

Purwarupa Penurun Kadar Gula Darah Tubuh Melalui Stimulasi Listrik

Rika Wahyuni Arsianti¹, Muhammad Taufiqqurohman², Fairul³

^{1,3} Jurusan Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

² Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah

Jl. Amal Lama No.1 Kampus UBT, Tarakan 77115

E-mail: rika.arsianti@borneo.ac.id

ABSTRAKS

Salah satu upaya untuk mencegah terjadi komplikasi akut ataupun kronik pada pasien diabetes mellitus adalah dengan mempertahankan kadar gula darah dalam batas normal. Latihan fisik merupakan asuhan keperawatan diabetes mellitus dalam mengontrol gula darah karena saat melaksanakan aktivitas fisik terjadi peningkatan penggunaan glukosa otot. Namun tidak semua pasien diabetes mellitus mampu melaksanakan latihan fisik seperti usia lanjut dan pasien dengan nyeri lutut. Penelitian ini bertujuan untuk membuat purwarupa untuk menghasilkan kontraksi otot melalui penggunaan stimulasi listrik. Parameter stimulasi listrik yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sinyal impuls dengan frekuensi 20 Hz, lebar pulsa 200 μ s, dengan tegangan 70V. Subjek pada penelitian ini sebanyak dua orang sehat yang memperoleh intervensi stimulasi listrik masing-masing subjek sebanyak 3 kali dengan durasi waktu intervensi 30 menit. Data gula darah sebelum dan setelah intervensi akan dicatat untuk mengetahui pengaruh stimulasi listrik terhadap perubahan nilai gula darah sesaat. Hasil penelitian pada subjek pertama adalah terjadi pengurangan nilai gula darah sesaat pada tiap intervensi yaitu 25 mg/dL, 26 mg/dL dan 38 mg/dL. Sedang pada subjek kedua adalah pengurangan yang terjadi adalah 35 mg/dL, 27 mg/dL dan 35 mg/dL. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stimulasi listrik mampu menggantikan latihan fisik bagi pasien untuk menjaga kadar gula darah.

Kata Kunci: Boost Converter, Electrical Stimulation, Diabetes Mellitus

1. PENDAHULUAN

1.1 Gula Darah

Gula darah adalah bahan bakar karbohidrat utama dalam darah dan merupakan bahan bakar utama bagi banyak organ tubuh [1]. Kestabilan kadar gula harus dijaga agar fungsi tubuh dapat berfungsi optimal. Penumpukan gula darah merupakan salah satu penyebab diabetes. Pasien dengan gangguan diabetes mengalami gangguan produksi insulin sehingga gula darah dalam tubuh menjadi tinggi atau yang lebih dikenal dengan hiperglikemia. Jika kadar gula dalam darah tinggi dapat memicu kegagalan organ dan jaringan tubuh [2]. Latihan fisik pada penderita diabetes mellitus memiliki peran yang sangat penting dalam mengontrol gula darah karena saat melaksanakan latihan fisik terjadi peningkatan pemakaian glukosa otot sehingga kadar gula darah dalam tubuh akan menurun.[3],[4],[5].

Salah satu bentuk latihan fisik untuk mengontrol kadar gula darah dalam tubuh yaitu melakukan senam kaki. Senam kaki mudah untuk dilakukan namun efektif untuk menjaga kadar gula darah[6]. Manfaat lainnya yang diperoleh jika pasien diabetes teratur melaksanakan latihan fisik adalah dapat menurunkan berat badan, meningkatkan respirasi menurunkan LDL dan meningkatkan HDL untuk pencegahan penyakit jantung koroner [7]. Karena pentingnya

latihan fisik bagi pasien diabetes dalam mengontrol gula darah maka perlu dicari metode alternatif bagi pasien yang tidak mampu melaksanakan latihan fisik. Berbagai penelitian telah memusatkan perhatian pada hambatan untuk melaksanakan latihan fisik di antara pasien dengan nyeri pada lutut, terutama mereka yang berusia lanjut [8]. Tujuan penelitian ini adalah membuat purwarupa untuk menggantikan fungsi latihan fisik sebagai kontrol gula darah. Teknologi stimulasi listrik digunakan untuk menghasilkan kontraksi otot sebagai pengganti latihan fisik. Otot dapat berkontraksi ketika ada sinyal perintah dari otak yang terhubung ke otot melalui jaringan saraf [9]. Bagi pasien yang tidak dapat melaksanakan latihan fisik maka kontraksi otot dapat dihasilkan melalui stimulator listrik untuk menghasilkan kontraksi otot,

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Electrical Stimulation

Electrical Stimulation (ES) adalah salah satu bentuk rehabilitasi medis yang melewati sinyal listrik dengan parameter tertentu melalui elektroda permukaan untuk tujuan rehabilitasi *musculo skeletal*.

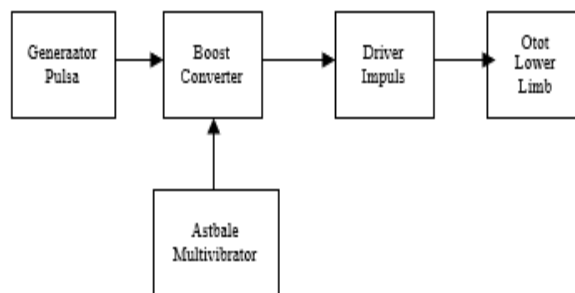
Parameter sinyal ES antara lain frekuensi, durasi, arus, bentuk sinyal dan amplitudo. Aspek utama yang menjadi pertimbangan dalam menentukan parameter stimulasi listrik adalah ketegangan kontraksi otot yang diinginkan. Sayangnya beberapa penelitian yang dilakukan untuk amplitudo dan intensitas stimulasi listrik masih didasarkan pada respon kenyamanan subjek [10]. Penelitian terhadap perubahan frekuensi stimulasi listrik terhadap hipertrofi otot [11]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meminimalkan ketidaknyamanan pasien seperti mengatur bentuk gelombang, mengatur frekuensi atau durasi lebar pulsa [12], [13], [14].

Pada penelitian ini parameter sinyal stimulator listrik yang digunakan adalah menggunakan sinyal impuls dengan frekuensi 20 Hz, durasi sinyal 200 μ s, arus 60 mA dan tegangan 0-100 V. Pemilihan parameter ini berdasarkan pada penelitian yang dilakukan sebelumnya untuk rehabilitasi pasien stroke [15]. Sinyal impuls pada penelitian ini akan dibangun oleh IC 555 melalui rangkaian multivibrator. Kemudian untuk menaikkan tegangan keluaran stimulator listrik menjadi 100 V maka pada penelitian ini menggunakan rangkaian *boost converter*. *Boost converter* adalah sebuah rangkaian untuk menaikkan sebuah level tegangan DC menjadi tegangan level DC lainnya. Penggunaan rangkaian boost converter telah banyak digunakan para peneliti untuk menaikkan tegangan pada panel surya [16], sebagai pengisi baterai pada sepeda listrik [17] dan aplikasi di mana diperlukan beberapa level tegangan terkontrol dengan *self-balancing* dan arus searah [18]. Pada penelitian ini *boost converter* digunakan untuk menghasilkan kontraksi otot pasien diabetes mellitus agar saat diberi stimulasi listrik terjadi peningkatan pemakaiannya glukosa otot. Sehingga bagi pasien diabetes mellitus yang tidak dapat melaksanakan latihan fisik yang merupakan pilar asuhan keperawatan diabetes mellitus maka purwarupa ini dapat dijadikan alternatif.

Otot yang akan diberi stimulasi listrik pada penelitian ini adalah otot vastus dan harmstring. Kedua otot ini merupakan otot besar pada ekstremitas bawah sistem rangka manusia. Sehingga otot vastus dan harmstring sering digunakan untuk rehabilitasi medik melalui stimulasi listrik [19].

3. METODE PENELITIAN

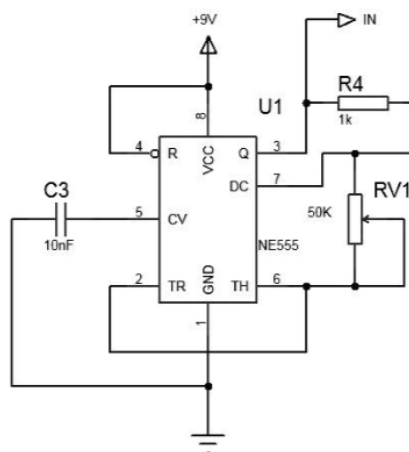
Electrical Stimulation sebagai alat penurunan gula darah terdiri dari rangkaian generator pulsa, rangkaian *boost converter*, rangkaian *Astable Multivibrator*, dan rangkaian pembangkit impuls seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok stimulator listrik

3.1 Rangkaian Generator Pulsa

Salah satu bentuk sinyal yang dapat digunakan pada stimulator ES adalah persegi. Pada penelitian ini bentuk sinyal yang digunakan adalah sinyal persegi. Rangkaian generator pulsa pada gambar 2 berfungsi membangkitkan sinyal persegi. Komponen utama rangkaian ini adalah IC LM555 dan komponen pendukung lainnya.



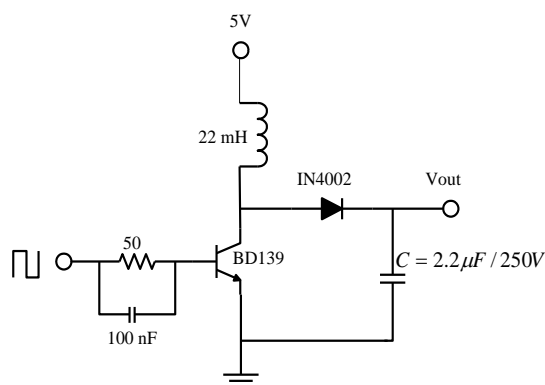
Gambar 2. Rangkaian Generator Pulsa

3.2 Rangkaian Boost Converter

Rangkaian *boost converter* berfungsi untuk menaikkan level tegangan dc menjadi tegangan dc yang lebih tinggi. Rangkaian *boost converter* ideal terdiri dari komponen utama yaitu saklar semikonduktor, dioda, induktor dan kapasitor. Ketika saklar tertutup arus akan mengalir melalui induktor dan energi akan tersimpan pada induktor. Pada saat saklar terbuka arus akan mengalir melalui dioda menuju kapasitor sehingga pada saat ini terjadi pengisian kapasitor. Induktor bertindak sebagai pompa yang berfungsi menerima energi ketika saklar tertutup dan mengalirkan energi ke kapasitor ketika saklar terbuka. Ketika saklar kembali tertutup maka akan terjadi penyimpanan energi pada induktor dan energi ini akan dialirkan ke kapasitor. Kenaikan tegangan pada kapasitor akan terus bertambah dengan

pemberian energi yang dialirkan dari induktor. Dalam perancangan rangkaian *boost converter* tegangan input, tegangan output dan arus beban disesuaikan dengan kebutuhan perancangan.

Parameter *electrical stimulation* yang dirancang pada penelitian ini adalah tegangan input 5V, tegangan output 100 V, frekuensi 0 – 500 Hz, *duty cycle* 50% dan arus beban sebesar 5 mA. Rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian *boost converter*

Untuk menentukan nilai induktor yang sesuai dengan parameter dapat ditentukan melalui persamaan (1)

$$L = \frac{(V_{out} - V_{in} + V_D)(1 - D)}{i_{load} \cdot f} \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) diperoleh besar nilai induktor adalah 19,14 mH. Harga induktor yang mendekati dari hasil perhitungan tersebut adalah 22 mH. Untuk menghitung nilai capacitor yang digunakan pada rangkaian *boost converter* adalah melalui persamaan (2).

$$C_s < \frac{1}{20 \cdot R_B \cdot f_{max}} \quad (2)$$

Besar nilai R_B yang digunakan pada rangkaian ini adalah 50 Ω dan frekuensi maksimum sebesar 500 Hz. Sehingga diperoleh nilai capacitor 2 μ F.

$$f_{max} = \frac{0.35}{100 t_r} \quad (3)$$

t_r merupakan waktu yang dibutuhkan transistor untuk berubah dari kondisi saturasi menjadi *cut off*. Dari persamaan (3) diperoleh waktu transisi sebesar 7 μ s. Dari nilai t_r dapat ditentukan jenis transistor yang digunakan pada rangkaian *boost converter* adalah transistor BD139.

3.3 Rangkaian Astable Multivibrator

Rangkaian *astable multivibrator* berfungsi sebagai penghasil sinyal ES dengan frekuensi 20 Hz dan durasi 200 μ s. Konfigurasi IC LM555 yang digunakan adalah *astabel multivibrator*, maka sinyal impuls yang dihasilkan mempunyai fasa yang berbeda 180° dengan sinyal yang diinginkan sebagai sinyal impuls stimulator *electrical stimulation*. Berikut perhitungan untuk menghitung nilai R_1 , R_2 dan C. Untuk menghasilkan lebar pulsa 200 us, dan frekuensi 20 Hz, maka desain $t_H = 0.04998$ s dan $t_L = 200$ us. Untuk desain ini pertama ditentukan nilai C yaitu 0.1 μ F dan R_2 ditentukan sebesar 3,3 K Ω . Untuk mencari nilai R_1 dapat dilakukan dengan persamaan (4) diperoleh nilai R_1 yaitu 682 K Ω .

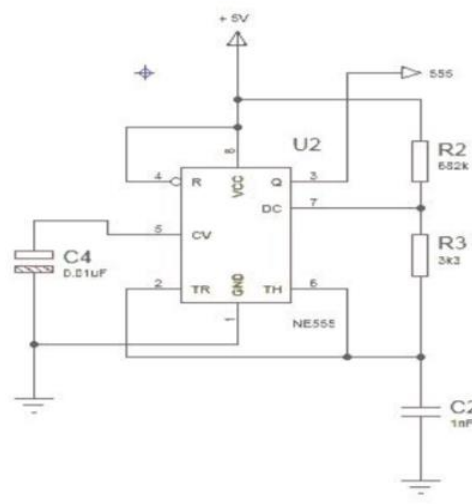
$$f_{rek} = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2) \cdot C} \quad (4)$$

Untuk menentukan nilai t_H dan t_L dapat dilakukan melalui persamaan (5) dan (6)

$$t_H = 0,693(R_1 + R_2) \cdot C \quad (5)$$

$$t_L = 0,693(R_2 \cdot C) \quad (6)$$

Dari persamaan (5) dan (6) diperoleh nilai $t_H = 49,87$ ms dan $t_L = 240$ μ s. Rangkaian *astable multivibrator* dapat dilihat pada gambar 4.

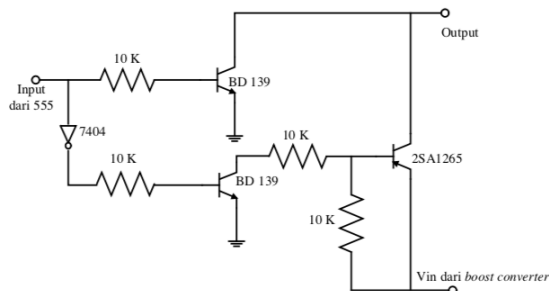


Gambar 4. Rangkaian *Astable Multivibrator*

3.4 Rangkaian Driver Impuls

Sinyal yang dihasilkan oleh IC LM555 oleh rangkaian generator pulsa memiliki bentuk sinyal yang terbalik dengan sinyal stimulator ES. Untuk itu dibutuhkan rangkaian pembalik tegangan dengan memanfaatkan transistor jenis NPN. Sedangkan untuk melewatkan sinyal yang dihasilkan oleh *boost converter* digunakan transistor jenis PNP. Fungsi transistor pada rangkaian ini adalah sebagai *switching*

yang bekerja pada daerah aktif dan *cutoff*.



Gambar 5. Rangkaian Driver Impuls

3.5 Metode Percobaan

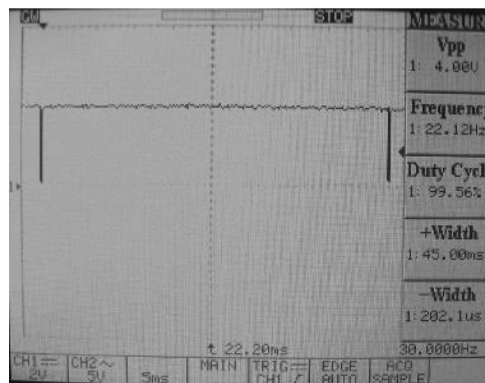
Untuk melakukan intervensi purwarupa *electrical stimulation* sebagai alat penurunan gula darah maka dibutuhkan beberapa persiapan. Tahapan pertama adalah memberitahu subjek penelitian tentang tujuan dan prosedur penelitian. Setelah subjek menyetujui maka tahapan selanjutnya adalah mengukur gula darah sebelum intervensi. Hal ini dibutuhkan untuk mencegah terjadinya hipoglikemia dan sebagai acuan untuk mengetahui penurunan yang terjadi setelah intervensi *electrical stimulation* diberikan. Nilai gula darah sesaat yang dapat dilanjutkan untuk pemberian intervensi berada pada $100 \text{ mg/dL} \leq x \leq 250 \text{ mg/dL}$.

Pemasangan elektroda permukaan sebanyak 4 buah dipasang pada otot vastus dan otot harmstring. Pemberian intervensi *electrical stimulation* akan dilakukan selama 30 menit. Kemudian pengukuran gula darah sesaat akan diukur 15 menit setelah intervensi selesai dilaksanakan. Nilai gula darah sebelum dan setelah intervensi akan dicatat untuk mengetahui besarnya perubahan nilai gula darah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Rangkaian Pulsa Generator

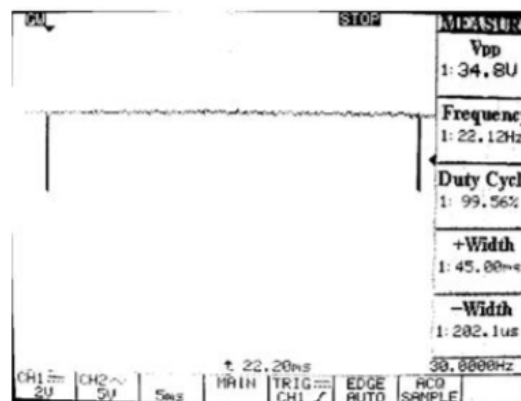
Keluaran sinyal dari rangkaian generator pulsa dapat dilihat pada gambar 6. Pengujian rangkaian driver impuls dilakukan untuk melihat apakah sinyal yang dihasilkan telah sesuai dengan karakteristik *electrical stimulation*. Dengan memberikan sinyal input dari IC 555 dan tegangan input dari *boost converter* maka keluaran sinyal yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 6. Sinyal impuls yang dihasilkan oleh rangkaian driver pulsa memiliki lebar pulsa sebesar 202.1 μs dengan frekuensi 22.12 Hz.



Gambar 6. Bentuk sinyal keluaran rangkaian generator pulsa

4.2 Pengujian Rangkaian Boost Converter

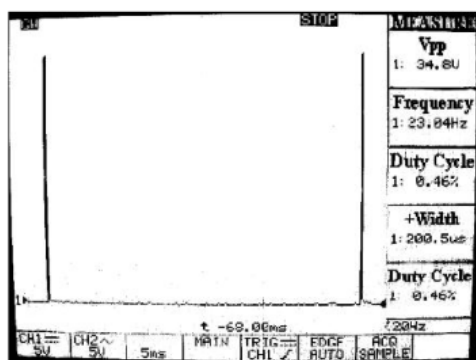
Setelah pengujian rangkaian generator pulsa dilakukan maka selanjutnya dilakukan pengujian terhadap keluaran rangkaian *boost converter*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan tegangan dari rangkaian generator pulsa 5V menjadi 100 V. Keluaran sinyal rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada gambar 7. Terlihat bahwa tegangan sebelum diberikan penguatan adalah 4 Vpp dan naik menjadi 100 Vpp setelah dimasukkan pada rangkaian *boost converter*.



Gambar 7. Sinyal keluaran *boost converter*

4.3 Rangkaian Driver Impuls

Pengujian rangkaian *driver impuls* dilakukan untuk melihat apakah sinyal yang dihasilkan telah sesuai dengan karakteristik ES. Dengan memberikan sinyal input dari IC 555 dan tegangan input dari *boost converter* maka keluaran sinyal yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 8. Sinyal impuls yang dihasilkan oleh rangkaian *driver pulsa* memiliki lebar pulsa sebesar 200.5 μs dengan frekuensi 23.04 Hz. Transistor PNP menghasilkan bentuk sinyal yang berbeda fasa 180° sehingga dari sinyal keluaran *boost converter*. Karena sinyal keluaran ini telah sesuai dengan parameter ES seperti yang telah ditentukan maka dapat diujikan pada subjek sehat untuk menurunkan nilai gula darah sesaat.



Gambar 8. Sinyal keluaran driver impuls

4.4 Pengujian stimulator ES pada subjek

Pengujian rangkaian *electrical stimulation* (ES) diujikan pada dua orang subjek sehat. Pemberian intervensi dilakukan sebanyak 3 kali dalam seminggu selama 30 menit. Hasil dari subjek pertama dapat dilihat pada tabel 1 dan hasil intervensi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil intervensi ES pada subjek 1

| Intervensi ke | Pre-Test (mg/dL) | Post-Test (mg/dL) |
|---------------|------------------|-------------------|
| 1 | 156 | 131 25 |
| 42 | 148 | 122 26 |
| 3 | 150 | 112 38 |

Tabel 2. Hasil intervensi ES pada subjek 2

| Intervensi ke | Pre-Test (mg/dL) | Post-Test (mg/dL) |
|---------------|------------------|-------------------|
| 1 | 123 | 88 35 |
| 2 | 127 | 100 27 |
| 3 | 130 | 95 35 |

Dari hasil intervensi pada kedua subjek terlihat bahwa terjadi penurunan nilai gula darah sesaat pada kedua subjek. Pada subjek pertama besarnya penurunan gula darah intervensi pertama hingga ketiga adalah 25 mg/dL, 26 mg/dL dan 38 mg/dL. Sedangkan pada subjek ke dua penurunan gula darah penurunan gula darah yang dihasilkan dari intervensi pertama hingga ketiga adalah 35 mg/dL, 27 mg/dL dan 35 mg/dL. Dari pengujian pada dua orang subjek sehat dapat diambil kesimpulan bahwa *electrical stimulation* yang diberikan pada otot vastus dan harmstring dapat menurunkan nilai gula darah sesaat. Pengurangan nilai gula darah pada tiap subjek akan berbeda karena perbedaan massa otot dan respon tiap manusia terhadap sinyal ES berbeda.

Rangkaian *boost converter* dapat diaplikasikan sebagai sebuah inovasi untuk alat penurun gula darah.

Namun untuk pemakaian pada pasien diabetes mellitus dibutuhkan pengawasan langsung dari paramedis untuk memastikan kondisi pasien stabil selama dan setelah diberikan intervensi *electrical stimulation*.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini telah berhasil dibangun sebuah alat untuk menurunkan gula darah sesaat dengan menggunakan rangkaian *boost converter*. Purwarupa alat penurun gula darah ini telah sesuai dengan sinyal yang diperbolehkan pada manusia karena telah sesuai dengan parameter sinyal yang dihasilkan oleh sistem saraf pusat. Ujicoba *electrical stimulation* pada dua subjek telah berhasil menunjukkan pengurangan nilai gula darah sesaat.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada LPPM Universitas Borneo Tarakan yang telah mendanai kegiatan penelitian ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Herwanto, F. Lintong, and J. F. Rumampuk, "Pengaruh aktivitas fisik terhadap kadar gula darah pada pria dewasa," *J. e-Biomedik*, vol. 4, no. 1, 2016, doi: 10.35790/ebm.4.1.2016.10859.
- [2] R. Fadhila, "Pengaruh Latihan Fisik Terhadap Kadar Glukosa Darah Penyandang Diabetes Melitus Tipe 2: Literature Review," *J. Keperawatan Abdurrab*, vol. 3, no. 1, pp. 17–24, 2019, doi: 10.36341/jka.v3i1.766.
- [3] B. D. Hardika, "Penurunan gula darah pada pasien diabetes melitus tipe II melalui senam kaki diabetes," *Medisains*, vol. 16, no. 2, p. 60, 2018, doi: 10.30595/medisains.v16i2.2759.
- [4] H. Zisser, P. Gong, C. M. Kelley, J. S. Seidman, and M. C. Riddell, "Exercise and diabetes.," *International journal of clinical practice. Supplement*, no. 170, pp. 71–75, 2011. doi: 10.1111/j.1742-1241.2010.02581.x.
- [5] D. Zdrengeha, D. Pop, O. Penciu, V. Zdrengeha, and M. Zdrengeha, "Rehabilitation in Diabetic Patients."
- [6] B. Dwi Hardika, P. Studi Ilmu Keperawatan, F. Ilmu Kesehatan Universitas Katolik Musi Charitas, and S. Selatan, "PENURUNAN GULA DARAH PADA PASIEN DIABETES MELITUS TIPE II MELALUI SENAM KAKI DIABETES."
- [7] Y. Alza, Y. Arsil, Y. Marlina, L. Novita, N. Dwi Agustin, and J. Gizi Poltekkes Kemenkes Riau, "AKTIVITAS FISIK, DURASI PENYAKIT DAN KADAR GULA DARAH PADA PENDERITA DIABETES MELLITUS (DM) TIPE 2," 2020.
- [8] J. Lawton, N. Ahmad, L. Hanna, M. Douglas, and N. Hallowell, "I can't do any serious

- exercise': Barriers to physical activity amongst people of Pakistani and Indian origin with Type 2 diabetes," *Health Educ. Res.*, vol. 21, no. 1, pp. 43–54, 2006, doi: 10.1093/her/cyh042.
- [9] A. Gunawan, "Mekanisme dan Mekanika Pergerakan Otot," *Integral*, vol. 6, no. 2, pp. 58–71, 2001.
- [10] C. S. Bickel, C. M. Gregory, and J. C. Dean, "Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation: A critical appraisal," *Eur. J. Appl. Physiol.*, vol. 111, no. 10, pp. 2399–2407, 2011, doi: 10.1007/s00421-011-2128-4.
- [11] Y. Ashida, K. Himori, D. Tatebayashi, R. Yamada, R. Ogasawara, and T. Yamada, "Effects of contraction mode and stimulation frequency on electrical stimulation-induced skeletal muscle hypertrophy," *J. Appl. Physiol.*, vol. 124, no. 2, pp. 341–348, 2018, doi: 10.1152/jappphysiol.00708.2017.
- [12] B. Dreibati, C. Lavet, A. Pinti, and G. Poumarat, "Influence of electrical stimulation frequency on skeletal muscle force and fatigue," *Ann. Phys. Rehabil. Med.*, vol. 53, no. 4, pp. 266–277, May 2010, doi: 10.1016/j.rehab.2010.03.004.
- [13] S. Witkowski, R. M. Lovering, and E. E. Spangenburg, "High-frequency electrically stimulated skeletal muscle contractions increase p70s6k phosphorylation independent of known IGF-I sensitive signaling pathways," *FEBS Lett.*, vol. 584, no. 13, pp. 2891–2895, 2010, doi: 10.1016/j.febslet.2010.05.003.
- [14] A. S. Gorgey and G. A. Dudley, "The role of pulse duration and stimulation duration in maximizing the normalized torque during neuromuscular electrical stimulation," *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, vol. 38, no. 8, pp. 508–516, 2008, doi: 10.2519/jospt.2008.2734.
- [15] Y. Hara, "Rehabilitation with Functional Electrical Stimulation in Stroke Patients," *Int. J. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 01, no. 06, 2013, doi: 10.4172/2329-9096.1000147.
- [16] C. Y. Sirait and H. Matalata, "Perancangan Boost Converter Dengan Ldr Sebagai Pengendali Sinyal Pwm Untuk Menaikan Tegangan Panel Surya," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 1, no. 2, p. 39, 2018, doi: 10.33087/jepca.v1i2.9.
- [17] E. Prianto, N. Yuniarti, and D. C. Nugroho, "Boost-Converter Sebagai Alat Pengisian Baterai Pada Sepeda Listrik Secara Otomatis," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 52–62, 2020, doi: 10.21831/jee.v4i1.32632.
- [18] J. C. Rosas-Caro, J. M. Ramirez, F. Z. Peng, and A. Valderrabano, "A DC-DC multilevel boost converter," *IET Power Electron.*, vol. 3, no. 1, pp. 129–137, 2010, doi: 10.1049/iet-pel.2008.0253.
- [19] Y. Bhambhani, C. Tuchak, R. Burnham, J. Jeon, and R. Maikala, "Quadriceps muscle deoxygenation during functional electrical stimulation in adults with spinal cord injury." [Online]. Available: www.nature.com/sc