Borneo Journal Of Medical Laboratory Technology
BJMLT
http://journal.umpalangkaraya.ac.id/index.php/bjmlt

Aplikasi Kolorimetri Berbasis Smartphone Sebagai Strategi Kuantitasi Pengukuran Glukosa Urine Menggunakan Reagen Benedict

Smartphone-Based Colorimetry Application as a Strategy for Quantitative Measurement of Urine Glucose Using Benedict's Reagent

Lintang Citra Aliya [1*]
Titin Aryani [2]
Aji Bagus Widyantara[3]

[*] [1]Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia
[2] Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia
[3] Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia
*email: citraaliyalintang@gmail.com

Abstrak

Pemeriksaan glukosa urine merupakan cara sederhana untuk mendeteksi kelainan metabolik sejak dini, tetapi masih memiliki keterbatasan kuantitatif. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai teknik kolorimetri berbasis smartphone menggunakan reagen Benedict. Pendekatan yang digunakan adalah eksperimen laboratorium di mana glukosa diberikan pada sampel urine negatif glukosa dengan konsentrasi 0, 100, 200, dan 300 mg/dL. Intensitas warna merah, hijau, dan biru pada gambar *smartphone* dianalisis, dan nilai intensitas dan absorbansi palsu dihitung menggunakan analisis ini. Hasil menunjukkan akurasi yang wajar dengan bias 3,58% dan presisi yang memadai dengan koefisien variasi 7,85%. Meskipun hubungan antara konsentrasi glukosa dan absorbansi bersifat searah, linearitasnya tidak ideal, dengan koefisien determinasi 0,7581. Meskipun pendekatan ini berpotensi menjadi pengganti yang cepat dan terjangkau untuk pengujian glukosa urin, kondisi pengujian masih perlu dioptimalkan untuk akurasi dan konsistensi yang lebih besar.

Kata Kunci:
Glukosa urine, Reagen Benedict, Kolorimetri smartphone, Intensitas RGB, Validasi metode

Keywords:
Urine glucose, Benedict reagent, Smartphone colorimetry, RGB intensity, Method validation

Abstract

Urine glucose tests are a simple way to screen for metabolic abnormalities early on, but they still have quantitative limitations. The goal of this study is to assess the smartphone-based colorimetric technique using Benedict's reagent. The approach used was a laboratory experiment in which glucose was administered to glucose-negative urine samples at concentrations of 0, 100, 200, and 300 mg/dL. The red, green, and blue color intensities of the smartphone image are analyzed, and the fake intensity and absorption values are computed using this analysis. The results show reasonable accuracy with a bias of 3.58% and adequate precision with a coefficient of variation of 7.85%. Although the link between glucose concentration and absorbance is unidirectional, the linearity is not ideal, with a coefficient of determination of 0.7581. Although this approach has the potential to be a quick and affordable substitute for urine glucose testing, the testing conditions still need to be optimized for greater accuracy and consistency.

PENDAHULUAN

Diabetes melitus (DM) merupakan penyakit metabolik kronis dengan prevalensi yang terus meningkat secara global. Berdasarkan analisis terhadap 751 studi populasi, jumlah penderita DM meningkat dari 211 juta pada tahun 1990 menjadi 476 juta pada tahun 2017. Peningkatan ini menunjukkan pentingnya deteksi dini gangguan metabolisme glukosa untuk mencegah komplikasi jangka panjang seperti nefropati, neuropati, dan penyakit kardiovaskular (*NCD Risk Factor Collaboration*, 2020; *American Diabetes Association*, 2023). Pemeriksaan laboratorium menjadi komponen penting dalam mendukung diagnosis dan pemantauan penyakit metabolik karena menyediakan data objektif terkait kondisi fisiologis pasien (Bishop *et al*., 2021).

Salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai pemeriksaan penunjang adalah glukosa urine. Pemeriksaan ini bersifat *non-invasif*, sederhana, dan ekonomis, sehingga sering dimanfaatkan sebagai metode skrining awal terutama di fasilitas kesehatan dengan keterbatasan pemeriksaan glukosa darah. Dalam kondisi normal, glukosa yang tersaring di ginjal akan direabsorpsi kembali di tubulus proksimal, sehingga tidak ditemukan dalam urine. Glukosuria terjadi ketika

kadar glukosa darah melebihi ambang ginjal atau terjadi gangguan reabsorpsi, dan dapat dijumpai tidak hanya pada diabetes melitus tetapi juga pada kondisi lain seperti kehamilan dan gangguan tubulus ginjal (DeFronzo *et al*., 2021; Gounden *et al*., 2020; Simerville *et al*., 2021).

Metode klasik yang banyak digunakan untuk mendeteksi glukosa urine adalah reagen *Benedict*, yang bekerja berdasarkan reaksi reduksi ion tembaga (Cu^{2+}) oleh glukosa menjadi Cu_2O yang menghasilkan perubahan warna dari biru menjadi hijau, kuning, hingga merah bata sesuai dengan konsentrasi glukosa. Metode ini memiliki keunggulan berupa kemudahan penggunaan dan biaya yang rendah, namun bersifat semi-kuantitatif karena bergantung pada interpretasi visual terhadap perubahan warna (Burtis & Bruns, 2015; Kaur & Kaur, 2022). Selain itu, adanya zat pereduksi lain seperti vitamin C dapat menyebabkan hasil positif palsu sehingga memengaruhi akurasi pemeriksaan (Sulfia *et al*., 2022; Lee *et al*., 2016). Keterbatasan metode visual dan keterbatasan alat spektrofotometer di beberapa fasilitas kesehatan mendorong pengembangan metode alternatif yang lebih praktis dan tetap mampu memberikan hasil kuantitatif. Spektrofotometer sebagai standar pemeriksaan memiliki akurasi yang tinggi, tetapi kurang portabel, membutuhkan biaya tinggi, serta memerlukan kalibrasi rutin (Bishop *et al*., 2021). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan inovatif yang lebih sederhana dan mudah diimplementasikan di lapangan.

Perkembangan teknologi digital memungkinkan pemanfaatan kamera *smartphone* sebagai alat analisis kolorimetri berbasis citra. *Smartphone* mampu merekam perubahan warna secara objektif melalui ekstraksi nilai warna seperti *red, green, blue* (RGB) atau *hue, saturation, value* (HSV), yang kemudian dapat dikonversi menjadi data kuantitatif (Oncescu *et al*., 2014; Keelan *et al*., 2023). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode kolorimetri berbasis *smartphone* memiliki korelasi yang baik dengan metode spektrofotometri dalam analisis kimia klinik serta mampu meningkatkan objektivitas hasil pengukuran (Gupta *et al*., 2022; Ciaccheri *et al*., 2023). Selain itu, penggunaan kartu kalibrasi warna terbukti dapat meningkatkan akurasi dan konsistensi hasil meskipun terdapat variasi pencahayaan dan perbedaan perangkat (Azhar *et al*., 2023).

Dalam penelitian laboratorium, penggunaan urine negatif glukosa sebagai matriks dasar sering dilakukan untuk mengontrol variabel dan memastikan bahwa perubahan warna yang terjadi benar-benar disebabkan oleh penambahan glukosa. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi hubungan antara intensitas warna dan konsentrasi glukosa secara lebih objektif (Fahmi *et al*., 2024; Sarigul *et a*l., 2019).

Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan metode kolorimetri berbasis *smartphone*, sebagian besar masih berfokus pada penggunaan strip urine komersial atau perangkat berbasis kertas. Penelitian yang secara khusus mengombinasikan reagen *Benedict* dengan analisis citra digital untuk kuantifikasi glukosa urine masih terbatas. Selain itu, evaluasi kinerja metode berbasis *smartphone* dari aspek validasi analitik seperti akurasi, presisi, linearitas, serta pengendalian mutu menggunakan grafik *Levey–Jennings* juga masih jarang dilaporkan (Westgard *et al*., 2018).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja metode kolorimetri berbasis *smartphone* dalam pengukuran glukosa urine menggunakan reagen *Benedict,* ditinjau dari aspek akurasi, presisi, linearitas, serta pengendalian mutu, sehingga diharapkan dapat menjadi alternatif metode kuantitatif yang sederhana, ekonomis, dan aplikatif di fasilitas kesehatan dengan keterbatasan sumber daya.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan yaitu penelitian eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk menganalisis kadar glukosa urine menggunakan metode kolorimetri berbasis *smartphone* dengan reagen *Benedict*. Penelitian ini menggunakan

sampel urine manusia negatif glukosa yang kemudian ditambahkan glukosa dengan variasi konsentrasi tertentu sebagai bahan uji.

Prosedur penelitian dilakukan dengan mereaksikan sampel urine yang telah ditambahkan glukosa dengan reagen Benedict, kemudian dipanaskan sesuai prosedur hingga terjadi perubahan warna. Hasil perubahan warna tersebut selanjutnya didokumentasikan menggunakan kamera *smartphone* dengan kondisi pencahayaan yang terkontrol.

Data warna yang diperoleh dianalisis menggunakan aplikasi kolorimetri berbasis *smartphone* untuk mendapatkan nilai intensitas warna yang kemudian dikonversi menjadi nilai kuantitatif kadar glukosa. Analisis data dilakukan secara deskriptif untuk melihat hubungan antara perubahan warna dengan konsentrasi glukosa yang diuji.

Sampel yang digunakan berupa urine manusia negatif glukosa yang kemudian ditambahkan glukosa dengan variasi konsentrasi tertentu sebagai bahan uji. Kriteria inklusi meliputi urine negatif glukosa yang masih dalam kondisi baik, tidak terkontaminasi, serta digunakan sesuai prosedur pemeriksaan. Kriteria eksklusi meliputi sampel urine yang 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:

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

Keterangan:

r = Jumlah pengulangan pemeriksaan

t = Jumlah kelompok (kelompok standar dan sampel)

15 = Derajat bebas galat

Pengulangan pengukuran dilakukan untuk meningkatkan ketelitian dan keandalan hasil pemeriksaan, serta mengurangi pengaruh kesalahan acak yang dapat terjadi selama proses pengukuran menggunakan *smartphone* dan analisis citra warna. Selain itu, pengulangan juga diperlukan agar data yang diperoleh memenuhi syarat untuk dilakukam analisis statistik. Penelitian ini menggunakan dua perlakuan yaitu larutan standar dan sampel. Substitusi nilai ke dalam rumus menghasilkan:

$$(r-1)(t-1) \geq 15$$
$$(2-1)\,(t-1) \geq 15$$
$$1(t-1) \geq 15$$
$$t-1 \geq 15$$
$$t \geq 15+1$$
$$t \geq 16 \text{ kali pengulangan}$$

Perhitungan menunjukkan bahwa jumlah pengulangan minimal yang harus dilakukan untuk setiap perlakuan adalah sebanyak 16 kali. Oleh karena itu, pada penelitian ini setiap konsentrasi glukosa dilakukan pengulangan minimal sebanyak 16 kali untuk memperoleh data yang dapat dianalisis. Setiap satu data diperoleh melalui pengambilan gambar menggunakan *smartphone* sebanyak 5 kali, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk meningkatkan keandalan hasil pengukuran.

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi tabung reaksi, lampu spirtus, penjepit tabung, mikropipet dan tip 1000 µL, *ultrasonic cleaner*, *smartphone* Samsung A52 dengan resolusi kamera minimal 64 MP, *lightbox* dengan latar belakang putih, tripod, serta aplikasi identifikasi warna. Bahan yang digunakan meliputi reagen *Benedict*, urine, larutan standar glukosa dengan beberapa konsentrasi (0, 100, 200, 300 mg/dL), glukosa bubuk, dan *aquabidest*.

Data penelitian diperoleh melalui pengambilan citra larutan blanko, larutan standar, dan sampel urine yang telah direaksikan dengan reagen *Benedict* menggunakan kamera *smartphone* yang ditempatkan pada posisi tetap menggunakan tripod di dalam *lightbox*. Setiap citra yang dihasilkan dianalisis menggunakan aplikasi analisis 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 warna, absorbansi semu, dan kadar glukosa.

PROSEDUR PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain tabung reaksi, mikropipet *adjustable*, lampu spirtus, penjepit tabung, rak tabung, neraca analitik, labu ukur 100 ml, gelas beaker, sonikator, kamera *smartphone* (merek Samsung A52, resolusi kamera belakang 64 *megapixel*), tripod, *light box*, aplikasi *Color Identification*. Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain urine sewaktu, reagen *Benedict,* bubuk glukosa, akuades.

2. Prosedur

a. Uji saring urine kontrol negatif

Sebanyak 250 µL sampel urine ditambahkan dengan 500 µL reagen *Benedict.* Campuran kemudian dipanaskan hingga mendidih. Hasil uji dinyatakan memenuhi syarat apabila tidak terjadi perubahan warna, yaitu tetap berwarna biru, yang menunjukkan hasil negatif terhadap kandungan glukosa dalam urine.

b. Pembuatan sampel urine dengan penambahan glukosa konsentrasi 100 mg/dL

Glukosa ditimbang sebanyak 20 mg menggunakan neraca analitik, kemudian dilarutkan dalam 20 mL urine sewaktu. Larutan tersebut selanjutnya dihomogenkan menggunakan sonikator selama 5 menit hingga tercampur merata. Sampel urine yang telah homogen siap untuk dilakukan pengujian.

c. Pembuatan Larutan Standar Glukosa

Disiapkan beberapa tingkat konsentrasi, yaitu 0, 100, 200, dan 300 mg/dL. Masing-masing larutan dibuat dengan cara menimbang glukosa sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur. Selanjutnya, glukosa dilarutkan menggunakan akuades hingga mencapai volume akhir 100 mL, kemudian dihomogenkan menggunakan sonikator selama 5 menit hingga larutan tercampur merata.

d. Pemeriksaan Sampel Uji

Tabung reaksi disiapkan untuk blanko (akuades) serta sampel (reagen dan sampel urine uji). Sebanyak 500 µL reagen *Benedict* dimasukkan ke dalam masing- masing tabung sampel, kemudian ditambahkan 250 µL sampel urine uji. Sebanyak 500 µL akuades dimasukkan ke dalam tabung blanko. Seluruh larutan kemudian dihomogenkan secara perlahan, lalu dipanaskan menggunakan lampu spirtus hingga mendidih dan terjadi perubahan warna, selanjutnya didinginkan pada suhu ruang. Perubahan warna yang terbentuk diamati dan dianalisis secara kuantitatif berupa nilai *Red*, *Green*, dan *Blue* (RGB) menggunakan aplikasi kolorimetri yaitu *Color Identification*. Pemeriksaan dilakukan sebanyak 16 kali pengulangan untuk masing-masing standar dan sampel .

e. Pemeriksaan Deret Standar

Tabung reaksi disiapkan untuk blanko (akuades) dan standar (reagen serta larutan standar glukosa dengan konsentrasi 100, 200, dan 300 mg/dL). Sebanyak 500 µL reagen *Benedict* dimasukkan ke dalam masing-masing tabung standar, kemudian ditambahkan 250 µL larutan standar glukosa sesuai konsentrasi ke dalam masing- masing tabung. Sebanyak 500 µL akuades dimasukkan ke dalam tabung blanko. Seluruh larutan kemudian dihomogenkan secara perlahan, lalu dipanaskan menggunakan lampu spirtus hingga mendidih dan terjadi perubahan warna, selanjutnya didinginkan pada suhu ruang. Perubahan warna yang terbentuk diamati dan dianalisis secara kuantitatif berupa nilai RGB menggunakan aplikasi kolorimetri yaitu *Color Identification*. Pemeriksaan dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan untuk masing- masing konsentrasi standar.

3. Perhitungan Konsentrasi Sampel

a. Intensitas Warna

Pengukuran dan analisis data diperoleh dari nilai intensitas warna *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B) yang diekstraksi dari citra digital menggunakan

kamera *smartphone*. Nilai RGB kemudian dikonversi menjadi nilai intensitas warna dengan menggunakan rata-rata ketiga kanal warna. Penggunaan nilai rata-rata RGB dilakukan untuk memperoleh representasi warna yang lebih menyeluruh karena perubahan warna pada reaksi Benedict terjadi pada kombinasi ketiga kanal warna, bukan hanya pada satu kanal tertentu. Selain itu, penggunaan rata-rata RGB dapat mengurangi pengaruh variasi pada masing-masing kanal warna akibat kondisi pencahayaan maupun sensitivitas sensor kamera *smartphone*. Setiap sampel difoto sebanyak 5 kali, kemudian nilai intensitas dari masing-masing citra dirata-ratakan untuk meningkatkan kestabilan dan keandalan hasil pengukuran.

b. Absorbansi Semu

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

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

Keterangan:

A = Absorbansi semu

Iblanko= *Mean*/Intensitas blanko

Istandar/Isampel= *Mean*/Intensitas larutan standar atau sampel

c. Perhitungan Kadar Glukosa

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

$$C_{sampel} = \frac{A_{sampel}}{A_{standar}} C_{standar}\ 100\ mg/dL$$

Keterangan:

Csampel= Konsentrasi sampel

Asampel= Absorbansi sampel

Astandar= Absorbansi standar

Cstandar= Konsentrasi larutan standar

4. Validasi Metode

a. Akurasi

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

$$d\% = \frac{(\bar{x} - NA)}{NA} \times 100\%$$

Keterangan:

d% = nilai bias

$\bar{x}$ = nilai *mean* pemeriksaan bahan kontrol

NA = nilai aktual (benar) bahan kontrol

b. Presisi

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

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

Keterangan:

CV = nilai koefisien variasi (%)

SD = standar deviasi

Mean = nilai rata-rata dari seluruh hasil pengukuran

c. Linearitas

Penilaian linieritas dilakukan dengan mengukur absorbansi larutan standar pada beberapa variasi konsentrasi di panjang gelombang maksimum. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan regresi linier untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi. Nilai tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi linieritas metode, di mana metode dianggap memiliki linieritas yang baik apabila koefisien korelasi ≥ 0,997.

d. Grafik *Levey-Jennings*

Grafik *Levey-Jennings* yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *within day*. Grafik ini menunjukkan hasil pengukuran sampel yang dilakukan berulang dalam satu hari, yang kemudian diplot terhadap nilai rata-rata (*mean*) serta batas kendali yang ditentukan berdasarkan Standar Deviasi (SD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Pengukuran blanko dilakukan untuk mengetahui nilai dasar intensitas warna yang dihasilkan oleh reagen tanpa adanya analit. Pengambilan citra dilakukan sebanyak sepuluh kali menggunakan kamera *smartphone*, kemudian setiap citra dianalisis untuk memperoleh nilai intensitas warna *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B). Nilai intensitas tersebut selanjutnya dihitung rata-ratanya untuk mendapatkan nilai intensitas RGB. Hasil pengukuran intensitas RGB pada blanko dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran blanko

Red	Green	Blue	Rata-Rata RGB	Mean/ Intensitas
0	117	164	93,67	92,03
0	120	163	94,33	
0	116	163	93,00	
0	117	161	92,67	
0	111	156	89,00	
0	115	162	92,33	
0	113	160	91,00	
0	114	159	91,00	
0	116	161	92,33	
0	114	159	91,00	

Hasil pada **Tabel 1**. pengukuran blanko yang terdiri dari reagen *Benedict* tanpa penambahan glukosa menunjukkan nilai intensitas warna yang relatif stabil dengan rata-rata sebesar 92,03. Nilai RGB yang didominasi oleh kanal biru dan hijau menunjukkan bahwa larutan blanko memiliki warna biru kehijauan yang merupakan karakteristik khas reagen *Benedict* sebelum terjadi reaksi reduksi. Data ini digunakan sebagai nilai intensitas awal (I_0) dalam perhitungan absorbansi semu serta sebagai pembanding terhadap perubahan warna yang terjadi pada larutan standar dan sampel.

Tabel 2. Hasil pengukuran larutan standar 100 mg/dL

No	Rata-Rata (*Mean*) RGB	Absorbansi Semu	Mean/Intensitas RGB Standar 100 mg/dL
1	81,53	1,129	83
2	80,47	1,144	
3	78,93	1,166	
4	81,87	1,124	
5	82,00	1,122	
6	85,00	1,083	
7	85,13	1,081	
8	82,53	1,115	
9	82,53	1,115	
10	84,33	1,091	
11	84,93	1,084	
12	85,07	1,082	
13	86,00	1,070	
14	80,40	1,145	
15	85,67	1,074	
16	84,67	1,087	

Hasil pengukuran larutan standar glukosa dengan reagen Benedict menunjukkan penurunan nilai intensitas RGB dibandingkan blanko, dengan rata-rata sebesar 83. Penurunan intensitas ini konsisten dengan peningkatan konsentrasi glukosa, mencerminkan perubahan warna larutan dari biru kehijauan menuju hijau kekuningan dan oranye sesuai prinsip reduksi *Benedict*. Nilai intensitas ini digunakan untuk menghitung absorbansi semu, yang selanjutnya menjadi dasar untuk menentukan konsentrasi glukosa sampel.

Tabel 3. Hasil pengukuran larutan standar konsentrasi 100 mg/dL untuk linearitas

No	Rata-Rata (*Mean*) RGB	Absorbansi Semu	Mean/Intensitas RGB Standar 100 mg/dL
1	81,53	1,129	1,137
2	80,47	1,144	
3	78,93	1,166	
4	81,87	1,124	
5	82,00	1,122	

Pengukuran larutan standar konsentrasi 100 mg/dL yang digunakan untuk menghitung linearitas menunjukkan rata-rata intensitas sebesar 81,53–82,00 dan absorbansi semu rata-rata 1,137. Penurunan intensitas RGB dibandingkan blanko mencerminkan perubahan warna larutan dari biru kehijauan menuju hijau kekuningan dan oranye seiring peningkatan konsentrasi glukosa, sesuai prinsip reduksi *Benedict*.

Tabel 4. Hasil pengukuran larutan standar konsentrasi 200 mg/dL untuk linearitas

No	Rata-Rata (*Mean*) RGB	Absorbansi Semu	Mean/Intensitas RGB Standar 200 mg/dL
1	71,87	1,281	1,383
2	65,07	1,414	
3	66,73	1,379	
4	64,87	1,419	
5	64,80	1,420	

Pengukuran larutan standar konsentrasi 200 mg/dL menunjukkan rata-rata intensitas RGB sebesar 65,07–71,87 dan absorbansi semu rata-rata 1,383. Penurunan intensitas dibandingkan larutan standar menandakan adanya perubahan warna yang lebih kuat, mencerminkan keberadaan glukosa dalam sampel. Nilai absorbansi semu ini digunakan untuk menghitung konsentrasi glukosa sampel berdasarkan kurva kalibrasi larutan standar.

Tabel 5. Hasil pengukuran larutan standar konsentrasi 300 mg/dL untuk linearitas

No	Rata-Rata (*Mean*) RGB	Absorbansi Semu	Mean/Intensitas RGB Standar 300 mg/dL
1	66,07	1,393	1,422
2	63,40	1,452	
3	63,87	1,441	
4	67,20	1,370	
5	63,27	1,455	

Pengukuran larutan standar konsentrasi 300 mg/dL menunjukkan rata-rata intensitas RGB sebesar 63,27–67,20 dengan absorbansi semu rata-rata 1,422. Penurunan intensitas RGB dibandingkan larutan standar menunjukkan perubahan warna yang lebih jelas, sesuai dengan keberadaan glukosa dalam sampel. Nilai absorbansi semu ini digunakan sebagai dasar untuk menghitung konsentrasi glukosa urine menggunakan kurva kalibrasi larutan standar.

Tabel 6. Hasil pengukuran sampel dengan konsentrasi 100 mg/dL

No	Rata-Rata (*Mean*) RGB	Absorbansi Semu	Mean/Intensitas RGB Sampel konsentrasi 100 mg/dL
1	82,27	1,119	81
2	83,67	1,100	
3	88,93	1,035	
4	88,93	1,035	
5	85,73	1,073	
6	83,60	1,101	
7	83,27	1,105	
8	77,53	1,187	
9	82,20	1,120	
10	80,53	1,143	
11	74,73	1,231	
12	80,73	1,140	
13	78,87	1,167	
14	71,20	1,293	
15	73,00	1,261	
16	75,80	1,214	

Pengukuran seluruh sampel menunjukkan rata-rata intensitas RGB akhir sebesar 81 dengan absorbansi semu bervariasi antara 1,035 hingga 1,293. Data ini menunjukkan tren penurunan intensitas RGB seiring peningkatan konsentrasi glukosa, yang sesuai dengan prinsip reaksi *Benedict*, di mana larutan berubah warna dari biru kehijauan menuju hijau kekuningan dan oranye. Nilai absorbansi semu ini digunakan untuk membangun kurva kalibrasi standar dan menghitung konsentrasi glukosa sampel urine.

Nilai absorbansi semu yang diperoleh dari pengukuran standar dan sampel selanjutnya digunakan untuk menghitung konsentrasi kolesterol sampel. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan nilai absorbansi semu sampel terhadap absorbansi semu standar yang telah diketahui konsentrasinya. Hasil perhitungan konsentrasi kolesterol pada sampel ditunjukkan pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Hasil perhitungan konsentrasi pengujian glukosa urine pada konsentrasi 100 mg/dL

No	Absorbansi Standar	Absorbansi Sampel	Konsentrasi
1	1,129	1,119	99,11
2	1,144	1,100	96,18
3	1,166	1,035	88,76
4	1,124	1,035	92,05
5	1,122	1,073	95,65
6	1,083	1,101	101,67
7	1,081	1,105	102,24
8	1,115	1,187	106,45
9	1,115	1,120	100,41
10	1,091	1,143	104,72
11	1,084	1,231	113,65
12	1,082	1,140	105,37
13	1,070	1,167	109,04
14	1,145	1,293	112,92

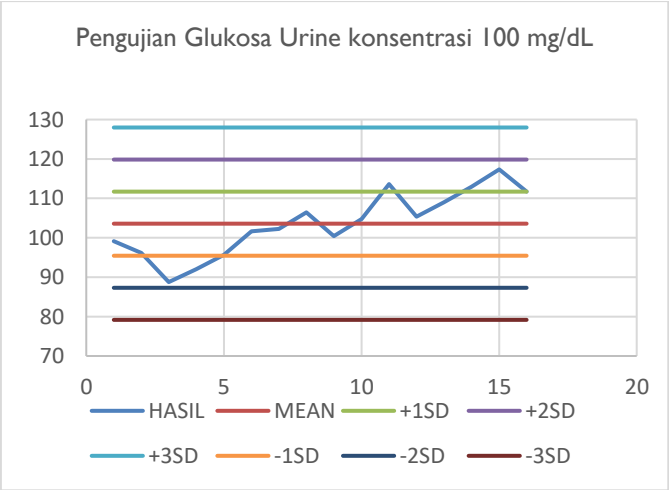
15	1,074	1,261	117,35
16	1,087	1,214	111,70

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 8.**

Tabel 8. Hasil perhitungan akurasi dan presisi

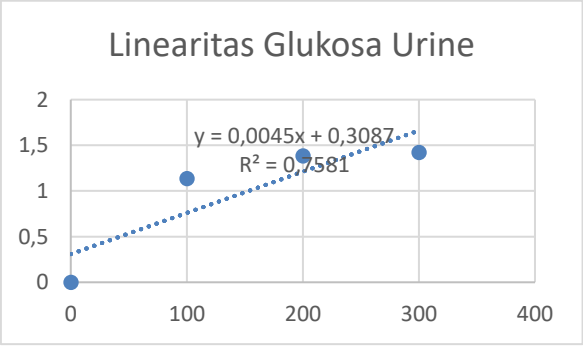
Parameter	Nilai	Kriteria	Interpretasi
Akurasi (d%)	3,58 %	<10%	Baik
SD	8,13	-	-
Mean	103,58	-	-
Cv (%)	7,85%	<5%	Baik

Analisis kestabilan dan konsistensi hasil pengukuran glukosa urine menggunakan metode kolorimetri berbasis *smartphone* dilakukan melalui grafik *Levey–Jennings*. Grafik ini digunakan untuk memantau variasi hasil pengukuran terhadap nilai rata-rata (*mean*) serta batas simpangan baku (SD). Pada grafik ditampilkan hasil pengukuran intensitas dan absorbansi semu dari setiap pengulangan yang dibandingkan dengan garis mean, ±1SD, ±2SD, dan ±3SD. Pemantauan ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran berada dalam batas kontrol yang dapat diterima serta mendeteksi kemungkinan adanya kesalahan sistematik maupun acak selama proses pengujian. Hasil pemantauan kestabilan pengukuran disajikan pada **Gambar 1.**



Gambar 1. Hasil Grafik *Levey Jennings*

Analisis linearitas pengukuran glukosa urine pada konsentrasi 0, 100, 200, dan 300 mg/dL dilakukan menggunakan metode kolorimetri berbasis smartphone. Uji ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara konsentrasi glukosa dan perubahan intensitas warna yang terekam, serta memastikan bahwa metode memberikan respons yang linear sesuai dengan prinsip reduksi reagen *Benedict*. Data pengukuran intensitas warna dan absorbansi semu dari setiap konsentrasi dianalisis untuk menentukan kemiringan kurva kalibrasi, koefisien determinasi (R^2), serta kesesuaian hasil dengan model linear. Pemantauan linearitas ini penting untuk memastikan akurasi dan reliabilitas metode dalam pengukuran glukosa urine pada berbagai konsentrasi. Hasil uji linearitas disajikan pada **Gambar 2.**



Gambar 1. Hasil Grafik uji linearitas

PEMBAHASAN

Pengukuran blanko dilakukan untuk mengetahui intensitas warna awal reagen *Benedict* tanpa adanya glukosa. Berdasarkan **Tabel 1**, rata-rata nilai RGB blanko adalah 92,03, dengan nilai R=0, G=115, B=162–164, menunjukkan larutan memiliki warna biru kehijauan khas *Benedict* sebelum reduksi. Stabilitas nilai blanko ini menandakan bahwa kondisi pencahayaan, posisi kamera, dan latar belakang selama pengambilan citra relatif konsisten. Kondisi ini penting karena perubahan kecil pada pencahayaan dapat memengaruhi nilai RGB yang direkam, yang pada gilirannya memengaruhi perhitungan absorbansi semu.

Pengukuran Larutan standar dilakukan pada konsentrasi glukosa 100, 200, dan 300 mg/dL untuk membangun kurva kalibrasi. Hasilnya menunjukkan penurunan intensitas RGB seiring peningkatan konsentrasi glukosa:

a. 100 mg/dL (**Tabel 2 dan 3**): rata-rata RGB 81, absorbansi semu 1,137. Penurunan intensitas dibanding blanko menunjukkan perubahan warna dari biru kehijauan menuju hijau kekuningan.
b. 200 mg/dL (**Tabel 4**): rata-rata RGB 65–71, absorbansi semu 1,383. Intensitas yang lebih rendah menunjukkan perubahan warna lebih jelas, sesuai dengan prinsip reaksi Benedict.
c. 300 mg/dL (**Tabel 5**): rata-rata RGB 63–67, absorbansi semu 1,422. Perubahan warna paling intens, mencerminkan glukosa dalam konsentrasi tinggi.

Hasil ini menunjukkan hubungan linear antara konsentrasi glukosa dan perubahan warna larutan dari biru kehijauan menuju hijau kekuningan hingga oranye, yang sesuai dengan prinsip reaksi *Benedict*, di mana glukosa mereduksi ion Cu^{2+} menjadi Cu_2O, intensitas warna meningkat seiring peningkatan glukosa.

Hasil pengukuran sampel urine yang ditambahkan glukosa 100 mg/dL ditunjukkan pada **Tabel 6 dan 7**. Rata-rata RGB sampel adalah 81, dengan absorbansi semu bervariasi antara 1,035–1,293. Penurunan intensitas RGB dibanding blanko menandakan reaksi reduksi *Benedict* berjalan dengan baik, menghasilkan perubahan warna dari biru kehijauan menuju hijau kekuningan.

Perhitungan konsentrasi glukosa sampel (**Tabel 7**) menunjukkan nilai antara 88,76–117,35 mg/dL dengan rata-rata 103,58 mg/dL, mendekati konsentrasi target 100 mg/dL. Beberapa sampel memiliki nilai lebih tinggi karena variasi teknis seperti homogenitas larutan, perbedaan suhu pemanasan, atau variasi pencahayaan kamera.

Berdasarkan **gambar 2**, hubungan antara konsentrasi glukosa dan absorbansi semu dianalisis menggunakan regresi linear dengan persamaan $y = 0{,}0045x + 0{,}3087$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7581. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang searah antara peningkatan konsentrasi glukosa dengan nilai absorbansi semu. Namun, nilai R^2 yang diperoleh belum memenuhi kriteria linearitas yang diharapkan (≥0,997) sebagaimana hipotesis penelitian, sehingga menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan respon warna belum sepenuhnya linear.

Secara teori, pada metode kolorimetri, peningkatan konsentrasi analit akan diikuti oleh peningkatan absorbansi secara proporsional, sehingga menghasilkan hubungan linear. Prinsip ini sesuai dengan konsep dasar hukum Hukum *Beer-Lambert* yang menyatakan bahwa absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi zat dalam larutan (Burtis & Bruns, 2015; Skoog *et al*., 2014). Nilai R^2 yang belum optimal pada penelitian ini menunjukkan adanya variasi data yang memengaruhi kesesuaian model linear.

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi hasil tersebut antara lain kondisi pencahayaan saat pengambilan citra, posisi kamera *smartphone* yang kurang konsisten, serta proses pemanasan reagen Benedict yang dapat memengaruhi kestabilan warna. Selain itu, metode berbasis citra digital memiliki sensitivitas terhadap variasi intensitas cahaya dan noise warna dibandingkan metode spektrofotometri konvensional. Meskipun demikian, pola peningkatan absorbansi yang tetap

mengikuti kenaikan konsentrasi glukosa menunjukkan bahwa metode ini masih mampu menggambarkan hubungan antara konsentrasi dan perubahan warna, sehingga berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut dengan pengendalian kondisi pengukuran yang lebih optimal.

Evaluasi Kinerja Metode, akurasi dihitung menggunakan persen bias (d%) dan presisi melalui SD dan CV (**Tabel 8**):

a. Akurasi (d%) = 3,58%, berada dalam batas diterima (<10%), menunjukkan pengukuran mendekati nilai target.
b. Presisi (CV = 7,85%), sedikit di atas batas ideal (<5%), namun masih menunjukkan variasi data yang relatif rendah.
c. SD = 8,13, mendukung bahwa pengukuran cukup konsisten.

Analisis kestabilan melalui grafik *Levey–Jennings* (**Gambar 1**) menunjukkan sebagian besar titik pengukuran berada dalam ±1SD hingga ±2SD. Berdasarkan aturan *Westgard*, tidak ada pelanggaran aturan 1_3s, 2_2s, atau R_4s sehingga hasil pengukuran masih berada dalam batas kontrol yang dapat diterima. Tidak adanya pelanggaran aturan 1_3s menunjukkan bahwa tidak terjadi kesalahan acak (*random error*) yang besar selama proses pengukuran, sedangkan tidak ditemukannya aturan 2_2s menunjukkan bahwa kesalahan sistematik *(systematic error*) juga tidak dominan pada penelitian ini. Selain itu, tidak terlihat adanya pola *trend* maupun *shift* yang signifikan pada grafik, sehingga metode kolorimetri berbasis *smartphone* menggunakan reagen *Benedict* dapat dikatakan cukup stabil dan konsisten untuk pengukuran glukosa urine.

Menurut Westgard *et a*l. (2018), grafik *Levey–Jennings* digunakan sebagai alat pengendalian mutu laboratorium untuk memantau stabilitas hasil pemeriksaan berdasarkan nilai *mean* dan simpangan baku. Pelanggaran aturan *Westgard* dapat menunjukkan adanya kesalahan acak maupun kesalahan sistematik yang memengaruhi keakuratan hasil pemeriksaan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan *smartphone* untuk analisis kolorimetri (Gupta *et al.*, 2022; Azhar *et al.,* 2023), yang menunjukkan korelasi tinggi antara pengukuran intensitas warna berbasis *smartphone* dan metode laboratorium konvensional. Penggunaan reagen Benedict pada sampel urine negatif terbukti efektif sebagai matriks uji, memastikan perubahan warna murni disebabkan glukosa, tanpa interferensi zat pereduksi lain.

Secara keseluruhan, metode kolorimetri berbasis *smartphone* memungkinkan

pengukuran glukosa urine dengan:

a. Akurasi baik (d% <10%)
b. Presisi memadai (CV ≈ 7,85%)
c. Linearitas konsisten sesuai kurva kalibrasi larutan standar
d. Stabilitas pengukuran terpantau melalui *Levey–Jennings*

Secara keseluruhan, metode kolorimetri berbasis *smartphone* dalam penelitian ini menunjukkan akurasi yang baik, presisi yang cukup memadai, serta kemampuan untuk menggambarkan hubungan antara konsentrasi glukosa dan perubahan warna. Namun, linearitas yang diperoleh belum optimal sehingga masih diperlukan perbaikan pada kondisi pengukuran agar hasil yang diperoleh lebih akurat dan konsisten.

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sampel urine manusia dengan variasi kadar glukosa yang lebih luas agar hasil yang diperoleh dapat lebih mewakili kondisi klinis sebenarnya. Selain itu, penggunaan beberapa jenis *smartphone* dengan spesifikasi kamera yang berbeda juga perlu dilakukan untuk melihat konsistensi hasil pengukuran. Standarisasi pencahayaan serta pengembangan aplikasi analisis warna yang lebih praktis juga

dapat dipertimbangkan guna meningkatkan keakuratan dan konsistensi hasil.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Penggunaan urine negatif glukosa yang ditambahkan

glukosa sebagai sampel uji belum sepenuhnya menggambarkan kondisi urine manusia secara nyata. Selain itu,

pengukuran hanya menggunakan satu jenis smartphone, sehingga kemungkinan adanya perbedaan hasil pada perangkat lain belum dapat diketahui. Kondisi pencahayaan yang dibuat stabil menggunakan *lightbox* juga berbeda dengan kondisi di lapangan yang cenderung bervariasi. Hal-hal tersebut dapat memengaruhi hasil pengukuran dan perlu diperhatikan dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode kolorimetri berbasis smartphone yang menggunakan reagen Benedict memiliki akurasi yang baik (d% 3,58%) dan presisi yang cukup (CV 7,85%) untuk mengukur kadar glukosa urine. Meskipun hasil pengukuran menunjukkan hubungan yang searah antara peningkatan konsentrasi glukosa dan perubahan intensitas warna, nilai linearitas yang diperoleh (R2 = 0,7581) belum memenuhi standar. Secara keseluruhan, metode ini dapat berfungsi sebagai alternatif pemeriksaan sederhana dan hemat biaya. Namun, untuk menghasilkan data yang lebih optimal, kondisi pengukuran masih perlu diperbaiki, untuk meningkatkan akurasi dan konsistensi hasil, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan sampel urine dengan variasi kadar glukosa yang lebih besar serta melakukan standarisasi perangkat dan pencahayaan.

DAFTAR PUSTAKA

American Diabetes Association. *Standards of Medical Care in Diabetes—2023*. Diabetes Care. 2023;46(Suppl. 1):S1–S210.

Azhar MN, Bustam A, Naseem FS, Shuin SS, Md Yusuf MH, Hishamudin NU, et al. Improving the reliability of smartphone-based urine colorimetry using a colour card calibration method. Digital Health. 2023;9:205520762311546 84.

Bishop ML, Fody EP, Schoeff LE. *Clinical Chemistry: Principles, Techniques, and Correlations*. Wolters Kluwer; 2021.

Burtis CA, Bruns DE. *Tietz Fundamentals of Clinical Chemistry and Molecular Diagnostics*. 7th ed. Elsevier; 2015.

Ciaccheri L, Adinolfi B, Mencaglia AA, Mignani AG. Smartphone-enabled colorimetry. Sensors. 2023;23(12):5559.

DeFronzo RA, Norton L, Abdul-Ghani M. Glucosuria and renal glycosuria mechanisms. Kidney Int Rep. 2021.

Fahmi AL, 'Aisy KR, Wulandari IO, Sulistyarti H, Sabarudin A. Simultaneous detection of glucose and acetoacetate in artificial urine samples using 3D-connector microfluidic paper-based analytical devices. J Penelit Pendidik IPA. 2024;10(12):10053–10064.

Gounden V, George JA, Crowther NJ. Renal glucose handling and glucose excretion. Diabetes Res Clin Pract. 2020;168:108386.

Gupta R, Kumar S, Mehra R. Limitations of classical chemical methods for glucose estimation and advances in colorimetric analysis. Anal Methods. 2022;14(35):3567–3576.

Kaur J, Kaur P. Benedict's test revisited: Chemistry and clinical relevance. J Chem Educ. 2022;99(5):1960–1966.

Keelan JA, Bonnici EL, O'Riordan A, Kelly JG, Scampicchio E, Duffy C, et al. Smartphone-based colorimetric analysis for quantitative biochemical testing. Biosensors. 2023;13(2):215.

Lee W, Kim Y, Chang J, Lee AJ, Jeon CH. The influence of vitamin C on urine dipstick tests in clinical specimens: a multicenter study. J Clin Lab Anal. 2016;30(6):1069–1074.

NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Global trends in diabetes prevalence from 1990 to 2017: a pooled analysis. Lancet. 2020;395(10229):2006–2020.

Sarigul N, Korkmaz F, Kurultak İ. A new artificial urine protocol to better imitate human urine. Sci Rep. 2019;9(1):20159.

Simerville JA, Maxted WC, Pahira JJ. Urinalysis: A comprehensive review. Am Fam Physician. 2021;104(4):405–414.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Principles of Instrumental Analysis* (6th ed.). Cengage Learning.

Sulfia F, Fikri Z, Fauzi I. Pengaruh vitamin C terhadap pemeriksaan glukosa urine dengan metode reduksi. J Analis Medika Biosains. 2022.

Westgard JO, Westgard SA. Basic quality control practices. 4th ed. Westgard QC Inc; 2018.