

Revolutionizing Diabetes Care: Prototype SEPATU PINTAR BERBASIS IoT UNTUK Foot Health Monitoring

(Revolutionizing Diabetes Care: IoT-Based Smart Shoe Prototype for Foot Health Monitoring)

¹Supriyatin, ²Purwono, ³Anggit Wirasto

Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Harapan Bangsa
Jl. K.H. Wahid Hasyim No. 274 A, Kabupaten Banyumas, 53144, Indonesia
¹supriyatiny707@gmail.com; ²purwono@uhb.ac.id; ³anggitwirasto@uhb.ac.id

ABSTRACT

Diabetes Mellitus (DM) is a global health issue that continues to increase, including in Indonesia. One serious complication of DM is Diabetic Foot Ulcer (DFU), which requires specialized monitoring. This study develops a prototype IoT-based smart shoe to monitor foot health, especially in diabetic patients. The prototype is equipped with Force Sensing Resistor (FSR) sensors to measure foot pressure and thermistor sensors to measure the temperature around the foot. Data generated by these sensors are processed by the NodeMCU ESP32 microcontroller and sent to a local database server. Users can access this data through a web dashboard that displays patient information and visual graphs for easier monitoring. This research aims to monitor the foot health of DM patients. Test results show that the prototype successfully monitors foot pressure and temperature with reasonable accuracy. FSR sensor accuracy testing resulted in an average relative error of 1.91%, while thermistor sensor accuracy testing yielded an average relative error of 1.37%. System testing on the monitoring dashboard using black box testing also produced valid results.

Keywords : diabetes; smart shoe; IoT; health monitoring

ABSTRAK

Diabetes Mellitus (DM) merupakan masalah global yang terus meningkat, termasuk di Indonesia. Salah satu komplikasi serius DM yaitu Diabetic Foot Ulcer (DFU), yang memerlukan pemantauan khusus. Penelitian ini mengembangkan sebuah prototype sepatu pintar berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau kesehatan kaki, terutama pada pasien diabetes. Prototype ini dilengkapi dengan sensor Force Sensing Resistor (FSR) untuk mengukur tekanan kaki dan sensor termistor untuk mengukur suhu sekitar kaki. Data yang dihasilkan oleh sensor-sensor ini diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan dikirimkan ke database server lokal. Pengguna dapat mengakses data ini melalui web dashboard yang menampilkan informasi pasien dan grafik visual untuk pemantauan yang lebih mudah. Penelitian ini bertujuan untuk memantau kesehatan kaki pasien DM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototype ini berhasil dalam memonitor tekanan dan suhu kaki dengan tingkat akurasi yang baik. Pengujian akurasi sensor FSR menghasilkan nilai rata-rata relative error sebesar 1,91%, sedangkan pengujian akurasi sensor termistor menghasilkan nilai rata-rata relative error sebesar 1,37%. Pengujian sistem pada dashboard monitoring menggunakan black box testing juga menghasilkan hasil yang valid.

Kata kunci : diabetes, sepatu pintar; IoT; monitoring kesehatan



PENDAHULUAN

Diabetes Mellitus (DM) merupakan salah satu tantangan kesehatan global yang terus berkembang pesat. Menurut IDF (2021), *prevalensi* diabetes di seluruh dunia terus meningkat dan diperkirakan akan mencapai 10,5% dari populasi usia 20-79 tahun pada tahun 2021. Angka ini diproyeksikan akan tumbuh hingga 12,2% pada tahun 2045. Dalam konteks ini, Indonesia berada di peringkat kelima dengan jumlah pengidap diabetes sekitar 19,47 juta pada tahun 2021. Oleh karena itu, penanganan diabetes dan komplikasi yang terkait menjadi prioritas kesehatan global (Pahlevi, 2021).

Salah satu komplikasi serius yang dialami oleh penderita diabetes yaitu *diabetic foot ulcers* (DFU), yaitu luka yang muncul pada kaki sebagai akibat dari *neuropati diabetic* (kehilangan sensasi pada kaki) dan gangguan aliran darah yang sering terjadi pada penderita diabetes (IDF, 2021). Pasien diabetes memiliki risiko 15-25% DFU seumur hidup. DFU dapat berkembang menjadi jaringan *nekrotik*, dan dapat menyebabkan amputasi pada jari kaki, kaki, serta anggota badan (Reardon et al., 2020). Pemantauan pada penderita kaki diabetes sangat penting karena dapat membantu dokter dalam memperoleh diagnosis yang akurat dan menentukan proses pengobatan yang tepat untuk meningkatkan *prognosis* kaki diabetes (Wang et al., 2020).

Menurut (Moulaei et al., 2021), DFU sering terjadi pada orang dengan diabetes, terutama pada kaki. Tekanan pada permukaan kaki dapat menyebabkan kerusakan pada kulit dan jaringan lunak di bawahnya. Dalam penelitian, kuantifikasi atau pengukuran tekanan pada permukaan plantar kaki dapat membantu dalam menilai risiko pengembangan DFU pada pasien diabetes. Selain itu, sebuah penelitian menunjukkan bahwa ada hubungan positif antara peningkatan suhu dan fase pra-ulserasi. Suhu sekitar kaki yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi kesehatan kaki pengguna yang memiliki diabetes (Wang et al., 2020).

Perkembangan teknologi, khususnya dalam bidang *Internet of Things* (IoT), telah memberikan peluang baru dalam pengembangan solusi pemantauan yang lebih efektif dan canggih (Gokalgandhi et al., 2020). Salah satu inovasi terbaru yaitu pengembangan sepatu pintar (*smart shoes*) yang dilengkapi dengan berbagai sensor dan

teknologi canggih. Sepatu pintar ini dirancang untuk memantau tekanan kaki, dan suhu sekitar kaki pada pasien diabetes.

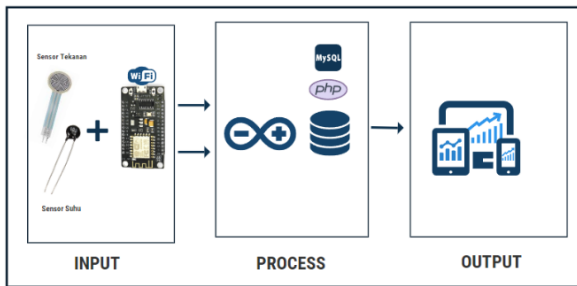
Penelitian (Tri Laksono & Hapsari, 2020) telah mencoba mengembangkan sepatu pintar untuk pemantauan kesehatan kaki pasien diabetes secara konvensional. Penelitian selanjutnya yaitu mengembangkan perangkat serupa berbasis seluler pada sepatu yang ada di pasaran untuk pemantauan kesehatan kaki (Kularathne et al., 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sepatu diabetes yang ada di pasaran belum sepenuhnya memenuhi kebutuhan pemantauan tekanan dan suhu kaki dengan baik.

Dalam konteks penyakit DM, masalah yang muncul yaitu perlunya pemantauan kesehatan kaki pasien DM, terutama dalam mencegah komplikasi serius seperti DFU yang terus meningkat. Kondisi ini memerlukan solusi inovatif, oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah *prototype* sepatu pintar berbasis IoT menggunakan sensor tekanan (FSR) dan sensor termistor yang dapat efektif memantau tekanan kaki dan suhu sekitar kaki pasien DM. Dengan pengembangan ini, diharapkan dapat memberikan solusi untuk pemantauan kesehatan kaki pasien DM yang lebih baik, memberikan alat yang berguna bagi tenaga medis dalam mendukung diagnosis dan perawatan, serta mengintegrasikan teknologi IoT dalam pemantauan kesehatan dengan manfaat dalam pencegahan komplikasi kaki DM secara lebih dini. Penelitian ini juga berusaha menjawab rumusan masalah tentang merancang dan membuat sepatu pintar berbasis IoT untuk monitoring tekanan dan suhu di sekitar kaki, serta proses monitoring tekanan dan suhu menggunakan sepatu pintar berbasis IoT pada kaki.

METODE PENELITIAN

Diagram Blok System

Perancangan sistem dilakukan secara cepat untuk dijadikan sebagai dasar pembuatan *prototype*. Perangkat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1, sebagai berikut:



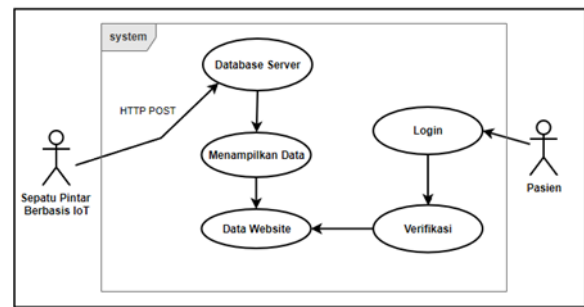
Gambar 1. Diagram Blok System

Pada gambar 1, penelitian ini melibatkan tiga komponen yaitu:

- **Input:** Komponen perangkat keras yang terpasang pada sepatu pintar. Ini termasuk sensor FSR untuk mengukur tekanan dan thermistor untuk mengukur suhu. Data yang dihasilkan oleh sensor-sensor ini akan diproses selanjutnya.
- **Process:** Bagian ini melibatkan perangkat lunak yang bertanggung jawab untuk memproses data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor input. Proses ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman C++ dalam lingkungan pengembangan Arduino IDE. Setelah data diproses, itu akan dikirim ke *database server*.
- **Output:** Komponen *output* melibatkan perangkat *monitoring* yang akan menampilkan data yang sudah tersimpan di dalam *database server*. Informasi ini akan diakses dan ditampilkan melalui sebuah *dashboard* berbasis web, memberikan akses yang mudah bagi pengguna untuk memonitor data tekanan dan suhu dari sepatu pintar secara *realtime*.

Use Case Diagram

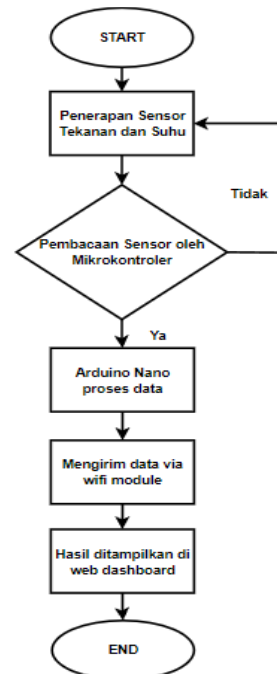
Berikut ini merupakan use case diagram pada sistem ini dapat dilihat pada gambar 2, sebagai berikut:



Gambar 2. Use Case Diagram

Pada gambar 2, terdapat dua aktor utama yang terdiri dari sepatu pintar berbasis IoT dan pasien. Sepatu pintar yang terpasang sensor FSR, thermistor, dan *NodeMCU ESP32* akan mengirim data ke *database server* dengan metode *HTTP POST*. Pasien dapat mengakses data tersebut setelah login dan terverifikasi oleh sistem. Data tersebut akan ditampilkan pada web *dashboard*.

Flowchart System



Gambar 3. Flowchart Sistem

Flowchart tersebut dapat dijelaskan bahwa perancangan sepatu pintar menggunakan sensor tekanan dan suhu, dimana ketika dilakukan pengujian akan melakukan pembacaan sensor. Kemudian Arduino Nano akan memproses data sesuai pemrograman yang diberikan. Data tersebut dikirim melalui

wifi module dari mikrokontroler. Selanjutnya data ditampilkan di web *dashboard*.

HASIL PENELITIAN

Pengembangan Hardware dan Software

Hasil perancangan sepatu pintar berbasis IoT dapat dilihat pada Gambar 4, sebagai berikut.

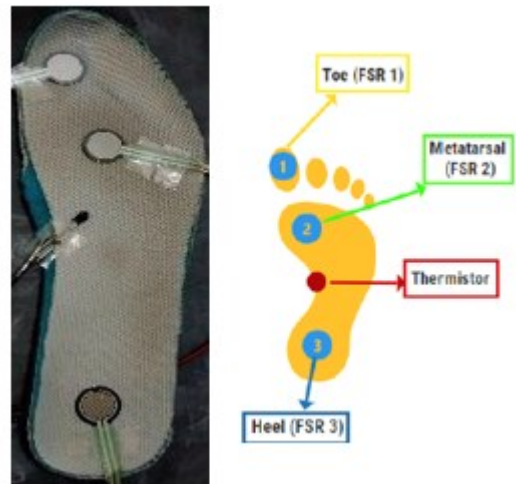


Gambar 4. Rangkaian Hardware

Pada Gambar 4, perancangan sepatu pintar menggunakan beberapa alat utama seperti:

- Mikrokontroler *NodeMCU ESP32* yang digunakan sebagai otak sistem untuk mengontrol semua operasi dan komunikasi di dalam sepatu pintar, mengambil data dari sensor FSR dan thermistor, serta mengolah data dan mengirim data tersebut ke *database server*.
- Sensor FSR digunakan untuk mengukur tekanan yang diterapkan pada bagian bawah kaki pasien.
- Sensor thermistor untuk mengukur suhu pada sekitar kaki pasien di dalam sepatu sehingga dapat memantau perubahan suhu yang mengindikasikan masalah kesehatan.

Pada penelitian ini, simulasi pemasangan sensor pada insole sepatu menggunakan kaki sebelah kanan. Insole sepatu terdiri dari tiga sensor FSR, satu sensor thermistor, serta NodeMCU ESP32 yang sudah terpasang pada papan breadboard dapat dilihat pada gambar titik letak sensor (Gambar 5) dan gambar posisi box (Gambar 6), sebagai berikut.



Gambar 5. Titik Sensor

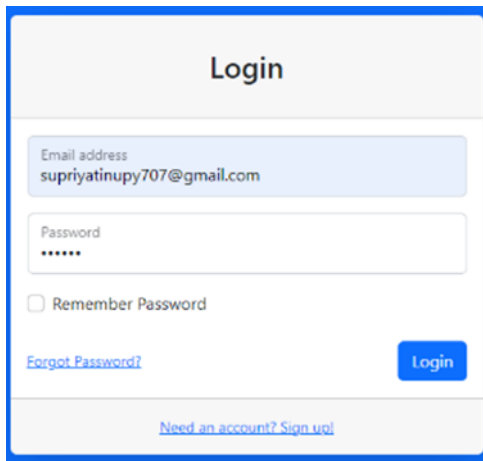
Pada Gambar 5, sensor FSR1 berada di titik *toe*, FSR2 berada di *metatarsal*, FSR3 berada di *heel*, dan thermistor berada di antara *metatarsal* dengan *heel*.



Gambar 6. Posisi Box

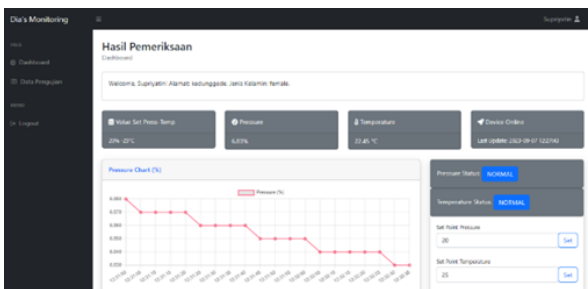
Pada Gambar 6, mikrokontroler yang digunakan untuk komunikasi dengan sensor dan *database* dipasang di betis bagian luar kaki pasien.

Hasil pengembangan *software* pada penelitian ini yaitu berupa *web dashboard* monitoring yang digunakan untuk memantau dan melacak data dari sepatu pintar secara *realtime*. Pasien dapat mengakses *web dashboard* ketika sudah berhasil memasukkan *username* dan *password* yang sesuai. Halaman login dapat dilihat pada Gambar 7, sebagai berikut.



Gambar 7. Sistem Login

Pada Gambar 7, halaman login terdiri dari dua input utama yaitu kolom "Username" (nama pengguna) dan kolom "Password" (kata sandi). Terdapat tombol "Login" yang akan digunakan untuk mengirim data login ke server. Setelah berhasil login, pasien akan diarahkan ke halaman dashboard. Halaman dashboard akan menampilkan informasi, seperti data tekanan dan suhu dari sepatu pintar yang dapat dilihat pada Gambar 8, sebagai berikut.



Gambar 8. Sistem Dashboard

Pada Gambar 8, sistem menampilkan halaman dashboard. Halaman dashboard akan menampilkan nama user, menu data pengujian, menu logout, widget value set poin pressure-temperature, widget pressure data, widget temperature data, last device online, pressure-temperature chart, pressure-temperature status, serta inputan untuk mengatur nilai pada set poin pressure-temperature.

Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi sensor pada penelitian ini dilakukan pada dua sensor, yaitu FSR dan thermistor. Pengujian akurasi FSR dilakukan dengan membandingkan beban yang besarnya sudah diketahui yaitu 0,500 kg.

Metode pengujiannya yaitu beban dengan berat 0,500 kg diletakkan di atas FSR kemudian hasil pengujian akan ditampilkan pada layar monitor dengan pengujian sebanyak lima kali pengujian. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1, sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian Akurasi Sensor FSR

Pengujian ke-	FSR1	FSR2	FSR3	Error (%)
1	0,495	0,498	0,489	1,2%
2	0,497	0,497	0,490	0,53%
3	0,498	0,496	0,490	0,53%
4	0,495	0,497	0,497	0,37%
5	0,496	0,497	0,493	0,47%
Rata-rata				1,91%

Hasil pengujian pada tabel 1, menunjukkan hasil pengujian FSR sebanyak lima kali tidak selalu sama dengan hasil yang sudah ditentukan beban tekanannya. Nilai rata-rata relative error pembacaan tekanan dari pengujian sebanyak lima kali yaitu 1,91%.

Sedangkan, pengujian akurasi thermistor dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari thermistor berupa suhu ruangan dengan hasil temperature room digital. Adapun hasil pengujian thermistor dapat dilihat pada tabel 2, sebagai berikut.

Tabel 2. Pengujian Akurasi Thermistor

Pengujian ke-	Temperature Room	Thermistor	Error (%)
1	23.0C	22.68C	1,39%
2	23.0C	22.36C	2,78%
3	24.0C	23.40C	2,5%
4	24.0C	23.64C	1,5%
5	24.0C	23.83C	0,70%
Rata-rata			1,37%

Hasil pengujian pada tabel 2, menunjukkan hasil pengujian dari thermistor sebanyak lima kali memperoleh rata-rata relative error yaitu 1,37%.

Pengujian Blackbox

Pengujian sistem pada penelitian ini menggunakan black box testing yaitu jenis pengujian perangkat lunak di mana pengujian dilakukan tanpa memerhatikan detail internal kode atau logika implementasi. Sebaliknya, fokusnya adalah pada perilaku perangkat lunak dan fungsi fungsionalnya. Hasil pengujian blackbox dapat dilihat pada tabel 3, sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem *Blackbox*

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Kesimpulan
Pengujian Halaman Login			
1	Username dan password tidak diisi kemudian klik tombol login	Sistem menolak dan menampilkan pesan "user not found".	Valid
2	Username diisi dan password tidak diisi kemudian klik tombol login	Sistem menolak dan menampilkan pesan "incorrect password".	Valid
3	Username tidak diisi dan password diisi kemudian klik tombol login	Sistem menolak dan menampilkan pesan "user not found".	Valid
4	Mengetikkan Username dan password tidak sesuai, kemudian klik tombol login	Sistem menolak dan menampilkan pesan "user not found".	Valid
5	Mengetikkan Username dan password sesuai, kemudian klik tombol login	Sistem menerima akses login dan menampilkan halaman dashboard.	Valid
Pengujian Halaman Dashboard			
6	Mengetikkan nilai inputan set poin untuk pressure dan temperature, kemudian tekan tombol set	Sistem menerima inputan dan menampilkan nilai set poin di card value set poin pressure-temperature halaman dashboard	Valid
7	Pressure status dan temperature status akan menampilkan pesan 'NORMAL' apabila pressure data dan temperature data lebih rendah dari nilai set poin yang diinputkan.	Status pressure dan status temperature menampilkan pesan 'NORMAL'.	Valid
8	Pressure status dan temperature status akan menampilkan pesan 'WARNING' jika pressure data dan temperature data lebih besar dari nilai set poin.	Pressure status dan temperature status menampilkan pesan 'WARNING'.	Valid
9	Device online akan menampilkan waktu terakhir mikrokontroler mengirim data ke database.	Device online menampilkan time terakhir data dikirim dari database.	Valid
10	Chart line secara dinamis akan menampilkan data rata-rata sensor dan	Halaman menampilkan chart line update	Valid

	temperature sesuai dengan data dari database server.	dari database server.	
Pengujian Pengiriman Data Sensor			
11	Pada pressure data dan temperature data akan menampilkan update data secara dinamis dari database server.	Data pressure dan temperature secara dinamis (tanpa perlu refresh) akan menampilkan update data sensor.	Valid
12	Menekan menu data pengujian maka akan diarahkan ke halaman detail data pengujian.	Halaman menampilkan detail data pengujian dalam bentuk tabel.	Valid
13	Menekan tombol print maka akan mencetak detail data pengujian.	Detail data pengujian dapat akan menampilkan pilihan untuk cetak.	Valid
14	Menekan menu logout untuk meninggalkan halaman dashboard monitoring.	Halaman meninggalkan dashboard dan menampilkan menu untuk login kembali.	Valid

Pada tabel 3, hasil pengujian sistem pada dashboard monitoring menggunakan *black box testing* menunjukkan keseluruhan valid atau sesuai dengan yang diharapkan.

SIMPULAN

Dalam penelitian ini, telah berhasil dirancang dan dikembangkan sebuah *prototype* sepatu pintar berbasis IoT yang bertujuan untuk memantau kesehatan kaki, khususnya pada pasien diabetes. *Prototype* ini menggunakan teknologi IoT dan sensor FSR serta thermistor untuk mengukur tekanan dan suhu di sekitar kaki pengguna. Hasil pengujian akurasi sensor FSR dan thermistor menunjukkan rata-rata *relative error* sebesar 1,91% dan 1,37%, secara berturut-turut. Selain itu, sistem monitoring pada *dashboard* telah diuji menggunakan *black box testing* dan menghasilkan hasil yang valid. Dengan demikian, penelitian ini berhasil merancang sebuah solusi inovatif untuk memonitor kesehatan kaki pasien diabetes melalui sepatu pintar berbasis IoT, dengan potensi memberikan manfaat yang signifikan dalam pencegahan dan pengelolaan komplikasi pada kaki mereka.

SARAN

Dalam konteks pengembangan sepatu pintar berbasis IoT untuk pemantauan kesehatan kaki pasien diabetes, terdapat beberapa saran yang perlu dipertimbangkan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memproses data yang diperoleh dari sepatu pintar lebih lanjut untuk deteksi potensi risiko ulkus kaki pada pasien diabetes. Hal ini memungkinkan pemberian peringatan dini kepada pasien yang memiliki risiko tinggi mengembangkan ulkus kaki, sehingga tindakan *preventif* dapat diambil lebih awal. Selain itu, perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan fungsionalitas web *dashboard* dengan mengintegrasikan sistem peringatan atau notifikasi. Dengan adanya notifikasi, pasien diabetes dapat segera diinformasikan jika kondisi kaki mereka menunjukkan potensi risiko ulkus sehingga dapat membantu pasien dalam memantau kesehatan kaki mereka dengan lebih efektif dan dapat mengambil langkah-langkah yang tepat.

Selanjutnya, pentingnya dalam melakukan pengujian lebih lanjut dengan melibatkan sampel penderita diabetes secara nyata sehingga dapat memberikan validasi yang kuat terhadap kinerja *prototype* sepatu pintar. Pengujian menggunakan sampel nyata juga akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang kemampuan deteksi dan akurasi dari sepatu pintar ini dalam situasi lingkungan yang nyata. Saran-saran tersebut diharapkan dapat membantu dalam mengarahkan penelitian selanjutnya untuk lebih mengoptimalkan fungsi dan manfaat dari sepatu pintar berbasis IoT ini dalam pemantauan dan pencegahan komplikasi kaki pada pasien diabetes.

DAFTAR PUSTAKA

Gokalgandhi, D. *et al.* (2020) 'A review of Smart Technologies Embedded In

Shoes', *Journal of Medical Systems*, 44(9). doi:10.1007/s10916-020-01613-7.

IDF *diabetes atlas 2021* (no date) *IDF Diabetes Atlas*. Available at: <https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/> (Accessed: September 2023).

Kularathne, N. *et al.* (2019) 'Dia-shoe: A smart diabetic shoe to monitor and prevent diabetic foot ulcers', *2019 International Conference on Advancements in Computing (ICAC)* [Preprint]. doi:10.1109/icac49085.2019.9103408.

Moulaei, K., Malek, M. and Sheikhtaheri, A. (2021) 'A smart wearable device for monitoring and self-management of diabetic foot: A proof of concept study', *International Journal of Medical Informatics*, 146, p. 104343. doi:10.1016/j.ijmedinf.2020.104343.

Pahlevi (no date) *Jumlah Penderita diabetes Indonesia terbesar kelima di Dunia: Databoks, Pusat Data Ekonomi dan Bisnis Indonesia*. Available at: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/11/22/jumlah-penderita-diabetes-indonesia-terbesar-kelima-di-dunia> (Accessed: September 2023).

Reardon, R. *et al.* (2020a) 'The diabetic foot ulcer', *Australian Journal of General Practice*, 49(5), pp. 250–255. doi:10.31128/ajgp-11-19-5161.

Tri Laksono, M.G. and Hapsari, I.F. (2020) 'Sepatu Untuk Mencegah Luka Pada Kaki Penderita Diabetes', *Jurnal Anggada*, 1. doi:10.2241/anggada.2020.v1.i1.006.

Wang, L. *et al.* (2020) 'A review of wearable sensor systems to monitor plantar loading in the assessment of diabetic foot ulcers', *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, pp. 1–1. doi:10.1109/tbme.2019.2953630.