

Pengembangan Alat Ukur Kolesterol Secara Non-Invasive untuk Diagnosis Medis

Siti Nurqaidah*, Ryan Amanda, Tegar Ariansyah

Teknik Elektromedik, Politeknik Kesehatan Siteba Padang, Indonesia

Jl. Jhoni Anwar No. 17 A Padang | (0751) 445881

E-mail: siti@poltekessitebapadang.ac.id, ryanamanda90@gmail.com, tegarariansyah5@gmail.com

INFO ARTIKEL

Alamat Web Artikel:

<https://journal.umy.ac.id/index.php/mt/article/view/24139>

DOI:

<https://doi.org/10.18196/mt.v6i1.24139>

Data Artikel:

Diterima:

17 September 2024

Direview:

17 Oktober 2024

Direvisi:

28 Oktober 2024

Disetujui:

31 Oktober 2024

Korespondensi:

siti@poltekessitebapadang.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi telah memberikan kontribusi besar di bidang kesehatan, salah satunya dalam pengukuran kadar kolesterol. Metode pengukuran kolesterol yang umumnya digunakan adalah invasif, yang memerlukan pengambilan sampel darah. Namun, metode ini memiliki beberapa kekurangan, seperti rasa nyeri dan biaya yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat ukur kolesterol secara non-invasif yang dapat mengurangi kekurangan tersebut. Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D), yang difokuskan pada pengembangan produk dan pengujian efektivitasnya. Alat yang dikembangkan bekerja dengan mengukur kadar kolesterol yang memanfaatkan sinar cahaya untuk mendeteksi perubahan pada darah tanpa memerlukan pengambilan sampel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan mampu mendiagnosis kadar kolesterol dengan tingkat akurasi sebesar 95,3%, dengan persentase kesalahan sebesar 4,7%, alat ukur kolesterol non-invasif ini dapat berfungsi sesuai dengan perencanaan, dapat menjadi alternatif yang efektif dan nyaman untuk pengukuran kolesterol di masa mendatang.

Kata Kunci: Kolesterol, Oksimetri pulse Non-invasif, Sensor NIR, Kadar Kolesterol.

ABSTRACT

Technological developments have made a major contribution to the health sector, one of which is measuring cholesterol levels. The cholesterol measurement method generally used is invasive, requiring blood sampling. However, this method has several disadvantages, such as pain and high costs. Therefore, this research aims to develop a non-invasive cholesterol measuring tool that can reduce this deficiency. This research uses the Research and Development (R&D) method, which focuses on product development and testing its effectiveness. The tool developed works by measuring cholesterol levels using light rays to detect changes in blood without requiring sampling. The research results showed that the tool developed was able to diagnose cholesterol levels with an accuracy rate of 95.3%, with an error percentage of 4.7%, this non-invasive cholesterol measuring tool can function according to plan and can be an effective and comfortable alternative for measuring cholesterol in the future.

Keywords: Cholesterol, Non-invasive Pulse Oximetry, Sensor NIR, Cholesterol Levels.

1. PENDAHULUAN

Kolesterol merupakan lipid yang penting dalam tubuh manusia, berperan sebagai komponen utama dari membran sel, serta berfungsi dalam pembentukan hormon-hormon penting seperti estrogen, progesteron, dan testosteron [1]. Selain itu, kolesterol juga terlibat dalam produksi asam empedu yang membantu dalam pencernaan lemak. Namun, kadar kolesterol yang terlalu tinggi dapat memicu pembentukan plak pada pembuluh darah, yang dikenal sebagai proses aterosklerosis, dan meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular seperti penyakit jantung dan stroke.

Tabel 1. Kategori Kadar Kolesterol

Kategori	Nilai (mg/dl)
Normal	<200
Cukup Tinggi	200-239
Tinggi	≥ 240

Menurut tabel 1 dalam kajian literatur, kadar kolesterol darah yang normal berada di bawah 200 mg/dL, sedangkan kadar kolesterol di atas 240 mg/dL dianggap tinggi dan dapat menimbulkan risiko kesehatan yang serius. Oleh karena itu, pemantauan kadar kolesterol secara rutin sangat dianjurkan, terutama bagi orang dewasa, untuk mencegah komplikasi yang lebih lanjut [2].

Kolesterol adalah komponen penting dalam tubuh, namun tingginya kadar kolesterol dapat menyebabkan penyakit serius seperti aterosklerosis, stroke, dan penyakit kardiovaskular [3]. Metode pengukuran kolesterol yang umum digunakan saat ini bersifat invasif, di mana sampel darah harus diambil untuk dianalisis menggunakan alat tes darah portabel, seperti Autocheck 3 in 1. Meskipun metode invasif ini dianggap akurat, terdapat beberapa kekurangan, seperti biaya yang tinggi, rasa nyeri, dan waktu tunggu untuk hasil analisis [4]. Selain itu, metode invasif ini juga tidak ideal untuk pengawasan jangka panjang atau pengukuran secara berkala dalam waktu singkat. Oleh karena itu, inovasi pengukuran kolesterol secara non-invasif menjadi solusi yang menjanjikan untuk mengatasi masalah ini.

Seiring dengan meningkatnya penyakit yang disebabkan oleh gaya hidup tidak sehat dan pola makan yang buruk, seperti konsumsi lemak jenuh berlebih [5] diperlukan inovasi teknologi dalam pengukuran kolesterol yang lebih nyaman dan hemat biaya. Salah satu teknologi yang memungkinkan untuk mendeteksi kadar kolesterol dalam darah secara non-invasif adalah dengan memanfaatkan sifat serapan sinar/laser terhadap media cair. Perubahan kelistrikan medium dipengaruhi oleh konsentrasi cairan (darah), digunakan sebagai pembeda kandungan unsur atau kandungan kimia tertentu dalam darah. Seiring berkembangnya teknologi akan sangat memungkinkan untuk menciptakan alat portabel yang dapat mendukung laboratorium pelayanan kesehatan medis. Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan serapan Near Infra Red (NIR) untuk mengembangkan perangkat deteksi gula darah maupun kadar kolesterol [4].

Kadar kolesterol dalam darah dapat ditentukan dengan mengukur persentase tingkat kejenuhan oksigen dalam darah (SpO₂). Nilai normal SpO₂ adalah dalam kisaran 95% - 100%. SpO₂ dapat diukur secara non-invasif dengan fotoplethismografi (PPG) [6]. Proses ini terjadi dengan menghubungkan transduser yang mengandung pemancar cahaya dan photodetector ke area yg mempunyai perfusi tinggi seperti jari tangan, jari kaki, atau daun telinga. Cahaya ditransmisikan, kemudian dideteksi oleh photodetektor dan diubah menjadi sinyal tegangan yg disebut photoplethysmogram (PPG) [7]. Metode ini memanfaatkan keterangan bahwa volume darah yang diangkut melalui arteri berubah seiring dengan detak jantung melalui daur pemompaannya (sistol dan diastol) [8]. Ketika cahaya melewati kulit akan diserap oleh darah vena, jaringan, rambut, pigmen kulit, darah arteri yang berdenyut dan tidak berdenyut. Selama sistol, ketika ada lebih banyak darah di arteri, terdapat peningkatan penyerapan yang menyebabkan diameter arteri meningkat. Selama diastol, saat darah pada arteri berkurang, panjang jalur dalam zat yang menyerap cahaya berkurang, oleh karena itu penyerapan juga berkurang. Dengan demikian, penyerapan cahaya berdenyut antara intensitas maksimum dan minimum, menghasilkan sinyal PPG [8]. Pengukuran volume darah didasarkan pada kemampuan hemoglobin dalam menyerap cahaya. Ciri penyerapan cahaya oksihemoglobin berbeda dengan hemoglobin. Sensor optik terdiri dari dua sumber cahaya serta detektor, merah (660nm) dan inframerah (IR) (880-940nm) merupakan panjang gelombang yg umumnya digunakan untuk menghitung SPO₂. Algoritma baru dikembangkan untuk menghitung kadar kolesterol, berasal dari sinyal PPG yang telah dihasilkan [6].

Alat pengukur kolesterol yang menggunakan sensor Nellcor DS-100A berbasis Arduino Uno dalam penelitian ini memanfaatkan teknologi non-invasif. Sensor Nellcor DS-100A, yang biasanya digunakan untuk mengukur saturasi oksigen dalam darah (SpO₂) dan denyut jantung, bekerja dengan cara memancarkan cahaya inframerah dan merah ke jaringan tubuh, kemudian mendeteksi perubahan cahaya yang dipantulkan kembali. Prinsip kerja dari sensor ini melibatkan fotodiode yang menerima cahaya yang dipantulkan oleh darah dan jaringan, yang kemudian diubah menjadi sinyal tegangan yang diolah oleh mikrokontroler Arduino Uno [9].

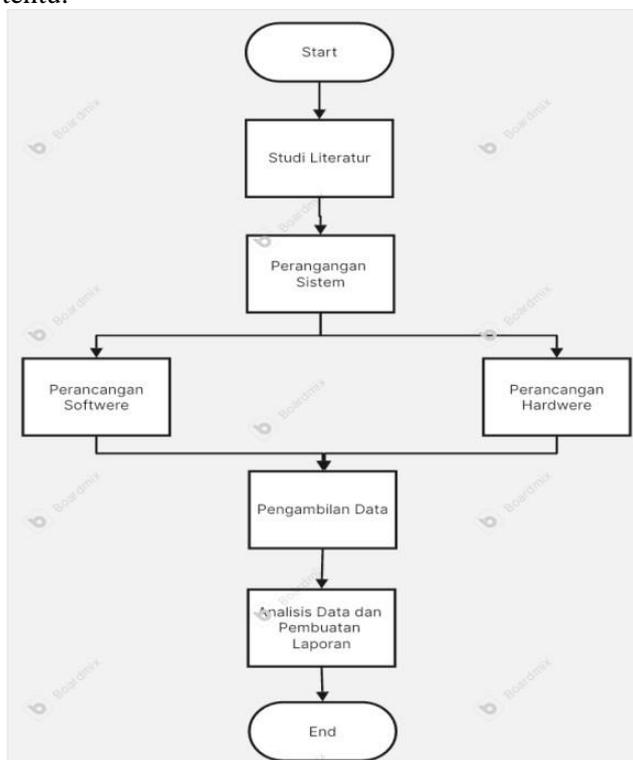
Penggunaan oximeter sensor yang dikembangkan dalam penelitian ini sebagai pengukur kadar kolesterol non-invasif memiliki potensi besar dalam dunia medis. Tidak hanya memberikan kenyamanan kepada pasien, alat ini juga memiliki kemampuan untuk memberikan hasil yang akurat

dan real-time, tanpa memerlukan pengambilan sampel darah. Dengan demikian, pengembangan alat ini diharapkan dapat menjadi inovasi dalam pemantauan kesehatan yang lebih praktis, efisien, dan aman, terutama dalam pengukuran kadar kolesterol pada populasi berisiko tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji alat pengukur kolesterol non-invasif berbasis sensor Nellcor DS-100A dan Arduino Uno. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan alternatif yang lebih murah dan nyaman dibandingkan metode invasif tradisional, serta meningkatkan aksesibilitas alat pemantauan kolesterol bagi masyarakat luas.[10].

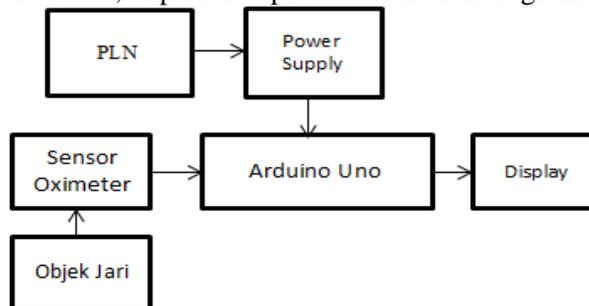
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan yang dikenal sebagai Research and Development (R&D), sebuah metode yang secara khusus difokuskan pada pengembangan produk dan pengujian efektivitasnya. Metode R&D diaplikasikan untuk menciptakan solusi tertentu atau produk inovatif, yang kemudian akan dievaluasi untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan yang diharapkan. Perencanaan Alat dan Bahan Penelitian ini merupakan penelitian Research and Development (RnD), yang mana RnD adalah sebuah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan dan menguji keefektifan produk tertentu.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Pengembangan Produk

Untuk dapat memudahkan pelaksanaan pembuatan modul serta membantu dalam pemahaman sistem kerja alat yang akan di buat, di perlukan perencanaan blok diagram yaitu sebagai berikut:



Gambar 2. Blok diagram

Nurqaidah, Amanda, Ariansyah

Pengembangan Alat Ukur Kolesterol Secara Non-Invasive untuk Diagnosis Medis

Cara kerja blog diagram ketika alat dihubungkan ke sumber daya listrik (PLN), arus listrik mengalir melalui power supply yang menyediakan tegangan untuk seluruh rangkaian alat. Power supply memastikan kelancaran operasional alat, memungkinkan proses pengukuran kolesterol dapat berjalan dengan baik. Saat sensor oximeter diaktifkan dan digunakan oleh pasien, sensor tersebut segera mulai melakukan pembacaan kadar kolesterol dalam darah. Selain pengukuran saturasi oksigen, alat ini juga menggunakan cahaya LED merah dan infrared untuk mendeteksi kadar kolesterol.

Cahaya yang dipancarkan oleh LED diserap oleh hemoglobin dalam darah, dan sinyal yang terkait dengan penyerapan ini dikirim ke mikrokontroler untuk diproses. Mikrokontroler mengolah informasi ini dan menampilkan hasil pengukuran secara real-time di layar alat. Hasilnya kemudian dikategorikan dalam tiga level: Normal, Cukup Tinggi, dan Tinggi, memudahkan tenaga medis untuk segera menafsirkan hasil dan mengambil tindakan yang diperlukan. Dengan teknologi ini, alat dapat memberikan pengukuran kolesterol secara cepat dan akurat, mendukung pemantauan kesehatan yang efisien.

Diagram mekanis menunjukkan desain fisik dari alat, termasuk susunan komponen dan posisi sensor untuk memudahkan penggunaannya. Alat ini dirancang agar praktis digunakan dan mudah dibawa.

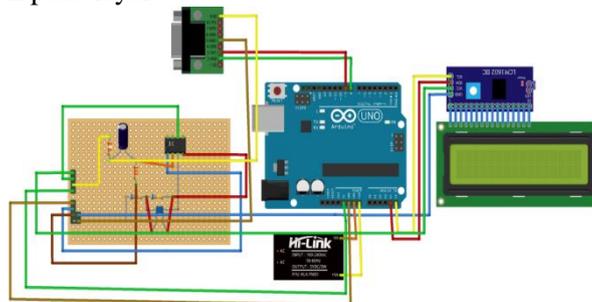


Gambar 3. Alat Tampak Depan



Gambar 4. Alat Tampak Belakang

Diagram alir proses alat menggambarkan bagaimana alat bekerja, mulai dari proses pengukuran hingga penampilan hasil pada layar.



Gambar 5. Rangkaian Keseluruhan

Diagram Alir Proses Alat

1. Mulai: Alat dihidupkan dan siap untuk digunakan.
2. Deteksi Jari: Jari pasien dimasukkan ke sensor.
3. Pengukuran Kolesterol: Cahaya merah dan inframerah dipancarkan melalui jari untuk mengukur kadar kolesterol.
4. Pemrosesan Data: Sinyal dari sensor diolah oleh Arduino Uno.
5. Penampilan Hasil: Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD.
6. Selesai: Alat dapat dimatikan setelah proses pengukuran selesai

Alat dan bahan yang mendukung pengembangan alat pengukur kolesterol non-invasif. Tabel di bawah ini menjelaskan komponen yang digunakan.

Tabel 2. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Jumlah	Keterangan
1	Arduino Uno	1 buah	Mikrokontroler sebagai pusat pemrosesan data.
2	Sensor Nellcor DS-100A	1 buah	Sensor oximeter untuk pengukuran kadar kolesterol.
3	Laptop Lenovo	1 buah	Digunakan untuk pemrograman.
4	Software Arduino IDE	1 buah	Perangkat lunak untuk pemrograman Arduino.
5	LCD 20x4	1 buah	Menampilkan hasil pengukuran kadar kolesterol.
6	Power Supply	1 buah	Memberikan daya bagi alat selama pengoperasian.

Berikut: Pengujian kelistrikan dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik. Tingkat kesalahan dan keakuratan alat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

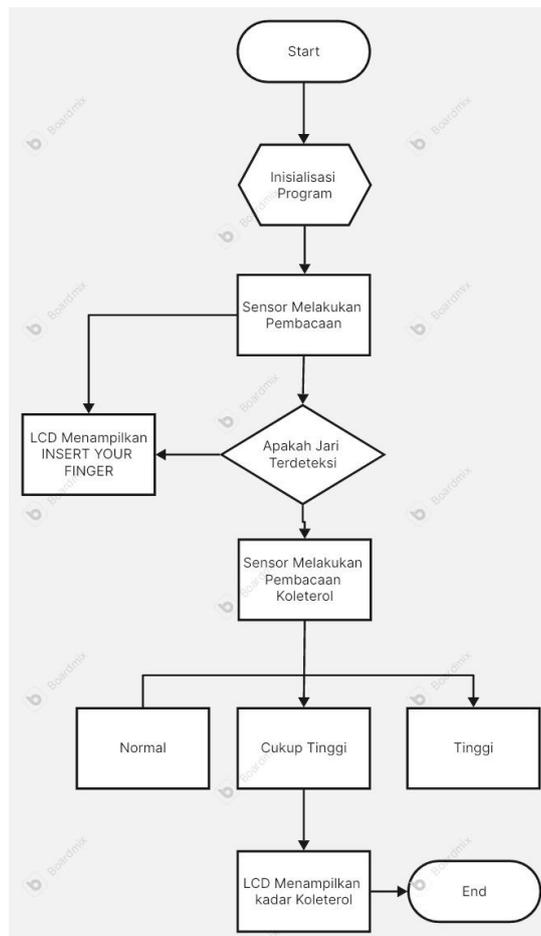
1. Tingkat Kesalahan = $|(Selisih / Tegangan \text{ Seharusnya})| \times 100\%$
2. Selisih = $|Tegangan \text{ Seharusnya} - Tegangan \text{ Terukur}|$
3. Tingkat Akurasi = $100\% - \text{Tingkat Kesalahan}$ [11]

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil alat buatan dengan alat pabrikan. Rumus yang digunakan untuk menghitung persentase kesalahan dan akurasi adalah sebagai berikut:

1. Persentase Error = $|(Selisih / Alat \text{ Pabrikan})| \times 100\%$
2. Selisih = $|Rata-rata \text{ Alat Pabrikan} - Rata-rata \text{ Alat Buatan}|$
3. Tingkat Akurasi = $100\% - \text{Persentase Kesalahan}$ [12]

Tahapan Penelitian sebagai berikut:

1. Tinjauan Pustaka: Mengkaji teori dan penelitian sebelumnya yang relevan.
2. Perancangan Sistem.
3. Perancangan Perangkat Keras: Merancang dan menyusun komponen fisik alat.
4. Perancangan Perangkat Lunak: Menulis kode program untuk mengendalikan sensor dan pengolahan data.
5. Pengumpulan Data: Mengumpulkan data melalui pengujian pada beberapa sampel.
6. Analisis Data: Menganalisis data yang dikumpulkan untuk mengukur akurasi alat.
7. Kesimpulan: Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan menyusun laporan akhir.



Gambar 6. Flowchart Alat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat ukur kolesterol non-invasif merupakan inovasi teknologi medis yang bertujuan untuk mengukur kadar kolesterol dalam darah tanpa harus melakukan pengambilan darah secara langsung. Pengujian dan evaluasi terhadap kinerja alat ini dilakukan untuk memastikan bahwa alat bekerja dengan baik dan akurat. Pembuktian fungsi alat dilakukan melalui serangkaian pengukuran, baik dari aspek kelistrikan maupun perbandingan dengan alat pembanding yang sudah ada (pabrikasi).

3.1 Spesifikasi Alat

1. Tegangan sumber: 220V
2. Tegangan kendali: 5V
3. Arus: 2A
4. Dimensi alat: 15cm x 15cm x 15cm

Alat ini menggunakan komponen utama seperti LCD, Arduino Uno, IC LM358N, kapasitor, dan power supply 5V. Alat invasif sebagai pembanding. Dari hasil pengujian, rata-rata tingkat kesalahan alat kolesterol non-invasif adalah 4,7%, dengan tingkat akurasi sebesar 95,3%.

3.2 Pengujian Alat

3.2.1 Pengujian Kelistrikan Alat

Table 3. Pengukuran Kinerja Kelistrikan

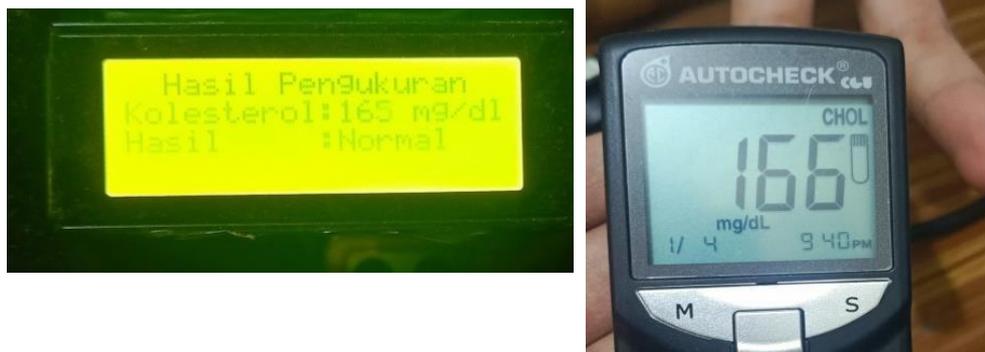
Titik Pengukuran	Posisi Titik Pengukuran	Tegangan Seharusnya	Tegangan Terukur	Selisih	Tingkat Kesalahan (%)	Tingkat Akurasi(%)
TP 1	Arduino Uno	5	5,01	0,01	0,2	99,8
TP 2	Input	5	5,01	0,01	0,2	99,8
TP 3	LCD	5	5,01	0,01	0,2	99,8
TP 4	Rangkaian penguat	5	5.01	0,02	0,4	99,6

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat kesalahan alat rata-rata sebesar 0,25%, sehingga alat memiliki tingkat akurasi kelistrikan sebesar 99,75%.

3.2.2 Uji Kinerja Alat

Pengukuran pada tahap kalibrasi menggunakan *Oxymeter.Sensor* menghasilkan nilai ADC (mV) yang diperoleh dari jaritelunjuk masing masing sampel. Nilai tersebut diperoleh dari sifat serapan jaringan terhadap cahaya *infrared* dan LED merah. Semakin pekat darah, maka cahaya inframerah akan lebih banyak diserap sehingga hanya sedikit yang tertangkap oleh fotodiode. Begitu pula sebaliknya, jika darah semakin encer, maka akan lebih banyak cahaya inframerah yang melewati jaringan dan tertangkap fotodiode [13]. Proses pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil darah sampel menggunakan alat ukur standar *Autocheck 3in1*, kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data menggunakan *prototype* alat. Kalibrasi alat dilakukan pada 10 relawan acak untuk diambil sampelnya. Pengambilan data menggunakan *Autocheck 3in1* dilakukan dalam satu kali pengukuran, hal ini dilakukan karena alat sudah standar serta menghindari terjadinya ketidaknyamanan dan infeksi yang disebabkan oleh penusukan jari sampel secara berulang. Pengambilan data menggunakan *prototype* alat dilakukan dengan cara memasukkan jari kedalam finger sensor selama kurang lebih 6 detik sampai alat dalam keadaan stabil, kemudian diulang sebanyak lima kali. Selanjutnya data hasil pengukuran dirata-rata.

Pengukuran pada tahap uji kinerja alat pengambilan sampel dilakukan pada seorang yang berusia 20-60 tahun sebanyak 25 sampel. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil sampel darah dari partisipan baik laki-laki maupun perempuan. Dokumentasi pengambilan sampel seperti ditunjukkan gambar 7. Pengukuran Kolesterol Non-Invasif dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini, yang juga dilakukan pengukuran dengan alat invasif sebagai perbandingan hasil pengukuran.



Gambar 7. Kegiatan Pengambilan Sampel dan Pengujian Alat

Tabel 4. Hasil Pengujian Kinerja Alat

Pengukuran Ke	kolesterol Non-Invasive Mg/dl	Kolesterol Invasive (Alat Pemanding)	Selisih	Tingkat Kesalahan (%)	Tingkat Akurasi (%)
1.	168	180	12	6.0%	94%
2.	132	128	4	3%	97%
3.	125	116	9	8%	92%
4.	186	200	14	7%	93%
5.	256	269	13	4,8%	95,2%
6.	184	176	8	4%	96%
7.	191	197	6	3%	97%
8.	211	231	20	8.0%	92%
9.	245	253	8	3,2%	96,8%
10.	146	150	4	2.6%	97,40%
11.	159	157	2	1.2%	98.8%
12.	123	124	1	1%	99%
13.	140	156	16	10%	90%
14.	192	198	6	3%	97%
15.	135	134	1	0.7%	99.3%
16.	188	200	12	6%	94%
17.	176	191	15	7.8%	92.2%
18.	165	166	1	0.6%	99.4%
19.	210	220	10	4,50%	95,50%
20.	190	202	12	6%	94%

Tabel 4 menunjukkan data pengukuran kadar kolesterol kepada 25 sample dengan hasil rata-rata error alat sebesar 4,7% dan memiliki tingkat keakurasian sebesar 95,3%. Berdasarkan penelitian oleh Suyono & Hambali [14] menunjukkan bahwa alat medis yang layak digunakan oleh manusia adalah alat yang memiliki ketelitian lebih dari 95%. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran antara lain posisi jari, panjang kuku, warna kulit, dan ketebalan jari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah peneliti lakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- a. Alat dapat mediagnosa kolesterol sesuai dengan perencanaan menggunakan sensor nellcor Ds 100 A
- b. Tingkat keakurasian alat kolesterol Non Invasive yang dibuat berdasarkan uji fungsi kelistrikan alat yaitu rata-rata sebesar 99,75%
- c. Pengujian prototype alat dilakukan pada 25 sampel acak dengan membandingkan prototype alat dengan alat standar (alat ukur kolesterol invasive pabrikan). Nilai akurasi prototype alat pengukur kadar kolesterol adalah 95,3 %.
- d. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan uji klinis dengan melibatkan kurang lebih 50 peserta dari berbagai latar belakang untuk mendapatkan data yang lebih representative.
- e. Gunakanlah sensor yang tidak terpengaruh oleh posisi jari , agar pembacaan kolesterol bisa akurat digunakan oleh orang dengan kondisi yang berbeda beda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saragih R. Peran kolesterol dalam pembentukan hormon dan kesehatan sel. *Jurnal Biologi Molekuler*. 2017;4(1):22–30.
- [2] Silvia N. Pemantauan kolesterol sebagai pencegahan penyakit kardiovaskular. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*. 2020;9(1):78–85.
- [3] Prasetyo B. Kadar kolesterol tinggi dan risiko aterosklerosis pada populasi dewasa. *Jurnal Kardiologi Indonesia*. 2019;8(2):45–52.

- [4] Fitri A. Inovasi teknologi dalam pengukuran kolesterol: Metode invasif vs non-invasif. *Jurnal Teknologi Kesehatan*. 2020;5(4):203–10.
- [5] Fitri A. Dampak konsumsi lemak jenuh terhadap kadar kolesterol dan kesehatan jantung. *Jurnal Gizi dan Kesehatan*. 2019;11(3):89–95.
- [6] Anagha P, Kumar R, Srinivas M. Non-invasive cholesterol measurement using NIR and PPG techniques. *International Journal of Medical Science and Health Research*. 2018;7(2):125–33.
- [7] Kyriacou, P., Budidha, K., & Abay, T. Y. (2019). Optical Techniques for Blood and Tissue Oxygenation. In *Encyclopedia of Biomedical Engineering* (Vols. 1–3). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.10886-4>
- [8] Vasudevan, S. (2011). Simultaneous Measurement of Oxygen and Carbon Monoxide Saturation using Pulse Oximeters. Thesis. Worcester Polytechnic Institute.
- [9] Button K. *Advanced medical sensors and applications*. Oxford: Oxford University Press; 2015.
- [10] Ughi A. *Principles of pulse oximetry and its clinical applications*. Amsterdam: Elsevier; 2018.
- [11] Setiawan A, Yuliana N. Analisis tingkat kesalahan dan akurasi pengukuran tegangan pada sistem instrumentasi elektronik. *Jurnal Teknik Elektro*. 2021;19(2):115–25.
- [12] Kurniawan B, Rahmawati L. Evaluasi kesalahan pengukuran tegangan pada alat ukur digital dan analog. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*. 2020;15(4):237–48.
- [13] Elgendi, M. (2021). *PPG Signal Analysis An Introduction Using MATLAB* (First Edit, Vol. 53, Issue 9). India : CRC Press.
- [14] Suyono H, Hambali. Perancangan alat pengukur kadar gula dalam darah menggunakan teknik non-invasive berbasis mikrokontroler Arduino Uno. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*. 2020;6(1):69–76.