoleh hasil gelombang keluaran menjadi pulsa berbentuk *spike*.

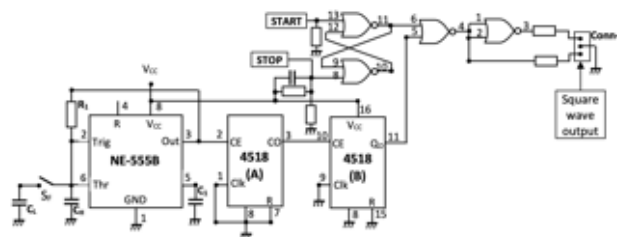


Gambar 1 Diagram Blok Rangkaian Elektronik FRRS

## 2.2 Perancangan Fisik Perangkat FRRS

Pada rancangan alat FRRS secara fisik menghasilkan bak celup kaki dengan *electrode* magnet pada bagian permukaan bak celup dan juga perangkat kontrol waktu dan intensitas frekuensi untuk terapi (Lee et al., 2011; Vieira et al., 2021). Pada perancangan fisik digunakan bak celup maupun elektroda magnet menggunakan bahan isolator sehingga aman digunakan oleh pengguna terapi.

Pada perancangan alat FRRS ini menggunakan prinsip stimulasi listrik dan magnet. Selain itu, panel tampilan menunjukkan durasi terapi pada menit, yang secara otomatis berhenti setelah lima belas menit. Durasi lima belas menit didasarkan pada temuan penelitian yang menunjukkan bahwa waktu yang ideal untuk terapi penyerapan kaki untuk meredakan rasa sakit adalah antara lima belas hingga dua puluh menit (Dehcheshme et al., 2016). Gambar 3 (a) menunjukkan bak celup kaki (30 cm x 20 cm x 15 cm) dan Gambar 3 (b) menunjukkan gambar perangkat FRRS (21 cm x 24 cm x 7 cm) dan. Probe atau elektroda dalam bentuk bak plastik digunakan untuk merendam kaki pengguna, dan elektroda magnetik terhubung ke bagian bawah bak celup.



Gambar 2 Rangkaian Elektronik Pembangkit Gelombang Square

## 2.3 Pengujian Efektivitas Penggunaan FRRS pada Kaki Nyeri

Selain perancangan alat FRRS, pada penelitian ini juga dilakukan pengujian efektivitas penggunaan FRRS terhadap 25 responden untuk mengetahui efektivitas frekuensi yang digunakan pada FRRS. Pada penelitian tahap pengujian ini dilakukan Teknik pengumpulan data dalam bentuk angket dimana responden mengisi kuisioner tingkat nyeri yang dirasakan sebelum dan setelah diberikan stimulasi dengan FRRS. Pada tahap uji efektivitas alat FRRS ini digunakan pada 25 orang responden yang sehat (dengan tekanan darah normal dan tidak ada riwayat sakit) pada poin kuisioner dicantumkan isian data berupa tekanan darah, tinggi badan, dan berat badan serta para responden juga mengisikan data Riwayat konsumsi obat dan sakit selama 6 bulan terakhir. Pada penelitian ini responden yang dilakukan uji memiliki beberapa kriteria lainnya diantaranya, merupakan responden berjenis kelamin laki-laki, setelah berkendara dengan mobil sejauh >100 km, rentang usia 35 – 50 tahun. Pemilihan rentang responden Berdasarkan kategori tersebut, pekerjaan responden subjek pada penelitian ini adalah mahasiswa, wiraswasta, karyawan, dan dosen.



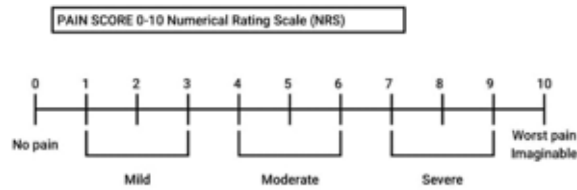
(a)



(b)

Gambar 3 Penampakan Bak Celup Kaki dengan Elektrode Magnet (a) dan Modul Perangkat FRRS (b)

Pada pengumpulan data responden dilakukan sebelum dan setelah memperoleh stimulasi menggunakan FRRS. Pada penelitian ini dilakukan *pre-test* dan *post-test* untuk mengetahui kategori skala nyeri pada kaki. Pada penelitian ini, menggunakan *Numeric Rating Scale* (NRS) untuk mengetahui kategori nyeri pada kaki responden. Adapun NRS tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Pada NRS tersebut, skala nyeri dapat dikategorikan skala nyeri mulai dari skala 0 (tidak nyeri), skala 1 (nyeri ringan), skala 4 – 6 (nyeri sedang), skala 7 – 9 (nyeri berat), dan skala 10 (nyeri terberat yang dirasakan).

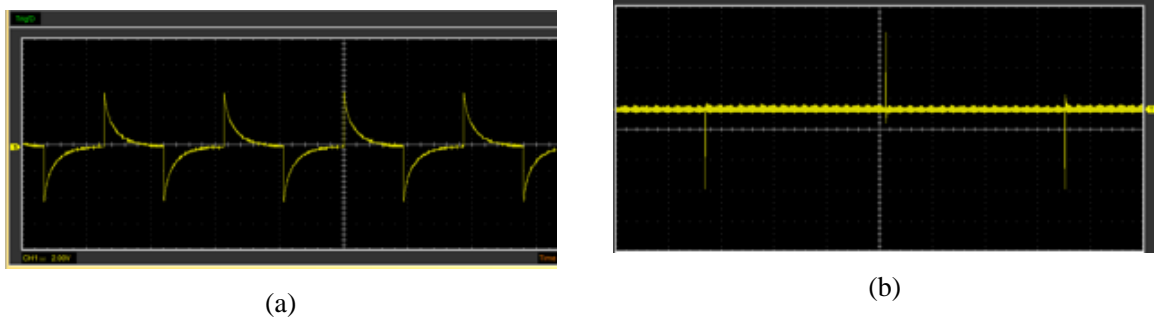


Gambar 4 Numeric Rating Scale (NRS) untuk Instrumen Pengukur Nyeri

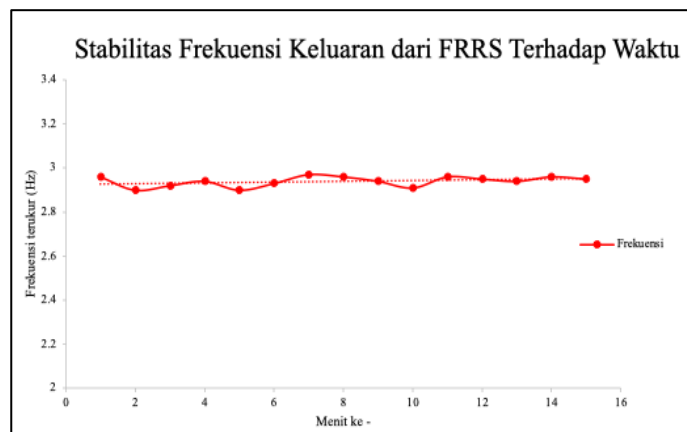
### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Hasil Perancangan Alat FRRS

Penggunaan perangkat TENS dengan variasi frekuensi rendah dan tinggi didasarkan pada pertimbangan dalam akupunktur, yaitu frekuensi untuk sedasi dan tonifikasi; penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa frekuensi antara 1 dan 15 Hz dianggap sebagai frekuensi rendah atau sedasi, dan frekuensi antara 15 dan 150 Hz dianggap sebagai frekuensi tinggi (Hutomo et al., 2019; Ross, 1995). Pada penelitian ini, hasil variasi frekuensi yang dihasilkan juga diamati menggunakan osiloskop digital untuk mengetahui profil gelombang keluaran yang dihasilkan. Berdasarkan data osiloskop yang ditampilkan pada gambar 5 (a) dan (b) diketahui bahwa terdapat perbedaan bentuk gelombang yang dihasilkan. Pada hasil gelombang frekuensi yang ditampilkan pada Gambar 5 (a) diperoleh hasil gelombang berupa *spike-biphase pulse*. Gambar 5 (a) dan (b) menunjukkan hasil observasi dari data profil frekuensi *output* perangkat FRRS bahwa amplitudo gelombang mencapai amplitudo yang dihasilkan cukup besar dan lebarnya cukup sempit (James et al., 2018). Lebar pulsa gelombang adalah panjang waktu ketika pulsa berada dalam fase positif atau negatif. Pulsa yang lebih kecil membantu menganalisis reaksi sel terhadap stimulus tertentu. Namun, jika lebar pulsa tersebut terlalu sempit, nilai energi yang dihasilkan akan rendah dan tidak dapat mencapai nilai potensial aksi yang diharapkan (James et al., 2018). Mekanisme untuk menghasilkan potensial aksi akan lengkap jika tingkat energi yang diberikan melebihi nilai ambang energi yang dihasilkan oleh potensial aksi. Namun, jika tingkat energi yang diberikan kurang dari nilai ambang energi yang dihasilkan oleh potensial aksi, mekanisme untuk menghasilkan potensial aksi tidak dapat dicapai.



Gambar 5 Profil Gelombang *Output* FRRS pada Osiloskop, (a) Frekuensi Tinggi (b) Frekuensi Rendah



Gambar 6 Uji Stabilitas Frekuensi Keluaran FRRS pada Low Intensity Terhadap Waktu Uji

Pada penelitian ini, alat FRRS mampu menghasilkan frekuensi rata-rata sebesar  $(2.94 \pm 0.022)$  Hz yang mana pada frekuensi ini berdasarkan pada hasil uji efektivitas pada responden menimbulkan sensasi seperti adanya pemukulan pada telapak kaki dan menyebabkan timbulnya efek getaran pada betis naracoba pada level intensitas skala 11 dari 13 skala level intensitas yang disediakan. pada frekuensi yang dihasilkan ini termasuk dalam kategori frekuensi rendah. Sedangkan, pada variasi frekuensi tinggi dengan nilai rata-rata frekuensi sebesar  $(97.6 \pm 0.195)$  Hz.

Pemberian stimulasi listrik pada tubuh dapat mengurangi rasa sakit atau nyeri dengan menggunakan frekuensi tinggi. Penggunaan elektrostimulator *Transcutaneous electrical nerve stimulation* (TENS) pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan TENS elektrostimulator dapat mengurangi rasa sakit pada kaki dengan memberikan stimulasi frekuensi tinggi dengan pulsa yang lebar. Pada frekuensi tinggi, hal tersebut dapat memberikan efek *analgesik naloxone, antagonis opioid*. Ini menunjukkan bahwa jenis rangsangan yang menggunakan mekanisme opioid (Griffin & Woolf, 2012; Grill & Mortimer, 1996; Ross, 1995; Scholz et al., 2009; White et al., 2018). Sedangkan, pada frekuensi rendah pada beberapa penelitian menyebutkan dapat menjadi alternatif terapi bagi pasien stroke, dengan dilakukan pemberian terapi stimulasi listrik frekuensi rendah dapat menyebabkan otot pada tubuh mengalami relaksasi pada otot dan memberikan rangsangan seperti dipijat (Davidovics et al., 2011; Loniza et al., 2022). Pada hasil penelitian ini, alat FRRS yang dirancang memiliki dua variasi keluaran frekuensi yang dihasilkan, yaitu frekuensi tinggi dan frekuensi rendah menjadikan modal alat tersebut dapat difungsikan sebagai alat relaksasi kaki sedangkan pada alat ini juga dapat memberikan rasa tarikan pada frekuensi tinggi. Pada uji stabilitas frekuensi keluaran yang dihasilkan oleh FRRS menunjukkan frekuensi telah stabil dalam periode 15 menit, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

### **3.2 Hasil Pengujian Efektivitas Penggunaan FRRS Untuk Menghilangkan Nyeri Akibat Kelelahan Pada Kaki**

Berdasarkan dari hasil pengujian diperoleh bahwa terdapat adanya penurunan skala nyeri yang dirasakan oleh partisipan setelah dilakukannya pemberian elektrostimulator pada kaki menggunakan FRRS. Berdasarkan data hasil pada Tabel 1, menunjukkan bahwa rata-rata tingkat nyeri yang dirasakan setelah diberikannya stimulasi menjadi sebesar 3.12 dengan mayoritas partisipan menunjukkan skala nyeri terbanyak berada pada skala 2. Uji t berpasangan dilakukan untuk mengetahui apakah ada perbedaan antara tingkat nyeri pada kaki, sebelum dan sesudah terapi ( $n = 25$ ). Tingkat nyeri pada kaki sebelum terapi memiliki nilai rata-rata 7 ( $SD = 1.15$ ), sedangkan tingkat nyeri pada kaki setelah terapi memiliki nilai rata-rata 3.12 ( $SD = 1.99$ ). Hasil uji menunjukkan bahwa perbedaan tingkat nyeri pada kaki sebelum dan sesudah memakai alat terapi secara statistik signifikan dan memiliki pengaruh efek yang besar,  $t(24) = 11.47$ ,  $p < .001$ , Cohen's  $d = 2.29$ , 95% CI [3.18, 4.58]. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat penurunan skala nyeri yang dirasakan oleh partisipan antara sebelum dan setelah diberikan stimulasi terdapat perbedaan yang signifikan dari skala 7 (sebelum perlakuan) menjadi skala 2 (setelah perlakuan).

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas FRRS dalam menghilangkan nyeri akibat kelelahan pada kaki. Pengujian ini melibatkan serangkaian pengukuran sebelum dan setelah penggunaan FRRS pada sejumlah partisipan yang mengalami kelelahan kaki. Berdasarkan hasil dari pengujian terhadap 25 partisipan menunjukkan bahwa sebelum diberikan stimulasi listrik dengan menggunakan FRRS, tingkat nyeri yang dirasakan oleh partisipan tersebut berada pada rentang skala nyeri 5 hingga skala nyeri 9 (menggunakan *NRS – Pain level*), dengan nilai skala nyeri rata-rata berada pada skala 7. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat nyeri tersebut berada pada level nyeri sedang hingga nyeri berat. Tingkat nyeri yang cukup tinggi tersebut disebabkan adanya kekakuan pada otot kaki akibat berkendara yang dilakukan oleh para partisipan. Saat berkendara jarak jauh, tubuh cenderung berada dalam posisi statis yang lama, dengan sedikit pergerakan pada otot kaki. Posisi duduk yang konstan dapat menyebabkan penumpukan ketegangan pada otot-otot, terutama pada ekstremitas bawah, yang akhirnya mengarah pada kekakuan otot. Aliran darah yang berkurang menyebabkan penurunan pasokan oksigen dan nutrisi ke otot, yang mengarah pada akumulasi asam laktat dan metabolit lain yang dapat menyebabkan rasa kaku dan nyeri pada otot (Farnia et al., 2019; Rambod et al., 2019). Dalam kondisi perjalanan yang cukup jauh, otot-otot kaki tetap dalam keadaan tegang untuk waktu yang lama tanpa kesempatan untuk rileks atau diregangkan. Ketegangan otot yang terus menerus ini dapat menyebabkan kekakuan dan bahkan spasme otot. Pada studi lain juga menyebutkan bahwa, pengemudi jarak jauh,

seperti pengemudi truk atau sopir taksi/bus/kendaraan umum, sering kali dilaporkan mengalami masalah kesehatan *musculoskeletal* (Rambod et al., 2019).

Dengan demikian, berdasarkan hasil dari pemberian perlakuan FRRS tersebut menunjukkan bahwa penggunaan FRRS mampu mengurangi nyeri secara signifikan pada partisipan yang mengalami kelelahan kaki. Hal ini diduga karena stimulasi listrik dan magnet yang diberikan oleh FRRS meningkatkan sirkulasi darah dan merelaksasi otot-otot yang tegang pada kaki. Penelitian ini menyimpulkan bahwa FRRS adalah alat yang efektif untuk mengurangi nyeri akibat kelelahan pada kaki. Dengan penurunan nyeri yang signifikan setelah penggunaan FRRS, perangkat ini dapat menjadi solusi praktis dan efisien untuk membantu meningkatkan kualitas hidup individu yang sering mengalami kelelahan dan nyeri pada kaki.

**Tabel 1** Tabel Data Hasil Tingkat Nyeri pada Kaki Sebelum dan Setelah pemberian FRRS

	Sebelum Perlakuan	Setelah Perlakuan	t	p
<b>Tingkat nyeri pada kaki</b>	M (SD) 7 (1.15)	M (SD) 3.12 (1.99)	11,47	.000

Catatan: Nilai tingkat nyeri berkisar dari 1 sampai 10

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini merancang dan menguji *Foot Reflection-Relaxation Stimulator* (FRRS), terapi refleksi kaki yang menggabungkan stimulasi listrik dan magnetik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa FRRS efektif mengurangi nyeri pada kelelahan kaki. Perangkat tersebut memiliki potensi besar sebagai solusi terapi yang efektif dan efisien. Penurunan skala nyeri menunjukkan hasil signifikan pada partisipan setelah penggunaan FRRS, dari skala rata-rata 7 (1.15) sebelum perlakuan menjadi 3.12 (1.99) setelah perlakuan. Dari sudut pandang biofisika, FRRS telah ditunjukkan untuk meningkatkan sirkulasi darah dan merelaksasi otot tegang, sehingga mengurangi nyeri. Elektroda magnetik membuat medan magnet yang menggerakkan ion dalam darah, meningkatkan aliran darah, dan membantu proses penyembuhan jaringan. Di sisi lain, stimulasi listrik melalui impuls menyebabkan kontraksi otot, yang meredakan rasa sakit.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur atas dukungan dana penelitian di bawah rencana Penelitian Dosen Pemula, Nomor: SPP/5/UN.63.8/LT/IV/2024, sehingga penelitian ini dapat dilakukan dengan benar dan tepat. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang karyanya sangat penting dalam pengumpulan data di lapangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Artioli, D. P., Tavares, A. L. de F., & Bertolini, G. R. F. (2021). Foot reflexology in painful conditions: systematic review. *Brazilian Journal Of Pain*, 4(2), 145–151. <https://doi.org/10.5935/2595-0118.20210022>
- Cai, D. C., Chen, C. Y., & Lo, T. Y. (2023). Foot Reflexology: Recent Research Trends and Prospects. *Healthcare (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/healthcare11010009>
- Davidovics, N. S., Fridman, G. Y., Chiang, B., & Santina, C. C. D. (2011). Effects of biphasic current pulse frequency, amplitude, duration, and interphase gap on eye movement responses to prosthetic electrical stimulation of the vestibular nerve. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(1), 84–94. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2010.2065241>
- Dehcheshme, S., H., Tasoujian, E., & Omid, A. R. (2016). The effect of eight weeks foot reflexology massage on balance and ankle joint proprioception error in elderly men. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, 4(8), 123–135.
- Embong, N. H., Soh, Y. C., Ming, L. C., & Wong, T. W. (2015). Revisiting reflexology: Concept, evidence, current practice, and practitioner training. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 5(4), 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2015.08.008>

- Fadlilah, S., Erwanto, R., Sucipto, A., Anita, D. C., & Aminah, S. (2020). Soak feet with warm water and progressive muscle relaxation therapy on blood pressure in hypertension elderly. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 14(3), 1444–1448.
- Farnia, F., Mokhtari, S., & Rahmanian, M. (2019). Effect of Warm Foot Bath on Fatigue among Diabetic Old Adults. *Elderly Health Journal*, 5(2), 102–107. <https://doi.org/10.18502/ehj.v5i2.2156>
- Fitriyah, N., Suryani Dyah Astuti, Suhariningsih, Winarno, & Reza Destiani. (2022). Pemanfaatan Elektrostimulator AES-5 Sebagai Terapi Komplementer untuk Meningkatkan Imunitas Tubuh di PT. Petro Graha Medika Klinik Satelit Kalimantan Gresik. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 5(1), 132–139. <https://doi.org/10.29303/jpmipi.v5i1.1035>
- Fu, Q., Yang, H., Zhang, L., Liu, Y., Li, X., Dai, M., Yang, Y., Yang, S., Xie, Y., Liu, Y., Fu, L., Liu, Z., & Zhang, Q. (2020). Traditional Chinese medicine foot bath combined with acupoint massage for the treatment of diabetic peripheral neuropathy: A systematic review and meta-analysis of 31 RCTs. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36(2), 1–15. <https://doi.org/10.1002/dmrr.3218>
- Griffin, R. S., & Woolf, C. J. (2012). *Pharmacology of analgesia*. Principles of pharmacology the pathophysiologic basis of drug therapy.
- Grill, W. M., & Mortimer, J. T. (1996). The effect of stimulus pulse duration on selectivity of neural stimulation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 43(2).
- Hayes, A. J., & Melrose, J. (2020). Electro-Stimulation, a Promising Therapeutic Treatment Modality for Tissue Repair: Emerging Roles of Sulfated Glycosaminoglycans as Electro-Regulatory Mediators of Intrinsic Repair Processes. *Advanced Therapeutics*, 3(11).
- Himmelstoss, F. A., Haas, G. A., Strummer, M. F., & Votzi, H. L. (2007). Electro foot-reflexology stimulator. *ISSCS 2007 - International Symposium on Signals, Circuits and Systems, Proceedings*, 2, 365–368. <https://doi.org/10.1109/ISSCS.2007.4292738>
- Hutomo, A. P., Suhariningsih, S., & Astuti, S. D. (2019). Rancang Bangun Sistem Pengendali Tegangan Stimulasi Elektrostimulator Otomatis Berbasis Resistansi Tubuh. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 20(3), 146. <https://doi.org/10.20473/jbp.v20i3.2018.146-159>
- James, D. C., Solan, M. C., & Mileva, K. N. (2018). Wide-pulse, high-frequency, low-intensity neuromuscular electrical stimulation has potential for targeted strengthening of an intrinsic foot muscle: A feasibility study. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0258-1>
- Kamill, M., Septiawan, T., & Taharuddin. (2020). Pengaruh Pemberian Terapi Elektroakupunktur terhadap Nilai Tekanan Darah pada Pasien Hipertensi : Literature Review. *BSR Borneo Student Research*, 2(1), 235.
- Lee, J., Han, M., Chung, Y., Kim, J., & Choi, J. (2011). Effects of Foot Reflexology on Fatigue, Sleep and Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 41(6), 821. <https://doi.org/10.4040/jkan.2011.41.6.821>
- Liu, F. S., Li, Y., Guo, X.-S., Liu, R.-C., Zhang, H.-Y., & Li, Z. (2022). Advances in traditional Chinese medicine as adjuvant therapy for diabetic foot. *World Journal of Diabetes*, 13(10), 851–860. <https://doi.org/10.4239/wjd.v13.i10.851>
- Loniza, E., Chairunnisa, K., & Wulandari, I. (2022). Development the Design of Foot Reflexology For Stroke Patient Based on Body Resistance Using Low Frequency. *International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS)*.
- Rambod, M., Pasyar, N., & Shamsadini, M. (2019). The effect of foot reflexology on fatigue, pain, and sleep quality in lymphoma patients: A clinical trial. *European Journal of Oncology Nursing*, 43(October), 101678. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2019.101678>
- Ross, J. (1995). *Acupuncture point combinations: The key to clinical success*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- S, C., Mailsamy, E., Subramani, A., & Muthusamy, J. (2019). Design an Electronic Enabled Organic Cotton House Slipper for Foot Reflexology Treatment. *Asian Journal of Convergence in Technology*, 05(01), 1–4. <https://doi.org/10.33130/ajct.2019v05i01.014>
- Saputra, K. (2017). *Akupunktur Dasar* (Edisi 2). Airlangga University Press.



- Scholz, J., Mannion, R. J., Hord, D. E., Griffin, R. S., Rawal, B., Zheng, H., Scoffings, D., Phillips, A., Guo, J., Laing, R. J. C., Abdi, S., Decosterd, I., & Woolf, C. J. (2009). A novel tool for the assessment of pain: Validation in low back pain. *PLoS Medicine*, 6(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000047>
- Shafeik, H. F., Abdelaziz, S. H., & ElSharkawy, S. I. (2023). Effect of Warm Water Foot Bath on Post Dialysis Fatigue in patients on Maintenance Hemodialysis. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 17(4), 52–54. <https://doi.org/10.53350/pjmhs202317452>
- Sluka, K. A., & Walsh, D. (2003). Transcutaneous electrical nerve stimulation: Basic science mechanisms and clinical effectiveness. *Journal of Pain*, 4(3), 109–121. <https://doi.org/10.1054/jpai.2003.434>
- Suryaningsih, S., Tasalim, R., & Rahman, S. (2022). Effect of Foot Reflection Massage on Blood Pressure Reduction in Hypertension Patients. *Journal of Advances in Medicine and Pharmaceutical Sciences (JAMAPS)*, 1(2), 44–51. <https://doi.org/10.36079/lamintang.jamaps-0102.442>
- vakilinia, S. R., Vaghasloo, M. A., Aliasl, F., Mohammadbeigi, A., Bitarafan, B., Etripoor, G., & Asghari, M. (2020). Evaluation of the efficacy of warm salt water foot-bath on patients with painful diabetic peripheral neuropathy: A randomized clinical trial. *Complementary Therapies in Medicine*, 49, 102325. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2020.102325>
- Vieira, A. K. S., Nagumo, M. T., Kuba, G., Kurebayashi, L. F. S., & Turrini, R. N. T. (2021). Effect of Foot Reflexology Protocol on Premenstrual Syndrome Symptoms in Nursing Students: a Pre-Post Pilot Study. *International Journal of Therapeutic Massage and Bodywork: Research, Education, and Practice*, 14(4), 1–11. <https://doi.org/10.3822/IJTMB.V14I4.631>
- Wafaa, G. M. A., & Yousif, T. M. A. (2022). Effect of Foot Reflexology on Relieving Labor Pain and Enhancing Satisfaction among Parturient Women. *Egyptian Journal of Health Care*, 13(1), 940–957. <https://doi.org/10.21608/ejhc.2022.222517>
- Wang, J., & Zhang, Y. (2021). Design of functional electrical stimulator for foot drop rehabilitation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1885(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1885/5/052005>
- Wardhani, P. C., Fauziyah, N. A., Fatikasari, A. D., Putriana, I., & Wasana, K. A., Ramadhani, P. (2023). Development of 3-Level-Intensity of Foot Reflection-Relaxation Stimulator for Pain Relieve Therapy. *PROISRM*, 8(2).
- Warisyu, B., Nurachmah, E., & Maria, R. (2023). Effects of Warm Water Foot Soak Therapy on Blood Pressure in Hypertension Sufferers: A Narrative Review. *Jurnal Berita Ilmu Keperawatan*, 16(1), 2023.
- White, A., Cummings, M., & Filshie, J. (2018). *An introduction to western medical acupuncture*. Elsevier Health Sciences.
- Yeun, Y. R., Kwak, Y. S., & Kim, H. Y. (2021). The Effects of Foot Reflexology on the Physical Symptoms of Cancer Patients. *Exercise Science*, 30(1), 8–15.
- Ying, J., Xiao, R., Xu, L., & Yan, M. (2023). Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) for Opioid-Induced Constipation in Palliative Care: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/5383821>
- Zhao, S., Mehta, A. S., & Zhao, M. (2020). Biomedical applications of electrical stimulation. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 77.