



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Evaluasi Kinerja Pengujian Kolesterol Metode Kolorimetri Enzimatis CHOD-PAP Menggunakan *Smartphone*

Performance Evaluation of Cholesterol Testing Using CHOD-PAP Enzymatic Colorimetric Method with Smartphone

Arulia Rahmadany Dwi Yani¹, Titin Aryani², Aji Bagus Widyantara³

¹Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, arahmadany4@gmail.com

²Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, titinaryanipurnama@gmail.com

³Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, bagusliaalbira@gmail.com

*Corresponding Author: titinaryanipurnama@gmail.com

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 28 Apr, 2026

Revised: 08 May, 2026

Accepted: 21 Jun, 2026

Kata Kunci:

CHOD-PAP,
Kolesterol,
Smartphone,
Validasi metode

Keywords:

CHOD-PAP,
Cholesterol,
Smartphone,
Method validation

DOI: 10.56338/jks.v9i6.11799

ABSTRAK

Pemeriksaan kadar kolesterol darah merupakan salah satu parameter penting dalam kimia klinik untuk menilai risiko penyakit kardiovaskular. Metode CHOD-PAP menggunakan alat spektrofotometer memiliki keterbatasan, terutama pada ketersediaan alat di fasilitas layanan kesehatan primer, sehingga mendorong pengembangan metode alternatif yang lebih sederhana dan praktis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja analitik metode kolorimetri enzimatis CHOD-PAP dengan memanfaatkan *smartphone* sebagai alat pembaca. Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan parameter validasi meliputi akurasi, presisi, serta evaluasi grafik *Levey-Jennings*. Sampel berupa serum kontrol komersial yang diuji sebanyak 16 kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CHOD-PAP menggunakan *smartphone* memiliki presisi yang baik, ditandai dengan nilai CV 3,51% (<6%) dan variasi data yang kecil, serta kestabilan sistem yang berada dalam kondisi terkendali berdasarkan grafik *Levey-Jennings* tidak ada yang mengikuti aturan *Westgard*. Akurasi metode masih rendah dengan nilai d% 37,74% yang melebihi batas yang dapat diterima ($\pm 10\%$), sehingga menunjukkan adanya kesalahan sistematik yang menyebabkan hasil pengukuran belum mendekati nilai rujukan. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa metode pengujian kolesterol berbasis kolorimetri enzimatis menggunakan *smartphone* dapat digunakan sebagai alternatif metode analisis yang praktis dan portabel, tetapi masih memerlukan perbaikan pada aspek akurasi. Metode CHOD-PAP tetap lebih direkomendasikan untuk analisis kuantitatif.

ABSTRACT

Blood cholesterol examination is one of the important parameters in clinical chemistry to assess the risk of cardiovascular disease. The CHOD-PAP method using a spectrophotometer has limitations, particularly in the availability of equipment in primary healthcare

facilities, thereby encouraging the development of alternative methods that are simpler and more practical. This study aims to evaluate the analytical performance of the enzymatic colorimetric CHOD-PAP method by utilizing a smartphone as a reading device. This research is an experimental study with validation parameters including accuracy, precision, and evaluation using the Levey-Jennings chart. The samples were commercial control serum tested with 16 repetitions. The results showed that the CHOD-PAP method using a smartphone has good precision, indicated by a CV value of 3.51% (<6%) and small data variation, as well as system stability being within control conditions based on the Levey-Jennings chart with no violations of Westgard rules. However, the method accuracy is still low with a d% value of 37,74% exceeding the acceptable limit ($\pm 10\%$), indicating the presence of systematic error causing the measurement results to not yet approach the reference value. In conclusion, the enzymatic colorimetric cholesterol testing method based on a smartphone can be used as an alternative analytical method that is practical and portable, but it still requires improvement in terms of accuracy, and the CHOD-PAP method using a spectrophotometer remains more recommended for quantitative analysis.

PENDAHULUAN

Pemeriksaan laboratorium kimia klinik merupakan komponen penting dalam pelayanan kesehatan modern karena menyediakan informasi objektif yang mendukung penegakan diagnosis, pemantauan terapi, serta evaluasi perjalanan penyakit (Bishop *et al.*, 2018). Salah satu parameter penting dalam kimia klinik adalah kolesterol darah yang berperan dalam menilai status metabolik pasien serta memprediksi risiko penyakit kronis, khususnya penyakit kardiovaskular (Burtis & Bruns, 2015). Penyakit kardiovaskular merupakan kelompok penyakit tidak menular dengan prevalensi tinggi secara global dan menyumbang sekitar sepertiga dari total angka kematian di dunia. Faktor risiko yang mempengaruhi kejadian penyakit ini antara lain indeks massa tubuh, hipertensi, dan dislipidemia (Magnussen *et al.*, 2023). Hiperkolesterolemia merupakan bentuk dislipidemia yang paling umum dan berhubungan dengan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular akibat meningkatnya kadar *low-density lipoprotein cholesterol* (LDL) plasma., yang diketahui sebagai faktor risiko kematian global yang terus meningkat sejak tahun 1990 hingga 2019 (Pirillo A, 2021).

Data epidemiologi global menunjukkan bahwa penyakit kardiovaskular merupakan penyebab utama kematian dengan sekitar 17,9 juta kematian setiap tahun. Sekitar 38% populasi dewasa dunia mengalami peningkatan kadar kolesterol total, dengan prevalensi yang lebih tinggi pada negara berpendapatan menengah dan tinggi akibat perubahan gaya hidup (WHO, 2021). Di Indonesia, data Riskesdas 2018 melaporkan bahwa prevalensi hiperkolesterolemia pada penduduk usia ≥ 15 tahun mencapai 35,9%, dengan prevalensi lebih tinggi pada perempuan (39,6%) dibandingkan laki-laki (30,0%), yang kemungkinan dipengaruhi oleh faktor hormonal, pola makan, dan aktivitas fisik (Kemenkes RI, 2018).

Temuan penelitian lokal di wilayah Yogyakarta juga menunjukkan prevalensi hiperkolesterolemia yang cukup tinggi pada kelompok lansia. Penelitian di wilayah kerja Puskesmas Pandak II, Kabupaten Bantul, melaporkan prevalensi hiperkolesterolemia sebesar 28,1% pada populasi lansia dengan peningkatan proporsi kasus dari 60% pada Maret 2019 menjadi 77,3% pada April 2019, yang mayoritas ditemukan pada perempuan usia lanjut (Melati *et al.*, 2021). Penelitian lain di wilayah kerja Puskesmas Seyegan, Sleman, menunjukkan bahwa dari 109 lansia berusia ≥ 60 tahun, sebanyak 58,7% responden mengalami hiperkolesterolemia dengan kadar

kolesterol total ≥ 200 mg/dL, dengan proporsi lebih tinggi pada perempuan dibandingkan laki-laki, meskipun tidak ditemukan hubungan signifikan antara usia maupun jenis kelamin dengan status kolesterol total (Rahmawati *et al.*, 2022). Tingginya prevalensi tersebut menjadikan pemeriksaan kolesterol total sebagai salah satu analisis laboratorium yang paling sering dilakukan.

Pemeriksaan kolesterol total umumnya dilakukan menggunakan metode enzimatis kolorimetri CHOD- PAP (*Cholesterol Oxidase Peroxidase Aminoantipyrine*), yang memiliki spesifisitas dan akurasi yang baik (Kurniati *et al.*, 2023). Prinsip metode ini diawali dengan hidrolisis kolesterol ester oleh enzim *cholesterol esterase* menjadi kolesterol bebas, kemudian dioksidasi oleh *cholesterol oxidase* menghasilkan hidrogen peroksida (H_2O_2). Hidrogen peroksida (H_2O_2) tersebut bereaksi dengan fenol dan 4-aminoantipyrine dalam keberadaan enzim peroksidase sehingga membentuk senyawa berwarna merah muda (*quinoneimine*), yang intensitas warnanya sebanding dengan kadar kolesterol dalam sampel. Intensitas warna ini kemudian diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang tertentu untuk menentukan konsentrasi kolesterol secara kuantitatif (Widada *et al.*, 2016).

Praktik konvensional menunjukkan bahwa pembacaan hasil reaksi kolorimetri umumnya menggunakan spektrofotometer atau fotometer klinik yang memiliki akurasi dan presisi tinggi. Meskipun demikian, penggunaan alat tersebut masih menghadapi berbagai keterbatasan, seperti biaya pengadaan yang relatif mahal, kebutuhan perawatan rutin, serta ukuran alat yang kurang portabel (Bishop *et al.*, 2018). Kondisi ini menjadi kendala terutama pada fasilitas kesehatan primer, daerah terpencil, maupun situasi darurat yang memerlukan pemeriksaan cepat dan praktis. Perkembangan teknologi digital mendorong pemanfaatan *smartphone* sebagai alternatif alat analisis kolorimetri karena didukung oleh peningkatan kualitas kamera, kemampuan pemrosesan citra, serta kapasitas komputasi yang semakin baik (Shen *et al.*, 2015). Kamera *smartphone* mampu menangkap variasi warna dengan resolusi tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai sensor optik berbasis nilai warna *Red*, *Green*, *Blue* (RGB) dalam analisis kolorimetri (Rateni *et al.*, 2017). Penggunaan *smartphone* juga menawarkan berbagai keunggulan, seperti portabilitas, biaya yang lebih rendah, kemudahan penggunaan, serta kemampuan integrasi dengan aplikasi (Yetisen *et al.*, 2014), sehingga sangat potensial untuk dikembangkan sebagai metode *point-of-care testing* (POCT) dalam pemeriksaan kimia klinik, termasuk kolesterol (Shen *et al.*, 2015).

Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa metode berbasis *smartphone* memiliki korelasi yang baik dengan metode spektrofotometri dalam pemeriksaan kimia klinik. Penelitian Yun *et al.* (2019) menunjukkan korelasi yang sangat tinggi ($R > 0,997$) pada 116 sampel darah, sedangkan Duan *et al.* (2022) melaporkan bahwa pengukuran kolesterol total berbasis *smartphone* dari darah kapiler dapat dilakukan dalam waktu sekitar dua menit. Meskipun demikian, keandalan metode ini tetap perlu dibuktikan melalui evaluasi kinerja analitik yang mencakup aspek akurasi dan presisi sebagai indikator mutu hasil pemeriksaan.

Evaluasi kinerja analitik dapat dilakukan melalui kegiatan validasi metode yang merupakan pemantauan berbasis statistik untuk menilai akurasi, presisi, serta mendeteksi adanya kesalahan dalam proses analisis (Yudita *et al.*, 2023). Hasil pemeriksaan yang baik harus memenuhi kriteria akurasi dan presisi yang memadai agar dapat dipercaya (Ulfiati *et al.*, 2017). Salah satu metode yang umum digunakan adalah grafik *Levey-Jennings* yang dikombinasikan dengan aturan *Westgard*, seperti 1_2s , 2_2s , 1_3s , 4_1s , R_{4s} , dan $10x$, guna mengidentifikasi kesalahan acak maupun sistematis (Siregar *et al.*, 2018). Evaluasi terhadap metode CHOD-PAP berbasis *smartphone* melalui pendekatan tersebut menjadi penting sebagai dasar dalam menilai kelayakan penggunaannya pada pemeriksaan kolesterol di fasilitas pelayanan kesehatan.

METODE

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimental untuk mengevaluasi kinerja pengujian kolesterol menggunakan metode kolorimetri enzimatis CHOD-PAP yang dianalisis dengan bantuan *smartphone*. Pengujian dilakukan terhadap larutan standar kolesterol dan serum kontrol komersial yang diukur secara berulang. Larutan standar adalah larutan yang mengandung analit tertentu, seperti kolesterol saja, dengan konsentrasi analit diketahui secara pasti dan digunakan untuk mengkalibrasi alat serta membuat kurva kalibrasi agar kadar sampel dapat dihitung. Serum kontrol adalah bahan kontrol yang menyerupai serum manusia dan mengandung satu atau lebih analit, seperti kolesterol atau glukosa, dengan rentang nilai tertentu dan digunakan untuk menentukan akurasi dan presisi dari hasil pemeriksaan laboratorium. Parameter yang dievaluasi pada penelitian ini meliputi akurasi, presisi, serta pemantauan kestabilan hasil melalui grafik *Levey-Jennings* berdasarkan aturan *Westgard*.

Sampel Penelitian

Sampel yang digunakan berupa serum kontrol kolesterol komersial dengan level normal dalam bentuk serbuk yang direkonstitusi sebelum digunakan. Kriteria inklusi meliputi serum kontrol dengan kadar kolesterol yang diketahui, masih dalam masa berlaku, dan digunakan sesuai prosedur pemeriksaan. Kriteria eksklusi meliputi serum kontrol yang telah kedaluwarsa, mengalami kontaminasi atau perubahan fisik, reagen tidak memenuhi syarat, serta data hasil pemeriksaan yang tidak lengkap atau mengalami gangguan teknis selama proses pengukuran. Jumlah pengulangan pengukuran ditentukan menggunakan rumus Federer sebagai berikut:

$$(t-1)(n-1) \geq 15$$

Keterangan:

t= Jumlah perlakuan

n= Jumlah pengulangan

Penelitian ini menggunakan dua perlakuan yaitu larutan standar kolesterol dan serum kontrol. Substitusi nilai ke dalam rumus menghasilkan:

$$\begin{aligned}(t-1)(n-1) &\geq 15 \\ (2-1)(n-1) &\geq 15 \\ 1(n-1) &\geq 15 \\ n-1 &\geq 15 \\ n &\geq 15+1 \\ n &\geq 16 \text{ kali pengulangan}\end{aligned}$$

Perhitungan menunjukkan bahwa jumlah pengulangan minimal yang harus dilakukan untuk setiap perlakuan adalah 16 kali. Penelitian ini menggunakan 16 data pengulangan untuk standar kolesterol dan 16 data pengulangan untuk serum kontrol, sehingga total jumlah data yang dianalisis adalah 32 data. Setiap satu data diperoleh melalui pengambilan gambar sebanyak 5 kali, baik pada pengukuran blanko, standar maupun sampel.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kuvet, mikropipet dan tip (10 μ L dan 1000 μ L), *ultrasonic cleaner*, kamera belakang *smartphone* iPhone 13 dengan resolusi kamera 12 megapiksel, *lightbox* dengan latar belakang putih, penyangga berkaki tiga (*tripod*), serta aplikasi identifikasi warna. Bahan yang digunakan meliputi reagen kerja kolesterol metode CHOD-PAP, serum

kontrol kolesterol komersial level normal dalam bentuk serbuk, larutan standar kolesterol (± 200 mg/dL) dan aquabidest.

Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui pengambilan citra larutan blanko, larutan standar, dan sampel serum menggunakan kamera *smartphone* yang ditempatkan pada posisi tetap menggunakan penyangga berkaki tiga (*tripod*) di dalam *lightbox*. Setiap citra yang dihasilkan dianalisis menggunakan aplikasi identifikasi warna untuk memperoleh nilai intensitas warna *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B). Nilai intensitas tersebut kemudian dicatat dan digunakan sebagai data dasar untuk perhitungan intensitas rata-rata RGB, absorbansi semu, dan konsentrasi kolesterol.

Prosedur Penelitian

Rekonstitusi Serum Kontrol

Serum kontrol kolesterol level normal dalam bentuk serbuk direkonstitusi dengan penambahan aquabidest steril sesuai petunjuk pabrik, misalnya sebanyak 5 mL (5000 μ L). Setelah penambahan pelarut, botol dalam kondisi tertutup kemudian ditempatkan di dalam ultrasonic cleaner selama 5 menit untuk memperoleh larutan yang homogen. Selanjutnya, larutan didiamkan selama 10–15 menit pada suhu ruang agar proses pelarutan berlangsung secara sempurna sebelum digunakan dalam pengujian.

Pengukuran Blanko

Pengukuran blanko dilakukan untuk memperoleh nilai intensitas dasar sebelum pengukuran standar dan sampel. Sebanyak 1000 μ L reagen kolesterol dimasukkan ke dalam satu kuvet, kemudian ditempatkan pada posisi pengambilan gambar di dalam *lightbox*. Kuvet tersebut selanjutnya diambil gambarnya menggunakan *smartphone* sebanyak 10 kali. Setiap gambar kemudian dianalisis untuk memperoleh nilai RGB yang selanjutnya dicatat sebagai data blanko.

Pengukuran Larutan Standar

Pengukuran standar dilakukan dengan menyiapkan 16 kuvet. Setiap kuvet berisi 1000 μ L reagen kolesterol yang kemudian ditambahkan 10 μ L larutan standar kolesterol. Campuran tersebut dihomogenkan dan diinkubasi selama 10 menit pada suhu ruang agar reaksi berlangsung sempurna. Setelah proses inkubasi, masing-masing kuvet ditempatkan pada posisi pengambilan gambar di dalam *lightbox*. Setiap kuvet kemudian diambil gambarnya menggunakan *smartphone* sebanyak lima kali, dan nilai RGB dari setiap gambar dicatat sebagai data pengukuran standar hingga diperoleh 16 data pengulangan.

Pengukuran Sampel Serum

Pengukuran sampel dilakukan dengan prosedur yang sama seperti pengukuran standar. Sebanyak 1000 μ L reagen kolesterol dimasukkan ke dalam 16 kuvet, kemudian ditambahkan 10 μ L sampel serum kontrol ke masing-masing kuvet. Campuran tersebut dihomogenkan dan diinkubasi selama 10 menit pada suhu ruang. Setelah proses inkubasi, masing-masing kuvet ditempatkan pada posisi pengambilan gambar di dalam *lightbox*. Kuvet kemudian diambil gambarnya menggunakan *smartphone* sebanyak lima kali, dan nilai RGB dari setiap gambar dicatat hingga diperoleh 16 data pengukuran sampel.

Pengukuran dan Analisis Data

Data penelitian diperoleh dari pengukuran intensitas warna *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B) yang diambil dari citra digital menggunakan kamera *smartphone*. Nilai intensitas RGB yang diperoleh dari setiap pengambilan gambar kemudian diambil nilai yang paling sensitif yaitu dari kanal green, untuk memperoleh nilai intensitas RGB dengan menggunakan rumus:

$$I = \frac{G + G + G + G + G}{5}$$

Keterangan:

I: Intensitas RGB

G: Kanal *Green*

Nilai intensitas yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung absorbansi semu dengan membandingkan intensitas blanko terhadap intensitas larutan standar maupun sampel menggunakan rumus:

$$A = \left(\frac{I_{blanko}}{I_{standar}} \right)$$

$$A = \left(\frac{I_{blanko}}{I_{sampel}} \right)$$

Keterangan:

A = Absorbansi semu

I_{blanko} = Rata-rata dari Intensitas blanko

I_{standar}/I_{sampel} = Rata-rata dari Intensitas larutan standar atau sampel

Nilai absorbansi semu tersebut kemudian digunakan untuk menghitung konsentrasi kolesterol sampel dengan membandingkan absorbansi sampel terhadap absorbansi standar menggunakan rumus:

$$C_{sampel} = \frac{A_{sampel}}{A_{standar}} C_{standar}$$

Keterangan:

C_{sampel} = Konsentrasi kolesterol sampel

A_{sampel} = Absorbansi sampel

A_{standar} = Absorbansi standar

C_{standar} = Konsentrasi larutan standar 200 mg/dL

Selanjutnya dilakukan evaluasi kinerja metode melalui uji akurasi dan presisi. Akurasi dihitung menggunakan rumus persen bias (d%) dengan rumus:

$$d\% = \frac{(C_{terukur} - C_{rujukan})}{C_{rujukan}} \times 100\%$$

Keterangan:

d% : Nilai bias

C_{terukur} : Konsentrasi hasil pengukuran (hasil sampel/mean hasil uji)

C_{rujukan} : Nilai sebenarnya / nilai target (true value / nilai kontrol)

Sedangkan presisi dihitung menggunakan simpangan baku (*Standard Deviation*/SD) dan koefisien variasi (*Coefficient of Variation*/CV) dengan rumus.

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$CV = \frac{SD}{Mean} \times 100\%$$

Nilai yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik *Levey-Jennings* untuk memantau kestabilan pengukuran dan menilai apakah metode pengujian kolesterol berbasis *smartphone* memenuhi kriteria akurasi dan presisi yang dapat diterima.

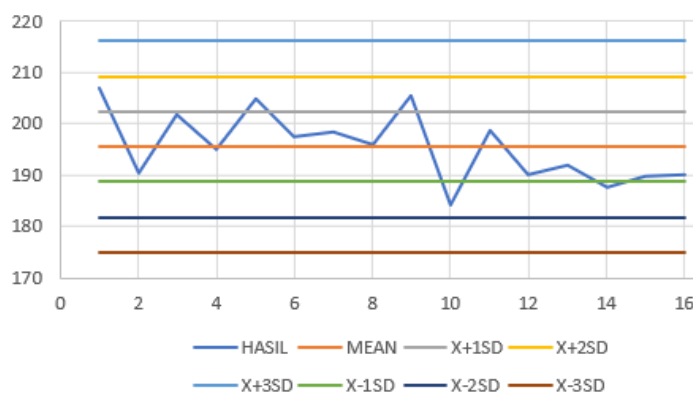
HASIL

Evaluasi kinerja metode dilakukan melalui uji akurasi dan presisi untuk mengetahui tingkat ketepatan dan ketelitian metode pengukuran kolesterol menggunakan *smartphone*. Akurasi dinyatakan sebagai persen bias (d%), sedangkan presisi dinilai berdasarkan nilai simpangan baku (SD) dan koefisien variasi (CV). Hasil perhitungan akurasi dan presisi metode ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Akurasi dan Presisi Pengujian Kolesterol Metode CHOD-PAP

Parameter	Nilai	Kriteria	Interpretasi
Akurasi (d%)	37,74 %	±10%	Kurang Baik
SD	6,87	-	-
Mean	195,59	-	-
Presisi (Cv%)	3.51 %	<6%	Baik

Analisis kestabilan dan konsistensi hasil pengukuran kolesterol menggunakan metode CHOD-PAP berbasis analisis citra *smartphone* dilakukan melalui grafik *Levey-Jennings*. Grafik ini merupakan salah satu metode pengendalian mutu laboratorium yang digunakan untuk memantau variasi hasil pengukuran terhadap nilai rata-rata serta batas simpangan baku (SD). Pada grafik ditampilkan hasil pengukuran konsentrasi kolesterol dari 16 kali pengulangan yang dibandingkan dengan garis mean, ±1SD, ±2SD, dan ±3SD. Pemantauan ini bertujuan mengetahui apakah hasil pengukuran berada dalam batas kontrol yang dapat diterima serta mendeteksi kemungkinan adanya kesalahan sistematis maupun kesalahan acak selama proses pengujian. Hasil pemantauan kestabilan pengukuran tersebut disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Grafik Levey Jennings Pengujian Kolesterol Metode CHOD-PAP

DISKUSI

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja analitik pengujian kolesterol menggunakan metode kolorimetri enzimatis CHOD-PAP berbasis analisis citra digital *smartphone*. Evaluasi dilakukan melalui parameter akurasi, presisi, serta kestabilan pengukuran menggunakan grafik *Levey-Jennings*.

Jennings. Pengembangan metode berbasis *smartphone* berpotensi menyediakan alternatif pemeriksaan laboratorium yang lebih praktis, portabel, dan ekonomis, terutama pada fasilitas kesehatan dengan keterbatasan peralatan analitik konvensional (Rateni *et al.*, 2017; Roest *et al.*, 2024).

Akurasi merupakan kemampuan suatu metode pengukuran untuk menghasilkan nilai yang mendekati nilai sebenarnya (*true value*) melalui pengukuran berulang pada sampel yang sama (Siregar *et al.*, 2018). Berdasarkan data pada Tabel 1, diperoleh nilai akurasi ($d\%$) sebesar 37,74% yang menunjukkan tingkat ketepatan metode masih rendah karena berada di luar batas bias yang diperbolehkan ($\pm 10\%$) (Bhattarai *et al.*, 2022), serta didukung oleh nilai rata-rata hasil pengukuran sebesar 195,59 mg/dL yang tidak mendekati nilai rujukan. Hal ini mengindikasikan adanya kesalahan sistematis, yaitu penyimpangan yang terjadi secara konsisten ke satu arah sehingga hasil pengukuran cenderung lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai sebenarnya. Kesalahan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti ketidaktepatan kalibrasi, kualitas reagen yang kurang optimal, ketidakakuratan alat pipet, serta kesalahan dalam proses pelarutan reagen (Prastiwi *et al.*, 2025). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kesalahan sistematis kemungkinan dipengaruhi oleh ketidakstabilan pencahayaan, keterbatasan sensitivitas kamera *smartphone*, serta ketidaksempurnaan konversi nilai RGB menjadi absorbansi semu, yang sejalan dengan penelitian sebelumnya mengenai keterbatasan metode berbasis citra digital akibat variasi perangkat dan kondisi lingkungan yang belum terstandarisasi (Meng *et al.*, 2022; Roest *et al.*, 2024).

Presisi dievaluasi melalui perhitungan CV% yang menunjukkan tingkat kedekatan antar hasil pengukuran berulang pada sampel yang sama, di mana semakin kecil nilai CV% maka semakin baik ketelitian metode atau sistem yang digunakan. Presisi berkaitan dengan kemungkinan terjadinya kesalahan acak (Lestari *et al.*, 2022). Berdasarkan data pada Tabel 1, diperoleh nilai presisi yang baik, dengan simpangan baku (SD) sebesar 6,87 yang menandakan variasi data relatif kecil. Nilai koefisien variasi (CV) sebesar 3,51% berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan untuk parameter kolesterol, yaitu 6% (Permenkes, 2013; Siregar *et al.*, 2018), sehingga menunjukkan bahwa metode memiliki tingkat ketelitian yang baik dan hasil pengukuran yang konsisten antar pengulangan. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa metode berbasis analisis citra digital dapat menghasilkan presisi yang baik apabila kondisi pengambilan citra dijaga tetap konstan (Yun *et al.*, 2019; Rateni *et al.*, 2017). Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan grafik kontrol *Levey-Jennings* dengan penerapan aturan Westgard untuk analisis lebih lanjut.

Grafik *Levey-Jennings* pada penelitian menunjukkan bahwa hasil pengendalian mutu masih berada dalam performa yang cukup baik dimana seluruh data kontrol masih berada dalam batas $\pm 3SD$ sehingga tidak terdapat pelanggaran aturan $1s$ yang menandakan error acak atau sistematis berat. Grafik pada penelitian ini juga tidak ditemukan dua hasil berturut-turut melewati batas $\pm 2SD$ pada sisi yang sama sehingga aturan $2s$ juga tidak dilanggar. Grafik juga tidak menunjukkan selisih dua hasil kontrol berturut-turut melebihi $4SD$, sehingga tidak terdapat pelanggaran $R4s$. Sebagian besar titik kontrol berada di sekitar nilai rata-rata dan masih dalam rentang $\pm 2SD$, menandakan presisi metode cukup baik. Namun, pada titik pengukuran ke-10 terlihat hasil mendekati batas $-2SD$ sehingga perlu diwaspadai sebagai tanda awal kemungkinan variasi acak, meskipun belum termasuk pelanggaran *Westgard* yang menyebabkan *run* harus ditolak, tidak tampak adanya pola trend atau shift yang konsisten, sehingga aturan seperti $4is$, $10x$, maupun $7T$ juga tidak terpenuhi. Evaluasi aturan *Westgard* menunjukkan bahwa proses pemeriksaan pada penelitian ini masih dapat diterima dan metode menunjukkan kestabilan yang cukup baik selama pengukuran berlangsung. Pola sebaran data bersifat acak di sekitar nilai rata-rata tanpa menunjukkan tren maupun pergeseran yang konsisten, sehingga variasi yang terjadi cenderung berupa kesalahan acak. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran berada dalam kondisi terkendali (*in control*) dan memiliki kestabilan yang baik. Penggunaan *smartphone* sebagai alat pembaca kolorimetri mampu menghasilkan data yang konsisten, namun masih memerlukan peningkatan pada aspek akurasi akibat pengaruh faktor teknis dan variasi

perangkat yang belum sepenuhnya terstandarisasi (Rateni *et al.*, 2017; Roest *et al.*, 2024).

Pemanfaatan *smartphone* sebagai alat pembaca kolorimetri dalam penelitian ini menunjukkan potensi besar sebagai metode pemeriksaan laboratorium yang portabel dan ekonomis, serta memiliki keunggulan berupa kemudahan penggunaan dan aksesibilitas yang tinggi. Dibalik potensinya yang besar penelitian ini tetap masih memiliki keterbatasan, antara lain waktu pengujian yang relatif lebih lama akibat proses perhitungan konversi nilai intensitas RGB dari kanal *green* menjadi nilai absorbansi semu, serta adanya pengaruh faktor teknis seperti lingkungan, pencahayaan, jarak kamera, dan jenis perangkat serta metode berbasis *smartphone* ini juga belum dapat digunakan untuk mendeteksi hasil reaksi yang tidak menghasilkan warna atau berada pada daerah ultraviolet (UV), karena kamera *smartphone* hanya mampu menangkap cahaya tampak (*visible light*). Keterbatasan lainnya meliputi belum adanya standar baku yang seragam, potensi variasi pengukuran akibat perbedaan kualitas sensor dan perangkat lunak pengolah citra, serta tingkat akurasi yang masih lebih rendah dibandingkan dengan spektrofotometer laboratorium yang telah tervalidasi.

KESIMPULAN

Metode pengukuran kolesterol berbasis analisis citra digital menggunakan *smartphone* menunjukkan tingkat presisi yang baik, yang ditunjukkan oleh nilai CV sebesar 3,51% (<6%), variasi data yang rendah, serta kestabilan sistem yang tetap berada dalam batas kendali berdasarkan grafik *Levey-Jennings* tidak ada yang mengikuti aturan *Westgard*. Namun, dari sisi akurasi, metode ini masih tergolong rendah dengan nilai bias ($d\%$) sebesar 37,74% yang melampaui batas yang diperbolehkan yaitu $\pm 10\%$, sehingga mengindikasikan adanya kesalahan sistematis yang menyebabkan hasil pengukuran belum mendekati nilai rujukan. Meskipun demikian, metode ini memiliki potensi sebagai alternatif pemeriksaan yang praktis dan portabel, tetapi masih memerlukan perbaikan terutama pada aspek akurasi.

SARAN

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah perlunya dilakukan dengan membandingkan secara langsung hasil metode CHOD-PAP menggunakan *smartphone* dengan alat spektrofotometri klinik untuk menilai validitasnya, serta melakukan standarisasi kondisi pengukuran agar diperoleh hasil analisis yang lebih akurat dan konsisten.

REKOMENDASI

Rekomendasi penelitian ini adalah perlunya dilakukan pengujian lanjutan menggunakan sampel serum manusia dengan variasi kadar kolesterol yang lebih luas agar dapat menggambarkan performa metode secara lebih representatif pada kondisi klinis. Penggunaan berbagai jenis dan merek *smartphone* juga perlu dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi hasil pengukuran pada perangkat dengan spesifikasi kamera yang berbeda. Standarisasi kondisi pencahayaan dan pengembangan aplikasi analisis warna yang lebih terintegrasi juga disarankan guna meningkatkan akurasi dan reproduksibilitas pengukuran. Upaya tersebut diharapkan dapat memperkuat validasi metode sehingga pemanfaatan analisis citra digital berbasis *smartphone* dapat diterapkan secara lebih luas sebagai alternatif pemeriksaan kolesterol berbasis *point of care testing* (POCT).

KETERBATASAN

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil. Penggunaan serum kontrol komersial sebagai sampel uji belum sepenuhnya merepresentasikan variasi biologis yang terdapat pada sampel serum manusia, sehingga performa metode pada kondisi klinis yang lebih kompleks belum dapat digambarkan secara menyeluruh. Pengujian juga hanya dilakukan menggunakan satu jenis perangkat *smartphone* yaitu iPhone 13, sehingga variasi performa yang mungkin muncul akibat perbedaan spesifikasi kamera pada perangkat lain belum dapat dievaluasi. Kondisi pencahayaan yang dikontrol menggunakan *lightbox* memberikan lingkungan pengukuran yang

stabil, namun kondisi ini dapat berbeda dengan situasi pengukuran di lapangan yang memiliki variasi intensitas cahaya yang lebih dinamis. Metode berbasis *smartphone* pada penelitian ini juga belum dapat digunakan untuk mendeteksi hasil reaksi yang tidak menghasilkan warna atau berada pada daerah ultraviolet (UV), karena kamera *smartphone* hanya mampu menangkap cahaya tampak (*visible light*). Keterbatasan tersebut lebih berkaitan dengan metode dan kondisi pengujian yang dipilih dalam penelitian ini, sehingga kemungkinan dapat mempengaruhi tingkat generalisasi hasil terhadap penggunaan pada perangkat dan kondisi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, M. L., Fody, E. P., & Schoeff, L. E. (2018). *Clinical chemistry: Principles, techniques, and correlations* (8th ed.). Wolters Kluwer.
- Burtis, C. A., & Bruns, D. E. (2015). *Tietz fundamentals of clinical chemistry and molecular diagnostics* (7th ed.). Elsevier.
- Duan, X., Chen, Y., Zhang, Y., Liu, B., & Wang, Z. (2022). Smartphone-based photochemical sensor for multiplex determination of glucose, uric acid, and total cholesterol in fingertip blood. *Analyst*, 147(14), 3187–3195.
- Kementerian Kesehatan RI. (2018). *Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2018*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Kurniati, N., Kusumaningrum, D., & Subekti, N. (2023). Perbandingan kadar kolesterol darah kapiler metode POCT dengan serum metode enzimatis CHOD-PAP. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, 1(2), 45–49.
- Kushal Bhattarai, Bishal Raj Joshi, Dojindra Basnet. (2022). “Original Research Article Autoanalyzer Using Internal Quality Control Specimens In A Tertiary Care Hospital.” 12(October 2021): 51–58.
- Magnussen, C., Ojeda, F. M., Leong, D. P., et al. (2023). Global Effect of Modifiable Risk Factors on Cardiovascular Disease and Mortality. *New England Journal of Medicine*, 389(14), 1273–1285.
- Melati, F. D. P., Widiyanti, F. L., & Inayah, I. (2021). Asupan lemak jenuh dengan kadar kolesterol low density lipoprotein pada lansia hiperkolesterolemia. *Jurnal Nutrisia*, 23(1), 44–51. <https://www.nutrisiajournal.com/index.php/JNUTRI/article/view/205>.
- Meng, Z., Tayyab, M., Lin, Z., Raji, H., & Javanmard, M. (2022). *A Smartphone-Based Disposable Hemoglobin Sensor Based on Colorimetric Analysis*. *Sensors*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/1/394>
- Permenkes, R. (2013). *Penyelenggaraan Laboratorium Klinik Yang Baik*. Menteri Kesehatan Republik Indonesia Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 69(1216), 1–4.
- Pirillo A, C. M. O. E. N. G. C. AL. (2021). Global Epidemiology Of Dyslipidaemias. *Nat Rev Cardiol*, 689–700.
- Prastiwi, Yussi, Aji Bagus Widyantara, And Arifiani Agustin Amalia. (2025). “Analisis Quality Control Pemeriksaan Glukosa Dan Kolesterol Menggunakan Grafik Levey-Jennings Di Rs Pku Muhammadiyah Yogyakarta.” 6(September): 9667–73.
- Rahmawati, Yeni, Dea Dwi Ramadanty, Fitri Rahmawati, And Elin Perwitasari. (2022). “Hiperkolesterolemia Pada Pasien Lanjut Usia : Studi Kasus Puskesmas Seyegan.” 3(1): 157–63.
- Ratni, Giovanni, Paolo Dario, And Filippo Cavallo. (2017). “Smartphone-Based Food Diagnostic Technologies : A Review.” 17: 1–22.
- Roest, Kiran N, Matthew Lee, Jon Rees, And Vladimir Gubala. (2024). “Biosensors And Bioelectronics : X Smartphone-Based Digital Point-Of-Care Panel Assay With Enzymatic Catalytic Reaction.” *Biosensors And Bioelectronics: X* 19(May): 100504. <https://doi.org/10.1016/J.Biosx.2024.100504>.

- Shen, L., Hagen, J. A., & Papautsky, I. (2015). Point-of-care colorimetric detection with a smartphone. *Lab on a Chip*, 15(1), 199- 206. <https://doi.org/10.1039/C4LC00907K>
- Siregar, T, M., Wulan, S, W., Setiawan, D., & Nuryati, A. (2018). *Bahan Ajar Teknologi Laboratorium Medik (TLM)*. Jakarta: Pusat Pendidikan Sumber Daya Manusia Kesehatan
- Subrata Tri Widada, M. Atik Martsiningsik, Stephanie Cicilia Carolina. (2016). “Gambaran Perbedaan Kadar Kolesterol Total Metode Chod-Pap (Cholesterol Oxidase – Peroxidase Aminoantipirin) Sampel Serum Dan Sampel Plasma.” 5(1): 41–44.
- Ulfiati, M., Purnami, T., & Karina, K., M. (2017). Faktor Yang Mempengaruhi Presisi Dan Akurasi Hasil Uji Dalam Menentukan Kompetensi Laboratorium. 49-6
- WHO. (2021). *Cardiovascular diseases (CVDs) Fact Sheet*. World Health Organization. [https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)).
- Wuni Sri Lestari, Witi Karwiti, Aminahtun Latifah, Yenni Listiani, Sri Hartini Harianja. (2022). “Sera Pooled Stability As A Sgpt Control Material With Storage Time And Temperature Variation.” 2(1): 33–39.
- Yetisen, A. K., Martinez-Hurtado, J. L., Garcia-Melendrez, A., da Cruz Vasconcellos, F., & Lowe, C. R. (2014). A smartphone algorithm with inter-phone repeatability for colorimetric detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 196, 156–160. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.01.077>
- Yudita, Ferina. (2019). “Laboratorium X Palangka Raya Evaluation Of Quality Control Of Blood Glucose Examination In Laboratory X Palangka Raya.” : 358–65.
- Yun, Y. et al. (2019). Performance Evaluation of a Smartphone-Based Cholesterol Test Compared with a Clinical Diagnostic Laboratory Method. *Applied Sciences*, 9(16), 3334. <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/16/3334>