

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaminan Mutu

2.1.1 Definisi Jaminan Mutu

Jaminan Mutu atau Quality Assurance (QA) laboratorium klinik adalah seluruh kegiatan yang direncanakan dan sistematis untuk menjamin ketelitian, ketepatan, akurasi, dan keandalan hasil pemeriksaan laboratorium klinik, serta memastikan bahwa hasil tersebut memenuhi standar yang ditetapkan. Laboratorium menetapkan sistem jaminan mutu yang sangat ketat untuk memastikan kualitas layanan dengan melibatkan keseluruhan proses mulai tahap pra-analitik, analitik, hingga pasca-analitik yang bertujuan untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan standar layanan laboratorium. Kesalahan laboratorium berpotensi menyebabkan penanganan yang tidak tepat, sehingga meningkatkan risiko kematian sebesar 6,4%-12%. Oleh karena itu, untuk memastikan validitas hasil uji laboratorium, perlu dilakukan kegiatan Penjaminan Mutu Internal (PMI) dan Penjaminan Mutu Eksternal (PME). PMI digunakan untuk memantau secara rutin kinerja metode, alat, dan reagen untuk mengidentifikasi apakah terjadi kesalahan acak (random error) maupun kesalahan sistematis (systematic error). Sedangkan PME digunakan untuk memantau dan menilai kinerja sebuah laboratorium di bidang pemeriksaan tertentu oleh pihak lain untuk mengevaluasi *performance* laboratorium (Maria et al., 2018; Puspita et al., 2024).

2.1.2 Jaminan Mutu Tahap Pra - Analitik

Pengendalian mutu yang komprehensif, termasuk program pematapan mutu yang merupakan komponen penting dalam mencegah kesalahan. Tahap pra-analitik merupakan tahapan awal proses pemeriksaan laboratorium dan merupakan sumber utama kesalahan. Tahap ini memiliki dampak signifikan terhadap akurasi hasil uji laboratorium. Faktor pra-analitik mencakup semua proses yang terjadi sebelum sampel biologis seperti darah atau urine dianalisis di laboratorium (Purwaningsih et al., 2025). Jaminan mutu di tahap pra-analitik melibatkan pengawasan terhadap :

1. Persiapan pasien

Edukasi pasien mengenai obat yang dikonsumsi, waktu pengambilan sampel, dan kondisi fisiologis.

2. Pemberian identitas pasien

Ketepatan pelabelan sampel menggunakan dua identitas (nama, tanggal lahir/no. rekam medis), apabila lupa memberi identitas pasien bisa terjadi tertukarnya sampel.

3. Pengambilan sampel

Pengambilan sampel harus dilakukan sesuai dengan Standar Operasional Prosedur (SOP), seperti teknik venipuncture yang benar, pemilihan tabung yang sesuai, volume sampel yang cukup.

4. Penanganan dan pengolahan sampel

Proses pencampuran sampel, waktu sentrifugasi, jenis antikoagulan, dan pemisahan serum/plasma.

5. Penyimpanan dan transportasi sampel

Pengaturan suhu, waktu penyimpanan & pengiriman sesuai SOP. Kesalahan pra-analitik seperti hemolisis, volume tidak mencukupi, tabung yang salah, pemrosesan yang tertunda, dan pelabelan yang salah dapat menurunkan ketepatan hasil yang pada akhirnya berdampak langsung pada proses diagnosis dan penanganan pasien. Hal tersebut berfungsi sebagai indikator penting dalam jaminan mutu (Nabilah et al., 2023).

2.1.3 Jaminan Mutu Tahap Analitik

Menurut Damayanti (2022) Kesalahan pada tahap analitik berkisar antara 10-15%, dan semua kegiatan pada tahap ini berlangsung di laboratorium. Tahap analitik meliputi kalibrasi pada alat, penerapan *quality control* (QC) dan pengerjaan sampel.

1. Kalibrasi Alat

Kalibrasi *instrumen* dilakukan untuk memastikan keakuratan hasil pengujian. Proses ini dapat dilakukan oleh petugas laboratorium atau teknisi yang berkualifikasi. Dalam penelitian ini, spektrofotometer untuk pengujian kolesterol dikalibrasi oleh teknisi. Kalibrasi dilakukan setelah pemasangan dan dilanjutkan secara berkala sesuai petunjuk.

2. Pengerjaan *Quality Control* (QC)

Penerapan QC merupakan bagian dari proses inspeksi laboratorium yang harus memenuhi standar. QC dilakukan untuk memastikan keakuratan hasil pengujian dan memungkinkan deteksi dini kesalahan.

3. Pengerjaan Sampel

Darah yang terkumpul dibiarkan pada suhu ruangan selama 10-30 menit agar menggumpal. Setelah itu, darah di sentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 3000 rpm. Serum yang dihasilkan kemudian digunakan untuk pengujian kolesterol menggunakan spektrofotometer.

2.1.4 Jaminan Mutu Tahap Pasca Analitik

Kegiatan laboratorium pada tahap pasca analitik yang dilakukan sebelum hasil diberikan kepada pasien mencakup penulisan, interpretasi, dan pelaporan hasil pemeriksaan. Tingkat kesalahan tahap ini berkisar 15-20%. Kesalahan dalam penulisan hasil dapat menyebabkan klinisi memberikan diagnosis yang salah, sedangkan kesalahan dalam interpretasi maupun pelaporan hasil juga dapat membahayakan pasien (Maria et al., 2018).

2.2 Stabilitas Analit dalam Sampel Laboratorium

2.2.1 Definisi Stabilitas Analit

Penelitian oleh Altmann et al., (2021), menyatakan bahwa stabilitas analit adalah kemampuan suatu parameter dalam serum atau plasma untuk mempertahankan konsentrasinya yang akurat, meskipun terjadi penundaan dalam pemrosesan pra-analitik seperti tidak diproses segera atau disimpan pada suhu ruangan. Stabilitas dianggap tercapai jika perubahan nilai analit tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan secara klinis selama periode penyimpanan tertentu, sehingga hasil tes terus mencerminkan kondisi biologis pasien yang sebenarnya. Salah satu tantangan utama di laboratorium klinis adalah menjaga stabilitas analit serum selama penyimpanan sampel. Analit yang tidak stabil dapat memicu perubahan pada nilai hasil pemeriksaan, sehingga menghasilkan interpretasi yang

tidak tepat. Oleh karena itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas pengujian analit pada fase pra-analitik, analitik, dan pasca-analitik. Penggunaan prosedur pra-analitik yang tepat sangat memengaruhi keakuratan hasil pemeriksaan dan merupakan elemen penting dalam menjaga kualitas analisis laboratorium (Maulidiyanti et al., 2021).

2.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Analit

Stabilitas analit sangat bergantung pada berbagai faktor pra-analitik, seperti suhu penyimpanan, lama penyimpanan, jenis tabung, dan waktu pemisahan serum dari sel darah. Suhu yang tidak tepat dapat meningkatkan aktivitas enzim endogen, sementara penundaan pemisahan serum memungkinkan sel darah untuk terus bermetabolisme yang akhirnya memengaruhi konsentrasi analit akhir. Selain itu, kondisi transportasi sampel seperti getaran, paparan cahaya, dan fluktuasi suhu dapat mempercepat degradasi kimiawi beberapa analit. Gangguan seperti hemolisis dapat memengaruhi hasil pengukuran karena dapat mengganggu proses dan menghasilkan nilai yang tidak akurat (Malik et al., 2023; Sholihah et al., 2025).

2.2.3 Mekanisme Degradasi Analit

Degradasi analit dalam spesimen serum terjadi karena proses kimia dan biologis yang mengubah komposisi atau kadar parameter yang diukur setelah pengambilan darah. Pada fase pra-analitik ketika serum belum dipisahkan atau masih dalam penyimpanan, enzim endogen dapat terus bekerja dan menyebabkan perubahan pada biomolekul, sehingga mengakibatkan nilai analit menyimpang dari keadaan semula. Kemudian, senyawa lipid dan komponen serum lainnya dapat mengalami oksidasi dan hidrolisis selama penyimpanan, terutama dalam kondisi penyimpanan yang suboptimal, misalnya suhu yang tidak tepat atau penundaan

waktu yangn berlebihan. Sehingga mengakibatkan hasil tes yang tidak stabil dan risiko interpretasi klinis yang salah (Mowendu et al., 2025).

Selain mekanisme kimia atau enzimatik, degradasi analit juga dapat dipicu oleh perubahan fisik-biologis pada spesimen seperti hemolisis, kontaminasi, atau kerusakan integritas spesimen selama penanganan dan penyimpanan. Kondisi ini dapat mengubah komposisi serum dan mempengaruhi sinyal pengukuran analit, baik secara langsung maupun melalui interferensi biologis. Dalam beberapa situasi, penyimpanan yang tidak tepat meningkatkan risiko perubahan parameter karena kombinasi lisis sel, aktivitas enzim residual, dan perubahan biomolekul serum yang terjadi sebelum sampel diproses atau selama penyimpanan yang sedang berlangsung (Aryani et al., 2024).

2.2.4 Pengaruh Suhu Penyimpanan Terhadap Stabilitas Kadar Kolesterol Total

Suhu penyimpanan berperan penting dalam menjaga stabilitas kolesterol total dalam sampel serum, yang merupakan bagian penting dari tahap pra-analitik. Perubahan suhu dapat mempercepat atau memperlambat degradasi analit sebelum pemeriksaan. Berdasarkan penelitian Pramesti et al., (2024) menunjukkan bahwa serum kontrol yang disimpan pada suhu sebesar -21°C berhasil menjaga stabilitas kadar kolesterol total selama periode tertentu, yang menunjukkan bahwa suhu rendah efektif dalam mempertahankan integritas analit. Selain itu, penelitian Aryani et al., (2024) menyatakan bahwa penyimpanan pada suhu ruang ($20\text{-}25^{\circ}\text{C}$) dengan serum kontrol berpotensi mempercepat reaksi kimia atau mendegradasi komponen serum, yang dapat mengurangi akurasi hasil tes. Ini menunjukkan bahwa suhu

ruang memiliki batasan saat digunakan untuk penyimpanan dalam jangka waktu tertentu.

2.2.5 Pengaruh Lama Penyimpanan Terhadap Stabilitas Kadar Kolesterol Total

Durasi penyimpanan serum sebelum dianalisis dapat mempengaruhi stabilitas pengukuran kadar kolesterol. Penundaan pemeriksaan selama 2 jam dapat mengakibatkan penurunan kadar kolesterol dari sekitar 170 mg/dL menjadi 131 mg/dL pada suhu ruang (Arisanti et al., 2025). Berdasarkan penelitian Maulidiyanti et al., (2021) bahwa serum yang disimpan dalam freezer dan lemari es selama 12 minggu menunjukkan perubahan kadar kolesterol. Temuan ini menunjukkan bahwa periode penyimpanan, bahkan dalam kondisi beku atau dingin berpotensi mempengaruhi stabilitas analit jika tidak dikelola secara optimal. Oleh karena itu, baik suhu maupun lama penyimpanan adalah dua elemen penting untuk menjaga keakuratan hasil kadar kolesterol.

2.3 Profil Lipid

2.3.1 Definisi Profil Lipid

Profil lipid merupakan indikator penting untuk mengevaluasi risiko penyakit kardiovaskular, termasuk penyakit jantung koroner dan stroke. Pemeriksaan ini berperan penting dalam deteksi dini, karena kadar lipid darah yang tidak stabil. Kondisi ini dikenal sebagai dislipidemia yang dapat menjadi pemicu utama perkembangan penyakit kardiovaskular. Dislipidemia yang ditandai dengan peningkatan kolesterol jahat atau penurunan kolesterol baik, dapat memicu aterosklerosis, yang pada akhirnya menyebabkan penyumbatan pembuluh darah. Oleh karena itu, pemantauan profil lipid secara teratur sangat penting sebagai

strategi untuk mencegah dan mengelola risiko penyakit jantung (Tirtasari et al., 2025).

2.3.2 Komponen Profil Lipid

1. Total Cholesterol

Kolesterol total adalah total keseluruhan kolesterol yang diangkut oleh berbagai jenis partikel lipoprotein dalam darah, seperti HDL, LDL, dan VLDL. Tingkat kolesterol total biasanya berhubungan erat dengan kadar LDL, mengingat sebagian besar kolesterol dalam plasma berada pada fraksi LDL. Angka kolesterol total berfungsi sebagai penanda utama untuk mengevaluasi kondisi metabolisme lipid secara keseluruhan. Kenaikan kadar kolesterol total bisa menandakan adanya masalah metabolik atau risiko lebih tinggi terkena penyakit jantung dan pembuluh darah (Sumarni et al., 2023).

2. Trigliserida (TG)

Trigliserida adalah sejenis lemak yang terdapat dalam darah dan berbagai organ tubuh. Kadar trigliserida yang tinggi dalam darah juga dapat meningkatkan kadar kolesterol. Trigliserida biasanya meningkat akibat konsumsi alkohol, penambahan berat badan, pola makan tinggi gula atau lemak, dan kebiasaan gaya hidup. Kadar trigliserida yang tinggi dapat meningkatkan risiko penyakit jantung bahkan stroke (Sumarni et al., 2023)

3. Cholesterol High Density Lipoprotein (HDL)

Sering disebut sebagai kolesterol baik karena mampu mengangkut LDL dari aliran darah untuk disimpan sebagai cadangan didalam sel, menjaga pembuluh darah tetap terbuka dan lancar. HDL memiliki kandungan protein dan fosfolipid tertinggi, serta kandungan lemak terendah. HDL juga merupakan lipoprotein

terkecil, namun memiliki densitas tertinggi dibandingkan dengan jenis lipoprotein lainnya. Fungsi utama dari HDL yakni mengangkut kolesterol yang terakumulasi di jaringan tubuh kembali ke hati untuk didaur ulang atau dikeluarkan melalui empedu (Warsi'ah, 2022).

4. *Cholesterol Low Density Lipoprotein (LDL)*

Sering disebut sebagai kolesterol jahat karena kolesterol yang diangkut dapat terakumulasi di dinding pembuluh darah, sehingga berpotensi membentuk plak aterosklerotik. LDL memiliki kandungan protein dan fosfolipid yang lebih rendah daripada HDL, serta proporsi kolesterol yang lebih tinggi. LDL memiliki peran dalam mengantarkan kolesterol dari hati ke jaringan perifer diseluruh tubuh untuk memenuhi kebutuhan membran sel dan produksi hormon (Warsi'ah, 2022).

2.3.3 Rentang Normal Profil Lipid

Secara umum, rentang profil lipid normal digunakan untuk menilai metabolisme lipid individu dan risiko penyakit kardiovaskular. Pedoman internasional seperti yang dikeluarkan oleh ACC (*American College of Cardiology*)/AHA (*American Heart Association*) menetapkan batas ideal untuk pencegahan dan manajemen klinis (Syamsir et al., 2025). Berikut rentang normal profil lipid :

Tabel 2.1 Rentang Normal Profil Lipid

Parameter	Rentang/Interpretasi
Kolesterol Total	<200 mg/dL
LDL	<100 mg/dL
HDL	≥ 40 mg/dL (pria) ≥ 50 mg/dL (wanita) (nilai lebih tinggi makin protektif)
Trigliserida	<150 mg/dL

Sumber : ACC/AHA (Grundy et al., 2019)

Rentang diatas merupakan ketegori interpretasi lipid yang umum dipakai dalam pedoman manajemen kolesterol (ACC/AHA) dan ringkasan klasifikasi lipid untuk menilai status lipid dan risiko kardiovaskular secara klinis.

2.4 Kolesterol

2.4.1 Definisi Kolesterol

Kolesterol merupakan senyawa lemak kompleks yang secara alami terdapat dalam tubuh manusia dan mengalir di dalam darah yang berkaitan dengan protein yang kemudian ditransportasi ke seluruh tubuh. Kadar kolesterol dalam tubuh bisa dipengaruhi oleh faktor genetik, gaya hidup dan pola makan. Sebagian besar kolesterol sekitar 80% diproduksi dari dalam tubuh atau organ hati (endogen), sedangkan sekitar 20% sisanya diperoleh dari luar tubuh atau makanan yang dikonsumsi (eksogen) (Zamzamy, 2024). Makanan yang mengandung kolesterol yaitu bagian otak, kuning telur, jeroan, gajih (lemak), gorengan, dan lain lain. Dalam pemeriksaan laboratorium, kolesterol total digunakan sebagai parameter untuk menilai status metabolisme lipid seseorang. Pemeriksaan ini merupakan indikator penting dalam skrinning gangguan metabolisme seperti *hiperkolesterolemia* (Li et al., 2022).

Hiperkolesterolemia merupakan dislipidemia yang ditandai dengan meningkatnya kolesterol total dalam darah melebihi nilai normal. Kadar kolesterol normal orang sehat adalah <200 mg/dl (Hadriyati et al., 2023). *Hiperkolesterolemia* umumnya merupakan ketidakseimbangan kadar lipoprotein, terutama peningkatan LDL atau penurunan HDL, yang dapat meningkatkan risiko penyakit jantung koroner, stroke, dan gangguan pembuluh darah perifer (Yuan et al., 2023). Oleh karena itu, kolesterol total dalam serum penting untuk diperiksa secara berkala guna

mengevaluasi keseimbangan lipoprotein tubuh. Pemantauan ini berperan penting dalam deteksi dini gangguan metabolisme lipid, menjaga kesehatan kardiovaskular, dan mencegah komplikasi jangka panjang (Brown et al., 2020).

2.4.2 Fungsi Kolesterol dalam Tubuh

Kolesterol adalah molekul lipid esensial yang berperan vital dalam struktur dan metabolisme tubuh manusia. Apabila kadar kolesterol dalam darah meningkat, maka dapat memicu terjadinya aterosklerosis, yaitu kondisi penyempitan dan pengerasan pembuluh darah yang disebabkan oleh penumpukan kristal kolesterol di dalamnya. Walaupun kolesterol sering kali dianggap berbahaya, namun kolesterol juga memiliki peran krusial dalam menjaga keseimbangan seluler dan metabolisme tubuh. Adapun fungsinya menurut Triharyanto (2020) sebagai berikut:

1. Pelindung Sel

Sel-sel dalam tubuh manusia umumnya dilengkapi dengan lapisan terluar yang berfungsi sebagai pelindung sel. Kolesterol merupakan salah satu lapisan pelindung yang berperan sebagai elemen struktural dalam membran sel.

2. Pembentuk Vitamin D

Vitamin D bisa diproduksi di dalam tubuh ketika terpapar cahaya matahari dengan cara mengubah kolesterol (7-dehidrokolesterol) yang terdapat dalam kulit menjadi calcitriol.

3. Pembentuk Hormon

Kolesterol menjadi bahan utama dalam pembentukan hormon, terutama pada hormon steroid seperti testosteron (hormon seks pria), estrogen dan progesteron (hormon seks wanita) yang diproduksi oleh kelenjar adrenal, ovarium,

dan testis. Kolesterol juga memiliki peran dalam pembentukan hormon kortisol dan aldosterone.

4. Pembentuk Asam Empedu

Hati (liver) membentuk asam empedu yang dibantu oleh kolesterol dalam darah dan berfungsi untuk memecah lemak makanan agar dapat diserap oleh tubuh untuk menghasilkan energi.

5. Menjaga Fungsi Otak

Organ yang mengandung kolesterol paling tinggi dibandingkan organ lain yaitu otak sekitar 25%. Kolesterol dalam otak berfungsi untuk memperkuat koneksi antar neuron (sinaps) yang berperan dalam regulasi berbagai proses neurologis.

2.4.3 Metabolisme Kolesterol

Metabolisme kolesterol berlangsung di hati dan mukosa usus halus, dimana kolesterol dari makanan yang diserap oleh tubuh berikatan menjadi kilomikron di mukosa usus dan bergabung dengan kolesterol yang disintesis oleh hati bersama berbagai jaringan tubuh lainnya. Setelah trigliserida didistribusikan oleh kilomikron ke jaringan adiposa, sisa kilomikron mengangkut kolesterol menuju hati, dimana kolesterol tersebut diubah menjadi ester kolesterol agar dapat memasuki plasma darah dan didistribusikan ke seluruh tubuh. Trigliserida juga disintesis oleh hati, yang berupa asam lemak bebas yang memberikan manfaat, dan trigliserida digabung membentuk Lipoprotein Densitas Sangat Rendah (VLDL) supaya lebih mudah didistribusikan (Pramesti, 2024).

Ketika VLDL tiba di plasma, trigliserida dilepaskan dalam bentuk asam lemak bebas dan kemudian hanya tersisa LDL untuk diangkut oleh lipoprotein yang dibutuhkan bagian tubuh lainnya seperti jantung dan otak. LDL berlebih

dikembalikan ke hati melalui HDL, kemudian diuraikan dan dikeluarkan ke empedu sebagai asam empedu yang berkontribusi besar dalam melarutkan lemak di usus dan menjaga kolesterol tetap larut dalam empedu. Sebagian kolesterol empedu dikeluarkan dalam bentuk bebas atau asam empedu, dan sebagian diserap kembali oleh usus, sementara sebagian besar kolesterol di hati bergabung dengan VLDL untuk beredar dalam berbagai kompleks lipoprotein (Chaerunissa, 2022).

2.4.4 Faktor yang Mempengaruhi Kadar Kolesterol Total

Kadar kolesterol di dalam tubuh tidak hanya terpengaruh oleh mekanisme pembentukan dan pemecahannya, melainkan juga oleh beragam faktor dari dalam dan luar tubuh seperti usia, tingkat aktivitas fisik, aspek keturunan, pola makan, konsumsi alkohol berlebih, serta kebiasaan merokok yang dapat mempengaruhi kadar kolesterol (Yudha et al., 2023). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kadar kolesterol darah yang tinggi pada usia dewasa muda meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular. Dan sebaliknya, mempertahankan kadar kolesterol darah normal selama awal usia dewasa muda dapat mengurangi risiko penyakit kardiovaskular seumur hidup yang disebabkan oleh aterosklerosis. Kebiasaan merokok serta pola makan yang buruk pada usia dewasa berpotensi memicu perubahan metabolisme lipid, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kadar kolesterol darah. Dengan demikian, pengukuran kadar kolesterol total yang dilakukan secara berkala merupakan komponen krusial dalam proses skrining dini untuk risiko penyakit kardiovaskular (Sari et al., 2024). Untuk memastikan hasil tes yang akurat dan dapat diperbandingkan secara ilmiah, kadar kolesterol harus diukur menggunakan metode standar. Oleh karena itu, pemilihan metode pengukuran kolesterol sangat penting dalam prosedur laboratorium (Ode et al., 2025)

2.4.5 Metode Pemeriksaan Kolesterol Total

Kadar kolesterol dapat diukur dengan 2 cara, yaitu melalui pemeriksaan di laboratorium oleh tenaga kesehatan profesional atau dengan mengukur mandiri menggunakan alat ukur kolesterol. Metode pengukuran kadar kolesterol yaitu :

1. Metode POCT (*Point of Care Testing*)

POCT merupakan konsep inovatif di bidang laboratorium yang semakin populer karena memungkinkan pemeriksaan di luar fasilitas laboratorium dan bisa memberikan hasil yang cepat. Metode ini menggunakan darah kapiler karena membutuhkan volume sampel darah yang kecil. Keandalan POCT bergantung pada kalibrasi yang tepat dan kepatuhan terhadap standar yang direkomendasikan (Mega et al., 2023). Prinsip pengujiannya melibatkan pembentukan hidrogen peroksida, yang kemudian bereaksi dengan fenol dan 4-aminoantipirin dalam strip dan mengubah enzim peroksidase menjadi kuinonimina. Ketika darah di oleskan ke strip test, zat kimia dalam darah bereaksi dengan reagen yang terkandung dalam strip (Damayanti, 2022).



Gambar 2.1 Cholesterol Meter (Alat Ukur Kolesterol)

Sumber : Zamzamy (2024)

b. Kelebihan Metode POCT

- 1) Mampu mendiagnosa dengan cepat
- 2) Dapat digunakan oleh semua orang
- 3) Sampel yang digunakan hanya sedikit
- 4) Praktis dibawa kemana saja karena ukuran alat kecil

c. Kekurangan Metode POCT

- 1) Presisi dan akurasi cenderung lebih rendah
- 2) Keterbatasan dalam kemampuan pengukuran
- 3) Dipengaruhi suhu (Widya, 2024).

2. Metode Enzimatik CHOD-PAP (*Cholesterol Oxidase Deaminase Peroksidase Aminoantipyrin*)

Pada penelitian ini dilakukan pemeriksaan kadar kolesterol dengan metode Enzimatik CHOD-PAP dimana pendekatan enzimatik CHOD-PAP merupakan yang paling umum diterapkan dalam analisis kolesterol. Metode ini membutuhkan jumlah sampel darah yang banyak dibandingkan dengan metode POCT, sehingga menggunakan sampel serum dan waktu pengerjaannya membutuhkan waktu yang relatif lama. Prinsip pengujiannya melibatkan pemecahan ester kolesterol menjadi asam lemak dan kolesterol dengan bantuan enzim kolesterol esterase. Hidrogen peroksida yang dihasilkan kemudian bereaksi dengan 4-aminoantipyrine dan fenol yang membentuk quinoneimine dan menghasilkan warna merah muda atau pink pada panjang gelombang 500 nm dengan intensitas warna yang dihasilkan sebanding dengan total kandungan kolesterol (Fitri et al., 2024).

Metode pengujian kolesterol ini digunakan sebagai standar acuan untuk pengujian di laboratorium klinis, khususnya menggunakan alat spektrofotometer

ERBA. Hal ini dikarenakan pemeriksaan kadar kolesterol dengan metode CHOD-PAP dinilai tepat sebab memiliki stabilitas panjang gelombang yang baik, akurasi pengukuran absorbansi tinggi, serta sensitivitas yang memadai, sehingga hasil pembacaan reaksi enzimatis kolesterol pada panjang gelombang optimal dapat dilakukan secara presisi dan reliabel (Gusmayani et al., 2021; Marhotilla, 2021).



Gambar 2.2 Alat Spektrofotometer ERBA

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2025)

- a. Kelebihan Alat Spektrofotometer
 - 1) Hasil yang dikeluarkan sangat akurat
 - 2) Kadar kolesterol yang sangat tinggi dan sangat rendah terdeteksi
 - 3) Proses QC berjalan dengan baik
 - 4) Akurasi dan presisi hasil pemeriksaan lebih unggul dibanding hasil POCT
- b. Kekurangan Alat Spektrofotometer
 - 1) Biaya operasional relatif tinggi
 - 2) Ketergantungan pada reagen
 - 3) Perawatan alat yang sangat kompleks
 - 4) Membutuhkan keahlian khusus untuk pengoperasian alat
 - 5) Kinerja alat dipengaruhi oleh kondisi ruangan dan suhu
 - 6) Membutuhkan arus listrik yang stabil (Widya, 2024).

2.5 Serum

2.5.1 Definisi Serum

Serum merupakan bagian dari plasma darah tanpa fibrinogen yang diperoleh setelah darah membeku dan disentrifugasi. Serum terdiri dari berbagai zat penting seperti elektrolit, protein, hormon, antibodi, enzim, serta metabolit yang krusial untuk analisis di laboratorium. Proses pembentukan serum dilakukan dengan cara membiarkan darah tanpa antikoagulan membeku dalam tabung vacutainer berwarna merah secara alami sekitar 15-30 menit (Mowendu et al., 2025). Pembekuan darah selama 30 menit akan menghasilkan retraksi maksimal karena cairan di dalam bekuan darah diperas keluar. Sementara itu, setelah 2 jam serum perlu segera dipisahkan dari sel darah untuk mencegah perubahan distribusi kolesterol dan mencegah enzim tidak sempat mengubah kandungan serum. Enzim yang ditemukan dalam serum adalah lipase, enzim hidrolase yang bertanggung jawab untuk memecah ikatan ester dalam lemak yang terbentuk antara gliserol dan asam lemak rantai panjang. Penurunan kandungan air dalam serum akan menghambat kemampuan enzim lipase untuk memecah lemak (Prarastri et al., 2024).

Menurut Ubaidillah et al., (2021) pembekuan darah dilakukan untuk mencegah hemolisis, yaitu kontaminasi serum oleh eritrosit yang dapat mempengaruhi kadar lemak dan menyebabkan hasil tinggi palsu. Selain itu, proses ini memungkinkan kandungan lemak dalam darah terperas secara sempurna selama sentrifugasi, sehingga lemak tersebut dapat terurai dalam serum. Kemudian darah yang telah membeku di sentrifugasi dengan kecepatan 3000 rpm x 15 menit supaya sel sel darah mengendap. hal tersebut dapat disebut sebagai serum jika

menghasilkan cairan berwarna kuning setelah dilakukannya proses sentrifugasi (Asrori et al., 2022).

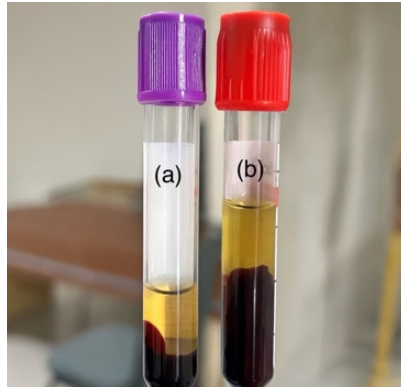


Gambar 2.3 Serum

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2025)

2.5.2 Perbedaan Serum dan Plasma

Serum dan plasma merupakan dua tipe komponen cair dalam darah yang sering digunakan dalam pemeriksaan laboratorium yang memiliki perbedaan dalam pembentukan dan komposisi kimianya. Berdasarkan penelitian (Putri et al., 2025) serum didapatkan setelah mengalami proses pembekuan darah secara alami, dimana fibrinogen telah terpisah sebagai endapan sehingga tidak lagi tersisa dalam sampel. Sementara itu untuk memperoleh plasma, darah harus tercampur dengan antikoagulan seperti heparin, EDTA, atau sitrat yang berfungsi untuk mencegah agar tidak membeku, dan fibrinogen tetap terdapat dalam plasma. Pemrosesan sampel *wholeblood* menjadi serum membutuhkan waktu sekitar 20 menit, sementara sampel plasma dapat segera diproses dan dipisahkan setelah di homogenisasi dan volume plasma umumnya lebih banyak daripada volume serum.



Gambar 2.4 (a) Plasma (b) Serum

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2025)

Umumnya, perbedaan antara serum dan plasma tidak signifikan secara klinis dalam analisis protein dan lipid seperti kolesterol total, namun perbedaan ini dapat menjadi krusial ketika digunakan untuk memantau pengobatan lipid atau penelitian metabolik yang membutuhkan hasil pengukuran yang konsisten (Helniasari et al., 2022).

2.5.3 Stabilitas Serum

Stabilitas merupakan kemampuan suatu sampel untuk menjaga nilai awal yang diukur secara kuantitatif dalam jangka waktu tertentu dan kondisi penyimpanan spesifik. Suhu dan waktu merupakan faktor utama dalam penyimpanan spesimen. Penyimpanan selama beberapa hari dapat menyebabkan perubahan kadar lipoprotein dan mobilitas elektroforesis lipoprotein (Naqiyyah et al., 2024). Stabilitas sampel sangat krusial untuk menentukan kadar analit, seperti lipid. Teknik pemrosesan dan penyimpanan yang berbeda dapat mempengaruhi stabilitas serum. Faktanya beberapa laboratorium klinis membutuhkan waktu yang terlalu lama untuk memproses sampel dalam jumlah besar agar dapat segera diproses, atau karena banyak pasien memerlukan perawatan medis segera dirumah,

sehingga pengambilan sampel mungkin memerlukan waktu lebih lama dari SOP yang ditentukan (Nguyen et al., 2024).

Menurut Intantri et al., (2024) stabilitas sampel juga terpengaruh oleh faktor-faktor seperti bahan kimia, kontaminan oleh mikroorganisme, serta paparan langsung sinar matahari. Oleh karena itu, ada beberapa cara dan tahapan dalam penyimpanan sampel yaitu dengan cara menyimpan sampel yang telah berbentuk serum ke dalam lemari es pada suhu 2-8°C. Dengan cara ini, stabilitas serum dapat dipertahankan, dan tetap bertahan selama 5-7 hari.

2.5.4 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Serum

Kualitas serum sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor pra-analitik, analitik, dan pasca-analitik selama proses pemeriksaan laboratorium serta kondisi lingkungan dan faktor pasien. Tahap pra-analitik merupakan tahap yang paling krusial karena kesalahan dalam pengambilan, penyimpanan, atau penanganan sampel dapat mengakibatkan ketidakakuratan data. Berbagai jenis kesalahan dapat terjadi selama pemeriksaan, yang pada akhirnya mempengaruhi kualitas serum, terutama kesalahan pra-analitik seperti pemilihan antikoagulan yang tidak tepat, terjadinya hemolisis, atau kerusakan sampel akibat penyimpanan (Aryani et al., 2024). Di lapangan untuk pemeriksaan kimia klinik khususnya kolesterol, banyak sampel darah vena yang langsung di sentrifugasi tanpa pembekuan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan untuk mempercepat waktu dan memperoleh hasil pemeriksaan lebih cepat. Namun, tanpa pembekuan darah, hemolisis dapat terjadi yang mengakibatkan kontaminasi serum dan menyebabkan hasil tinggi palsu. Kejadian ini sebenarnya tidak sesuai dengan SOP (Standar Operasional Prosedur) (Ubaidillah et al., 2021).

Selain itu, suhu dan interval waktu penyimpanan sebelum pemeriksaan berpengaruh signifikan terhadap hasil analisis serum. Jika serum dibiarkan terlalu lama pada suhu ruang, terjadi degradasi dan perubahan konsentrasi analit lain, termasuk kolesterol total. Penyimpanan sampel serum yang tidak tepat dengan prosedurnya maka akan menyebabkan ketidaklayakan pada serum. Oleh karena itu, penyimpanan serum disarankan disesuaikan dengan rujukan yang ada untuk menghindari serta meminimalisir terjadinya penurunan kadar kolesterol (*Kurnia et al., 2023*).

2.5.5 Pedoman Standart Penyimpanan Sampel Serum

Pedoman penyimpanan sampel serum merupakan pedoman penting di laboratorium klinis, yang berfungsi sebagai pengaman utama terhadap stabilitas analit, khususnya dalam pengujian kolesterol total. Semua laboratorium klinis harus mematuhi pedoman ini, yang implementasinya dikendalikan melalui program Penjaminan Mutu Internal (IQA) dan Penjaminan Mutu Eksternal (EQA) sesuai dengan peraturan pemerintah untuk memastikan bahwa hasil tetap tepat, akurat, dan dapat diandalkan (Maulidiyanti et al., 2021). Menurut pedoman WHO (2015) serum yang dipisahkan dari darah utuh idealnya disimpan dalam lemari pendingin (4-8°C) hingga analisis atau pengiriman. Dalam kondisi ini, serum dapat disimpan hingga 7 hari. Untuk penyimpanan jangka panjang, serum harus dibekukan pada suhu -20°C atau lebih dingin untuk menjaga stabilitas analit. Pembekuan dan pencairan berulang juga harus dihindari, karena dapat merusak analit.