

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama proses penelitian dilakukan pengujian yang meliputi karakterisasi sensor infra merah, karakterisasi sensor akselerometer, pengujian purwarupa, serta pengujian koneksi dan aplikasi pemantauan pada Blynk terhadap data yang dihasilkan oleh purwarupa. Parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah kadar glukosa darah dan jumlah langkah kaki. Data-data yang diperoleh diolah menggunakan bantuan *software* Microsoft Excel 365 untuk mendapatkan nilai rata-rata pengukuran, persentase error, ketelitian, dan ketepatan; serta *software* Origin 2022b digunakan untuk membentuk grafik yang ada pada bab ini.

A. Karakterisasi

Pembuatan purwarupa alat ukur glukosa darah dan jumlah langkah kaki diawali dengan melakukan karakterisasi terhadap sensor yang akan digunakan untuk mengetahui area kerja dan mendapatkan tingkat akurasi sensor ketika pengambilan data.

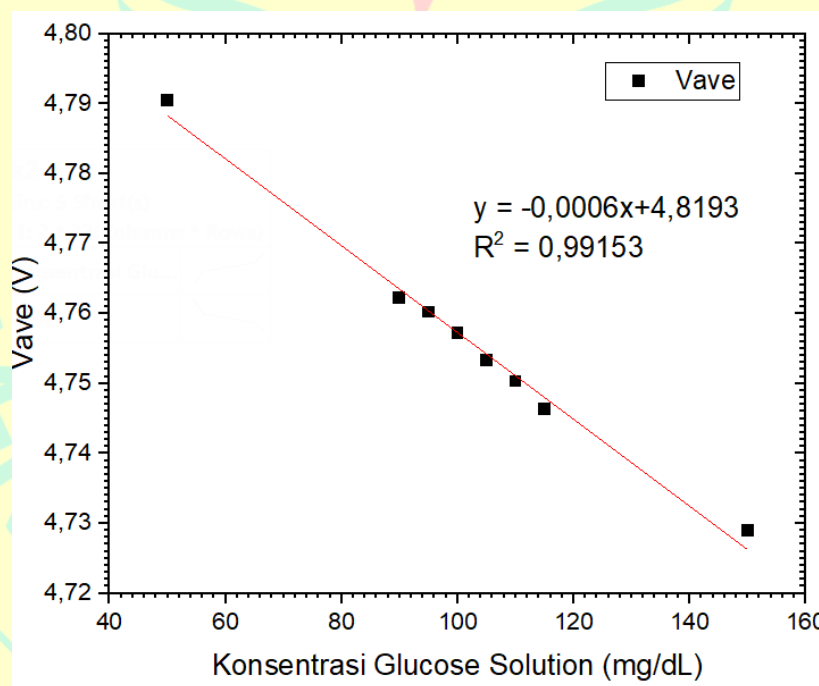
1. Karakterisasi Sensor Infra Merah

Penelitian ini menggunakan sensor infra merah yang terdiri dari pasangan IR LED 940nm dan fotodiode untuk mengukur perubahan konsentrasi glukosa. Ada dua tipe karakterisasi yang dilakukan, yaitu secara *in vitro* pada *glucose solution* dan *in vivo* pada tubuh manusia. Karakterisasi ini dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan yang dihasilkan rangkaian fotodiode dalam bentuk nilai ADC yang dikonversi ke dalam bentuk tegangan dengan satuan volt sebagai nilai transmitansi cahaya terhadap kadar glukosa dalam satuan mg/dL. Sebelum melakukan karakterisasi, sensor terlebih dahulu dibuat dudukannya menggunakan stik kayu yang berfungsi agar sensor tidak bergerak selama proses pengambilan data dan memastikannya berada pada satu garis lurus yang sama.

1.a. Karakterisasi in vitro

Pada bagian ini, diambil data dari 10 solusi dengan konsentrasi glukosa yang berbeda. Konsentrasi yang digunakan adalah, 50 mg/dL, 90 mg/dL, 95 mg/dL, 100 mg/dL, 105 mg/dL, 110 mg/dL, 115 mg/dL, dan 150 mg/dL.

Untuk melakukan pengambilan data, larutan solusi dimasukan ke dalam *cuvette* dan meletakkannya di antara IR LED dan fotodioda. Peletakkan dengan posisi seperti ini disebut metode transmitansi. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 data pembacaan sensor untuk setiap konsentrasi, lalu diambil nilai rata-ratanya. Hasil yang diperoleh diplot ke dalam grafik untuk melihat hubungan antara tegangan dan konsentrasi glukosa. Hasil yang didapat untuk setiap pengujian adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 1. Grafik Hubungan Tegangan Sensor Infra Merah terhadap Konsentrasi *Glucose Solution*

Dari grafik pada Gambar 4.1, hubungan antara tegangan sensor infra merah dan konsentrasi *glucose solution* diperoleh menggunakan regresi linier. Regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk mewakilkan dua variabel dengan asumsi hubungan keduanya didekati oleh persamaan garis lurus. Selain itu, penggunaan persamaan regresi ini mengacu pada kurva Beer-Lambert yang

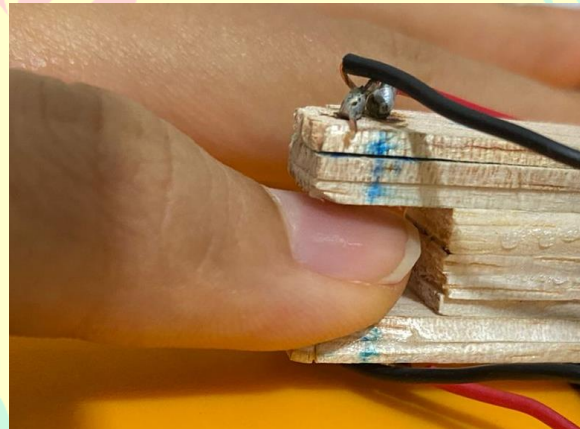
dinyatakan pada persamaan 2.11. Sehingga berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa tegangan keluaran menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi glukosa.

1.b. Karakterisasi *in vivo*

Selanjutnya, diambil data karakterisasi menggunakan tubuh manusia dari 3 probandus dengan pengukuran sebelum dan sesudah makan agar didapatkan nilai konsentrasi glukosa yang beragam. Profil probandus terlampir pada Lampiran 3. Kadar glukosa darah didapatkan dengan melakukan pengukuran secara invasif menggunakan *glucometer* Sinocare Safe-Accu dengan strip uji yang sesuai.



(a)



(b)

Gambar 4. 2. Karakterisasi *In Vivo*: (a) Pengambilan data menggunakan *Glucometer* Sinocare Safe-Accu; (b) Pengambilan data tegangan

Strip uji yang dipakai harus kompatibel dengan *glucometer* invasif yang digunakan. Jika pengujian menggunakan strip uji yang tidak kompatibel, alat tidak dapat digunakan untuk mengukur kadar glukosa darah. Data tegangan didapatkan dengan menempatkan ibu jari diantara IR LED dan fotodioda. Lokasi ini dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang ditujukan untuk melihat bagian tubuh paling optimum untuk dijadikan tempat peletakkan sensor.

Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 data pembacaan sensor dan elama pengujian, jari diletakkan tetap diantara sensor. Hasil pengambilan data karakterisasi *in vivo* secara keseluruhan terlampir pada Lampiran 4. Setelah semua data didapatkan, data diolah dengan mencari nilai tegangan rata-rata dari setiap

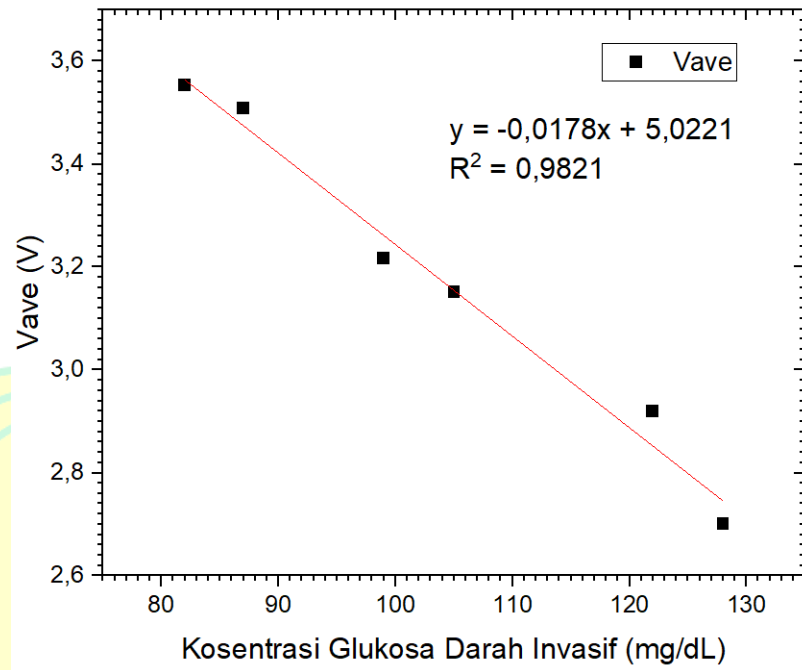
pengukuran seperti pada Tabel 4.1. Data tersebut digunakan untuk mencari hubungan tegangan dan konsentrasi glukosa darah serta nilai fungsinya.

Tabel 4. 1. Glukosa Darah Invasif dan Tegangan Rata-rata Pembacaan Sensor

Glukosa Darah Invasif (mg/dL)	Vave (V)
82	3,554
87	3,508
99	3,216
105	3,151
122	2,919
128	2,700

Hubungan antara tegangan rata-rata dan konsentrasi glukosa darah pun didapatkan dengan memplot hasil yang diperoleh ke dalam grafik menggunakan regresi linier. Gambar 4.2 menunjukkan hubungan antara konsentrasi glukosa darah dengan tegangan.

Ketiga probandus yang diuji memiliki profil yang cukup beragam dari usia, berat badan, dan tinggi badan. Faktor-faktor fisiologis seperti ketebalan jari, kondisi fisik atau aktivitas yang dilakukan sebelum pengukuran, serta jari yang bergerak dapat mempengaruhi hasil pengukuran.



Gambar 4. 3. Grafik Hubungan Tegangan Keluaran Sensor Infra Merah Terhadap Konsentrasi Glukosa Darah Invasif

Mengacu pada grafik di atas, invers persamaan linier yang didapatkan selanjutnya akan dimasukkan ke dalam algoritma *microcontroller*, sehingga nantinya alat tidak lagi menampilkan nilai tegangan melainkan nilai konsentrasi glukosa darah. Invers fungsi hubungan antara kadar glukosa darah dan tegangan dirumuskan sebagai:

$$y_1 = -55.214x_1 + 279.15 \quad (4.5)$$

y_1 menunjukkan konsentrasi glukosa darah dan x_1 sebagai nilai tegangan. Tanda negatif menunjukkan hubungan antara kedua variabel, yaitu nilai tegangan menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi glukosa darah.

2. Karakterisasi Sensor Akselerometer

Alat penghitung jumlah langkah kaki dalam penelitian ini dibangun menggunakan sensor akselerometer ADXL-335. Karakterisasi sensor akselerometer dilakukan dengan mencari nilai ambang (*threshold*) dimana sensor mampu mendeteksi langkah kaki dengan baik. Pengujian *threshold* dimulai pada

angka 20 karena nilai ADC (nilai percepatan) yang dihasilkan sensor dalam keadaan diam berada pada rentang 0-15. Data pencarian nilai *threshold* ini terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2. Pencarian Nilai *Threshold* Ideal untuk *Step Counter*

Nilai <i>threshold</i>	Langkah terdeteksi (Ya/Tidak)
20	Tidak
30	Tidak
40	Ya
50	Ya
60	Tidak
70	Tidak

Saat melangkah, nilai ADC yang dihasilkan akan berfluktuatif naik turun. Ketika nilai *threshold* yang dimasukkan terlalu rendah, nilai ADC yang dihasilkan sensor ketika berjalan belum sempat turun sampai ke bawah nilai *threshold* tersebut sehingga sensor mampu mendeteksi langkah. Ketika nilai *threshold* diatur terlalu tinggi, nilai ADC saat berjalan tidak mampu mencapai nilai ambang tersebut, sehingga deteksi langkah pun tidak terlalu baik. Berdasarkan tabel, nilai *threshold* yang mampu mendeteksi langkah adalah 40 dan 50. Karena kedua nilai ini mampu mendeteksi langkah dengan cukup baik, diambil nilai tengah dari keduanya yaitu 45 sebagai nilai *threshold* yang dipilih.

B. Pengujian Purwarupa

Pengujian purwarupa dilakukan untuk mengetahui alat ukur glukosa darah dan *step counter* yang dibangun dapat berjalan dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan secara terpisah, dengan artian pengecekan kadar glukosa darah tidak dilakukan saat sedang berjalan ataupun sebaliknya.

1. Pengujian Alat Ukur Glukosa Darah

Purwarupa alat ukur kadar glukosa darah dibuat seperti skema purwarupa pada Gambar 3.4. Di dalam box akrilik diletakkan mikrokontroler Arduino UNO, modul WiFi ESP-8266, serta rangkaian sensor infra merah yang dapat dilihat pada

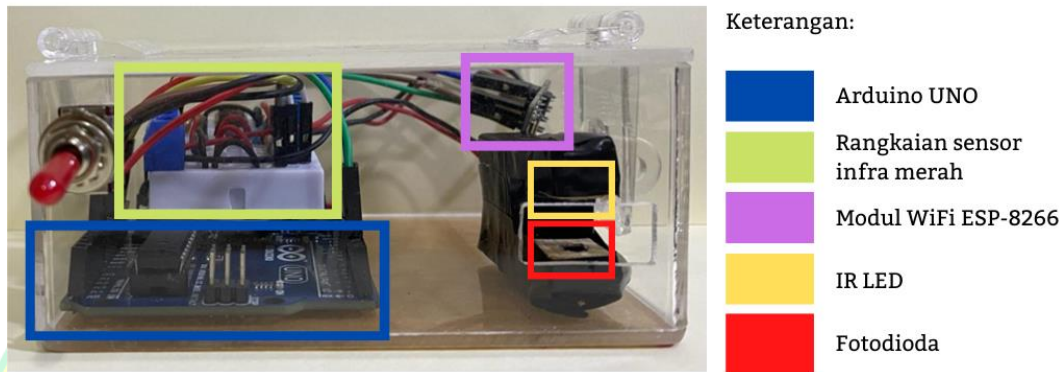
Gambar 4.4 (a). Pengujian alat ukur glukosa darah dilakukan kepada satu probandus kontrol (PrK) dengan profil terlampir pada Lampiran 1, probandus 1. Probandus kontrol adalah probandus yang nilai kadar glukosanya diamati secara berkala. Terhadap probandus, dilakukan pengukuran kadar glukosa darah secara invasif (X_a) menggunakan *glucometer* Sinocare Safe-Accu sebanyak satu kali dan dilanjutkan dengan menggunakan purwarupa alat (X_r) sebanyak lima data pengukuran. Metode ini dilakukan untuk lima kelompok pengukuran: pengukuran pertama adalah pengukuran glukosa darah puasa; pengukuran kedua sampai kelima adalah pengukuran glukosa darah setelah makan dengan rentang waktu pengukuran satu jam setelah pengukuran sebelumnya. Pengukuran menggunakan purwarupa alat rancangan dilakukan dengan menempatkan ibu jari diantara IR LED dan fotodioda seperti pada Gambar 4.4. (b). Nilai glukosa darah didapat dengan mengakuisisi 10 data pembacaan sensor dalam bentuk tegangan yang kemudian dirata-ratakan dan diproses menggunakan persamaan 4.5. Sehingga, nilai yang ditampilkan pada Blynk maupun serial monitor sudah dalam satuan kadar glukosa darah yaitu mg/dL.

Data pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.3. Nilai pertama yang didapatkan ketika melakukan pengukuran menggunakan purwarupa alat lebih tinggi dibandingkan pengukuran invasif, hal ini disebabkan karena jari diletakkan setelah sensor dinyalakan.

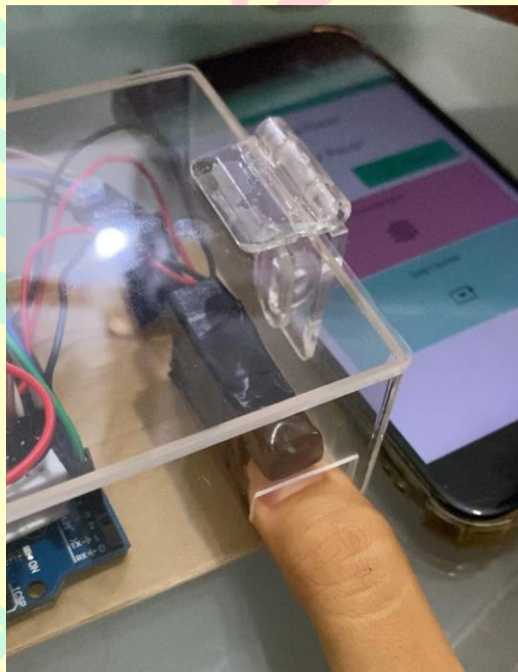
Setelah data diambil, dicari nilai rata-rata konsentrasi glukosa darah yang terbaca oleh alat yang dirancang ($\overline{X_r}$) untuk setiap kelompok pengukuran. Lalu dicari persentase error dan standar deviasinya untuk mendapatkan nilai ketepatan dan ketelitian pada setiap kelompok pengukuran. Hasil pengolahan data juga dapat dilihat pada Tabel 4.3. Nilai-nilai ini kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai ketepatan dan ketelitian total yang merepresentasikan ketepatan dan ketelitian alat secara keseluruhan. Nilai rata-rata ketepatan dan ketelitian yang didapatkan adalah 98.24% dan 98.31%.

Purwarupa alat ukur glukosa darah yang dibangun masih memiliki beberapa keterbatasan yaitu, bentuk yang belum terlalu baik, dimana dudukan sensor yang masih terbuat dari stik kayu. Selain itu, probandus yang digunakan masih terbatas

karena alat pembanding yang digunakan masih menggunakan metode invasif dan berpengaruh terhadap kesediaan dan kesiapan probandus.



(a)



(b)

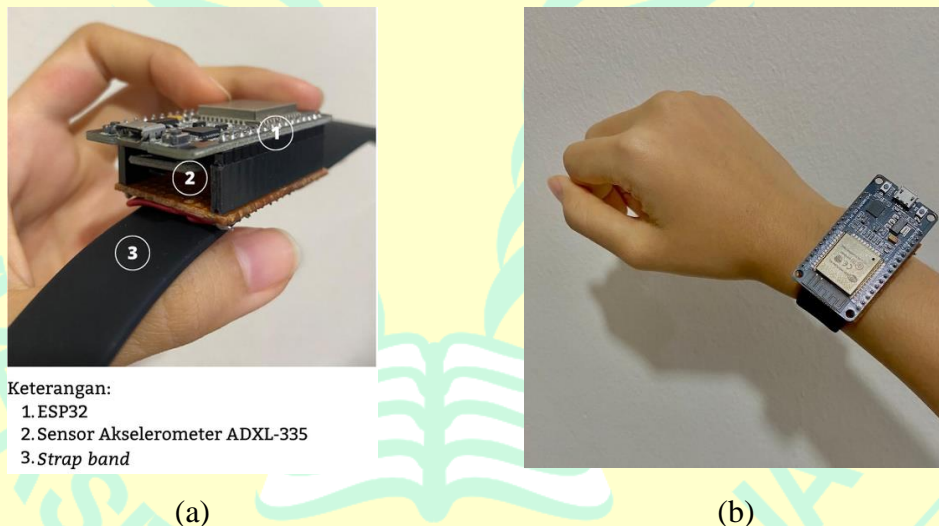
Gambar 4. 4. Pengujian Alat Ukur Glukosa Darah: (a) Bagian-bagian Purwarupa Alat; (b) Proses Pengambilan Data Menggunakan Purwarupa Alat.

Tabel 4. 3. Pengujian Alat Ukur Glukosa Darah yang Dirancang terhadap Pengukuran Invasif

Probandus	Kelompok Pengukuran	X_a (mg/dL)	X_r (mg/dL)	\bar{X}_r (mg/dL)	%Error	Std_r	%Ketepatan	%Ketelitian
PrK	1 (puasa)	73	77.216	74.4026	1.92	1.62	98.08	97.82
			73.459					
			73.459					
			74.392					
			73.487					
	2 (1 jam setelah pengukuran 1)	87	87.223	85.9922	1.16	0.85	98.84	99.01
			86.319					
			85.496					
			84.988					
			85.935					
	3 (1 jam setelah pengukuran 2)	93	97.56	95.7230	2.93	1.27	97.07	98.68
			96.491					
			95.147					
			94.626					
			94.791					
	4 (1 jam setelah pengukuran 3)	100	104.277	101.8590	1.86	2.84	98.14	97.22
			103.263					
			102.303					
			102.468					
			96.984					
5 (1 jam setelah pengukuran 4)	88	87.607	87.1850	0.93	1.05	99.07	98.80	
		88.759						
		86.319						
		86.209						
		87.031						

2. Pengujian *step counter*

Step counter dibangun menggunakan ESP32 dan sensor akselerometer ADXL-335 seperti skema pada Gambar 3.6 dan terealisasi seperti Gambar 4.5. Pengujian *step counter* dilakukan dengan melakukan perbandingan antara nilai keluaran sensor dalam bentuk jumlah langkah kaki dengan jumlah langkah kaki sebenarnya. Pengujian ini dilakukan dengan memakai *step counter* seperti gelang. Proses menghitung langkah pada alat ini adalah membandingkan nilai percepatan yang ditangkap sensor setiap melangkah terhadap *threshold*. Jika nilai percepatan melewati *threshold*, maka mikrokontroler akan menghitungnya sebagai langkah. Nilai percepatan tersebut didapat menggunakan persamaan 2.18. Namun karena akan digunakan sebagai penghitung langkah, sumbu yang mewakili *yaw-axis* tidak dimasukkan ke dalam perhitungan, yaitu sumbu-x.

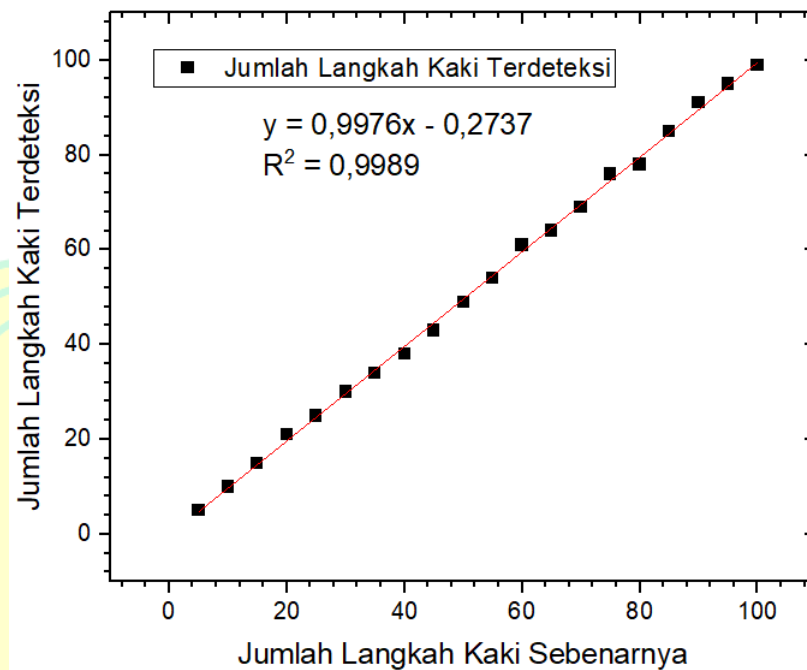


Gambar 4. 5. Pengujian Step Counter: (a) Purwarupa Alat; (b) Bentuk Saat Digunakan

Data langkah kaki yang diambil dimulai dari 5 hingga 100 langkah kaki dengan jarak pengukuran sebesar 5 langkah. Data yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 4. 3. Berdasarkan pengujian dan perhitungan menggunakan persamaan 4.4, didapatkan nilai error rata-rata pada *step counter* adalah sebesar 1,58%.

Step counter yang dibangun masih memiliki beberapa keterbatasan diantaranya, masih didaya menggunakan *power bank* dan belum dilengkapi

dengan tombol reset data pengukuran. Data masih direset dengan cara mencabut sumber tegangan pada alat.



Gambar 4. 6. Pengujian *step counter*

C. Integrasi Purwarupa dan Koneksi Internet

Pada penelitian ini digunakan dua jenis papan mikrokontroler. Purwarupa alat ukur kadar glukosa darah menggunakan Arduino UNO, sedangkan *step counter* menggunakan ESP32. Digunakan dua jenis mikrokontroler yang berbeda karena ketika memproses pengukuran kadar glukosa menggunakan ESP32, purwarupa tidak responsif dalam mendeteksi perubahan glukosa darah. Hal ini disebabkan karena ESP32 tidak begitu baik dalam mendeteksi perubahan nilai tegangan yang sangat kecil. Dalam pengiriman data secara *wireless*, Arduino UNO membutuhkan modul tambahan yaitu Modul WiFi ESP-8266 agar dapat terkoneksi dengan internet. Semua papan mikrokontroler ini dapat diprogram menggunakan Arduino IDE dengan beberapa perlakuan yang berbeda.

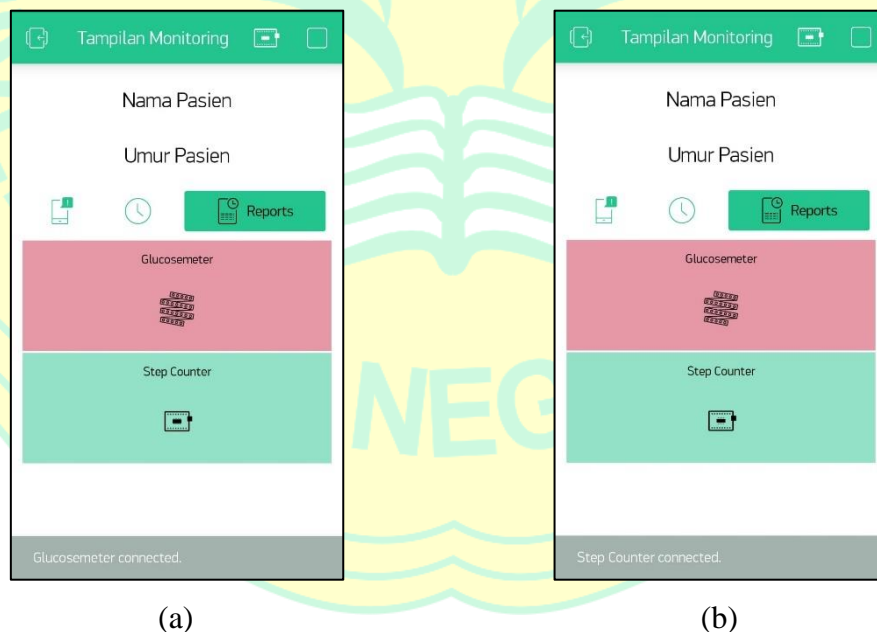
1. Integrasi Purwarupa Alat Ukur Glukosa Darah dan Koneksi Internet

Komunikasi antara Arduino UNO dan Modul WiFi ESP-8266 menggunakan komunikasi serial. Komunikasi ini adalah metode komunikasi mikrokontroler agar

dapat saling terhubung. Sintaks atau program yang digunakan untuk menghitung kadar glukosa darah dientrikan ke dalam Arduino UNO. Program ini disebut sebagai program utama. Sintaks yang dientrikan ke dalam Modul WiFi ESP-8266 bertujuan untuk meminta nilai kadar glukosa darah yang telah diproses Arduino UNO untuk kemudian ditampilkan pada aplikasi menggunakan jaringan internet. Jika purwarupa alat ukur glukosa darah sudah terkoneksi dengan internet, pada aplikasi akan muncul notifikasi seperti pada Gambar 4.4. (a).

2. Integrasi *Step Counter* dan Koneksi Internet

Berbeda dengan Arduino UNO, ESP32 tidak memerlukan tambahan modul *wi-fi* karena papan mikrokontroler ini sudah memilikinya. Saat menuliskan sintaks pada Arduino IDE, pendefinisian komunikasi serial tidak perlu dituliskan seperti ketika memprogram menggunakan Arduino UNO dan Modul WiFi ESP-8266. Pada program cukup langsung dituliskan *library* WiFi yang sesuai. Jika *step counter* telah terkoneksi dengan internet, pada aplikasi akan muncul notifikasi seperti pada Gambar 4.4. (b).

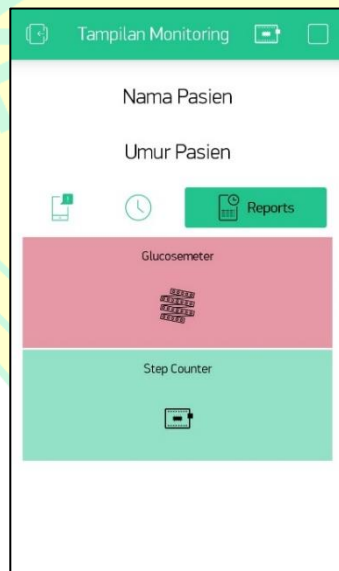


Gambar 4. 7. Purwarupa Terkoneksi Internet: (a) Purwarupa User Interface Alat Ukur Glukosa Darah; (b) *Step Counter*

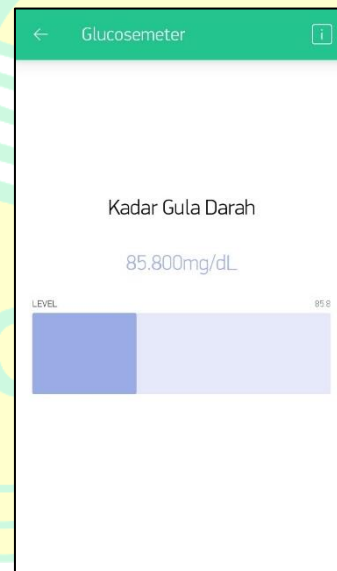
D. Pengujian Aplikasi

Aplikasi yang digunakan untuk melakukan pemantauan kadar glukosa darah dan langkah kaki dibangun menggunakan aplikasi Blynk yang dapat dioperasikan pada android. Pengujian ini dilakukan untuk melihat apakah data pengukuran mampu ditampilkan pada *smartphone* dan laporan pengukuran dapat terkirim melalui surel. Ada beberapa komponen yang terdapat pada aplikasi ini dan berikut adalah penjabarannya:

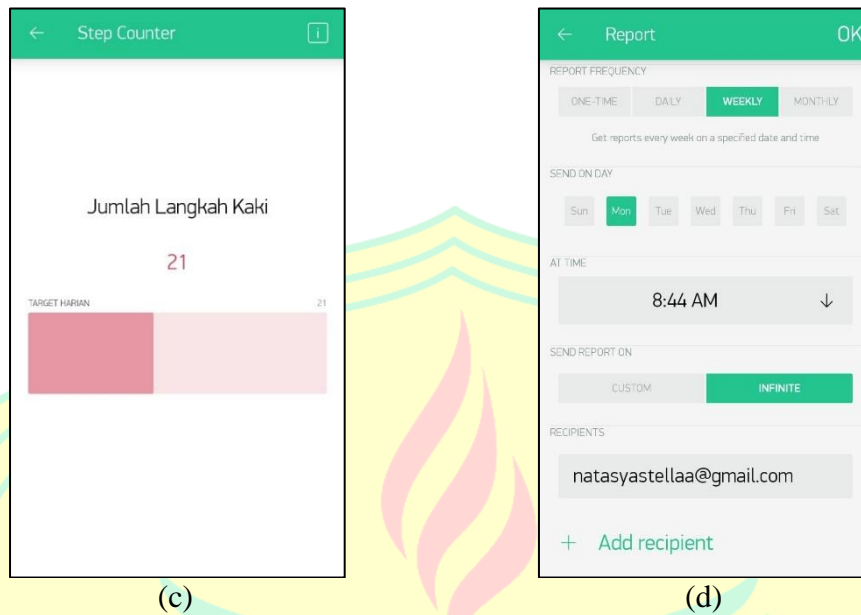
1. Halaman utama berisi tentang nama, umur, menu *glucosemeter*, menu *step counter*, dan menu *report*.
2. Halaman *glucosemeter* berfungsi untuk menampilkan nilai pengukuran glukosa darah.
3. Halaman *step counter* berfungsi untuk menampilkan jumlah langkah kaki.
4. Pada menu *report*, dapat dipilih frekuensi, hari, dan waktu pengiriman laporan, serta memasukkan alamat surel yang ingin dituju. Laporan pengukuran akan dikirimkan secara otomatis pada jam yang dipilih. Tampilan pada menu *report* tidak dirancang manual seperti halaman lain, tetapi sudah menjadi tampilan bawaan dari aplikasi Blynk yang digunakan.



(a)

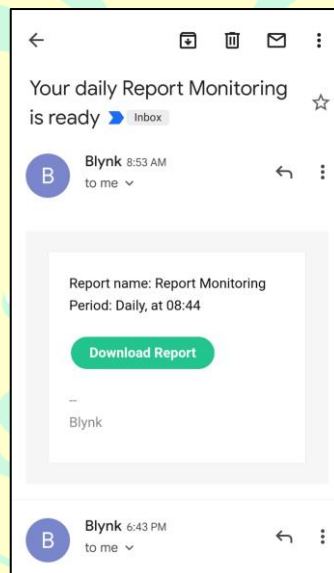


(b)



Gambar 4. 8. Tampilan User Interface Aplikasi: (a) Halaman Utama; (b) Halaman *Glucosemeter*; (c) Halaman *Step Counter*; (d) Halaman *Report*

Laporan pengukuran akan terkirim ke alamat surel yang dimasukkan pada bagian *recipients* dengan tampilan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 9. Tampilan surel yang dikirimkan