

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Laboratorium Klinik

Laboratorium klinik menurut Permenkes RI No. 411 Tahun 2010 berperan sebagai unit yang menghasilkan data medis yang valid melalui proses analisis yang terstandar. Laboratorium klinik harus menerapkan Standar Operasional Prosedur (SOP), menjaga mutu internal dan eksternal, serta memastikan kompetensi tenaga analis kesehatan agar hasil pemeriksaan memiliki ketepatan (*accuracy*) dan ketelitian (*precision*) yang tinggi. Hal tersebut dikarenakan 60-70% keputusan klinis di fasilitas kesehatan bergantung pada hasil laboratorium, sehingga kualitas proses praanalitik, analitik, dan pascaanalitik menjadi kritis untuk menjamin keselamatan pasien (Widodo & Mandang, 2018).

1) Tahap Praanalitik

Tahap ini dimulai dari saat pemeriksaan laboratorium diminta oleh dokter hingga sampel tiba di laboratorium dan siap untuk dianalisis (Wijayati & Ayuningtyas, 2021). Tahap praanalitik merupakan tahapan paling kritis dan menjadi sumber mayoritas kesalahan laboratorium, dengan perkiraan 50-75% dari semua kesalahan laboratorium berasal dari tahapan ini (Puspitasari dkk., 2022). Faktor-faktor yang perlu diperhatikan meliputi persiapan alat dan bahan, persiapan reagen, serta proses pengambilan spesimen.

Proses dalam tahap praanalitik termasuk identifikasi pasien, pengambilan spesimen (*phlebotomy*), serah terima spesimen, penanganan spesimen dan sentrifugasi spesimen. Kesalahan umum pada tahap ini seringkali disebabkan oleh spesimen yang tidak memadai secara kuantitas maupun kualitas. Penyimpangan pada tahap praanalitik seperti keterlambatan sentrifugasi, penggunaan tabung yang salah, atau hemolisis dapat menyebabkan perubahan signifikan pada hasil pemeriksaan enzim hati, glukosa, elektrolit, dan parameter lainnya (Wijayati & Ayuningtyas, 2021).

2) Tahap Analitik

Tahap ini melibatkan proses pengujian atau pengukuran sampel di laboratorium. Setiap tahapan pemeriksaan harus mengacu pada Standar Operasional Prosedur (SOP) untuk memastikan hasil yang akurat. Tahap analitik mencakup kalibrasi alat, penggunaan reagen sesuai spesifikasi, *Internal Quality Control* (IQC), *External Quality Control* (EQC) dan pemantauan kondisi alat (Kusnadi, 2016).

3) Tahap Pascaanalitik

Tahapan pascaanalitik meliputi validasi hasil oleh analis/penanggung jawab teknis, interpretasi dan verifikasi kritis, pelaporan hasil ke Sistem Informasi Laboratorium (SIL), pengiriman laporan ke klinisi dan penyimpanan sisa sampel (*aliquot*) bila diperlukan untuk pemeriksaan ulang. Kesalahan

pascaanalitik biasanya terkait keterlambatan pelaporan, salah input data, atau kegagalan verifikasi hasil kritis. Pelaporan hasil yang cepat dan akurat berpengaruh langsung pada keputusan klinis, terutama pada pemeriksaan emergensi seperti enzim jantung dan kimia klinik tertentu (Hutapea, 2018).

2. Darah dan Komponen Darah

Darah merupakan jaringan cair yang berfungsi mengangkut berbagai substansi penting ke seluruh tubuh seperti gas, nutrisi dan produk metabolisme, mempertahankan keseimbangan fisiologis, serta berperan dalam mekanisme pertahanan tubuh. Menurut Widodo dan Mandang (2018), darah tersusun atas dua komponen utama, yaitu komponen seluler (bentuk) dan komponen cair (plasma), yang bersama-sama bekerja menjaga homeostasis tubuh (Widodo dan Mandang, 2018).

Komponen seluler darah terdiri atas eritrosit, leukosit, dan trombosit. Eritrosit atau sel darah merah menjadi sel darah terbanyak dalam tubuh manusia bertanggung jawab dalam pengangkutan oksigen dan karbon dioksida melalui hemoglobin. Leukosit atau sel darah putih berperan dalam respon imun, sedangkan trombosit atau keping darah terlibat dalam proses hemostasis dan pembekuan darah. Struktur seluler ini dapat dipisahkan dari komponen cair melalui proses sentrifugasi, yang menghasilkan lapisan *buffy coat* dan endapan eritrosit pada bagian bawah tabung (Nugraha & Badrawi, 2018).

Komponen cair darah disebut plasma, yaitu cairan berwarna kekuningan yang mengandung air, elektrolit, hormon, protein plasma (seperti albumin dan globulin), serta faktor pembekuan. Apabila darah dibiarkan membeku, faktor koagulasi akan teraktivasi dan membentuk bekuan fibrin sehingga cairan yang tersisa setelah pembekuan disebut serum (Widodo dan Mandang, 2018). Serum tidak lagi mengandung fibrinogen maupun faktor pembekuan lainnya, sehingga digunakan secara luas dalam pemeriksaan kimia klinik termasuk pengukuran aktivitas enzim seperti ALT dan AST (Kusnadi, 2016).

3. Serum

a. Definisi serum

Serum adalah cairan bening kekuningan yang merupakan bagian dari darah, namun berbeda dengan plasma darah karena tidak mengandung fibrinogen (protein pembekuan darah) dan faktor-faktor pembekuan lainnya seperti prothrombin, faktor VIII, V dan XIII. Ketika darah dibiarkan membeku, kaskade koagulasi akan teraktivasi dan membentuk jejaring fibrin yang menangkap sel darah, menghasilkan *clot*, dan menyisakan cairan jernih berupa serum (McPherson & Pincus, 2016). Penggunaan serum sebagai sampel dalam pemeriksaan laboratorium klinis bertujuan untuk menghindari adanya pengaruh antikoagulan terhadap hasil pemeriksaan (Cahyani & Parwati, 2022).

b. Jenis-jenis Serum Abnormal

Sampel abnormal adalah sampel yang mengalami perubahan fisik atau kimiawi akibat kondisi pasien dan praanalitik yang tidak sesuai. Perubahan ini bisa memengaruhi validitas hasil pemeriksaan dan menurunkan mutu layanan laboratorium. Secara umum, terdapat tiga kategori sampel abnormal yang paling sering ditemukan yaitu hemolisis, lipemia, dan ikterus (Lippi dan Plebani, 2022).

1) Hemolisis

Hemolisis terjadi ketika eritrosit pecah dan melepaskan hemoglobin ke dalam plasma atau serum sehingga ditandai dengan serum yang berwarna merah atau kemerahan. Kondisi ini dapat disebabkan oleh kondisi pasien, teknik venapungsi yang buruk, penggunaan jarum berdiameter terlalu kecil, agitasi tabung terlalu kuat, atau penundaan pemrosesan sampel (Yang dkk., 2022). Saat hemolisis terjadi, enzim *Alanine Aminotransferase* (ALT) yang dalam keadaan normal berada dalam eritrosit akan keluar ke cairan ekstraseluler sehingga mengakibatkan peningkatan kadar ALT (Liu dkk., 2021).

2) Lipemia

Lipemia ditandai oleh kekeruhan pada sampel yang disebabkan oleh akumulasi lipoprotein, terutama *very-low density lipoproteins* dan kilomikron. Sampel serum lipemik akan tampak seperti susu "*milky*" karena konsentrasi lipoprotein yang

lebih tinggi (Prendes dkk., 2023). Pada pemeriksaan *Alanine Aminotransferase* (ALT) metode enzimatik (metode *International Federation of Clinical Chemistry* (IFCC)), proses deteksi aktivitas enzim bergantung pada pengukuran perubahan absorbansi *Nicotinamide Adenine Dinucleotide* (NADH) pada panjang gelombang 340 nm. Ketika serum lipemik digunakan sebagai sampel, partikel lipid seperti trigliserida, kilomikron, dan lipoprotein berukuran besar menyebabkan kekeruhan (*turbidity*) pada serum. Kekeruhan ini mengakibatkan hamburan cahaya (*light scattering*) ketika berkas cahaya spektrofotometer melewati sampel. Hamburan cahaya tersebut dapat menyerupai atau memodifikasi absorbansi yang sebenarnya berasal dari NADH, sehingga nilai absorbansi yang terukur menjadi tidak murni atau terdistorsi (Zheng dkk., 2020).

3) Ikterus

Ikterus terjadi ketika aktivitas bilirubin meningkat (hiperbilirubinemia) sehingga membuat serum berwarna kuning tua hingga kehijauan. Bilirubin dapat mengganggu pemeriksaan yang menggunakan metode kolorimetri dan dapat menyebabkan hasil yang bias pada pemeriksaan enzim dan elektrolit (Cahyani & Parwati, 2022). Bilirubin memiliki sifat menyerap cahaya pada panjang gelombang 340–450 nm sehingga dapat menyebabkan interferensi spektrofotometrik pada metode

Alanine Aminotransferase (ALT) yang diukur menggunakan spektrofotometer, terutama metode kinetik yang memakai *Nicotinamide Adenine Dinucleotide* (NADH) dengan panjang gelombang 340 nm. Interferensi ini dapat menyebabkan penurunan hasil ALT secara palsu (*false low result*) karena bilirubin mengganggu pembacaan absorbansi perubahan NADH selama reaksi berlangsung (Bishop dkk., 2018).

4. Proses Pembekuan Darah

Proses pembekuan darah (koagulasi) adalah mekanisme fisiologis yang bertujuan menghentikan perdarahan melalui pembentukan bekuan fibrin yang stabil. Proses pembekuan darah yang terjadi di dalam tabung vacutainer merupakan rangkaian reaksi fisiologis ketika darah dibiarkan tanpa antikoagulan sehingga faktor-faktor koagulasi bekerja membentuk gumpalan (*clot*). Pembekuan dimulai segera setelah darah keluar dari pembuluh dan kontak dengan permukaan tabung, terutama tabung yang dilapisi aktivator koagulasi. Proses ini terdiri atas fase aktivasi (fase kontak), koagulasi, dan retraksi bekuan (Djohan dkk., 2023).

Tabung vacutainer tanpa antikoagulan seperti tabung *Serum Separator Tube* (SST), permukaan kaca atau aditif berupa *clot activator* seperti silika bertindak sebagai pemicu awal aktivasi faktor XII (Hageman factor) sehingga mempercepat proses pembentukan fibrin. Aktivasi faktor XII akan mengaktifkan prekallikrein dan *High-*

Molecular-Weight Kininogen (HMWK) yang kemudian memicu kaskade intrinsik hingga menghasilkan aktivasi faktor X bersama faktor V membentuk kompleks protrombinase untuk mengubah protrombin menjadi thrombin. Trombinnya kemudian mengubah fibrinogen menjadi fibrin monomer, yang akan mengalami polimerisasi dan diperkuat dengan ikatan silang oleh faktor XIII, membentuk bekuan darah yang stabil dalam tabung (Kang dkk., 2025).

Proses pembekuan darah pada tabung vacutainer berlangsung relatif cepat karena tabung memiliki permukaan yang dirancang untuk mengoptimalkan *clotting*, termasuk adanya partikel silika yang meningkatkan aktivasi faktor kontak sehingga waktu pembekuan dapat terjadi dalam 20–30 menit sebelum tabung siap untuk disentrifugasi (Djohan dkk., 2023). Selama proses pembekuan ini, sel-sel darah (eritrosit, leukosit, trombosit) terperangkap dalam matriks fibrin, sementara cairan bagian atas menjadi serum yang bebas faktor pembekuan seperti fibrinogen. Proses *clotting* yang sempurna penting karena pembekuan yang tidak lengkap dapat menyebabkan mikrofibrin atau sisa koagulasi yang memengaruhi pemisahan serum saat sentrifugasi, serta berpotensi mengganggu hasil pemeriksaan kimia klinik (Sana dkk., 2020).

5. Sentrifugasi

Sentrifugasi adalah proses pemisahan komponen darah berdasarkan perbedaan densitas menggunakan gaya sentrifugal. Pada pemeriksaan

laboratorium klinik prosedur ini menjadi tahapan krusial dalam fase praanalitik karena menentukan kualitas serum atau plasma yang akan digunakan. Sampel darah yang tidak disentrifugasi dengan benar dapat menghasilkan hemolisis, terbentuknya *mikroclot*, atau kontaminasi fibrin yang berdampak pada keakuratan pemeriksaan kimia klinik maupun hematologi (Mahmud & Sari, 2018).

Sentrifugasi bekerja dengan memaksa partikel tersuspensi bergerak menjauhi pusat rotasi berdasarkan massa dan ukurannya. Sel darah merah yang memiliki densitas terbesar akan mengendap di bagian bawah tabung, diikuti *buffy coat*, dan bagian atas berupa plasma atau serum. Kecepatan sentrifugasi umumnya dinyatakan dalam *Relative Centrifugal Force* (RCF) dan standar laboratorium klinik menggunakan 1.300–3.000 rpm selama 10–15 menit. Pemilihan RCF dan durasi sangat penting karena kecepatan yang terlalu rendah dapat menghasilkan pemisahan tidak sempurna, sementara kecepatan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko hemolisis (Lippi dan Plebani, 2022).

6. *Serum Separator Tube* (SST)

Serum Separator Tube atau SST adalah tabung untuk pengumpulan darah yang mengandung *clot activator* dan separator gel sehingga setelah koagulasi dan sentrifugasi, gel akan membentuk penghalang fisik antara serum dan elemen sel darah sehingga memudahkan pemisahan serum tanpa dipindahkan lagi ke tabung lain (Djohan dkk., 2023). *Clot activator* pada SST umumnya berupa partikel silika atau

bahan pengaktif lain yang mempercepat pembentukan bekuan sehingga waktu koagulasi menjadi lebih singkat dibandingkan tabung tanpa aktivator. Separator gel adalah matriks polimer berdensitas menengah yang setelah sentrifugasi akan bergerak ke posisi antara sel dan serum karena perbedaan densitas sehingga membentuk “*barrier*” tahan campur antara sel dan serum (Amanatullah dkk., 2025). Tabung SST ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. *Serum Separator Tube*
Sumber: ACL Laboratories, 2020

Penggunaan tabung *Serum Separator Tube* (SST) mengurangi kebutuhan pemindahan serum ke tabung baru (*aliquoting*) sehingga mengurangi *handling* manusia, menurunkan risiko kontaminasi silang dan mengurangi kemungkinan kesalahan identifikasi sampel. Selain itu, tabung SST meningkatkan kejernihan serum dan menurunkan resiko hemolisis relatif dibanding tabung tanpa pemisah sehingga hasil pemeriksaan analit cenderung lebih stabil dan dapat diandalkan (Setiawan dkk., 2021). Penelitian terkait waktu tunggu beku oleh Budi Setiawan dkk., (2021) menunjukkan bahwa *vacutainer serum separator*

hanya membutuhkan waktu *clotting* rata-rata sekitar 4 menit 38 detik sedangkan vacutainer plain membutuhkan tambahan waktu untuk *clotting* rata-rata selama 35 menit 50 detik. Penghitungan waktu ini bisa berbeda jika pengerjaan dilakukan dengan suhu ruang serta ukuran tabung dan volume darah yang berbeda. Dalam praktik praanalitik walaupun SST mempermudah alur kerja, waktu tunggu koagulasi tetap diperlukan (30 menit atau sesuai rekomendasi pabrik) agar bekuan terbentuk sempurna sebelum sentrifugasi (Kang dkk., 2025).

Kualitas sampel serum dalam tabung *Serum Separator Tube* (SST) juga dapat dipengaruhi oleh suhu penanganan/suhu penyimpanan dan sentrifugasi. Serum yang disimpan pada suhu ruang terlalu lama (>1 hari) sebelum pemeriksaan dapat mengalami penurunan aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT) akibat degradasi enzim sehingga serum harus segera diperiksa setelah dilakukan sentrifugasi guna mengurangi resiko penurunan aktivitas ALT, sedangkan penyimpanan pada suhu 2–8 °C lebih menjaga stabilitas dalam jangka panjang (Lippi dan Plebani, 2022). Selain itu, kecepatan dan lama sentrifugasi dapat memengaruhi posisi dan fungsi gel separator dalam SST. Sentrifugasi yang tidak sesuai (kecepatan terlalu rendah atau waktu terlalu singkat) dapat menyebabkan gel tidak membentuk barrier sempurna sehingga sel darah masih bercampur dengan serum dan memungkinkan terjadinya hemolisis (McPherson dan Pincus, 2016).

7. Enzim *Alanine Aminotransferase* (ALT)

a. Pengertian *Alanine Aminotransferase* (ALT)

Alanine Aminotransferase (ALT) atau *Serum Glutamic-Pyruvic Transaminase* (SGPT) adalah enzim yang berperan dalam reaksi transaminasi khususnya pada metabolisme asam amino alanin menjadi piruvat. ALT banyak ditemukan dalam sitoplasma hepatosit (sel hati). ALT dianggap lebih spesifik terhadap organ hati dibandingkan enzim lain seperti *Aspartate Aminotransferase* (AST) karena distribusinya di jaringan ekstrahepatik (otot, ginjal, jantung) lebih kecil. Oleh karena itu, peningkatan ALT dalam serum sering kali menjadi tanda awal kerusakan hepatoseluler pada hepatitis virus, steatohepatitis, toksisitas obat, peradangan serta gangguan metabolik hati (PDS PatKLIn, 2018). Apabila terjadi gangguan fungsi hati enzim aminotransferase di dalam sel akan masuk ke dalam peredaran darah karena terjadi perubahan permeabilitas membran sel sehingga kadar enzim aminotransferase dalam darah akan meningkat (Kahar, 2018).

Pemeriksaan *Alanine Aminotransferase* (ALT) secara rutin digunakan dalam skrining, pemantauan terapi serta evaluasi progresivitas penyakit hati. ALT juga dipakai dalam penilaian fungsi hati sebelum tindakan klinis tertentu seperti pemberian obat hepatotoksik atau kemoterapi. ALT biasanya diuji bersamaan dengan *Aspartate Aminotransferase* (AST) sebagai bagian dari

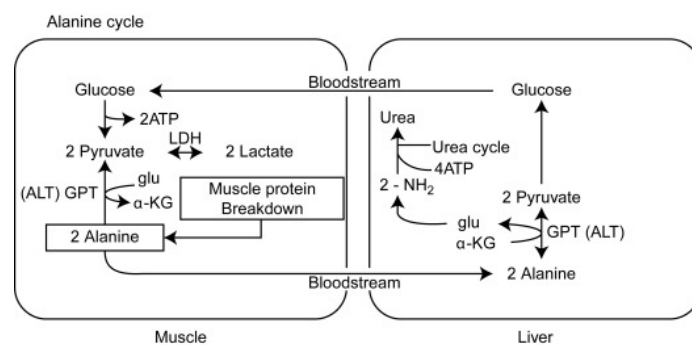
panel fungsi hati karena rasio AST/ALT dan pola kenaikannya dapat memberikan petunjuk etiologi kerusakan hati (Maulidia dkk., 2020).

b. Metabolisme *Alanine Aminotransferase* (ALT)

Alanine Aminotransferase (ALT) bekerja dengan mengkatalisis transfer gugus amino dari L-alanin ke 2-oxoglutarate sehingga menghasilkan piruvat dan L-glutamat. Dalam reaksi ini, ALT menggunakan kofaktor Pyridoxal-5'-fosfat (vitamin B6) sebagai pembawa mentransfer gugus amino selama proses transaminase (Burtis dkk., 2018).

Reaksi transaminasi ini sangat penting dalam siklus glukosa-alanin (*glucose-alanine cycle*). Dalam siklus ini, alanin yang dihasilkan di jaringan perifer (terutama otot) dibawa ke hati. Di hati, *Alanine Aminotransferase* (ALT) mengubah alanin menjadi piruvat yang selanjutnya dapat digunakan sebagai prekursor untuk gluconeogenesis (pembentukan glukosa baru) sehingga membantu mempertahankan homeostasis glukosa selama puasa atau stres metabolik. Sementara itu, glutamat yang dihasilkan berperan sebagai donor nitrogen dalam pembentukan urea (Burtis dkk., 2018). Dengan demikian ALT menghubungkan metabolisme asam amino, nitrogen dan glukosa sehingga perubahan aktivitas ALT berdampak pada keseimbangan nitrogen dan ketersediaan prekursor glukosa selama stress metabolik (Di Wang dkk., 2024).

Alanine Aminotransferase (ALT) dalam kondisi normal tetap berada di dalam sel hati dan hanya dilepaskan ke sirkulasi dalam jumlah kecil akibat pergantian sel fisiologis. ALT serum yang rendah dan stabil mencerminkan integritas membran sel hepatosit yang masih baik serta keseimbangan metabolisme asam amino (Burtis dkk., 2018). Metabolisme enzim ALT didalam tubuh dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Metabolisme ALT

Sumber: Gupta dkk., 2021

c. Faktor yang memengaruhi aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT)

1) Ketersediaan Pyridoxal-5'-fosfat (Vitamin B6)

Ketersediaan Pyridoxal-5'-fosfat dapat memengaruhi aktivitas katalitik *Alanine Aminotransferase* (ALT). Defisiensi vitamin B6 dapat menurunkan aktivitas enzim transaminase termasuk ALT sehingga memengaruhi interpretasi hasil laboratorium (Burtis dkk., 2018).

2) Waktu paruh (*half-life*) enzim *Alanine Aminotransferase* (ALT) dalam sirkulasi darah

Aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT) dalam sirkulasi juga dipengaruhi oleh waktu paruh (*half-life*) ALT. Enzim ini memiliki *half-life* sekitar 47 jam sehingga perubahan aktivitas ALT dalam serum tidak selalu mencerminkan langsung kerusakan akut jika waktu pengambilan sampel tidak tepat (Moriles, 2024).

3) Faktor Praanalitik

Aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT) dapat dipengaruhi oleh faktor praanalitik seperti hemolisis sampel, lama penundaan pemisahan serum, suhu penyimpanan dan jenis tabung. Stabilitas enzim dapat menurun jika sampel dibiarkan terlalu lama sebelum pemisahan serum atau jika mengalami fluktuasi suhu (Ulfah, 2021). Oleh sebab itu, serum untuk pemeriksaan ALT sebaiknya segera dipisahkan dari sel darah dalam waktu kurang dari 2 jam untuk mencegah degradasi enzim oleh metabolisme seluler (Sana dkk., 2020). Selain itu, hemolisis dapat meningkatkan hasil ALT karena eritrosit dan trombosit juga mengandung ALT dalam jumlah kecil sehingga pemeriksaan harus dilakukan pada sampel tanpa gangguan visual (Wanti dkk., 2020). Banyaknya pengaruh praanalitik ini

dapat mengaburkan interpretasi perubahan biologis yang sebenarnya (Lippi dan Plebani, 2022).

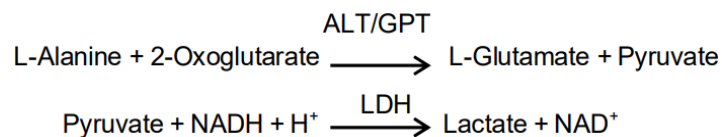
4) Kondisi Fisiologis

Kondisi fisiologis seperti obesitas, hepatitis akut dan nekrosis hati dapat meningkatkan aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT) secara kronis. Peningkatan ringan atau medium dikarenakan sirosis, kanker hati dan kegagalan jantung (Di Wang dkk., 2024). Selain itu, sebagaimana di jelaskan oleh Nugraha (2018) penggunaan antibiotik dan obat obatan lain dapat meningkatkan aktifitas ALT.

d. Metode dan Prinsip Pemeriksaan *Alanine Aminotransferase* (ALT)

Aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT) adalah aktivitas enzim ALT dalam serum yang ditetapkan dengan metode kinetik UV. Reaksi yang terjadi merupakan reaksi enzimatik berantai (*coupled reaction*) yang diukur secara kinetik in vitro. Enzim ALT yang terdapat dalam sampel serum akan mengkatalisis reaksi transaminasi antara L-alanin dan 2-oxoglutarate sehingga terbentuk piruvat dan L-glutamat. Reaksi ini merupakan reaksi utama yang mencerminkan aktivitas biologis ALT. Piruvat yang terbentuk sulit diukur secara langsung sehingga digunakan reaksi lanjutan dengan bantuan enzim *lactate dehydrogenase* (LDH) yang terdapat di dalam reagen. Pada reaksi kedua ini, piruvat direduksi menjadi laktat dengan menggunakan kofaktor *Nicotinamide Adenine Dinucleotide*

(NADH) yang sekaligus teroksidasi menjadi NAD^+ . Penurunan konsentrasi NADH tersebut menyebabkan penurunan absorbansi cahaya pada panjang gelombang 340 nm yang dapat diukur menggunakan spektrofotometer. Kecepatan penurunan absorbansi ini berbanding lurus dengan aktivitas enzim ALT dalam sampel sehingga hasil pemeriksaan dinyatakan dalam satuan U/L yang menggambarkan jumlah enzim yang mampu mengkatalisis reaksi per liter serum per menit (Resmi dkk., 2021). Reaksi pemeriksaan aktivitas ALT dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Reaksi Pemeriksaan ALT
Sumber: Danur Diagnostic, 2023

Penggunaan metode kinetik UV dianggap lebih akurat karena pengukuran dilakukan secara kontinu sehingga perubahan aktivitas enzim dapat dipantau secara *real-time* dan meminimalkan interferensi sampel seperti hemolisis atau kekeruhan (Moriles, 2024). Selain itu, metode ini telah distandarkan secara internasional oleh *International Federation of Clinical Chemistry* (IFCC) yang menetapkan kondisi reaksi tertentu seperti pH 7,4, suhu 37°C dan konsentrasi buffer optimum agar sensitivitas dan spesifisitas pemeriksaan tetap terjaga (Burtis dkk., 2018).

e. Nilai Rujukan ALT

Nilai Rujukan *Alanin Aminotransferase* (ALT) bervariasi antar laboratorium bergantung pada populasi dan harus mempertimbangkan faktor praanalitik seperti usia, jenis kelamin serta metode analisis karena hal-hal tersebut dapat memengaruhi nilai normal (Valenti dkk., 2021).

Nilai rujukan ALT mengacu pada Danur Diagnostic (2023) dapat dilihat pada Tabel 1.

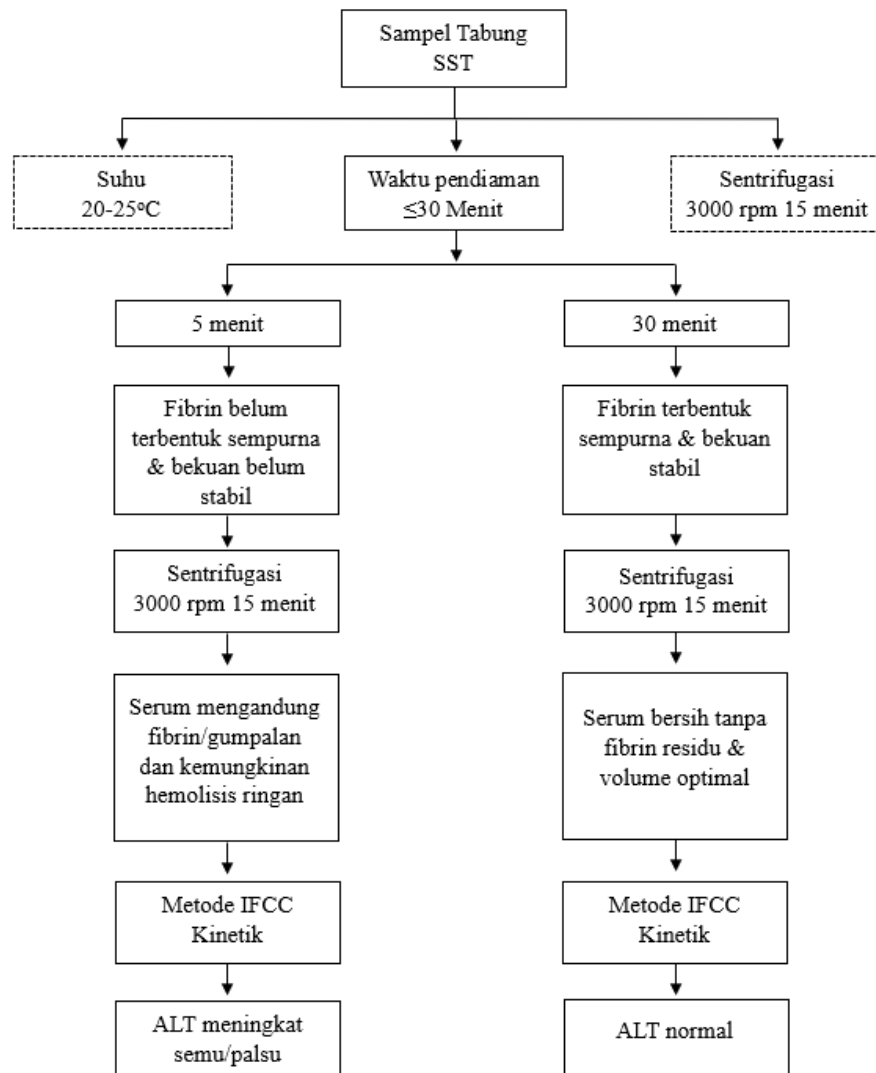
Tabel 1. Nilai Rujukan ALT

Alanine Aminotransferase (ALT)		U/L
Dewasa	37°C (Pria)	< 45 U/L
	37°C (Wanita)	< 34 U/L
	30 °C	< 25 U/L

Sumber: Danur Diagnostic, 2023

B. Kerangka Teori

Kerangka teori pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka teori

Keterangan

Diteliti :

Tidak Diteliti :

C. Hipotesis

Terdapat kenaikan aktivitas *Alanine Aminotransferase* (ALT) dalam sampel *Serum Separator Tube* yang didiamkan 5 menit dibanding dengan yang didiamkan 30 menit.