

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Laboratorium Klinik

a. Definisi Laboratorium Klinik

Laboratorium klinik adalah fasilitas kesehatan yang memiliki peran penting dalam memberikan pelayanan pemeriksaan spesimen klinik, terutama yang berkaitan dengan analisis darah dan bahan biologis lainnya. Laboratorium ini berfungsi untuk mendeteksi, mendiagnosis, dan memantau berbagai kondisi kesehatan melalui pengujian yang akurat dan tepat waktu (Apriansyah Pratama et al., 2021). Sebagai bagian dari sistem pelayanan kesehatan, laboratorium klinik tidak hanya berfokus pada hasil pemeriksaan, tetapi juga pada pemantapan mutu internal untuk menjamin keandalan hasil yang diperoleh (Ulva, 2023).

Salah satu aspek penting dalam laboratorium adalah penerapan mutu, seperti metrik sigma, yang dapat membantu dalam mendeteksi kesalahan dan meningkatkan kualitas hasil pemeriksaan (Pratama et al., 2021). Metrik sigma memungkinkan laboratorium untuk mengidentifikasi dan memperbaiki proses yang tidak efisien, sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam pengujian dan meningkatkan kepuasan pasien (Rachmawati et al.,

2023). Penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem pemantauan mutu yang baik dapat meningkatkan keandalan hasil pemeriksaan, yang pada gilirannya berdampak positif pada pelayanan kesehatan secara keseluruhan (Gunawan et al., 2016).

Dalam konteks pelayanan kesehatan, laboratorium klinik berfungsi sebagai penghubung antara diagnosis dan pengobatan. Hasil pemeriksaan dari laboratorium klinik sering kali menjadi dasar bagi dokter dalam menentukan langkah pengobatan yang tepat untuk pasien (Ulva, 2023). Oleh karena itu, penting bagi laboratorium klinik untuk menjaga standar kualitas dan akurasi dalam setiap pemeriksaan yang dilakukan (Apriansyah Pratama et al., 2021). Dengan demikian, laboratorium klinik tidak hanya berperan dalam aspek teknis, tetapi juga dalam meningkatkan pengalaman pasien dan kepercayaan masyarakat terhadap layanan kesehatan yang diberikan (Gunawan et al., 2016).

b. Tahap Pemeriksaan Laboratorium Klinik

1) Pra-Analitik

Tahap pra-analitik dalam pemeriksaan laboratorium klinik merupakan fase yang sangat penting dan sering kali menjadi sumber kesalahan yang signifikan dalam hasil pemeriksaan.

Tahap ini mencakup berbagai aktivitas, mulai dari persiapan pasien hingga pengambilan dan pengolahan spesimen. Penelitian

menunjukkan bahwa kesalahan pada tahap pra-analitik dapat mencapai 68% dari total kesalahan yang terjadi dalam pemeriksaan laboratorium (Syifa Afifah et al., 2023). Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang prosedur dan praktik terbaik dalam tahap ini sangat diperlukan untuk memastikan akurasi hasil pemeriksaan (Kahar, 2005).

Salah satu aspek kunci dalam tahap pra-analitik adalah pengambilan spesimen. Teknik pengambilan yang tidak tepat dapat menyebabkan hemolisis atau kontaminasi, yang pada gilirannya dapat memengaruhi hasil analisis (Sebayang et al., 2022). Misalnya, penggunaan tourniquet yang terlalu lama dapat mengubah konsentrasi analit dalam darah, sehingga menghasilkan hasil yang tidak akurat (bastian et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa kesalahan dalam teknik pengambilan darah dapat berkontribusi secara signifikan terhadap kesalahan hasil laboratorium (Amalia et al., 2019). Oleh karena itu, pelatihan yang memadai bagi petugas laboratorium sangat penting untuk meminimalkan kesalahan ini (bastian et al., 2022).

Setelah pengambilan spesimen, langkah selanjutnya adalah transportasi dan penyimpanan. Spesimen harus ditangani dengan hati-hati untuk menjaga stabilitasnya. Misalnya, serum yang ditunda pemeriksaannya harus disimpan pada suhu yang sesuai untuk mencegah perubahan kadar analit (Afriyani et al., 2023).

Oleh karena itu, penting untuk mengikuti standar operasional prosedur yang telah ditetapkan untuk memastikan bahwa spesimen tetap dalam kondisi optimal hingga saat analisis (Anggraini et al., 2022).

2) Tahap Analitik

Tahap analitik dalam pemeriksaan laboratorium klinik adalah fase yang sangat penting, di mana analisis spesimen dilakukan untuk mendapatkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Proses ini mencakup berbagai langkah, termasuk pengukuran analit, penggunaan instrumen laboratorium, dan penerapan prosedur kontrol kualitas yang ketat (Mao et al., 2018). Kualitas hasil analisis sangat bergantung pada metode yang digunakan, reagen yang diterapkan, serta kondisi operasional laboratorium (Sebayang et al., 2022).

Salah satu aspek penting dalam tahap analitik adalah penerapan kontrol kualitas internal (IQC) dan kontrol kualitas eksternal (EQC). Kontrol kualitas internal bertujuan untuk memastikan bahwa setiap analisis yang dilakukan memenuhi standar yang telah ditetapkan, sedangkan kontrol kualitas eksternal melibatkan perbandingan hasil laboratorium dengan laboratorium lain untuk memastikan konsistensi dan akurasi (Mbasani et al., 2021). Penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem kontrol kualitas yang baik dapat mengurangi tingkat

kesalahan analitik secara signifikan, yang sebelumnya dapat mencapai 10-15% dari total kesalahan pemeriksaan laboratorium (Indah Sari et al., 2023).

Selain itu, penggunaan teknologi dan otomatisasi dalam laboratorium klinik juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi hasil analisis. Dengan meningkatnya otomatisasi, kebutuhan akan bahan kontrol kualitas yang memadai untuk memantau kinerja laboratorium juga meningkat (Kulkarni et al., 2020). Penggunaan sistem otomatis dapat mengurangi variabilitas dalam proses analitik dan meningkatkan kecepatan pengolahan spesimen (Letelier et al., 2021). Namun, penting untuk memastikan bahwa semua perangkat dan instrumen yang digunakan dalam analisis telah dikalibrasi dengan benar dan diperiksa secara berkala untuk menjaga keakuratan hasil (Oktay C Ayyildiz, 2021).

Tahap analitik merupakan bagian yang sangat penting dalam proses pemeriksaan laboratorium klinik. Dengan penerapan kontrol kualitas yang ketat, penggunaan teknologi yang tepat, dan metode peningkatan kualitas seperti six sigma, laboratorium dapat memastikan bahwa hasil analisis yang dihasilkan adalah akurat dan dapat diandalkan, yang sangat penting untuk pengambilan keputusan klinis yang tepat (Sebayang et al., 2022).

3) Tahap Pasca Analitik

Tahap pasca analitik dalam pemeriksaan laboratorium klinik adalah fase yang sangat penting yang mencakup semua aktivitas yang dilakukan setelah analisis spesimen selesai. Fase ini berfokus pada pelaporan hasil, interpretasi data, dan komunikasi hasil kepada dokter atau pihak yang berwenang. Kesalahan yang terjadi pada tahap ini dapat berdampak signifikan pada pengambilan keputusan klinis dan manajemen pasien (Hawkins, 2017).

Salah satu aspek utama dari tahap pasca analitik adalah pelaporan hasil. Hasil laboratorium harus disampaikan dengan jelas dan tepat waktu kepada dokter yang merawat pasien. Penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan dalam pelaporan hasil dapat menyebabkan penundaan dalam diagnosis dan pengobatan, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi hasil klinis pasien (Lippi et al., 2015). Oleh karena itu, penting bagi laboratorium untuk memiliki sistem informasi yang efisien untuk memastikan bahwa hasil dapat diakses dengan cepat dan mudah oleh tenaga medis (Sonmez et al., 2020).

2. Kolesterol

a. Definisi

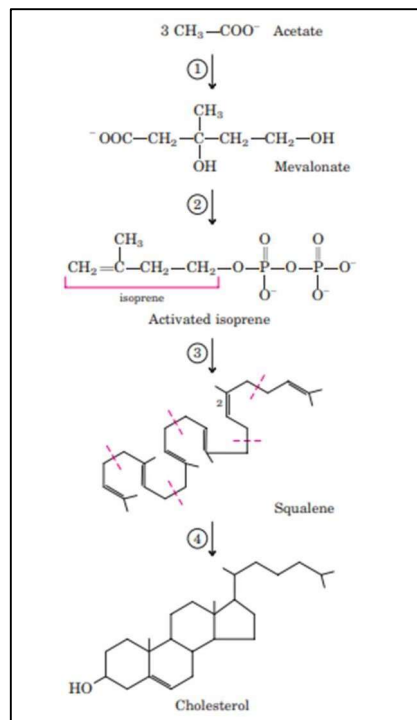
Kolesterol adalah sterol utama dalam jaringan yang memiliki struktur amfipatik dengan gugus kepala polar (gugus hidroksil pada

posisi C-3) dan badan hidrokarbon nonpolar (inti steroid dan rantai samping hidrokarbon pada C-17). Molekul kolesterol hampir sepenuhnya planar dan relatif kaku, tidak memungkinkan rotasi antar ikatan karbon-karbon dalam inti steroid yang terdiri dari empat cincin. (Nelson & Cox, 2004)

Pemeriksaan kolesterol total merupakan pengukuran laboratorium untuk menentukan jumlah total kolesterol dalam sampel darah, yang mencakup kolesterol LDL, HDL, VLDL, dan kolesterol terkait dengan kilomikron (Burtis, Ashwood, & Bruns, 2006).

b. Metabolisme

1) Biosintesis Kolesterol



Gambar 1. Struktur Kimia Kolesterol

Sumber: Nelson, D. L., Cox, M. M. (2005)

Biosintesis kolesterol dimulai di hati melalui proses metabolik kompleks yang dikendalikan oleh berbagai enzim. Langkah pertama dalam proses ini adalah mengubah molekul sederhana, asetil-KoA menjadi mevalonat. Tahapan ini dikendalikan oleh enzim HMG-KoA reduktase, yang juga merupakan target utama bagi obat penurun kolesterol seperti statin. Statin bekerja dengan menghambat enzim ini untuk mengurangi produksi kolesterol dalam tubuh (Cerqueira et al., 2016).

Setelah terbentuk, mevalonat kemudian mengalami serangkaian perubahan kimia menjadi isoprenoid aktif. Molekul ini bergabung membentuk squalene, yang kemudian melalui beberapa reaksi enzimatik lagi hingga akhirnya menjadi kolesterol.

Proses biosintesis kolesterol ini diawasi oleh SREBP-2 (*Sterol Regulatory Element-Binding Protein*), yaitu suatu faktor transkripsi yang merespons kadar kolesterol di dalam sel. Ketika kadar kolesterol rendah, SREBP-2 diaktifkan dan meningkatkan produksi enzim-enzim utama dalam jalur biosintesis untuk menyeimbangkan kolesterol dalam sel.

Selain menghasilkan kolesterol, jalur biosintesis ini juga menciptakan molekul prekursor yang penting bagi fungsi

tubuh lainnya, seperti dalam sinyal sel dan pertahanan kekebalan. Isoprenoid, produk sampingan dalam jalur ini, memiliki peran penting dalam banyak proses biologis lainnya.

2) Absorpsi Kolesterol

Penyerapan kolesterol di tubuh manusia adalah proses penting yang terjadi terutama di usus halus dan diatur oleh beberapa faktor, termasuk polamakan dan faktor genetik. Saat kita makan makanan berlemak atau mengandung kolesterol, zat ini dipecah oleh asam empedu yang diproduksi oleh hati, sehingga nantinya kolesterol akan menjadi zat yang siap diserap oleh sel-sel khusus di usus kecil yang disebut enterosit. Protein seperti NPC1L1 bekerja membantu membawa kolesterol dari makanan ke dalam sel-sel usus (H. H. Wang et al., 2017).

Uniknya, setiap individu ternyata memiliki kemampuan berbeda beda dalam menyerap kolesterol. Pada sebagian orang, usus menyerap lebih banyak kolesterol, sementara pada orang lain lebih sedikit. Efisiensi penyerapan ini bisa terjadi sangat bervariasi, mulai dari 20% hingga 80% dan dipengaruhi oleh faktor genetik serta pola makan sehari-hari. Orang dengan penyerapan kolesterol tinggi cenderung memiliki kadar kolesterol yang lebih tinggi, yang bisa meningkatkan risiko penyakit jantung (Lütjohann et al., 2019).

Untuk menjaga keseimbangan kolesterol, tubuh memiliki mekanisme cerdas. Saat lebih banyak kolesterol dari makanan yang diserap, tubuh otomatis mengurangi produksi kolesterolnya sendiri untuk menghindari penumpukan yang berlebihan. Sebaliknya, jika kolesterol yang diserap lebih sedikit, tubuh bisa meningkatkan produksi untuk menjaga agar kadarnya tetap stabil. Selain itu, tubuh juga memiliki jalur lain seperti *reverse cholesterol transport* (RCT) untuk mengeluarkan kelebihan kolesterol dari jaringan dan mengirimkannya ke hati untuk diubah menjadi empedu dan dikeluarkan (Yu et al., 2019).

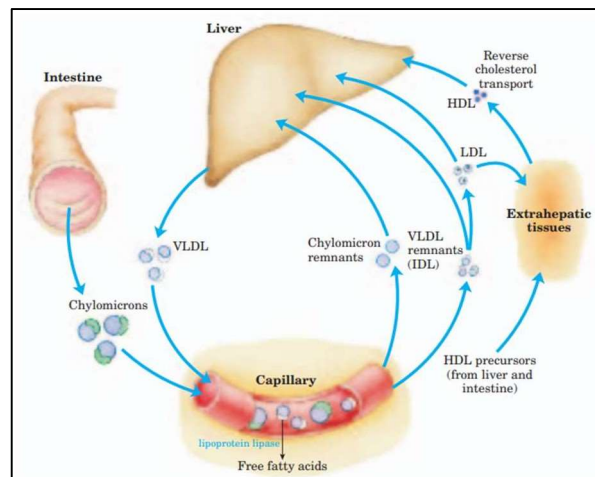
Pola makan kita juga bisa memengaruhi proses ini. Makanan yang mengandung serat tinggi atau zat seperti fitosterol dapat membantu menghambat penyerapan kolesterol penyerapan kolesterol di usus. Fitosterol misalnya, ia dapat bersaing dengan kolesterol untuk masuk ke sel usus, sehingga sebagian kolesterol dari makanan tidak diserap dan akhirnya dikeluarkan. Ini adalah salah satu cara alami yang bisa membantu mengelola kadar kolesterol tanpa obat (Jesch C Carr, 2017).

3) Transportasi Kolesterol

Transportasi kolesterol dalam tubuh adalah proses penting yang mana ia memastikan distribusi kolesterol ke jaringan

yang membutuhkan dapat tersampaikan dengan optimal juga dapat mendeteksi kelebihan kolesterol dan menyingkirkannya agar tidak menumpuk dan menimbulkan masalah kesehatan, terutama penyakit jantung. Kolesterol diangkut dalam darah melalui partikel lipoprotein, yaitu struktur kecil yang memungkinkan kolesterol yang tidak larut dalam air tetap dapat beredar dalam darah kita.

a) Peran lipoprotein dalam mengangkut kolesterol



Gambar 2. Transport Lipid

Sumber: Nelson, D. L., Cox, M. M. (2005) *Lehninger Principles of Biochemistry* (4th ed.). W.H. Freeman. Figure 10–16, Struktur Kolesterol, halaman 355.

Kolesterol diangkut dalam tubuh melalui partikel partikel lipoprotein yang berfungsi membawa lemak dalam aliran darah. Proses ini dimulai di hati, dimana VLDL (*Very Low-Density Lipoprotein*) diproduksi untuk mengangkut trigliserida dan kolesterol ke jaringan tubuh. Ketika VLDL melepaskan trigliserida dalam perjalanan, partikelnya

berubah menjadi LDL yang kaya akan kolesterol. LDL kemudian membawa kolesterol ini ke sel-sel tubuh, terutama di hati dan jaringan lain yang memerlukan kolesterol untuk membentuk membran sel atau memproduksi hormon, LDL mencapai sel melalui reseptor khusus yang mengambil kolesterol langsung ke dalam sel (Nelson dan Cox, 2005).

Sebaliknya, HDL berperan sebagai pengumpul kolesterol yang berlebih di sepanjang aliran pembuluh darah sampai kembali ke hati. Proses ini dikenal sebagai *reverse cholesterol transport*, dimana HDL membantu menjaga keseimbangan kolesterol tubuh dengan mencegah penumpukan kolesterol yang dapat menyebabkan aterosklerosis atau penyempitan pembuluh darah akibat plak kolesterol (D. L. Nelson C Cox, 2005).

b) Peran protein ABCG1 dan ABCA1

Protein ABCG1 dan ABCA1 berperan penting dalam membantu kolesterol meninggalkan sel, terutama sel yang mengumpulkan kolesterol seperti makrofag di arteri. Protein ini memindahkan kolesterol dari dalam sel ke HDL

yang kemudian membawanya ke hati. Dengan begitu, protein-protein ini penting dalam mengurangi penumpukan kolesterol di jaringan dan mencegah risiko penyakit jantung.(D. Xu et al., 2022).

4) Ekskresi Kolesterol

Ekskresi kolesterol pada manusia merupakan proses kompleks yang melibatkan beberapa mekanisme penting dalam tubuh untuk menjaga keseimbangan kolesterol, menghindari penumpukan, dan mendukung kesehatan kardiovaskuler. Adapun beberapa konsep utama terkait ekskresi kolesterol:

a) Pengangkutan kolesterol dan transportasi balik kolesterol (RCT)

Transportasi balik kolesterol, terutama melalui HDL, merupakan jalur dimana kolesterol dari jaringan perifer dipindahkan ke hati, di mana akhirnya dapat dikeluarkan melalui empedu dan feses. Kapasitas pengangkutan kolesterol dari HDL ini menjadi indikator untuk memprediksi risiko terkait aterosklerosis pada manusia (Von Eckardstein C Kardassis, 2015).

b) Ekskresi transintestinal kolesterol

Transintestinal Cholesterol Excretion atau yang sering

disebut dengan TICE adalah jalur alternatif yang terlibat dalam ekskresi kolesterol langsung dari usus ke lumen tanpa melalui hati terlebih dahulu. Studi menunjukkan bahwa mekanisme TICE ini penting dalam mengatur kadar kolesterol, terutama pada kondisi tertentu (Jakulj et al., 2016).

c) Peran enzim *Cholesterol 7 Alpha-Hydroxylase* (CYP7A1)

Enzim CYP7A1 adalah faktor utama dalam proses berubahnya kolesterol menjadi asam empedu, yang kemudian akan diekskresikan ke dalam empedu untuk dikeluarkan melalui feses. Proses ini menjadi jalur ekskresi kolesterol yang paling dominan di dalam tubuh (Talbot, 2018).

d) Peranan obat statin terhadap ekstraksi kolesterol

Penggunaan obat statin telah terbukti meningkatkan sintesis kolesterol di hati dan merangsang ekskresi kolesterol ke dalam feses melalui empedu. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara penggunaan statin dengan peningkatan ekskresi kolesterol tubuh (Schonewille et al., 2016).

e) Pengaruh usia pada ekskresi kolesterol

Seiring dengan bertambahnya usia manusia, metabolisme kolesterol cenderung menurun, termasuk

penurunan efisiensi ekskresi kolesterol. Hal ini memperbesar risiko penumpukan kolesterol pada individu lanjut usia (Morgan et al., 2016).

f) Modulasi kolesterol oleh Phytosterol

Zat phytosterol yang ada di dalam makanan tertentu seperti kacang-kacangan dan biji-bijian diketahui mampu menghambat penyerapan kolesterol di usus, yang berarti akan lebih banyak kolesterol yang akan dikeluarkan melalui feses (X. Li et al., 2022). Phytosterol sendiri merupakan komponen penting dalam membran plasma sel tanaman yang berfungsi sebagai penunjang enzim membran plasma dan mungkin protein lain yang penting untuk fungsi seluler (Moreau et al., 2018). Semakin banyak phytosterol yang dikonsumsi maka dapat semakin membantu menurunkan kolesterol dengan cara yang alami (X. Li et al., 2022).

c. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kadar Kolesterol Total

1) Faktor Internal

Kadar kolesterol total dalam tubuh dipengaruhi oleh berbagai faktor internal yang berkaitan dengan kondisi fisiologis dan hormonal individu. Salah satu faktor utama adalah hormon tiroid, yang memiliki peran penting dalam metabolisme lipid. Hormon tiroid, seperti *triiodothyronine*

(T3) dan *thyroxine* (T4), berfungsi untuk meningkatkan sintesis dan degradasi kolesterol. Penelitian menunjukkan bahwa hipotiroidisme dapat menyebabkan peningkatan kadar kolesterol total dan LDL (*low-density lipoprotein*) karena penurunan aktivitas enzim yang terlibat dalam metabolisme lipid (Patil et al., 2021). Sebaliknya, hipertiroidisme sering dikaitkan dengan penurunan kadar kolesterol, menunjukkan bahwa keseimbangan hormon tiroid yang tepat sangat penting untuk menjaga kadar kolesterol dalam batas normal (Y. Wang et al., 2017).

Hormon seks dan hormon tiroid berkontribusi pada kadar kolesterol. Misalnya, hormon esterogen, yang memperbaiki profil lipid dengan meningkatkan kadar HDL dan mengurangi LDL. Studi menunjukkan bahwa wanita dengan sindrom ovarium polikistik (PCOS), yang sering mengalami ketidakseimbangan hormon, memiliki kadar kolesterol total dan LDL yang lebih tinggi dibandingkan dengan wanita sehat (Hassan C Adnan, 2023). Penggunaan kontrasepsi hormonal seperti depomedroksiprogesteron asetat (DMPA) juga dapat memengaruhi kadar kolesterol dengan meningkatkan kadar LDL dan menurunkan kadar HDL.

Faktor internal lainnya yang mempengaruhi kadar kolesterol adalah tingkat inflamasi dalam tubuh. Proses

inflamasi dapat mempengaruhi metabolisme lipid dan berkontribusi pada dislipidemia. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar protein C-reaktif (hs-CRP), yang merupakan penanda inflamasi, berkorelasi dengan peningkatan kadar kolesterol total dan LDL (Naik et al., 2023). Selain itu, kondisi seperti sindrom metabolik, yang ditandai dengan resistensi insulin dan peradangan sistemik, juga dapat menyebabkan peningkatan kadar kolesterol dan trigliserida (Zhang et al., 2019).

Faktor genetik juga berperan dalam regulasi kadar kolesterol. Beberapa individu mungkin memiliki kelemahan genetik terhadap dislipidemia, yang dapat memengaruhi cara tubuh mereka memetabolisme kolesterol. Variasi genetik dalam gen yang terlibat dalam transportasi dan metabolisme lipid dapat menyebabkan perbedaan signifikan dalam kadar kolesterol total dan risiko penyakit kardiovaskular (Moreno-Navarrete et al., 2017). Penelitian menunjukkan bahwa individu dengan riwayat keluarga dislipidemia memiliki risiko lebih tinggi untuk cenderung juga memiliki kadar kolesterol abnormal, terlepas dari faktor gaya hidupnya. (Ye et al., 2021).

Tabel 1. Faktor Internal Yang Mempengaruhi Kadar Kolesterol

Faktor Internal	Pengaruh Terhadap Kolesterol	Keterangan
Hormon Tiroid	Baik	Hormon tiroid yang seimbang, membantu menurunkan kadar kolesterol total dan LDL
Hipotiroidisme	Buruk	Meningkatkan kadar kolesterol total dan LDL akibat penurunan aktivitas enzim metabolisme lipid
Hipertiroidisme	Baik	Menurunkan kadar kolesterol total dan LDL
Hormon seks (esterogen)	Baik	Meningkatkan kadar HDL dan menurunkan LDL, mengurangi risiko dislipidemia
Sindrom Ovarium	Buruk	Meningkatkan kadar

Kadar kolesterol total dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara berbagai faktor internal, termasuk hormon tiroid, hormon seks, status inflamasi, dan faktor genetik.

2) Faktor Eksternal

Kadar kolesterol total dalam tubuh sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal, yang mana berkaitan dengan gaya hidup, pola makan, dan lingkungan. Memahami faktor-faktor ini sangat penting-penting untuk mengembangkan strategi pencegahan dan pengobatan yang efektif terhadap hiperkolesterolemia dan risiko penyakit kardiovaskular.

Salah satu faktor eksternal yang paling signifikan adalah pola makan. Diet tinggi lemak jenuh dan trans, yang sering ditemukan dalam makanan olahan dan cepat saji dapat meningkatkan kadar kolesterol total dan LDL dalam darah. (Liu et al., 2018). Penelitian menunjukkan bahwa konsumsi makanan yang kaya akan serat, seperti buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian, dapat membantu menurunkan kadar kolesterol total dan meningkatkan kadar HDL (Ribeiro et al., 2017). Selain itu, konsumsi makanan yang mengandung asam lemak omega-3, seperti ikan berlemak, juga diketahui dapat menurunkan kadar trigliserida dan kolesterol total (Dathan-Stumpf et al., 2024).

Aktivitas fisik merupakan faktor eksternal lain yang berperan penting dalam mengatur kadar kolesterol. Olahraga teratur dapat membantu meningkatkan kadar HDL dan menurunkan kadar LDL serta trigliserida (Z. Z. Li et al., 2022). Penelitian menunjukkan bahwa individu yang aktif secara fisik memiliki risiko lebih rendah untuk mengalami dislipidemia dibandingkan dengan mereka yang tidak aktif (Dathan-Stumpf et al., 2024). Selain itu, aktivitas fisik juga berkontribusi pada pengendalian berat badan, yang merupakan faktor risiko penting untuk peningkatan kadar kolesterol (J. Li et al., 2023).

Faktor lingkungan, seperti paparan polusi udara dan stres, juga dapat mempengaruhi kadar kolesterol. Penelitian menunjukkan bahwa individu yang tinggal di daerah dengan tingkat polusi yang tinggi cenderung memiliki kadar kolesterol yang lebih tinggi (Hutteau-hamel et al., 2022). Stres kronis dapat memicu peningkatan kadar hormon stres, seperti kortisol, yang dapat berkontribusi pada peningkatan kadar kolesterol dan risiko penyakit jantung (C. H. Kim et al., 2016).

Merokok adalah faktor eksternal yang sangat berbahaya bagi kadar kolesterol. Kebiasaan merokok dapat merusak dinding pembuluh darah dan meningkatkan kadar LDL, serta menurunkan kadar HDL (Janse Van Rensburg, 2019). Penelitian menunjukkan bahwa individu yang merokok memiliki risiko lebih tinggi untuk mengalami dislipidemia dan penyakit kardiovaskular dibandingkan dengan non-perokok (Bo et al., 2017).

Konsumsi alkohol juga dapat mempengaruhi kadar kolesterol. Dalam dosis moderat, alkohol dapat meningkatkan kadar HDL, tetapi konsumsi berlebihan dapat menyebabkan peningkatan kadar trigliserida dan kolesterol total (Peters et al., 2021). Studi menunjukkan bahwa pola konsumsi alkohol yang tidak teratur dapat meningkatkan risiko dislipidemia (Kwon C Kim, 2021).

Tabel 2. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kadar Kolesterol

Faktor Eksternal	Pengaruh Terhadap Kolesterol	Keterangan
Pola Makan (Lemak Jenuh dan Trans)	Buruk	Diet tinggi lemak jenuh dan trans dapat meningkatkan kadar kolesterol total dan LDL
Konsumsi Omega-3	Baik	Makanan yang mengandung asam lemak omega-3, seperti ikan berlemak dapat menurunkan trigliserida dan kolesterol total
Aktivitas fisik	Baik	Olahraga teratur dapat meningkatkan kadar HDL dan menurunkan kadar LDL serta trigliserida
Kebiasaan merokok	Buruk	Merokok dapat merusak dinding pembuluh darah, meningkatkan LDL, dan menurunkan HDL
Stres kronis	Buruk	Stres kronis dapat meningkatkan kadar hormon stres, yang berkontribusi pada peningkatan kadar kolesterol.
Konsumsi alkohol	Baik	Dalam jumlah moderat, alkohol dapat meningkatkan kadar HDL.

Berbagai uraian yang telah disampaikan diatas, kadar kolesterol total dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara berbagai faktor eksternal, termasuk pola makan, aktivitas fisik, lingkungan, kebiasaan merokok, dan konsumsi alkohol. Memahami faktor-faktor ini sangat penting untuk pengembangan strategi pencegahan dan pengobatan yang efektif

untuk mengendalikan kadar kolesterol dan mengurangi risiko penyakit kardiovaskular.

d. Tinjauan Klinis

1) Hiperkolesterolemia

Hiperkolesterolemia adalah kondisi dimana kadar kolesterol dalam darah lebih tinggi dari normal, yang sering kali berhubungan dengan peningkatan risiko penyakit jantung dan stroke. Kolesterol dapat menumpuk di dinding arteri, menyebabkan aterosklerosis dan meningkatkan kemungkinan penyumbatan pembuluh darah. Penyebabnya dapat mencakup faktor genetik, seperti hiperkolesterolemia familial, serta faktor gaya hidup seperti diet tinggi lemak jenuh, kebiasaan merokok, dan kurangnya aktivitas fisik. Hiperkolesterolemia juga dapat meningkatkan risiko terjadinya serangan jantung dan stroke akibat penyempitan pembuluh darah (Watts et al., 2020).

2) Hipokolesterolemia

Hipokolesterolemia atau kadar kolesterol darah yang rendah, meskipun jarang, juga dapat berisiko bagi kesehatan. Kondisi ini dapat mengganggu produksi hormon penting dalam tubuh dan meningkatkan potensi gangguan mental seperti depresi dan penurunan fungsi memori. Penyebab hipokolesterolemia meliputi faktor genetik, seperti hipobetalipoproteinemia, diet ekstrem yang rendah lemak, atau kondisi medis tertentu seperti gangguan hati

atau hipotiroidisme. Kadar kolesterol yang sangat rendah dapat memengaruhi keseimbangan hormon dan meningkatkan kerentanannya terhadap beberapa penyakit, termasuk juga kanker (H. J. Lee et al., 2019).

e. Pemeriksaan Kolesterol Total

1) POCT (*Point of Care Testing*)

Point of Care Testing (POCT) merupakan pendekatan diagnostik yang memungkinkan pemeriksaan dilakukan di lokasi dekat dengan pasien, sehingga memberikan hasil yang cepat dan dapat segera digunakan untuk pengambilan keputusan klinis. Dalam konteks pemeriksaan kolesterol, POCT menjadi alat yang sangat penting dalam deteksi dini dan manajemen risiko penyakit kardiovaskular, yang merupakan salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia (Inderiati, 2022).

Pemeriksaan kolesterol melalui POCT umumnya dilakukan dengan menggunakan perangkat yang dirancang untuk analisis cepat, seperti strip tes atau perangkat analisis miniatur. Metode ini memerlukan sampel darah yang relatif kecil, biasanya dari tusukan jari, dan dapat memberikan hasil dalam waktu singkat, sering kali dalam hitungan menit (Natsir, 2023).

Proses analisis kolesterol dalam POCT biasanya melibatkan reaksi enzimatis yang mengukur kadar kolesterol total, *low-density lipoprotein* (LDL), *high-density lipoprotein* (HDL), dan trigliserida.

Hasil yang diperoleh dari POCT sering kali dibandingkan dengan metode laboratorium konvensional untuk memastikan akurasi dan konsistensi (Andini C Nugraha, 2021).

POCT untuk pemeriksaan kolesterol merupakan alat yang efektif dalam upaya deteksi dini dan pencegahan penyakit tidak menular, khususnya penyakit kardiovaskular. Meskipun terdapat tantangan dalam hal akurasi dan variabilitas hasil, keunggulan dalam hal kecepatan dan aksesibilitas menjadikan POCT sebagai komponen penting dalam sistem pelayanan kesehatan modern. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dan edukasi yang berkelanjutan mengenai penggunaan POCT sangat diperlukan untuk meningkatkan kesehatan masyarakat secara keseluruhan (Yuliandari et al., 2021).

2) CHOD-PAP

CHOD-PAP (*Cholesterol Oxidase Peroxidase Aminophenazone*) adalah salah satu metode utama yang digunakan untuk pengukuran kolesterol total dalam darah. Metode ini

memanfaatkan reaksi enzimatis, yang sangat populer dalam dia

$$\text{Cholesterol} + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{Cholesterol Oxidase}} 4 \text{ cholestone} - 3 - \text{one} + \text{H}_2\text{O}_2$$

dasar dari tes ini adalah penggunaan enzim kolesterol oksidase

$$2\text{H}_2\text{O}_2 + 4 - \text{aminophenazone} + \text{phenol} \xrightarrow{\text{peroxidase}} 4 - (\text{p} - \text{benzoquinone} - \text{monoimino}) - \text{phenzone} + 4 \text{H}_2\text{O} (\text{warna merah})$$

(COD) untuk mengoksidasi kolesterol yang ada dalam sampel darah, menghasilkan produk yang dapat dideteksi secara fotometrik melalui reaksi dengan peroksidase (POD) dan pewarna aminofenazon (L. H. Li et al., 2019).

Gambar 3. Reaksi Kimia Metode CHOD-PAP

CHOD-PAP mengukur konsentrasi kolesterol total dengan cara yang relatif cepat dan efisien, yang membuatnya menjadi pilihan utama di banyak laboratorium klinis. Dalam metode ini, kolesterol dalam sampel darah diubah menjadi hidroperoksida oleh kolesterol oksidase. Hidroperoksida yang terbentuk kemudian bereaksi dengan aminofenazon dan peroksidase untuk membentuk produk yang berwarna, yang dapat diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang tertentu. Keberhasilan reaksi ini tergantung pada efisiensi dan kestabilan reagen yang digunakan, serta pengaturan kondisi reaksi yang tepat, termasuk suhu dan waktu inkubasi.

Keunggulan dari metode CHOD-PAP adalah kemampuannya untuk memberikan hasil yang akurat dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang terjangkau, sehingga cocok untuk penerapan rutin dalam pemeriksaan kesehatan masyarakat. Selain itu, tes ini dapat digunakan untuk mengukur kolesterol dalam berbagai bentuk sampel, termasuk serum, plasma, dan bahkan sampel darah utuh (Kim et al., 2017). Meski demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa hasil tes ini dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kadar asam urat dan trigliserida tinggi dalam sampel, yang dapat mengganggu akurasi pengukuran kolesterol

(Zhao et al., 2018).

CHOD-PAP juga memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam hal spesifisitas untuk kolesterol jenis tertentu, seperti kolesterol lipoprotein densitas rendah (LDL) atau lipoprotein densitas tinggi (HDL). Oleh karena itu, meskipun tes CHOD-PAP sangat berguna untuk pengukuran kolesterol total, pengukuran lebih rinci mengenai fraksi lipid tertentu biasanya memerlukan metode lain, seperti ultracentrifugasi atau kromatografi cair (Lo et al., 2019). Dengan kemajuan teknologi dalam diagnostik, kombinasi antara tes CHOD-PAP dan metode lainnya menjadi penting dalam pemeriksaan profil lipid yang lebih lengkap dan akurat.

3) Liebermann-Burchard

Metode liebermann-burchard untuk menentukan kolesterol total adalah uji kolorimetrik yang sudah lama digunakan. Metode ini melibatkan reaksi kolesterol dengan pereaksi tertentu, termasuk anhidrida asetat, asam sulfat pekat, dan asam asetat glasial. Interaksi kolesterol dengan pereaksi ini menghasilkan warna hijau kebiruan, yang dapat diukur secara spektrofotometrik. Perubahan warna ini sebanding langsung dengan konsentrasi kolesterol dalam sampel (E. Kim C Goldberg, 1999).

Metode ini banyak digunakan karena keandalannya, dan berbagai modifikasi telah dieksplorasi untuk meningkatkan

spesifisitas dan sensitivitasnya. Sebagai contoh, para peneliti telah menyelidiki persiapan pereaksi yang lebih stabil, yang sangat penting untuk mengurangi gangguan dari zat lain dalam serum, seperti bilirubin atau lipid lainnya (Sommers et al., 1975). Meskipun metode enzimatik yang lebih modern telah muncul, metode Liebermann-Burchard tetap menjadi referensi di laboratorium klinis untuk pengukuran kolesterol karena kesederhanaannya dan ketangguhannya (Carp et al., 2022).

Metode ini telah diterapkan di berbagai pengaturan klinis dan penelitian, dengan studi-studi yang menunjukkan keandalannya untuk analisis kolesterol dalam sampel darah. Selain itu, meskipun metode baru seperti sensor elektro-kimia menawarkan alternatif yang menjanjikan, reaksi Liebermann-Burchard terus menjadi tolak ukur karena pendekatannya sederhana dan hemat biaya (Carp et al., 2022).

4) Sensor Biokimia

Metode pemeriksaan kolesterol total menggunakan sensor biokimia semakin berkembang, berkat inovasi teknologi yang memungkinkan deteksi yang lebih cepat, akurat, dan praktis. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah sensor berbasis enzim kolesterol oksidase. Dalam metode ini, enzim tersebut mengkatalisis reaksi yang menghasilkan hidrogen oksidase. Dalam metode ini, enzim tersebut mengkatalisis reaksi yang menghasilkan

hidrogen peroksida (H_2O_2), yang kemudian dapat diukur dengan teknik amperometri. Penelitian menunjukkan bahwa sensor jenis ini memiliki sensitivitas tinggi dan dapat diukur dengan teknik amperometri. Penelitian menunjukkan bahwa sensor jenis ini memiliki sensitivitas tinggi dan dapat digunakan dalam pengujian *point of care* (POC), yang memungkinkan pemantauan kolesterol pasien secara *real time* dan efektif (Arya et al., 2008). Selain itu, penggunaan nanomaterial seperti nanopartikel emas dan karbon nanotube dalam desain sensor telah meningkatkan kinerja deteksi. Nanomaterial ini meningkatkan area permukaan sensor, sehingga memungkinkan reaksi enzimatik yang lebih efisien dan deteksi kolesterol dengan akurasi yang lebih tinggi, bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah (Xu et al., 2016).

Menelisik lebih dalam dan jauh lagi, ada juga perkembangan sensor biokimia yang lebih fleksibel dan portabel. Sensor-sensor ini mengintegrasikan bahan fleksibel, yang memungkinkan penggunaan dalam perangkat yang lebih kecil dan lebih praktis. Dengan desain seperti ini, sensor dapat digunakan tidak hanya di rumah sakit, tetapi juga dalam pemantauan kolesterol di rumah atau klinik, memberikan kenyamanan lebih bagi pasien untuk memeriksa kolesterol mereka secara berkala. Inovasi ini meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan dalam pemantauan kesehatan kolesterol secara lebih mandiri dan terjangkau (Yan et

al., 2021).

Teknologi sensor biokimia untuk deteksi kolesterol menunjukkan perkembangan yang sangat menjanjikan, dengan kemajuan pada penggunaan enzim, nanomaterial, dan desain fleksibel yang semakin memperkuat potensi metode pemeriksaan ini dalam memberikan hasil yang cepat, akurat, dan praktis

5) Iron Salt Acid

Metode pemeriksaan kolesterol total menggunakan *iron salt acid* dapat dimanfaatkan sebagai opsi pemeriksaan kolesterol total karena adanya interaksi antara besi dan kolesterol. Salah satu studi relevan adalah penelitian oleh Lee et al., yang menunjukkan bahwa kadar besi dalam sel dapat mempengaruhi kadar kolesterol, terutama dalam konteks neuroblastoma. Dalam penelitian ini, kadar kolesterol dan besi diukur menggunakan kit pengujian spesifik, dan ditemukan bahwa kadar besi yang tinggi berhubungan dengan kadar kolesterol VLDL yang tinggi atau kadar kolesterol HDL yang rendah (S. Y. Lee et al., 2021).

Penelitian oleh Xiangming Hu mengungkapkan bahwa status besi, yang diukur melalui ferritin dan total *body iron*, berhubungan dengan kadar kolesterol residu. Penelitian ini menunjukkan bahwa kadar kolesterol total dapat dihitung dengan mengurangi kadar LDL dan HDL dari total kolesterol, dan status besi dapat mempengaruhi metabolisme lipid secara keseluruhan

(Hu et al., 2024).

Penelitian oleh Modupe et al., menunjukkan bahwa garam yang diperkaya dengan zat besi, folat dan yodium dapat memiliki manfaat kesehatan yang signifikan. Penelitian ini secara tidak langsung membahas kolesterol, tetapi lebih ke pentingnya pelekatan garam dengan zat besi sebagai bagian dari proses pengukuran lipid dengan metode *Iron Salt Acid* (Modupe et al., 2019).

Penelitian oleh Kannan et al., menyoroti peran elemen besi dalam pembentukan batu empedu yang berkaitan dengan kolesterol. Penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi yang mendukung pembentukan batu empedu berkaitan dengan supersaturasi empedu dengan kolesterol, yang dapat dipengaruhi oleh kadar besi dalam tubuh (Kannan et al., 2017).

f. Faktor Pengganggu Pemeriksaan Kolesterol Total

1) Bilirubin

Kadar kolesterol total dapat dipengaruhi oleh kadar bilirubin dalam serum pasien, terutama jika kadar bilirubinya tinggi. Kadar bilirubin yang tinggi, yang merupakan produk limbah dari pemecahan sel darah merah, dapat menyebabkan pengukuran kolesterol menjadi rendah palsu. Hal ini disebabkan oleh kemampuan bilirubin untuk mengganggu saat melakukan uji kolorimetri yang digunakan untuk mengukur kadar kolesterol, yang mana menyebabkan ketidakakuratan

dalam hasil (Steen et al., 2011).

2) Trigliserida

Gangguan signifikan lainnya adalah kadar trigliserida yang tinggi, yang dapat menyebabkan kepalsuan dalam pembacaan kolesterol. Peningkatan trigliserida dapat mengakibatkan kekeruhan sampel, sehingga sulit bagi pengujian untuk mengukur konsentrasi kolesterol secara akurat, seringkali menyebabkan hasil kolesterol tinggi palsu (Castro-Castro et al., 2018).

3) Lisermia

Adanya kelebihan lemak dalam darah merupakan penyebab umum lain dari gangguan dalam pengujian kolesterol. Partikel lemak dapat menyebabkan kekeruhan, yang menyebabkan kadar kolesterol tinggi palsu dengan mengaburkan pengukuran lipid yang tepat. Lipemia sangat umum terjadi pada kondisi seperti diabetes yang tidak terkontrol atau setelah mengonsumsi makanan tinggi lemak, dan penting bagi penyedia layanan kesehatan untuk mempertimbangkan faktor ini saat menafsirkan hasil tes (Reeta et al., 2023).

4) Hemolisis

Pemecahan sel darah merah dapat mengganggu tes kolesterol. Ketika sel darah merah pecah, mereka melepaskan hemoglobin dan komponen lain yang dapat mengubah

pengukuran kolesterol. Hal ini dapat mengakibatkan kadar kolesterol rendah atau tinggi palsu, tergantung pada metode pengujian spesifik dan tingkat hemolisis (Mehmet et al., 2010).

5) Suhu Tubuh

Suhu tubuh juga berperan dalam akurasi pengukuran kolesterol. Suhu ekstrem, seperti yang terlihat pada hipotermia atau demam, dapat mengubah viskositas konsentrasi lipid dalam darah. Secara umum, demam atau stress panas dapat meningkatkan kadar kolesterol, sedangkan hipotermia dapat membuat hasil rendah palsu, yang menyebabkan potensi kesalahan dalam pengukuran kolesterol (Suzuki et al., 2012).

g. Nilai Rujukan Kadar Kolesterol Total

Nilai rujukan kolesterol total dapat bervariasi berdasarkan usia dan jenis kelamin, dan pemahaman tentang perbedaan ini sangat penting untuk penilaian risiko kardiovaskular. Pada kelompok usia muda (20-39 tahun), kadar kolesterol total pada pria dan wanita cenderung berada dalam rentang yang sama, yaitu antara 160 mg/dL hingga 200 mg/dL. Namun, seiring bertambahnya usia, kadar kolesterol pada pria dan wanita mengalami perubahan. Pada usia 40 hingga 50 tahun, pria memiliki kadar kolesterol sedikit lebih rendah (170-210 mg/dL) dibandingkan wanita (180-220 mg/dL). Peningkatan kadar kolesterol pada wanita lebih signifikan karena wanita mengalami menopause, yang membuat wanita di

usia 60 hingga 80 tahun memiliki kolesterol yang lebih tinggi dibandingkan pria dalam rentang 190 -240 mg/dL, berbanding 180-230 mg/dL pada pria. Pada kelompok usia 80 tahun ke atas, kadar kolesterol meningkat lebih signifikan pada kedua jenis kelamin, dengan rentang nilai antara 200-250 mg/dL untuk pria dan 210-260 mg/dL untuk wanita.

Tabel 3. Nilai Rujukan Kadar Kolesterol Total

Usia	Pria	Wanita
1 – 19 tahun	<170 mg/dL	<170 mg/dL
20 – 39 tahun	160-200 mg/dL	160-200 mg/dL
40 -59 tahun	170-210 mg/dL	180-220 mg/dL
60 – 79 tahun	180-230 mg/dL	190-240 mg/dL

3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Reaksi Pemeriksaan

a. Rasio Optimal Reagen : Sampel

Untuk menghitung kolesterol total, rasio reagen terhadap sampel dalam metode CHOD-PAP biasanya digunakan rasio 1:10. Studi menunjukkan bahwa rasio ini efektif dalam memaksimalkan laju reaksi enzimatis juga mengurangi kemungkinan gangguan dari komponen serum (Allain et al., 1974). Namun, penting untuk diingat bahwa, terlepas dari kondisi uji spesifik, sensitivitas dan spesifisitas pengukur yang diinginkan, variasi dalam rasio ini juga dapat diubah sesuai kebutuhan.

Meskipun rasio 1:10 umumnya diterima, beberapa penelitian

menunjukkan bahwa rasio yang berbeda mungkin digunakan untuk mengoptimalkan uji untuk jenis sampel tertentu atau situasi tertentu. Misalnya, penggunaan rasio reagen terhadap sampel 1:5 telah dilaporkan dalam situasi tertentu, terutama ketika melibatkan sampel dengan konsentrasi kolesterol yang lebih rendah atau ketika sampel dengan konsentrasi kolesterol yang lebih tinggi (Maclachlan et al., 1999). Penyesuaian ini dapat meningkatkan aktivitas enzimatis dan memperbaiki batas deteksi dari uji, sehingga cocok untuk skenario klinis tertentu dimana kadar kolesterol diharapkan rendah.

Pemilihan rasio reagen terhadap sampel juga dapat bergantung pada karakteristik spesifik dari kolesterol oksidase yang digunakan dalam uji tersebut. Sumber-sumber kolesterol oksidase yang berbeda mungkin menunjukkan tingkat aktivitas dan stabilitas yang bervariasi, yang dapat mempengaruhi rasio optimal untuk suatu uji tertentu (Maclachlan et al., 1999). Misalnya, jika bentuk kolesterol oksidase yang lebih aktif digunakan, konsentrasi reagen yang lebih rendah relatif terhadap sampel mungkin cukup, memungkinkan penggunaan reagen yang lebih ekonomis sambil tetap mencapai hasil yang akurat (Maclachlan et al., 1999).

Penelitian yang telah ada juga menyelidiki efek variasi konsentrasi substrat kromogenik sehubungan dengan volume sampel. Menyesuaikan konsentrasi substrat dapat lebih menyempurnakan sensitivitas dan spesifisitas uji, memungkinkan

kinerja yang lebih baik di berbagai pengaturan klinis. Misalnya, meningkatkan konsentrasi substrat sambil mempertahankan rasio 1:10 dapat meningkatkan respons kolorimetri sehingga meningkatkan kemampuan uji untuk mendeteksi perubahan halus dalam kadar kolesterol (Maclachlan et al., 1999).

Rasio optimal juga dapat dipengaruhi oleh keberadaan zat pengganggu dalam sampel serum. Ion, protein, atau lipid tertentu dapat menghambat aktivitas enzimatik dari kolesterol oksidase, sehingga memerlukan penyesuaian rasio reagen terhadap sampel untuk mengkompensasi efek efek tersebut. Dalam kasus seperti itu, konsentrasi reagen yang lebih tinggi mungkin diperlukan untuk mengatasi efek penghambatan dan memastikan pengukuran kolesterol yang andal (Maclachlan et al., 1999).

Perlu diperhatikan juga bahwa rasio optimal dapat berbeda tergantung pada metode analitis tertentu yang digunakan bersama dengan uji CHOD-PAP. Misalnya, ketika metode CHOD-PAP dikombinasikan dengan teknik analitis lainnya, seperti spektrofotometri massa atau kromatografi cair (HPLC), rasio reagen terhadap sampel mungkin perlu diubah untuk memenuhi persyaratan metode tersebut. Dengan kemampuan ini, protokol analitik yang lebih komprehensif dapat dibuat untuk memberikan pemahaman tambahan tentang metabolisme lipid dan gangguan yang terkait (Maclachlan et al., 1999).

b. Spesifikasi Alat Fotometer

Fotometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya yang diserap atau dipancarkan oleh suatu sampel. Alat ini berfungsi berdasarkan prinsip dasar fotometri, yang merupakan cabang ilmu yang mempelajari pengukuran cahaya dan radiasi elektromagnetik. Dalam konteks analisis laboratorium, fotometer sering digunakan untuk menentukan konsentrasi zat tertentu dalam larutan dengan cara mengukur absorbansi atau transmitansi cahaya pada panjang gelombang tertentu (Kallrath C Milone, 2009).

Riele 5010 dan Mindray BA-88A merupakan dua dari sekian banyak merek fotometer yang digunakan baik di fasilitas kesehatan dan fasilitas pendidikan. Fotometri tersebut bekerja dengan mengukur absorbansi cahaya yang diserap oleh sampel yang telah bereaksi dengan reagen kimia. Reagen ini berinteraksi dengan kolesterol dalam sampel, menyebabkan perubahan warna yang dapat diukur pada panjang gelombang tertentu. Proses ini memungkinkan pengukuran kadar kolesterol yang sangat sensitif dan akurat. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Pan et al., pada alat fotometer dengan genggam berbasis *liquid core waveguide detection* menunjukkan bahwa hanya menggunakan volume sampel 500µl pengukuran kolesterol dapat dilakukan dengan presisi tinggi. Alat ini sangat efisien

dalam aplikasi sampel berukuran kecil, yang memungkinkan pengujian dilakukan dengan cepat dan akurat tanpa mengorbankan kualitas hasilnya (Pan et al., 2010).

Pada alat Mindray BA-88A fotometri dilakukan dengan menggunakan komponen yang terintegrasi, termasuk dua UV-LED yang mendeteksi dua panjang gelombang untuk meningkatkan efisiensi pengukuran kolesterol, bahkan dengan volume sampel yang kecil, hal ini membuat alat ini sangat cocok untuk pengujian kolesterol dalam pengaturan klinis yang memerlukan pengujian berulang dengan hasil yang cepat dan akurat. Begitu pula dengan Riele 5010, yang menggunakan prinsip serupa dengan kemampuan untuk mendeteksi absorbansi pada panjang gelombang spesifik dengan volume sampel yang sangat kecil. Penelitian lain oleh Butcher dan Feng menggambarkan penggunaan alat pengukur kolesterol berbasis fotometri yang mengubah warna sampel untuk mengukur konsentrasi analit, yang memungkinkan pengukuran di berbagai panjang gelombang. Dengan prinsip yang sama, kedua fotometer ini memungkinkan pengujian kolesterol dengan pengaruh volume yang lebih kecil tanpa mengurangi akurasi hasil (Hauk, 2013).

Perbedaan penggunaan volume satu dan setengah volume pada pengukuran kolesterol juga dapat mempengaruhi sensitivitas dan akurasi hasil. Dalam pengujian kolesterol, jika volume sampel

lebih kecil, seperti pada penggunaan setengah volume, maka konsentrasi zat yang terdeteksi bisa lebih rendah, yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran secara keseluruhan. Hauk (2013) menjelaskan bahwa fotometer mengukur perubahan absorbansi yang berhubungan dengan konsentrasi analit dalam sampel. Oleh karena itu, pengurangan volume sampel dapat mempengaruhi tingkat akurasi jika tidak diimbangi dengan penyesuaian pada pengaturan alat. Hal ini penting untuk diingat dalam aplikasi klinis yang memerlukan konsistensi hasil meskipun volume sampel terbatas (Hauk, 2013).

Salah satu keunggulan utama alat fotometer modern seperti Mindray BA- 88A dan Riele 5010 adalah kemampuannya untuk melakukan pengujian kolesterol dengan volume sampel yang sangat kecil. Keunggulan ini memungkinkan Salah satu keunggulan utama alat fotometer modern seperti **Mindray BA-88** dan **Riele 5010** adalah kemampuannya untuk melakukan pengujian kolesterol dengan volume sampel yang sangat kecil. Keunggulan ini memungkinkan pengujian pada situasi di mana sampel darah terbatas, atau untuk pemeriksaan dengan waktu yang singkat dan volume yang efisien. Penelitian Pan et al. (2010) lebih lanjut mengonfirmasi bahwa fotometer genggam yang menggunakan prinsip deteksi **liquid-core waveguide** dapat mengukur kolesterol dengan volume sampel sekecil 350 nL tanpa

mengorbankan ketepatan atau sensitivitas pengukuran. Keberhasilan teknologi ini sangat bergantung pada kemampuan deteksi yang sangat sensitif, yang memungkinkan penggunaan dalam berbagai aplikasi klinis dan penelitian dengan hasil yang konsisten meskipun sampel yang digunakan sangat kecil (Pan et al., 2010).

Dengan teknologi yang ada pada kedua alat ini, perubahan dalam pengaturan volume sampel dapat dilakukan untuk mengoptimalkan hasil pengujian kolesterol. Alat seperti **Mindray BA-88** dan **Riele 5010** telah dirancang dengan komponen fotometrik yang memungkinkan penyesuaian volume sampel, dan masih menghasilkan hasil yang akurat meskipun menggunakan volume yang lebih rendah. Hal ini penting untuk memastikan fleksibilitas dalam pengujian kolesterol di lapangan, terutama dalam situasi di mana sampel terbatas. Secara keseluruhan, kedua alat ini mengintegrasikan teknologi canggih dalam pengujian kolesterol, memberikan solusi yang efisien dan presisi tinggi untuk pengujian klinis dalam berbagai kondisi pengujian (Operating Instruction Mindray BA-88A, 2016)(Riele C Co, 2010).

c. Waktu Inkubasi

Perbedaan waktu inkubasi dalam pemeriksaan kimia klinik memiliki dampak yang signifikan terhadap hasil pemeriksaan,

karena banyak reaksi biokimia yang bergantung pada durasi inkubasi untuk mencapai kondisi yang stabil dan akurat. Waktu inkubasi yang terlalu panjang dapat menyebabkan reaksi melampaui titik keseimbangan yang optimal, sedangkan waktu inkubasi yang terlalu singkat dapat menghambat proses reaksi sehingga hasil yang diperoleh menjadi tidak akurat. Prosedur kimia klinik sering kali membutuhkan waktu yang telah distandarisasi untuk memungkinkan reaksi berjalan dengan sempurna dan mencapai hasil yang dapat diandalkan. Seperti yang dijelaskan oleh Nelson dan Cox, reaksi kimia dalam prosedur laboratorium harus dirancang agar mencapai titik keseimbangan yang tepat, yang bergantung pada waktu inkubasi yang sesuai (D. Nelson et al., 2021).

Reaksi kimia dalam pemeriksaan kimia klinik tidak hanya dipengaruhi oleh waktu inkubasi, tetapi juga oleh laju reaksi yang dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi reaktan. Waktu inkubasi yang lebih lama memungkinkan reaksi kimia berjalan lebih jauh, tetapi ini bisa mengarah pada pembentukan produk yang berlebihan atau degradasi substrat, yang tentunya akan mempengaruhi akurasi hasil pemeriksaan. Sebaliknya, inkubasi yang terlalu singkat dapat menyebabkan reaksi tidak mencapai hasil yang cukup untuk diukur. Berg et al., menyatakan bahwa banyak reaksi biokimia membutuhkan waktu inkubasi yang

cukup untuk mencapai keadaan kesetimbangan di mana produk reaksi sudah terbentuk dengan jumlah yang dapat terdeteksi dengan tepat oleh alat ukur yang digunakan (Berg et al., 2019).

Penting untuk dicatat bahwa banyak pemeriksaan kimia klinik yang melibatkan enzim sebagai katalisator. Aktivitas enzim sangat tergantung pada waktu inkubasi yang diberikan. Jika waktu inkubasi terlalu panjang, enzim atau substrat yang terlibat dalam reaksi bisa terdegradasi, yang menyebabkan penurunan efektivitas reaksi. Sebaliknya, jika waktu inkubasi terlalu singkat, reaksi enzimatik mungkin tidak cukup waktu untuk mengubah substrat menjadi produk yang terukur. Hal ini dijelaskan oleh Swan dan Packer (2008), yang menekankan pentingnya menjaga kestabilan enzim dalam reaksi untuk memperoleh hasil yang akurat, dengan inkubasi yang dilakukan dalam durasi yang sudah distandarisasi (Bishop et al., 2018).

Variasi volume sampel yang digunakan dalam pemeriksaan kimia klinik juga dapat mempengaruhi waktu inkubasi yang diperlukan. Volume sampel yang lebih kecil mungkin membutuhkan waktu inkubasi yang lebih singkat, karena reaktan lebih cepat terlarut dan bereaksi secara merata. Sebaliknya, pada volume yang lebih besar, reaktan mungkin memerlukan waktu yang lebih lama untuk tercampur secara merata dan mencapai keadaan reaksi yang optimal. Seperti yang dijelaskan

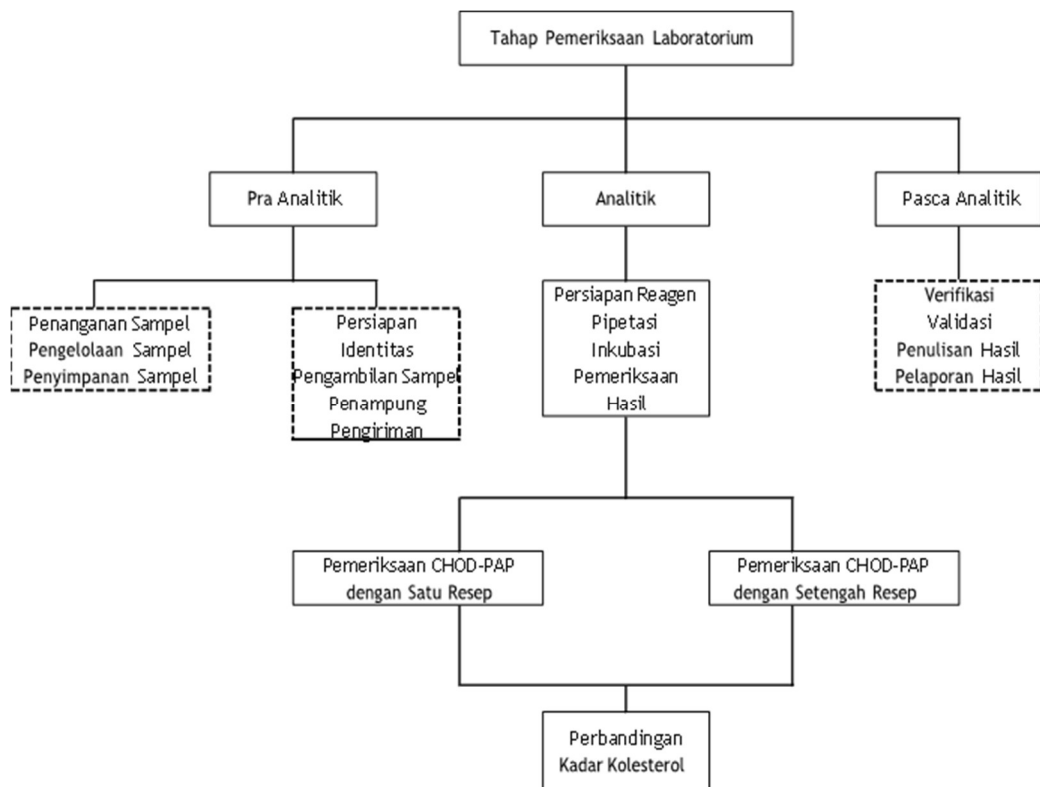
dalam literatur oleh Guyton dan Hall (2006), variasi dalam volume sampel dapat mempengaruhi laju dan efisiensi reaksi kimia, yang membutuhkan penyesuaian waktu inkubasi agar hasilnya tetap valid (Guyton C Hall, 2006).

Suhu juga memainkan peran yang sangat penting dalam menentukan waktu inkubasi yang dibutuhkan untuk memperoleh hasil yang akurat. Suhu yang lebih tinggi dapat mempercepat laju reaksi kimia, namun jika suhu terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan denaturasi enzim atau kerusakan pada reaktan, yang akan mempengaruhi hasil pemeriksaan. Guyton dan Hall (2006) mengungkapkan bahwa perubahan suhu dapat mengubah karakteristik reaksi kimia, baik dengan mempercepat reaksi hingga melebihi kecepatan yang diperlukan atau menyebabkan reaksi terhenti jika suhu tidak diatur dengan tepat. Oleh karena itu, suhu yang tidak sesuai dengan waktu inkubasi dapat menyebabkan hasil yang tidak konsisten (Guyton C Hall, 2006).

Perbedaan waktu inkubasi pada variasi volume pemeriksaan kimia klinik dapat mempengaruhi hasil pemeriksaan karena beberapa faktor yang saling berinteraksi, seperti laju reaksi, aktivitas enzim, serta stabilitas komponen yang diuji. Waktu inkubasi yang terlalu panjang atau terlalu singkat dapat menyebabkan perubahan pada produk reaksi atau substrat yang terlibat, yang akan mempengaruhi akurasi hasil. Oleh karena itu,

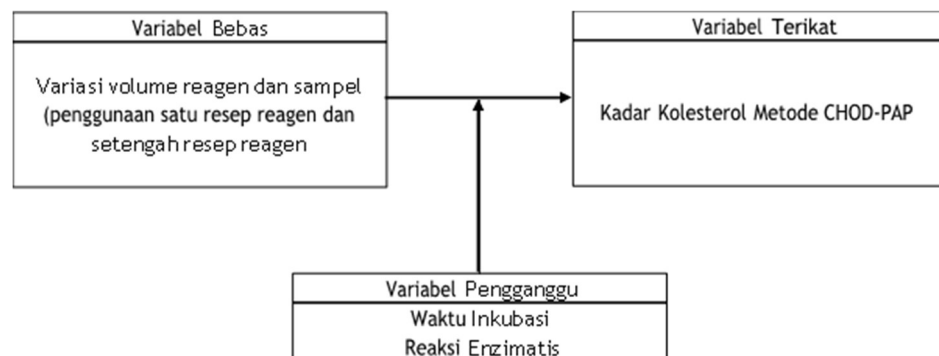
penting untuk mengikuti prosedur standar yang telah diuji dan distandarisasi agar reaksi kimia berjalan sesuai dengan yang diinginkan dan hasil yang diperoleh valid. Nelson dan Cox (2021) menyatakan bahwa standar prosedur yang tepat dalam waktu inkubasi merupakan bagian penting dalam menjaga integritas hasil pemeriksaan kimia klinik (D. Nelson et al., 2021).

B. Kerangka Teori



Gambar 4. Kerangka Teori Penelitian

C. Hubungan Variabel



Gambar 5. Variabel Penelitian

D. Hipotesis

Tidak ada perbedaan kadar kolesterol dengan metode pemeriksaan CHOD-PAP menggunakan satu resep dan setengah resep