

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Laboratorium Klinik

a. Pengertian Laboratorium Klinik

Laboratorium klinik merupakan salah satu jenis fasilitas kesehatan yang secara khusus menangani pelayanan pemeriksaan terhadap berbagai spesimen klinis, seperti darah, urin dan sampel jaringan dari pasien lainnya. Tujuan utama dari kegiatan ini adalah untuk menghasilkan informasi yang akurat dan detail mengenai kondisi kesehatan individu. Informasi tersebut sangat krusial karena terutama digunakan untuk mendukung proses diagnosis penyakit secara tepat dan cepat. Selain itu, hasil pemeriksaan juga berperan penting dalam merencanakan strategi penyembuhan penyakit serta memantau tahap pemulihan kesehatan pasien agar dapat kembali ke kondisi normal (Permenkes, 2020). Oleh karena itu, perlu diadakannya pemantapan mutu laboratorium klinik guna memastikan bahwa informasi kesehatan yang dihasilkan benar-benar akurat dan dapat diandalkan.

Pemantapan mutu laboratorium klinik adalah semua kegiatan yang bertujuan untuk memastikan keakuratan dan ketepatan hasil uji laboratorium klinik. Kegiatan penjaminan mutu laboratorium dapat dibagi menjadi dua kategori: penjaminan mutu internal dan penjaminan

mutu eksternal. Bahan dan penanganan bahan sebelum pengujian, pengobatan, penyakit tertentu (uremia, diabetes melitus, dll.) dan kesalahan entri data (Permenkes, 2020).

b. Pemantapan Mutu Internal

Pemantapan mutu internal adalah kegiatan pencegahan dan pengawasan yang dilakukan oleh masing-masing laboratorium secara terus menerus agar tidak terjadi atau mengurangi penyimpangan sehingga diperoleh hasil pemeriksaan yang tepat. Pemantapan mutu internal (PMI) dilakukan untuk mengendalikan hasil pemeriksaan laboratorium setiap hari dan untuk mengetahui penyimpangan hasil laboratorium agar segera diperbaiki. Cangkupan objek pemantapan mutu internal meliputi tahap pra-analitik, tahap analitik dan tahap pasca-analitik (Tuntun *et al.*, 2020).

Laboratorium harus dilengkapi dengan prosedur tetap untuk menghasilkan hasil yang akurat, tepat waktu dan dapat dipercaya. Pengujian di laboratorium terutama melibatkan tiga tahapan yaitu tahap pra-analitik, tahap analitik dan tahap pasca-analitik. Tahapan pra-analitik menyumbang sekitar 68% dari total kesalahan laboratorium dibandingkan dengan kesalahan analitik sekitar 19% dan kesalahan pasca-analitik sebesar 13 % (Khotimah & Sun, 2022).

c. Pemantapan Mutu Eksternal

Pemantapan Mutu Eksternal adalah kegiatan yang diselenggarakan secara periodik oleh pihak lain diluar laboratorium yang bersangkutan

untuk memantau dan menilai suatu laboratorium dalam bidang pemeriksaan tertentu. Penyelenggaraan pementapan mutu eksternal ini dilaksanakan oleh pihak pemerintah, swasta atau internasional (Tuntun *et al.*, 2020).

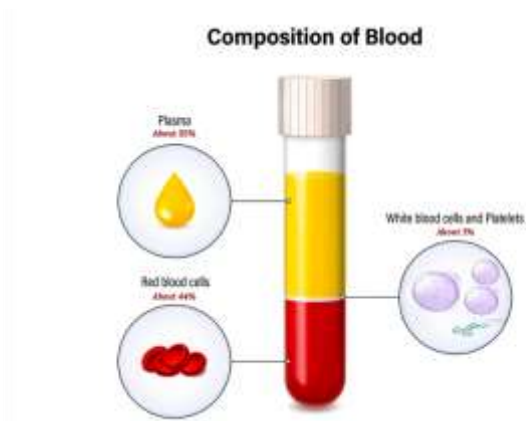
2. Darah

a. Pengertian

Darah adalah sejenis jaringan cair yang merupakan komponen vital kehidupan suatu organisme, yang terletak di dalam sistem peredaran darah yang berfungsi sebagai media penghubung antarsel di seluruh tubuh dan dengan lingkungan luar. Peran utamanya meliputi pengangkutan oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan dan pembuangan karbon dioksida dari jaringan ke paru-paru, penyaluran nutrisi dari sistem pencernaan ke jaringan, serta pengangkutan hormon dan unsur pembekuan darah (Poletaev, 2021).

b. Komponen

Secara umum, setiap orang memiliki sekitar 70 ml darah per kilogram berat badan. Sekitar 50-60% dari total darah adalah cairan, sedangkan sisanya adalah sel darah. Cairan ini disebut plasma, yang sebagian besar terdiri dari 90% air dan 10% zat terlarut seperti ion, glukosa, asam amino, hormon dan berbagai protein. Darah memiliki dua komponen utama yaitu plasma darah dan sel darah. Sel darah meliputi eritrosit (sel darah merah), leukosit (sel darah putih) dan trombosit (keping darah) (Chen *et al.*, 2023).



Gambar 1: Komponen Darah
Sumber: (American Society of Hematology, 2021)

1) Eritrosit

Setiap sel darah merah mengandung 280 juta molekul hemoglobin. Setiap molekul hemoglobin mengandung protein yang disebut globin dan pigmen non-protein yang disebut heme. Molekul-molekul hemoglobin ini membantu sel darah merah mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh dan mengangkut 23% karbon dioksida tubuh ke paru-paru (Doda *et al.*, 2020).

2) Leukosit

Leukosit atau lebih dikenal sebagai sel darah putih umumnya memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan eritrosit. Biasanya dapat bervariasi dari lonjong hingga bulat. Leukosit memiliki berbagai fungsi yang terkait erat dengan menghilangkan benda asing, termasuk mikroorganisme patogen. Rentang normal jumlah leukosit dalam darah adalah 4.000 hingga 10.000 per mililiter kubik darah. Fungsi utama sel darah putih adalah sebagai

pertahanan tubuh terhadap infeksi, memberikan perlindungan dari mikroorganisme dengan kemampuannya sebagai fagosit yang dapat menelan bakteri hidup yang masuk ke dalam sirkulasi darah, serta membantu dalam proses penyembuhan luka (Loddo & Putzu, 2021).

3) Trombosit

Keping darah atau trombosit, memiliki peran kunci dalam proses hemostasis, dimana mereka menempel pada lapisan endotelium pembuluh darah yang rusak (luka) untuk membentuk plug trombosit. Trombosit berasal dari megakariosit dan terbentuk dari fragmen sitoplasma megakariosit. Jumlah trombosit normal dalam darah berkisar antara 150.000 hingga 350.000 per mililiter darah. Granula didalam trombosit mengandung faktor pembekuan darah. Umur trombosit yaitu sekitar 10 hari (Sonmez & Sonmez, 2020).

4) Hemoglobin

Hemoglobin adalah protein yang terdiri dari pigmen dan globulin yang mengandung zat besi. Hemoglobin memberikan warna kemerahan khas pada sel darah merah (Lieseke & Zeibig, 2021).

Hemoglobin adalah protein pigmen merah yang membawa oksigen kaya zat besi dan memiliki kemampuan untuk bergabung dengan oksigen membentuk oksihemoglobin dalam sel darah

merah. Fungsi ini menghasilkan pengangkutan oksigen dari paru-paru ke jaringan. Hemoglobin juga membawa karbon dioksida dari jaringan ke paru-paru. Sel darah merah rata-rata mengandung 15 gram hemoglobin pada orang normal, hemoglobin dapat membawa 20 ml oksigen per 100 ml darah (Syarifuddin, 2016).

3. Serum

a. Pengertian

Serum adalah cairan yang tersisa setelah darah menggumpal atau membeku. Serum adalah komponen cairan berwarna kuning dari darah tanpa antikoagulan, sehingga tidak mengandung fibrinogen atau faktor pembekuan darah. Fibrinogen adalah protein tidak aktif yang diubah oleh trombin menjadi fibrin (bentuk aktifnya) selama proses pembekuan darah. Volume serum dalam darah lebih kecil dari pada plasma. Serum mengandung 90% air, protein (albumin dan globulin), elektrolit, antibodi, antigen dan hormon (DHiru, 2021).

b. Jenis-jenis Serum tidak Normal

1) Serum Hemolisis

Serum hemolisis merupakan serum yang disebabkan oleh pecahnya membran sel darah merah selama proses pengambilan sampel. Sampel yang mengalami hemolisis tampak merah dan dapat mengganggu berbagai metode pemeriksaan (Lieseke & Zeibig, 2021).

2) Serum Lipemik

Lipemik merupakan sampel yang berwarna keruh yang disebabkan oleh akumulasi partikel lipoprotein. Partikel terbesar lipoprotein yaitu kilomikron, memiliki potensi besar menyebabkan kekeruhan pada sampel (Nora Nikolac, 2022).

3) Serum Iterik

Serum ikterik merupakan serum darah yang menunjukkan warna kuning kecokelatan karena adanya peningkatan kadar bilirubin, yang juga dikenal sebagai hiperbilirubinemia. Peningkatan kadar bilirubin tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk penggunaan obat-obatan tertentu seperti antibiotik amfoterisin B, klindamisin dan oksalisin. Kondisi serum yang ikterik ini dapat mempengaruhi hasil pemeriksaan laboratorium, umumnya dengan cara meningkatkan nilai hasil pemeriksaan tersebut (Nugrahena *et al.*, 2021).



Gambar 2: jenis Serum Abnormal
Sumber: (Saiful, 2021)

4. Hemolisis

a. Pengertian

Hemolisis adalah kondisi di mana membran sel darah merah dan sel darah lainnya mengalami gangguan, yang kemudian disertai dengan keluarnya komponen di dalam sel ke dalam serum atau plasma. (Dila et al., 2020). Kondisi ini dapat terjadi secara *in vivo* (didalam tubuh) atau *in vitro* (diluar tubuh, misalnya saat pengambilan sampel atau pemrosesan darah). Hemolisis *in vitro* seringkali bermasalah dalam analisis laboratorium karena dapat memengaruhi hasil uji biokimia, seperti peningkatan kadar kalium, fosfat dan enzim intraseluler (Simundic et al., 2020).

b. Penyebab

Hemolisis *in vitro* dapat disebabkan oleh berbagai faktor teknis selama pengambilan dan penanganan darah. Penyebab umum antara lain kontaminasi sampel darah dengan sisa alkohol dari kulit, penggunaan *touinquet* terlalu lama (lebih dari 1 menit), penggunaan jarum dengan ukuran yang terlalu kecil, kesulitan saat melakukan penetrasi pada pembuluh darah yang sempit atau rapuh, serta tekanan berlebihan saat pengambilan darah menggunakan spuit. Selain itu, pencampuran darah yang tidak tepat seperti pengocokan yang terlalu keras, sentrifugasi dengan kecepatan tinggi atau durasi yang terlalu lama, serta keterlambatan dalam pemisahan serum atau plasma juga dapat menyebabkan hemolisis. Sedangkan hemolisis *in vivo* biasanya

terjadi akibat gangguan atau kondisi patologis di dalam tubuh, seperti infeksi, anemia hemolitik autoimun, paparan zat beracun, efek samping obat tertentu, kelainan genetik seperti hemoglobinopati dan reaksi yang timbul dari transfusi darah (Ramdhani *et al.*, 2024).

c. Indeks Hemolisis

Indeks hemolisis merupakan ukuran kuantitatif tingkat hemolisis suatu sampel darah, biasanya dinyatakan dalam satuan seperti mg/dL hemoglobin bebas atau indeks hemolisis (HI) yang dihitung berdasarkan serapan pada panjang gelombang tertentu (Lippi, 2020). Indeks ini penting untuk menilai kualitas sebelum analisis laboratorium. Menurut penelitian terbaru oleh (Liu *et al.*, 2021), indeks hemolisis yang tinggi (>50 mg/dL) dapat menyebabkan gangguan pada pengujian enzim seperti *Alanine aminotransferase* (ALT), sehingga sampel perlu ditolak atau diulang.

Mengetahui sampel serum mengalami hemolisis atau tidak merupakan langkah penting sebelum pemeriksaan dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menghindari hasil uji laboratorium yang tidak akurat. Hemolisis dapat dideteksi secara visual maupun secara instrumentasi menggunakan spektrofotometer yang mengukur kadar hemoglobin bebas dalam serum, sehingga perlu diperkirakan tingkatannya berdasarkan indeks hemolisis dan tampilan serum. Indeks hemolisis ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Tingkatan Hemolisis Berdasarkan Indeks Hemolisis

Indeks Hemolisis	Tampilan Serum	Derajat Hemolisis
> 20 mg/dL	Bening	Tidak hemolisis
20 – 100 mg/dL	Merah muda	Hemolisis ringan
100 – 300 mg/dL	Merah	Hemolisis sedang
> 300 mg/dL	Merah tua	Hemolisis berat

Sumber: (Adiga & Yogis, 2020).

d. Pengaruh Hemolisis

Pecahnya sel eritrosit menyebabkan hemoglobin masuk kedalam serum. Sehingga akan mengakibatkan terjadinya perubahan warna pada serum yang mengakibatkan gangguan pada pengukuran panjang gelombang yang akan berdampak pada hasil yang tidak akurat (Howanitz *et al.*, 2020).

5. Peralatan pengambilan darah

a. Turniket (*Tourniquet*)

Turniket dengan nama latin *Tourniquet* merupakan perangkat yang digunakan untuk membalut pembuluh darah, sehingga aliran vena dan arteri dapat dikontrol selama periode waktu tertentu dan mempermudah dalam mengidentifikasi pembuluh darah (Nugraha, 2022). Tekanan diterapkan secara berputar pada kulit, yang mengakibatkan terhentinya sementara. Tujuan utama penggunaan turniket adalah agar pembuluh darah vena terlihat membesar dan menonjol ke permukaan kulit, serta dinding pembuluh darah menjadi lebih tipis, sehingga memudahkan saat memasukkan jarum (Kiswari, 2018).

b. Sarung Tangan Medis

Sarung tangan medis yang digunakan dalam flebotomi biasanya dibuat dari bahan seperti lateks, nitril, neoprena, polietilena atau vinil dan bagi flebotomis atau tenaga kesehatan yang memiliki alergi terhadap bahan-bahan tersebut, karena itu tersedia pilihan sarung tangan dari bahan linen (Kiswari, 2018).

c. Antiseptik

Antiseptik adalah bahan kimia yang digunakan untuk membersihkan kulit sebelum pengambilan darah guna mencegah kontaminasi bakteri dan infeksi. Contoh antiseptik umum adalah alkohol 70% (*isopropil* atau *etanol*), *povidone-iodine* atau *chlorhexidine*. Penggunaan antiseptik harus sesuai panduan WHO, yaitu dengan cara menggosok kulit selama 30 detik dan membiarkannya kering secara alami untuk menghindari kontaminasi sampel. Antiseptik yang tidak tepat dapat menyebabkan hemolisis atau hasil tes yang tidak akurat (WHO 2020).

d. Plester

Plester merupakan suatu bahan yang digunakan untuk menutupi luka setelah dilakukan flebotomi yang berfungsi untuk mempercepat proses penyembuhan dan untuk mencegah terjadinya infeksi akibat luka tusukan jarum (Anwari *et al.*, 2024).

e. S spuit

Alat suntik adalah alat kesehatan yang digunakan untuk mengambil darah vena atau arteri, terdiri dari silinder, penyedot dan jarum. Alat

suntik yang baik harus steril, bebas dari bahan kimia yang dapat mengkontaminasi sampel dan memenuhi standar keamanan yang direkomendasikan oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) (WHO, 2020). Sduit terdiri atas tabung (*barrel*) diukur dalam mililiter dan piston yang dapat ditarik hingga belakang (*plunger*) (Nugraha, 2022).

f. Jarum (*Needle*)

Jarum adalah komponen kunci dalam pengambilan darah, dengan ukuran yang bervariasi (misalnya, gauge 21-25). Jarum yang terlalu besar dapat menyebabkan trauma vena, sedangkan yang terlalu kecil meningkatkan risiko hemolisis karena tekanan aspirasi yang tinggi (Umemura *et al.*, 2024). Menurut panduan dari (CLSI, 2020), jarum dengan ukuran 23-25 direkomendasikan untuk mengambil darah vena dewasa guna meminimalkan risiko pra-analitik.

Beberapa jenis jarum yang digunakan pada saat flebotomi, yaitu jarum spuit, jarum *vacutainer* dan jarum bersayap (*butterfly/wing needle*) (Nugraha, 2022). Jarum spuit adalah jarum yang biasa digunakan pada flebotomi sistem terbuka.

g. Tabung *Vacutainer*

Tabung vakum atau dengan nama latih *vacutainer* yang digunakan pada saat flebotomi merupakan tabung hampa udara, tabung vakum mempunyai fungsi menampung darah untuk pengujian di laboratorium, tabung tersebut terbuat dari plastik anti pecah dan kaca, tabung plastik lebih aman digunakan pada saat transportasi sampel darah, selain itu

sampel darah yang membutuhkan aktivasi trombosit biasanya menggunakan tabung plastik, tutup tabung menggunakan sumbat karet tebal atau sumbat karet dengan tutup plastik, setiap jenis tabung memiliki bahan aditif yang berbeda tergantung pada tes yang akan dilakukan di laboratorium (Nugraha, 2022). Berikut jenis-jenis tabung *vacutainer* dan fungsinya

Jenis-jenis Tabung *Vacutainer* dan Fungsinya Menurut (Aryani, 2022):

- 1) Tabung dengan tutup merah tidak mengandung zat tambahan sehingga darah yang diambil akan membeku secara alami. Serum darah kemudian dapat dikeluarkan melalui proses sentrifugasi. Tabung ini biasanya dipakai untuk pemeriksaan kimia darah, imunologi, serologi, serta untuk pemeriksaan di bank darah seperti tes *crossmatching*.
- 2) Tabung dengan tutup kuning dilengkapi dengan gel pemisah atau Serum Separator Tube (SST) yang berfungsi memisahkan serum dan sel darah. Setelah proses sentrifugasi, serum terkumpul di atas lapisan gel, sementara sel darah berada di bagian bawah. Tabung ini biasa digunakan untuk pemeriksaan kimia darah, imunologi, dan serologi.
- 3) Tabung dengan tutup hijau terang mengandung gel pemisah atau Plasma Separator Tube (PST) yang memiliki antikoagulan lithium heparin. Setelah sentrifugasi, plasma terpisah dan berada di atas

lapisan gel, sedangkan sel darah mengendap di bawah. Tabung ini sering digunakan untuk pemeriksaan kimia darah.

- 4) Tabung dengan tutup ungu atau lavender mengandung antikoagulan EDTA yang mencegah pembekuan darah. Jenis tabung ini umum dipakai untuk pemeriksaan darah lengkap dan di bank darah, seperti tes *crossmatch*.
- 5) Tabung dengan tutup biru mengandung antikoagulan natrium sitrat dan biasanya dipakai untuk pemeriksaan terkait proses pembekuan darah, misalnya pemeriksaan *Protrombin Time* (PT) dan *Activated Partial Thromboplastin Time* (APTT).
- 6) Tabung dengan tutup hijau mengandung antikoagulan natrium atau lithium heparin, dan umum digunakan untuk pemeriksaan kimia darah serta uji fragilitas osmotik eritrosit.
- 7) Tabung dengan tutup abu-abu mengandung campuran natrium fluorida dan kalium oksalat yang berfungsi sebagai pengawet dan antikoagulan. Tabung ini umumnya dipakai untuk pemeriksaan kadar glukosa darah.
- 8) Tabung dengan tutup hitam mengandung larutan penyangga sodium sitrat dan biasanya digunakan untuk pemeriksaan Laju Endap Darah (LED) atau *Erythrosit Sedimentation Rate* (ESR).
- 9) Tabung dengan tutup putih mengandung antikoagulan potasium EDTA dan sering digunakan untuk pemeriksaan berbasis molekuler seperti uji *Polymerase Chain Reaction* (PCR).

10) Tabung dengan tutup berwarna merah muda berisi antikoagulan potasium EDTA dan umumnya dipakai dalam pemeriksaan di bidang imunohematologi.

6. Enzim

a. Pengertian Enzim

Enzim merupakan senyawa protein yang bertindak sebagai katalisator biologis, yang berarti mereka mempercepat laju reaksi kimia di dalam tubuh tanpa mengalami perubahan atau habis dalam proses reaksi tersebut. Enzim memainkan peran penting dalam berbagai proses metabolisme, termasuk pencernaan makanan, respirasi seluler, serta sintesis berbagai senyawa penting dan mereka memiliki spesifisitas yang tinggi terhadap substrat tertentu yang mereka katalisis (Nugraha, 2022).

b. Pengertian Enzim *Aminotransferase*

Enzim *aminotransferase* merupakan kelompok enzim yang berperan dalam reaksi transaminasi, yaitu proses pemindahan gugus amino dari suatu asam amino ke asam α -keto. Reaksi ini menghasilkan asam amino baru dan asam keto baru, sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran gugus amino antar molekul. Proses ini memiliki peran penting dalam metabolisme asam amino dan protein di dalam tubuh, karena membantu mengatur ketersediaan dan keseimbangan asam amino yang dibutuhkan untuk berbagai jalur reaksi biokimia (Koper *et al.*, 2022).

c. Pengertian Enzim *Alanine aminotransferase* (ALT)

Enzim *Alanine aminotransferase* (ALT) adalah salah satu enzim transaminase yang terlibat dalam metabolisme asam amino, khususnya dalam siklus urea dan glukoneogenesis (McGill, 2020).

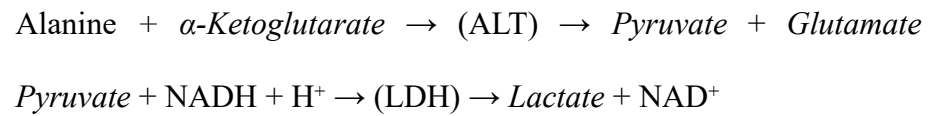
ALT adalah enzim sitosolik yang terutama ditemukan di hati, tetapi juga terdapat dalam jumlah kecil di jantung, otot rangka dan ginjal. Enzim ini berperan dalam transfer gugus amino dari alanin ke α -ketoglutarat, menghasilkan piruvat dan glutamat (McGill, 2020). Peningkatan kadar ALT dalam serum sering menunjukkan kerusakan hepatoseluler, seperti pada hepatitis atau sirosis (Tang *et al.*, 2021).

d. Pemeriksaan Enzim *Alanine aminotransferase* (ALT)

Pemeriksaan *Alanine aminotransferase* (ALT) merupakan salah satu parameter penting dalam pemeriksaan fungsi hati yang digunakan untuk menilai adanya kerusakan hepatoseluler. Enzim ini terutama terdapat di sitoplasma hepatosit dan peningkatan kadarnya didalam serum mencerminkan adanya kebocoran membrane sel hati akibat cedera, infeksi atau toksisitas obat (Kemenkes, 2023).

Prinsip pemeriksaan ALT yaitu enzim ALT mengkatalisis transfer gugus amino dari L-Alanin ke 2-Oxgutarate menjadi L-Glutamat dan Piruvat. Piruvat yang terbentuk akan mengalami reduksi dan terjadi oksidasi NADH menjadi NAD⁺ dengan bantuan enzim *Laktat Dehidrogenase*. Penurunan absorbansi akibat konversi NADH menjadi

NAD⁺, sebanding dengan aktivitas SGPT pada spesimen, diukur pada panjang gelombang 340 nm (Nugraha & Badrawi, 2021).



Tabel 2. Nilai Rujukan Enzim *Alanine aminotransferase* (ALT)

Kategori	Niali Rujuk U/L
Wanita	<34
Pria	<45

Sumber: (Glory Diagnostics, 2023).

e. Faktor yang Mempengaruhi pemeriksaan ALT

Kadar *Alanine aminotransferase* (ALT) dipengaruhi oleh faktor internal seperti usia, jenis kelamin, obesitas dan *Nonalcoholic Fatty Liver Disease* (NAFLD), di mana penumpukan lemak pada sel hati menyebabkan kerusakan hepatosit dan meningkatkan pelepasan ALT ke dalam darah (Wang *et al.*, 2023). Penggunaan obat atau zat hepatotoksik juga merupakan faktor penting yang dapat meningkatkan ALT secara signifikan, terutama pada kasus *Drug-Induced Liver Injury* (Allison *et al.*, 2023).

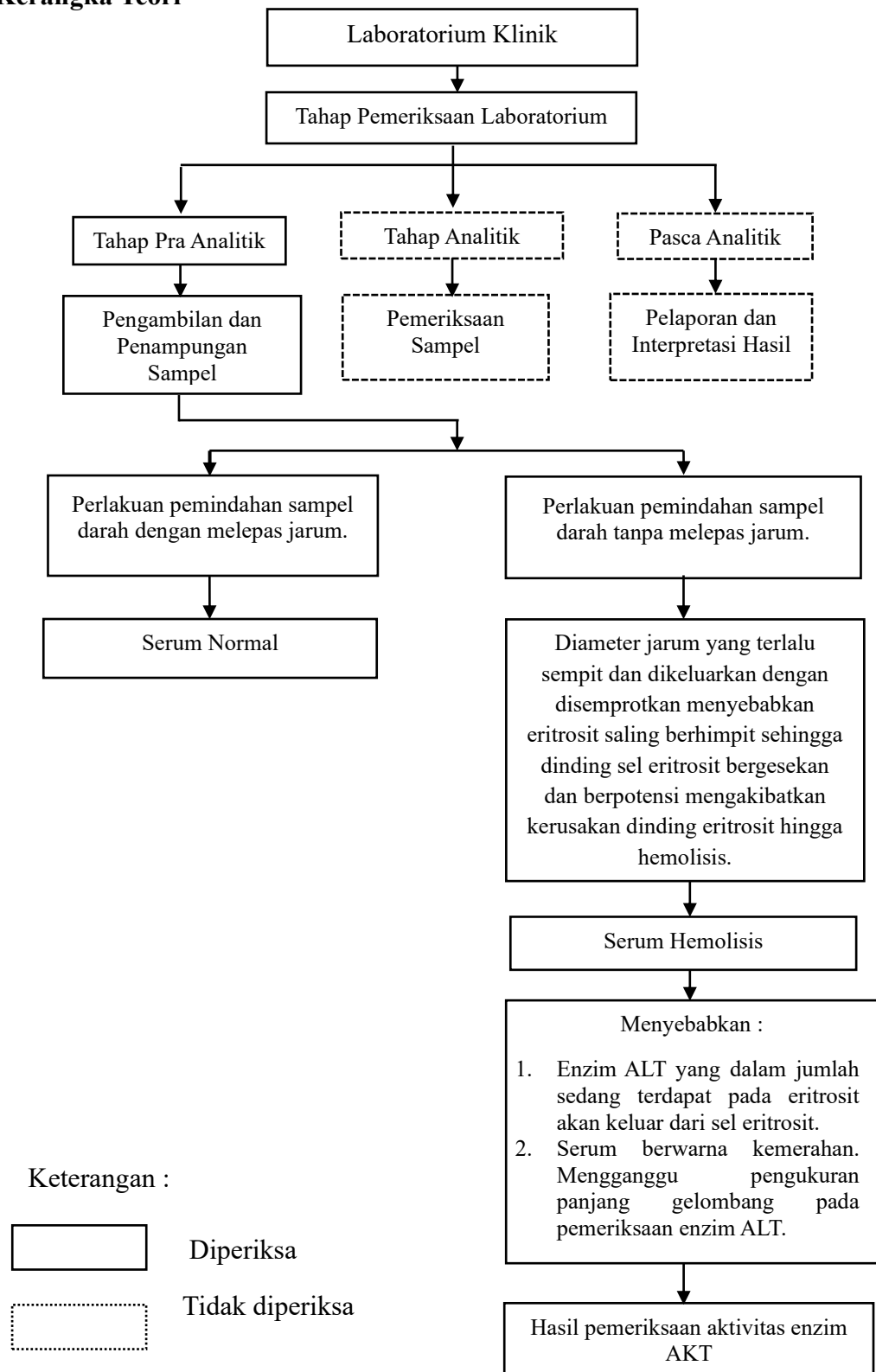
Di sisi lain, faktor pra-analitik laboratorium seperti teknik pengambilan darah yang tidak tepat, hemolisis dan keterlambatan dalam pemrosesan sampel dapat memengaruhi hasil pemeriksaan ALT dan menyebabkan nilai yang tidak akurat (Nordin *et al.*, 2024). Hemolisis dapat melepaskan enzim dan komponen sel yang mengganggu akurasi hasil ALT. Aktivitas fisik juga memengaruhi kadar ALT, dimana latihan berat dapat meningkatkan ALT sementara,

sedangkan olahraga teratur justru dapat menurunkannya melalui perbaikan metabolisme hati dan sensitivitas insulin (Hejazi & Hackett, 2023). Karena itu, interpretasi kadar ALT perlu mempertimbangkan kondisi klinis, riwayat konsumsi obat atau alkohol, serta kualitas sampel pemeriksaan.

f. Hubungan kadar enzim ALT terhadap Perlakuan Pemindahan Sampel Darah Dengan dan Melepas Jarum Sduit

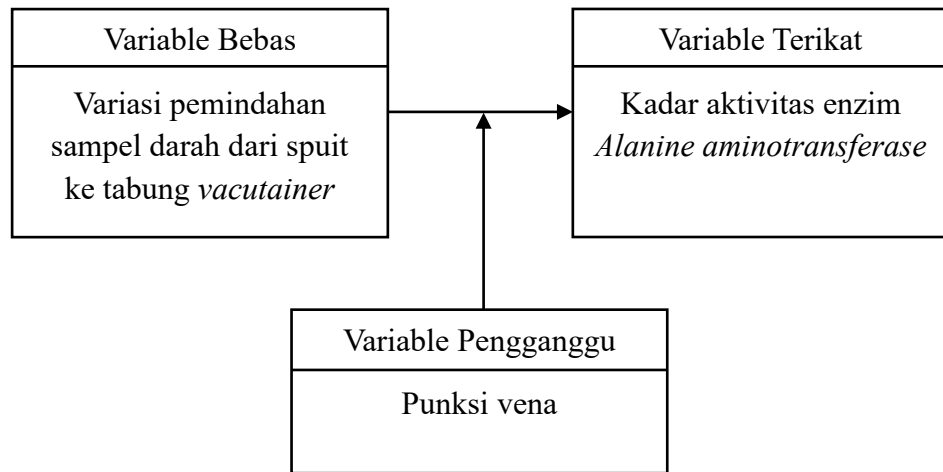
Pemindahan sampel darah dari spuit ke tabung tanpa melepas jarum menyebabkan darah dipaksa melewati lumen jarum yang sempit dengan tekanan yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan risiko terjadinya hemolisis *in vitro*. Hemolisis menyebabkan pecahnya eritrosit dan pelepasan komponen intraseluler ke dalam serum, termasuk enzim-enzim seperti ALT (*Alanine aminotransferase*). Hal tersebut menunjukkan bahwa hemolisis dapat menyebabkan penurunan kadar ALT yang terukur. Hal ini disebabkan oleh interferensi hemoglobin bebas terhadap reaksi kimia berbasis fotometri yang digunakan dalam pemeriksaan ALT, sehingga aktivitas enzim tampak menurun, meskipun enzim sebenarnya tidak berkurang. (Bouazza *et al.*, 2024) menunjukkan adanya korelasi negatif antara indeks hemolisis dan nilai ALT ($r = -0.516$), yang berarti semakin berat hemolisis, nilai ALT yang terukur cenderung lebih rendah.

B. Kerangka Teori



Gambar 3: Kerangka Teori

C. Hubungan Antar Variabel



Gambar 4: Kerangka Konsep

D. Pertanyaan Penelitian

Apakah terdapat perbedaan pada perlakuan pemindahan sampel darah dengan dan tanpa melepas jarum spuit terhadap pemeriksaan kadar *Alanine aminotransferase* (ALT)?