



LITERATUR REVIEW: PENINGKATAN Sirkulasi Kaki Dengan Stimulasi Listrik Pada Penderita Diabetes Mellitus

Kistan¹, Najman², Megawati Sibulo², Irawati², Muhammad Basri²

¹Program Studi S1 Keperawatan, Universitas Sipatokkong Mambo, Jl. Wahidin Sudirohusodo No.75, Macanang, Tanete Riattang Barat, Bone, Sulawesi Selatan 92711, Indonesia

²Program studi D3 Keperawatan, Institut Batari Toja Bone, Jl. Majang No.17, Watampone, Tanete Riattang Barat, Bone, Sulawesi Selatan 92711, Indonesia

[*ners.kistan155@gmail.com](mailto:ners.kistan155@gmail.com)

ABSTRAK

Diabetes Mellitus merupakan salah satu penyakit kronis yang dapat menyebabkan penderita mengalami gangguan sirkulasi darah perifer, terutama di ekstermitas bawah. Kondisi ini meningkatkan risiko ulkus kaki diabetik dan amputasi. Stimulasi listrik (electrical stimulation/ES) merupakan terapi non-farmakologis untuk memperbaiki aliran darah perifer. Tujuan literatur review ini untuk mengetahui pengaruh Simulasi listrik atau Electrical stimulation (ES) terhadap sirkulasi kaki, menganalisis jenis stimulasi dengan outcome klinis seperti aliran darah, suhu kulit, perfusi dengan rentang waktu 10 tahun terakhir. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa sumber Pustaka dari beberapa database jurnal Kesehatan dari tahun 2020-2025, yaitu Scopus, MDPI, Pubmed, Google scholar, dari 2.945 artikel sebanyak 7 artikel ditetapkan oleh penulis yang sesuai dengan kriteria inklusi Hasil penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh electrical stimulation/ ES pada perbaikan dan peningkatan sirkulasi kaki pada pasien diabetes mellitus. Seperti makrosirkulasi, intervensi ES terbukti meningkatkan ankle brachial index (ABI), absolute claudication distance (ACD), serta memperbaiki aliran darah perifer secara signifikan. Dari sisi mikrosirkulasi, ES berperan dalam mengaktifkan ekspresi faktor-faktor angiogenik seperti VEGF dan HIF-1 α , serta meningkatkan perfusi kulit dan saturasi oksigen jaringan, yang menjadi indikator penting dalam penyembuhan luka kronis. diperlukan studi jangka panjang yang menilai efek klinis berkelanjutan serta mengintegrasikan pendekatan fisiologis dan molekuler dalam desain penelitiannya.

Kata kunci: diabetes; sirkulasi kaki; stimulasi listrik

LITERATURE REVIEW: IMPROVING LEG CIRCULATION WITH ELECTRICAL STIMULATION IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a chronic disease that can cause patients to experience peripheral blood circulation disorders, especially in the lower extremities. This condition increases the risk of diabetic foot ulcers and amputation. Electrical stimulation (ES) is a non-pharmacological therapy to improve peripheral blood flow. The purpose of this literature review is to determine the effect of electrical stimulation (ES) on foot circulation, analysing the type of stimulation with clinical outcomes such as blood flow, skin temperature, perfusion within the last 10 years. This study was conducted by analysing literature sources from several health journal databases from 2020-2025, namely Scopus, MDPI, Pubmed, Google scholar, from 2.945 Article a total of 7 articles were determined by the author that met the inclusion criteria. The results of this study indicate the effect of electrical stimulation / ES on improving and improving foot circulation in patients with diabetes mellitus. As for macrocirculation, ES intervention was shown to increase ankle brachial index (ABI), absolute claudication distance (ACD), and improve peripheral blood flow significantly. In terms of microcirculation, ES plays a role in activating the expression of angiogenic factors such as VEGF and HIF-1 α , as well as improving skin perfusion and tissue oxygen saturation, which are important indicators in chronic wound healing. long-term studies that assess sustained clinical effects and integrate physiological and molecular approaches in their research design are needed.

Keywords: diabetes; electrical stimulation; foot circulation

PENDAHULUAN

Gangguan sirkulasi darah perifer merupakan kondisi yang meningkatkan risiko ulkus kaki diabetik yang sering terjadi pada penderita Diabetes Mellitus (Dinata & Yasa, 2021). Gangguan sirkulasi darah perifer ditandai dengan penurunan aliran darah ke ekstremitas bawah akibat penyempitan atau obstruksi arteri, ditandai dengan gejala seperti nyeri saat berjalan (klaudikasio), kaki dingin, luka yang sulit sembuh, serta penurunan Ankle Brachial Index (ABI). Jika tidak ditangani dengan baik, kondisi ini dapat menyebabkan iskemia kronik, ulserasi, infeksi serius, hingga amputasi ekstremitas bawah (Amrullah et al., 2025). Selain berdampak pada kualitas hidup, komplikasi ini juga berkontribusi terhadap meningkatnya angka morbiditas dan mortalitas pada pasien diabetes. Oleh karena itu, deteksi dini dan intervensi yang tepat terhadap gangguan sirkulasi darah perifer menjadi kunci utama dalam pencegahan komplikasi lanjut pada kaki diabetic (Oktalia et al., 2021).

Dua dekade terakhir, berbagai terapi non-farmakologis dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut. Salah satu tindakan yang sering digunakan adalah dengan menggunakan stimulasi listrik dengan metode elektroterapi neuromuskular atau electrical stimulation (ES), khususnya transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) dan neuromuscular electrical stimulation (NMES) (Zhou et al., 2018). Metode ini bekerja dengan mengaplikasikan arus listrik frekuensi rendah atau menengah ke otot atau saraf melalui elektroda yang ditempelkan pada kulit yang bertujuan untuk menstimulasi kontraksi otot dan meningkatkan aliran darah perifer (Tracy et al., 1988). Penggunaan stimulasi listrik terbukti mampu meningkatkan perfusi jaringan melalui aktivasi pompa otot, pelepasan nitric oxide, serta stimulasi angiogenesis yang mendukung pembentukan kolateral arteri. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa intervensi ini dapat meningkatkan ankle brachial index (ABI), suhu kulit ekstremitas, dan jarak berjalan pada pasien dengan penyakit arteri perifer, termasuk yang disertai diabetes mellitus. Oleh karena itu, stimulasi listrik menjadi salah satu pendekatan non-farmakologis yang menjanjikan dalam meningkatkan sirkulasi kaki pada pasien diabetes dengan gangguan vaskular perifer (Ellul, 2017; Iskandar et al., 2018).

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya pengaruh yang positif dari terapi stimulasi listrik terhadap peningkatan sirkulasi perifer, Namun, hingga saat ini kajian mengenai efektivitas ES dalam meningkatkan sirkulasi kaki pada pasien diabetes masih terbatas dan bervariasi dalam desain serta parameter yang digunakan. Oleh karena itu, penulis bermaksud menyusun sebuah literatur review untuk merangkum temuan-temuan ilmiah yang ada, serta mengevaluasi konsistensi dan mekanisme dari terapi stimulasi listrik terhadap perbaikan sirkulasi perifer pada penderita diabetes mellitus.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode literatur review, dilakukan pada tahun 2025, dibuat melalui pencarian di empat database (Scopus, MDPI, Pubmed, Google scholar) dalam memilih artikel yang akan dibahas menggunakan pedoman PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) flow chart diagram. Strategi pencarian terdiri dari populasi, konteks intervensi, pembandingan, Luaran, dan desain penelitian (PICOS), seperti pada tabel 1. Istilah pencarian menggunakan kata kunci “Simulasi listrik”, “sirkulasi darah”, “diabetes mellitus” Pada google scholar sedangkan pada Pubmed, Scopus, dan MDPI menggunakan kata kunci “Electrical Stimulation AND foot circulation AND diabetic foot ulcer OR diabetes mellitus”

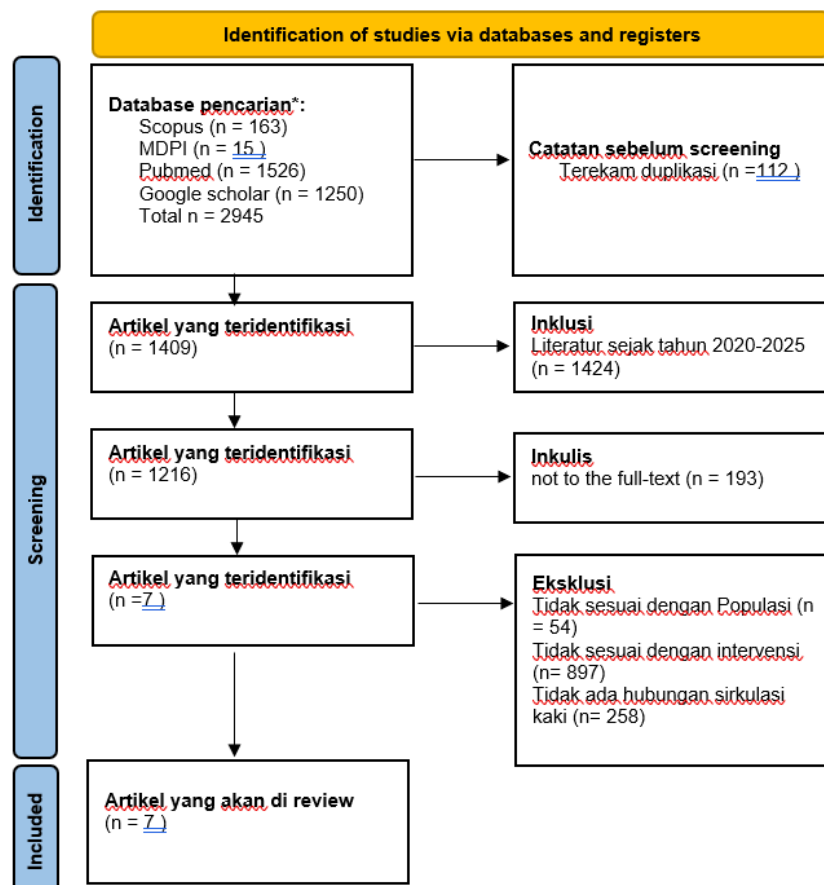
Tabel 1.
Strategi pencarian

Populasi	Pasien dengan diabetes Mellitus
Intervention	Simulasi Listrik
Compration	-
Outcome	Peningkatan sirkulasi kaki (mikrosirkulasi, aliran darah, suhu kulit, perfusi)
Study Design	Studi eksperimental atau kuasi-eksperimental.

Proses seleksi artikel, Setelah melalui diskusi antara penulis Artikel dimasukkan jika memenuhi kriteria inklusi seperti berikut: 1) artikel periode terbit 2020-2025, 2) Desain penelitian menggunakan metode uji coba atau kuasi eksperimen, 3) Partisipan harus pasien dengan diabetes mellitus, 4) peningkatan sirkulasi kaki merupakan hasil utama 5) Artikel penelitian harus berbahasa Indonesia atau Inggris, akses terbuka dan bebas untuk di unduh, menyediakan teks lengkap serta tidak ada duplikasi dalam data base.

HASIL

Sebanyak 2.945 artikel ditemukan melalui database elektronik yang relevan terdiri dari Google scholar 1250 artikel, Pubmed 1526 artikel, Scopus 163 artikel, MDPI 15 artikel. Setelah itu, dilakukan penghapusan duplikasi sebanyak 112 artikel dan dilakukan penyaringan berdasarkan tahun terbit dalam rentang waktu 10 tahun sehingga menyisahkan 1409 artikel. Pada tahap pengecekan kelayakan (eligibility), diterapkan kriteria eksklusi yaitu artikel yang tidak dapat diakses secara full text (sebanyak 193 artikel), tidak sesuai dengan populasi (sebanyak 54 artikel), tidak membahas mengenai stimulasi listrik (sebanyak 897 artikel), dan tidak ada hubungan mengenai sirkulasi kaki (sebanyak 258 artikel). Setelah dilakukan penyaringan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi diperoleh 7 artikel yang memenuhi kriteria dan layak untuk di review, proses penyeleksian literatur dicantumkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur Pencarian Artikel

Data diekstraksi dengan menggunakan template yang telah dirancang dan diuji cobakan yang mencakup beberapa variabel seperti: Identifikasi studi (judul dan Penulis), Negara tempat studi dilakukan, dan tahun, Metodologi penelitian menggunakan DSVIA (D: Desain studi, S: Sampel, V: Variabel, I: Instrumen, dan A: Analisis), dan ringkasan seperti tabel 2.

Tabel 2.
Artikel Review

No	Title, Author, Year	Research Method	Summary of Findings
1.	Angiogenic effects of low-intensity cathodal direct current on ischemic diabetic foot ulcersA randomized controlled trial (Asadi, 2017)	Study Design: Single-blind, randomized, placebo-controlled trial Sampel: 30 pasien diabetes tipe 2 dengan DFU iskemik Variabel: V,Ind: Hypoxic Inducible factor (HIF-1α), nitric oxide (NO), vascular endothelial growth factor (VEGF), soluble VEGF receptor-2 (sVEGFR-2) V.Dep: Pemberian stimulasi listrik katodal intensitas rendah (CDC) Instrumen: 1. ELISA: HIF-1α, VEGF, sVEGFR-2 (Cusabio Biotech, China) 2. Colorimetric assay: NO (Zellbio, Jerman) 3. Kamera digital + software CAD untuk menghitung luas (cm²) Analysis: Repeated-measure ANOVA dan Independent t-test	1. <i>VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) ES meningkatkan kadar VEGF secara signifikan setelah sesi pertama dan ke-12: Sesi 1: +36.77 pg/mL (p = 0.009), Sesi 12: +39.57 pg/mL (p = 0.019)</i> 2. <i>HIF-1α (Hypoxia-Inducible Factor-1α) Kadar HIF-1α meningkat signifikan setelah ES pada sesi 1 dan 12 (p = 0.019 dan 0.03)</i> 3. <i>Wound Surface Area (WSA) Kedua kelompok mengalami penurunan WSA, Penurunan WSA pada ES lebih besar secara signifikan: Sesi 12: 59.49% (ES) vs 27.07% (kontrol), p = 0.02</i>
2.	The Effectiveness of Calf Muscle Electrostimulation on Vascular Perfusion and Walking Capacity in Patients Living with Type 2 Diabetes Mellitus and Peripheral Artery Disease (Ellul, 2017)	Study Design: <i>Prospective, one-group pretest-posttest study</i> (tanpa kelompok kontrol) Sampel: 40 partisipan (30 pria, 10 wanita) dengan PAD bilateral (ABPI < 0.90), diabetes tipe 2, dan klaudikasio betis. Usia ≥ 55 tahun Variabel: V,Ind: V.Dep: Instrumen: 1. Veinoplus Arterial (alat elektro-stimulasi) 2. Huntleigh Dopplex untuk ABPI 3. Kamera termografik Flir i3 4. Protokol treadmill bertingkat 5. Analisis gelombang Doppler Analysis: <i>Paired t-test dan Wilcoxon signed-rank test</i>	1. ABPI meningkat signifikan setelah 12 minggu stimulasi (p = 0.001). 2. Jarak jalan maksimum (ACD) meningkat rata-rata 137 m (41%) (p = 0.000). 3. Suhu kaki saat istirahat naik sekitar 2°C di semua area (hallux, medial/lateral forefoot, dan tumit), semuanya signifikan (p = 0.000). 4. Efek positif elektro-stimulasi diusulkan melalui peningkatan perfusi arteri
3..	Perbandingan Senam Kaki dan Stimulasi Elektrik Terhadap Sirkulasi Kaki Pada Pasien Diabetes Melitus (Dharmajaya & Ariani, 2018)	Study Design: quasi eksperimen dengan pendekan pre and post test without control Sampel: 63 pasien DM Variabel: V,Ind: senam kaki dan stimulasi listrik V.Dep: Sirkulasi kaki Instrumen: ankle brachial index (ABI) Analysis: wilcoxon signed rank test	Terdapat perbedaan yang signifikan antara sebelum dan sesudah senam kaki (pvalue = 0,000), stimulasi listrik (pvalue = 0,000). Hasil perbandingan kedua intervensi Menunjukkan mean rank senam kaki 51,69 lebih rendah dari stimulasi listrik 75,31 (pvalue = 0,000). Stimulasi listrik lebih baik dalam meningkatkan sirkulasi kaki dibandingkan senam kaki. Stimulasi listrik menyebabkan peningkatan aliran darah pada area kaki melalui peningkatan vascular endothelial growth factor (VEGF) dan pelepasan

No	Title, Author, Year	Research Method	Summary of Findings
			nitric oxide (NO) sebagai vasodilator koroner, atau menghambat vasokonstriksi impatis.
4.	Pengaruh Stimulasi Listrik Terhadap Sirkulasi Kaki Pasien Diabetes Mellitus Tipe 2 (Iskandar et al., 2018)	Study Design: quasi eksperimen dengan pre and post test Sampel: 63 responden pasien diabetes mellitus type 2 Variabel: V,Ind: Stimulasi listrik V.Dep: Sirkulasi kaki Instrument: ankle brachial index (ABI) Analysis: wilcoxon signed rank test	Hasil analisa data menggunakan uji wilcoxon sebelum stimulasi listrik didapatkan nilai median ABI 0,80, sedangkan sesudah stimulasi listrik nilai median sebanyak 0,92 serta Pvalue 0,00. Artinya terdapat perbedaan sirkulasi antara sebelum dan sesudah stimulasi listrik pada pasien DM tipe 2
5.	Using Plantar Electrical Stimulation to Improve Postural Balance and Plantar Sensation Among Patients With Diabetic Peripheral Neuropathy: A Randomized Double Blinded Study (Najafi et al., 2017)	Study Design: Double-blind randomized controlled trial (RCT) Sampel: 28 peserta dengan Diabetes Tipe 2 dan Neuropati Perifer Diabetik (DPN) Variabel: V,Ind:Keseimbangan tubuh, gaya berjalan, sensasi plantar (PVT), dan Indeks Vaskular periver (ABI) V.Dep: Penggunaan stimulasi listrik plantar (aktif vs plasebo) Instrument: 1. Sensor keseimbangan dan gaya berjalan: BalanSens™ dan LegSys™ dari BioSensics 2. Tes VPT (Biothesiometer), ABI, CES-D, Barthel Index, FES-I Analysis: Unpaired <i>t</i> -tests, Mann-Whitney <i>U</i> -tests, and chi-square tests	1. Efek signifikan ditemukan pada kelompok intervensi (IG): Penurunan <i>ankle sway</i> hingga 34.4% ($p = .001$, $d = 0.76$), Peningkatan <i>cadence</i> (jumlah langkah per menit) sebesar 37.8% ($p = .000$, $d = 1.35$), Penurunan <i>VPT</i> rata-rata 27% ($p = .004$, $d = 1.15$) menandakan peningkatan sensasi plantar, Korelasi antara peningkatan VPT dan kecepatan langkah: $r = 0.56$, $p = .037$ 2. ABI menunjukkan perbaikan pada peserta dengan ABI awal >1.2 ($p = .041$, $d = 0.99$)
6.	Home-Based Electrical Stimulation to Accelerate Wound Healing—A Double-Blinded Randomized Control Trial (A. Zulbaran-Rojas et al., 2023)	Study Design: Double-blinded randomized controlled trial (RCT) Sampel: 38 peserta (33 dianalisis: IG = 16; CG = 17) diabetes tipe 2 Variabel: V,Ind: Intervensi <i>E-Stim</i> harian di rumah (IG) vs plasebo perangkat identik non-fungsional (CG) V.Dep: Luas luka, kedalaman luka, kecepatan penyembuhan luka dan <i>Skin Perfusion Pressure</i> (SPP) Instrument: 1. Kuesioner TAM: berbasis <i>Technology Acceptance Model</i> 2. Luas luka: 3D camera <i>Silhouette®</i> 3. SPP: SensiLase <i>Pad-IQ</i> 4. SatO2: Near-Infrared Camera <i>Snapshot NIR</i> Analysis: <i>Cohen's d</i> , OR & 95% CI, <i>Pearson/Spearman correlatio</i>	1. Efek terhadap luka: Luas luka menurun: $7.4 \rightarrow 5.8 \text{ cm}^2$ ($p = 0.002$, $d = 0.20$), Kedalaman luka: $3.0 \rightarrow 1.8 \text{ mm}$ ($p = 0.020$, $d = 0.51$), Kecepatan penyembuhan lebih tinggi di IG, meskipun tidak signifikan secara statistic 2. Efek terhadap perfusi dan Oksigenasi SatO2 meningkat: $47.3\% \rightarrow 63.3\%$ ($p = 0.015$, $d = 0.83$) 3. Neuropati dan senasadi plantar VPT membaik signifikan pada IG: Dari $25.6 \rightarrow 20.2 \text{ Volt}$ ($p = 0.049$ dibanding CG), Subgroup PAD: penurunan 91.2% ($p = 0.021$)
7.	Effectiveness of lower-extremity electrical stimulation to improve skin perfusion (Alejandro Zulbaran-Rojas et al., 2021)	Study Design: Randomized Control Trial Sampel: 38 pasien dengan DFU Variabel: V,Ind: electric stimulation (E-Stim Device) V.Dep: Skin Perfusion Instrument: 1. E-Stim Device, elektroda, Food and Drug Administration (FDA)–approved SensiLase <i>Pad-IQ</i> SPP device untuk mengukur perfusi kulit,	Tekanan perfusi kulit meningkat sebagai respons terhadap terapi E-Stim ($P = 0,02$), dengan perbaikan maksimum teramati pada menit ke-60 (11%; $P = 0,007$) dibandingkan dengan nilai awal; SPP berkurang 10 menit setelah terapi tetapi tetap lebih tinggi daripada nilai awal (9%; $P = 0,1$). Besarnya perbaikan pada menit ke-60 berkorelasi negatif dengan nilai SPP awal ($r = -0,45$; $P = 0,01$), yang

No	Title, Author, Year	Research Method	Summary of Findings
2.	infrared camera untuk mengukur SatO2 Analysis: analysis correlation pearson		menunjukkan bahwa mereka dengan perfusi lebih rendah dapat memperoleh manfaat lebih besar dari terapi E-Stim. Tren serupa diamati untuk SatO2, dengan perbaikan yang signifikan secara statistik untuk subsampel (n = 16) dengan penyakit arteri perifer sedang hingga berat.

PEMBAHASAN

Stimulasi listrik/ Electrical Stimulation (ES) telah berkembang sebagai salah satu intervensi non-farmakologis dan non-invasive. ES adalah intervensi serbaguna dengan berbagai aplikasi dalam rehabilitasi (Zhao et al., 2020). ES sering digunakan dalam meningkatkan sirkulasi kaki untuk penyembuhan luka kronis, khususnya pada penderita diabetes mellitus (DM). Berdasarkan telaah terhadap tujuh artikel yang dikaji, ditemukan konsistensi efek positif ES terhadap perbaikan sirkulasi kaki, namun dengan pendekatan, durasi, dan indikator evaluasi yang beragam. Berdasarkan laporan hasil review artikel tabel 2, terdapat dua pengaruh ES terhadap peningkatan sirkulasi kaki pada penderita diabetes mellitus yaitu secara makrosirkulasi dan mikrosirkulasi diantaranya yaitu:

Efektivitas stimulasi listrik terhadap parameter sirkulasi Makroskopik

Studi oleh Cristian et al. (2017) dan Iskandar et al. (2018) menunjukkan bahwa pemberian ES pada otot betis menghasilkan perbaikan signifikan pada ankle brachial index (ABI) parameter penting untuk menilai aliran darah makrosirkulasi di ekstremitas bawah. Cristian et al. melaporkan peningkatan ABI ($p = 0.001$) dan absolute claudication distance (ACD) setelah 12 minggu terapi ES berfrekuensi variabel (1–250 Hz). Hasil ini memperkuat peran ES sebagai terapi adjuvan yang efektif dalam meningkatkan elastisitas pembuluh darah dan aliran darah perifer.

Demikian pula, Iskandar et al. (2018) dalam desain quasi-eksperimen menemukan peningkatan median ABI dari 0,80 menjadi 0,92 ($p < 0.001$) setelah terapi ES selama dua minggu. Mekanisme fisiologis yang diduga terlibat adalah kontraksi ritmik otot betis yang dipicu oleh ES, yang bekerja seperti pompa otot untuk mempercepat aliran balik vena dan meningkatkan tekanan perfusi arteri lokal. Meski demikian, kedua studi ini belum menilai dampak jangka panjang terhadap penyembuhan luka atau komplikasi iskemik lainnya. Selain itu, penelitian oleh Najafi et al. (2021) menggunakan ES plantar berbasis rumah dan menemukan bahwa penggunaan harian selama enam minggu menghasilkan peningkatan perfusi kulit (dinilai melalui saturasi oksigen jaringan dan tekanan perfusi kulit), serta peningkatan kecepatan berjalan dan keseimbangan. Selain itu, ABI meningkat pada subjek dengan nilai awal >1.2 , yang menunjukkan bahwa bahkan pasien tanpa iskemia berat masih dapat memperoleh manfaat perfusi dari terapi ES. Studi ini menekankan bahwa ES tidak hanya meningkatkan aliran darah melalui pelebaran pembuluh atau kontraksi otot, tetapi juga memfasilitasi aktivasi neuromuskular dan sensorik, yang dapat memperbaiki muscle pump efficiency serta respons refleks lokal terhadap kebutuhan metabolik jaringan

Efektivitas stimulasi listrik terhadap parameter sirkulasi Mikroskopik

Penelitian oleh Asadi et al. (2017) menambahkan dimensi molekuler terhadap pemahaman efek ES. Melalui studi RCT pada pasien dengan diabetic foot ulcer (DFU) iskemik, mereka menunjukkan bahwa ES katodal arus searah intensitas rendah secara signifikan meningkatkan kadar VEGF dan HIF-1 α dalam cairan luka. VEGF merupakan faktor utama dalam angiogenesis, sedangkan HIF-1 α bertindak sebagai regulator utama dalam respons hipoksia jaringan. Meskipun tidak secara eksplisit mengukur perfusi dengan ABI, peningkatan dua biomarker ini memberikan bukti kuat bahwa ES dapat memicu respons biologis lokal untuk

meningkatkan vaskularisasi jaringan yang iskemik. Namun, perlu dicatat bahwa peningkatan ekspresi VEGF tidak selalu menjamin translasi ke peningkatan perfusi yang terukur secara klinis. Oleh karena itu, penggabungan antara parameter biologis dan klinis dalam penelitian mendatang menjadi penting. Penelitian serupa dilakukan oleh Darmajaya (2018), yang membandingkan senam dengan terapi stimulasi listrik dan menemukan bahwa Terdapat perbedaan yang signifikan antara sebelum dan sesudah senam kaki ($p\text{-value} = 0,000$), stimulasi listrik ($p\text{-value} = 0,000$). Hasil perbandingan kedua intervensi Menunjukkan mean rank senam kaki 51,69 lebih rendah dari stimulasi listrik 75,31 ($p\text{-value} = 0,000$). Stimulasi listrik lebih baik dalam meningkatkan sirkulasi kaki dibandingkan senam kaki. Stimulasi listrik menyebabkan peningkatan aliran darah pada area kaki melalui peningkatan vascular endothelial growth factor (VEGF) dan pelepasan nitric oxide (NO) sebagai vasodilator koroner, atau menghambat vasokonstriksi impatis.

Demikian pula Penelitian Zulbaran (2021), Tekanan perfusi kulit meningkat sebagai respons terhadap terapi E-Stim ($P = 0,02$), dengan perbaikan maksimum teramati pada menit ke-60 (11%; $P = 0,007$) dibandingkan dengan nilai awal; SPP berkurang 10 menit setelah terapi tetapi tetap lebih tinggi daripada nilai awal (9%; $P = 0,1$). Besarnya perbaikan pada menit ke-60 berkorelasi negatif dengan nilai SPP awal ($r = -0,45$; $P = 0,01$), yang menunjukkan bahwa mereka dengan perfusi lebih rendah dapat memperoleh manfaat lebih besar dari terapi E-Stim. Tren serupa diamati untuk SatO₂ dengan menggunakan kamera infrared ditemukan perbaikan yang signifikan secara statistik untuk subsampel ($n = 16$) dengan penyakit arteri perifer sedang hingga berat.

Penelitian lain oleh Zulbaran et al. (2023) mengevaluasi pendekatan terapi ES berbasis rumah (home-based E-Stim) pada pasien dengan DFU dan PAD ringan-sedang. Setelah 4 minggu intervensi, kelompok ES menunjukkan penurunan area luka sebesar 22% secara signifikan dibandingkan kontrol ($p = 0.002$). Efek terhadap perfusi dan Oksigenasi SatO₂ meningkat dari 47.3% menjadi 63.3% ($p = 0.015$, $d = 0.83$) hal tersebut dapat menjadi indikator tidak langsung dari perbaikan mikrosirkulasi jaringan. Temuan ini membuka prospek penerapan ES secara mandiri di rumah oleh pasien, yang dapat meningkatkan kepatuhan dan mengurangi beban perawatan klinis. Meskipun demikian, belum ada bukti langsung mengenai reduksi angka amputasi atau pencegahan ulkus, yang menjadi pertanyaan penting dalam efektivitas terapi dalam waktu jangka panjang.

SIMPULAN

Tinjauan literatur ini mengungkapkan bahwa Secara keseluruhan, stimulasi listrik terbukti memberikan dampak positif terhadap sirkulasi kaki pada penderita diabetes mellitus, baik melalui peningkatan indikator makrosirkulasi (seperti ABI dan ACD), pemulihan fungsi mikrosirkulasi (melalui peningkatan VEGF, perfusi kulit, dan saturasi oksigen), maupun efek fungsional berupa perbaikan gaya berjalan dan keseimbangan. Namun, untuk menjadikan ES sebagai bagian integral dari manajemen komplikasi vaskular diabetes, diperlukan studi jangka panjang yang menilai efek klinis berkelanjutan serta mengintegrasikan pendekatan fisiologis dan molekuler dalam desain penelitiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Amrullah, S., Ramadhan, R. A., Puspita, D., & Pratama, K. (2025). Risiko Ulkus Kaki Diabetik pada Pasien Diabetes Melitus. *Jurnal Riset Keperawatan dan Kesehatan*, 2(2), 67-73.
- Asadi, M. R. (2017). Angiogenic effects of low-intensity cathodal direct current on ischemic diabetic foot ulcersA randomized controlled trial. *Diabetes Research and Clinical Practice*(Query date: 2025-07-10 00:26:45), 147-155. doi:10.1016/j.diabres.2017.03.012

- Dharmajaya, R., & Ariani, Y. (2018). Perbandingan Senam Kaki dan Stimulasi Elektrik terhadap Sirkulasi Kaki Pada Pasien Diabetes Melitus Di Kota Lhokseumawe. Universitas Sumatera Utara,
- Dinata, I. G. S., & Yasa, A. A. G. W. P. (2021). Tatalaksana terkini infeksi kaki diabetes. *Journal Ganesha Medicina*, 1(2), 91-96.
- Ellul, C. (2017). The Effectiveness of Calf Muscle Electrostimulation on Vascular Perfusion and Walking Capacity in Patients Living with Type 2 Diabetes Mellitus and Peripheral Artery Disease. *Journal Clinical and Translational Research*(Query date: 2025-07-10 00:26:45), 122-128. doi:10.1177/1534734617705253
- Iskandar, I., Jaya, R. D., & Ariani, Y. (2018). Pengaruh Stimulasi Listrik Terhadap Sirkulasi Kaki Pasien Diabetes Melitus Tipe 2. Paper presented at the Talenta Conference Series: Tropical Medicine (TM).
- Najafi, B., Talal, T. K., Grewal, G. S., Menzies, R., Armstrong, D. G., & Lavery, L. A. (2017). Using Plantar Electrical Stimulation to Improve Postural Balance and Plantar Sensation Among Patients With Diabetic Peripheral Neuropathy: A Randomized Double Blinded Study. *Journal Diabetes Sci Technol*, 11(4), 693-701. doi:10.1177/1932296817695338
- Oktalia, A. W., Retnaningrum, Y. R., & Khotimah, S. J. J. S. D. K. (2021). Hubungan antara Penyakit Arteri Perifer dan Kadar HbA1c dengan Tindakan Amputasi Ekstremitas pada Pasien Ulkus Kaki Diabetik di RSUD Abdul Wahab Sjahranie Samarinda: Relationship between Peripheral Arterial Disease and HbA1c Levels with Amputation of Extremities in Diabetic Foot Ulcer Patients at Abdul Wahab Sjahranie Hospital Samarinda. 3(5), 715-721
- Tracy, J. E., Currier, D. P., & Threlkeld, A. J. (1988). Comparison of selected pulse frequencies from two different electrical stimulators on blood flow in healthy subjects. *Journal Physical therapy*, 68(10), 1526-1532.
- Zhao, S., Mehta, A. S., & Zhao, M. (2020). Biomedical applications of electrical stimulation. *Journal Cellular molecular life sciences*, 77(14), 2681-2699.
- Zhou, M., Li, F., Lu, W., Wu, J., & Pei, S. (2018). Efficiency of neuromuscular electrical stimulation and transcutaneous nerve stimulation on hemiplegic shoulder pain: a randomized controlled trial. *Journal Archives of physical medicine rehabilitation*, 99(9), 1730-1739.
- Zulbaran-Rojas, A., Park, C., El-Refaei, N., Lepow, B., & Najafi, B. (2023). Home-Based Electrical Stimulation to Accelerate Wound Healing-A Double-Blinded Randomized Control Trial. *Journal Diabetes Sci Technol*, 17(1), 15-24. doi:10.1177/19322968211035128
- Zulbaran-Rojas, A., Park, C., Lepow, B., & Najafi, B. (2021). Effectiveness of lower-extremity electrical stimulation to improve skin perfusion. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 111(6).