

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Telaah Pustaka

1. Elektrolit

a. Definisi elektrolit

Elektrolit merupakan senyawa di dalam larutan yang berdisosiasi menjadi partikel yang bermuatan (ion) positif atau negatif dan diukur dengan kapasitasnya untuk saling berikatan satu sama lain (miliekuivalen/liter atau mEq/L) atau dengan berat molekul dalam gram (milimol/liter atau mmol/L). Ion bermuatan positif disebut kation, sedangkan ion bermuatan negatif disebut anion. Keseimbangan anion dan kation disebut sebagai elektronetralitas (Matfin dan Porth, 2009).

b. Fisiologi elektrolit

1) Natrium

Natrium merupakan kation utama di intravaskuler, sehingga berperan penting dalam menentukan osmolaritas plasma (Hardisman, 2015). Dalam keadaan normal, konsentrasi Natrium dipertahankan antara 135 hingga 148 mmol/L. Ion Natrium diperoleh dari saluran pencernaan, makanan dan minuman yang masuk ke dalam cairan ekstrasel melalui proses difusi. Sedangkan pengeluaran ion Natrium dilakukan oleh ginjal (Horne dan Swearingen, 1993).

2) Kalium

Kalium merupakan kation intraseluler utama dan berperan penting dalam metabolisme sel. Kalium sangat berperan dalam sistim depolarisasi sel, sistim konduksi saraf, kontraksi otot termasuk otot-otot jantung (Hardisman, 2015).

Pengatur utama keseimbangan Kalium adalah ginjal. Kadar normal Kalium antara 3,5 hingga 5,3 mmol/L (Roche, 2020).

3) Klorida

Klorida merupakan anion utama dalam cairan ekstraseluler. Klorida berperan dalam membantu regulasi volume darah, tekanan arteri dan keseimbangan asam-basa (asidosis-alkalosis). Kadar normal Klorida serum antara 98 hingga 107 mmol/L. Klorida biasanya diperiksa bersama dengan elektrolit lain dan jarang diperiksa tersendiri (Harjoeno, 2007).

Menurut *Roche Diagnostics* (2020) nilai rujukan kadar elektrolit pada sampel serum ditunjukkan pada Tabel 1.

Parameter	Nilai rujukan (mmol/L)
Natrium	135 -148
Kalium	3,5 – 5,3
Klorida	98 - 107

Sumber : Roche Diagnostics, 2020

c. Gangguan keseimbangan elektrolit

1) Hipernatremia

Hipernatremia adalah gangguan elektrolit dengan peningkatan Natrium di atas batas normal (lebih dari 148 mmol/L). Pada hipernatremia, osmolaritas cairan plasma lebih tinggi dari intraseluler, akibatnya cairan intraseluler ditarik ke dalam intravaskuler. Hal tersebut akan menyebabkan terjadinya dehidrasi dan gangguan metabolisme sel. Dehidrasi sel inilah yang menimbulkan manifestasi klinis, terutama akibat gangguan pada sel-sel otak dan organ vital lainnya.

Penyebab hipernatremia antara lain :

- a) Kasus dehidrasi atau kehilangan cairan yang berlebihan yang tidak disertai dengan pengeluaran Natrium, sehingga terjadi kelebihan konsentrasi Natrium dalam plasma secara relatif.
- b) Kelebihan asupan Natrium pada pemberian infus NaCl secara cepat dan tidak terkontrol.
- c) Asupan garam yang tinggi.

2) Hiperkalemia

Hiperkalemia adalah peningkatan ion Kalium di dalam plasma darah lebih dari 5,3 mmol/L. Kalium sangat berperan dalam pengaturan kontraktilitas otot jantung, sehingga terjadinya peningkatan Kalium yang sangat tinggi menyebabkan

sensitifitas kontraksi otot meningkat, yang kemudian menimbulkan gejala spasme otot pada tahap awal dan kelemahan pada tahap selanjutnya. Gangguan depolarisasi dan konduksi pada otot jantung pada hiperkalemia dapat menimbulkan fibrilasi ventrikel hingga asistol. Akibatnya volume kuncup jantung dan curah jantung menjadi tidak optimal, sehingga tubuh berusaha melakukan kompensasi pada tahap awal dengan meningkatkan frekuensi napas dan menyebabkan terjadinya gangguan irama jantung (aritmia) yang berakibat fatal.

Faktor penyebab hiperkalemia :

- a) Gangguan sistem ginjal dan hormonal dalam ekskresi Kalium ke urin.
- b) Pemberian obat-obatan yang menyebabkan retensi Kalium, seperti pemberian diuretik hemat kalium spironolakton dan ACE inhibitor.
- c) Kerusakan sel-sel yang berlebihan akibat keluarnya Kalium dari intrasel ke dalam aliran darah, seperti pada hemolisis akibat reaksi transfusi, luka bakar luas.
- d) Asupan makanan dan minuman yang mengandung Kalium berlebihan maupun pemberian parenteral infus Potasium chlorida (KCl) yang berlebihan pada koreksi hipokalemia.

3) Hiponatremia

Hiponatremia adalah gangguan keseimbangan elektrolit dengan terjadinya penurunan konsentrasi Natrium (kurang dari 98 mmol/L). Konsentrasi Natrium yang menurun akan mengakibatkan penurunan osmolaritas plasma dan terjadi osmosis cairan dari intravaskuler ke interstisial dan intrasel. Pada konsentrasi yang sangat rendah akan menyebabkan terjadinya oedem sel termasuk sel-sel otak sehingga menyebabkan gangguan fungsi otak, gangguan neurologis, penurunan kesadaran hingga koma.

Penyebab terjadinya hiponatremia :

- a) Penurunan konsentrasi Natrium relatif pada penumpukan cairan tubuh seperti pada penyakit jantung kongestif dan *Syndrome of Inappropriate ADH/idiuretic Hormone* (SIADH).
- b) Kehilangan cairan akibat kehilangan cairan dan Natrium secara bersamaan pada eksresi ginjal seperti pada pemberian obat diuretik (Hardisman, 2015).

4) Hipokalemia

Hipokalemia adalah gangguan keseimbangan elektrolit dengan penurunan Kalium plasma dari batas normal (kurang dari 3,5 mmol/L). Pada otot jantung, rendahnya kadar Kalium plasma menyebabkan perlambatan repolarisasi ventrikel

sehingga mekanisme pompa terjadi gangguan yang mencetuskan depolarisasi dan menimbulkan gejala klinis aritmia.

Faktor penyebab hipokalemia :

- a) Gangguan asupan Kalium.
 - b) Kehilangan Kalium yang banyak pada saluran cerna, misalnya karena diare dan muntah berkepanjangan.
 - c) Kehilangan Kalium berlebih pada urin.
 - d) Efek hipomagnesemia, alkalosis dan asidosis diabetes.
- d. Pemeriksaan elektrolit metode *Ion Selective Electrode* (ISE)

Laboratorium yang melakukan pemeriksaan elektrolit (Natrium, Kalium, Klorida) menggunakan metode ISE berjumlah lebih dari 99 % dari 5400 laboratorium berdasarkan data dari *College of American Pathologists* (CAP). Kelebihan dari metode ISE yaitu mempunyai akurasi yang baik, koefisien variasi kurang dari 1,5%, kalibrator dapat dipercaya serta mempunyai pemantapan mutu yang baik.

Metode ISE ada dua macam, yaitu direk dan indirek. Metode ISE direk memeriksa secara langsung pada sampel plasma, serum dan *whole blood*. Metode inilah yang banyak digunakan pada peralatan *Point of Care Testing* (POCT) di luar laboratorium utama. Sedangkan metode ISE indirek memeriksa sampel yang telah diencerkan dengan pengenceran dalam rasio 1:20 hingga 1:34 (Yaswir, 2012). Pada metode ISE indirek hanya membutuhkan

volume sampel yang sedikit dan dapat memperluas rentang konsentrasi yang terukur (Schindler, 2006). Metode ini digunakan pada peralatan otomatis di laboratorium utama. Alat otomatis untuk mengukur kadar elektrolit dengan metode ISE ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Cobas c311 Analyzer
(Roche Diagnostic, 2022)

Prinsip kerja pemeriksaan elektrolit metode ISE menggunakan potensiometri yaitu dengan mengukur tegangan potensial dari ion tertentu dalam larutan. Alat menghitung kadar ion sampel dengan cara membandingkan kadar ion yang tidak diketahui nilainya dengan kadar ion yang telah diketahui nilainya. Nilai tegangan potensial ini diukur terhadap elektroda referensi yang stabil dengan tegangan potensial yang konstan. Perbedaan potensial antara dua elektrode akan tergantung pada aktivitas ion tertentu dalam larutan. Perubahan potensial membran ini diukur, kemudian dihitung menggunakan

persamaan *Nernst*, kemudian hasilnya dihubungkan dengan *amplifier* dan ditampilkan oleh alat.

$$E = E' = \frac{R \cdot T}{n \cdot F} \cdot \ln (f_1 - c_1)$$

Keterangan :

E = Potensial elektrik yang diukur

E' = Sistem e.m.f pada larutan standar

R = Konstanta Gas (8,31 J/kmol)

T = Suhu

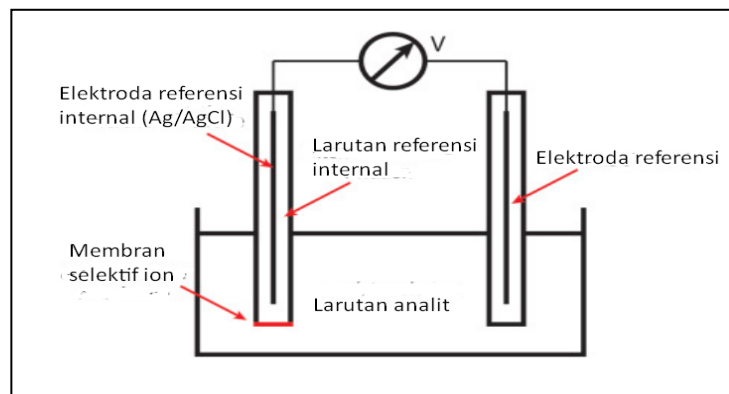
n = Valensi ion yang diukur

F = Konstanta *Faraday* (96,496 A.s/g)

f₁ = Koefisien aktivitas

c₁ = Koefisien ion yang ditukar

Elektroda ion selektif terhubung dengan elektroda referensi untuk membentuk sistem pengukuran. Ketika elektrode ion selektif dengan elektrode pembanding ditempatkan dalam larutan sampel, maka akan timbul perbedaan potensial. Perbedaan konsentrasi ion antara bagian dalam elektrolit (larutan referensi internal) dan sampel menyebabkan terbentuknya potensial elektro-kimia pada membran selektif. Potensial elektroda pada bagian dalam elektrolit kemudian dihubungkan dengan *amplifier*. Prinsip pemeriksaan elektrolit metode ISE ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Prinsip Metode *Ion Selective Electrode* (Serpell, 2017)

2. *Pneumatic Tube System*

a. Definisi *Pneumatic Tube System*

Pneumatic Tube System merupakan peralatan teknis untuk mengirim sampel, dokumen rekam medis, obat-obatan dan dokumen administrasi pada suatu fasilitas pelayanan kesehatan, di mana tabung pembawa diangkut oleh tekanan udara melalui jaringan tabung.

Sejarah sistem *Pneumatic Tube System* dan kepopulerannya mempunyai bentangan sejarah waktu yang sangat jauh. *Pneumatic Tube System* mulai muncul pada tahun 1660 dimana seorang ahli dari kebangsaan Jerman, Otto Von Guericke, telah memulai invensi sistem tersebut (*Pneumatic.tube*, 2011).

b. Bagian-bagian *Pneumatic Tube System*

1) *Blower*

Blower adalah komponen yang menghasilkan tekanan, yang didukung oleh motor yang menghidupkan dan mematikan untuk mengarahkan tabung melalui sistem. Hal tersebut menyebabkan pergerakan tabung pembawa melalui jaringan tabung pneumatik

dengan menciptakan perbedaan tekanan udara antara dua ujung sistem yang kemudian menyedot tabung pembawa melalui tabung.

2) Tabung pembawa

Tabung pembawa adalah kapsul anti bocor yang bergerak melalui tabung yang membawa bahan untuk diangkut dari satu titik ke titik lain dan bergerak dengan kecepatan sekitar 6 sampai 8 meter per detik.

3) Stasiun

Stasiun merupakan tempat untuk mengirim dan menerima tabung pembawa, yang terdiri dari kotak tempat operator dimasukkan dan panel *interface* pengguna untuk mengirim tabung pembawa ke stasiun akhir yang diinginkan.

4) Pengalih

Pengalih digunakan di persimpangan jalur percabangan untuk menghubungkan semua stasiun dalam jaringan tabung yang memungkinkan perpindahan tabung pembawa dari satu jaringan ke jaringan lain.



Gambar 3. *Pneumatic Tube System*
(Aerocom, 2020)

c. Cara kerja *Pneumatic Tube System*

Cara kerja *Pneumatic Tube System* adalah sebagai berikut :

- 1) Tabung pembawa memiliki ukuran yang sesuai di jaringan tabung transportasi. Ketika kita menghubungkan ujung tabung transportasi ke *blower*, maka *blower* akan meniup, sehingga terbentuk tekanan berlebih di dalam tabung transportasi yang akan membuat tabung pembawa menjauh dari *blower*.
- 2) *Blower* penghisap akan menciptakan ruang hampa di dalam tabung transportasi, di mana tabung pembawa akan bergerak ke arah *blower* penghisap tersebut.
- 3) Saklar tabung mendeteksi tabung pembawa di dalam jaringan tabung dan akan memberikan sinyal ke unit pemrosesan pusat untuk mematikan *blower*. Namun jika *blower* dimatikan maka tabung pembawa akan tetap memiliki kecepatan yang signifikan, tabung pembawa tidak akan langsung berhenti dan akan bertabrakan dengan ujung tabung. Hal tersebut tidak baik untuk kondisi teknis operator, apalagi sampel yang dibawa. Untuk mengatasi masalah ini maka digunakan rem udara.
- 4) Rem udara dibuat dengan dua saluran dan dua katup udara. Jika satu katup terbuka, yang lain secara otomatis tertutup. Tekanan *blower* akan melakukan ini secara otomatis, tidak perlu kontrol eksternal.

- 5) Katup ditempatkan sedemikian rupa sehingga ketika tabung pembawa dihisap ke *blower*, udara akan melalui pipa *bypass*.
- 6) Tabung pembawa akan melewati saklar tabung, yang akan mematikan *blower*. Tabung pembawa akan dihentikan oleh rem udara di dalam jaringan tabung. Sisa udara akan mengalir melalui tabung *bypass*, dan tidak lagi mempengaruhi tabung pembawa.
- 7) *Blower* akan mendorong, dan posisi katup akan berubah. Katup *bypass* ditutup dan udara akan mendorong tabung pembawa ke stasiun tujuan.
- 8) Di stasiun, tabung pembawa akan dideteksi juga oleh saklar tabung dengan cara yang sama, dan akan diperlambat oleh rem udara.

d. Kelebihan dan kekurangan *Pneumatic Tube System*

Kurniawan dkk (2015) menyebutkan bahwa penggunaan *Pneumatic Tube System* di rumah sakit dapat mengurangi *turn around time* dan berbiaya lebih rendah dibandingkan mendirikan laboratorium satelit.

Transportasi cepat sampel darah dalam *Pneumatic Tube System* dapat menyebabkan kerusakan sel darah merah (hemolisis) dan dapat mempengaruhi hasil tes darah. Hemolisis sampel darah mungkin memerlukan proses pengambilan darah berulang dan dapat menyebabkan ketidaktepatan dan keterlambatan dalam menyelesaikan tes laboratorium yang diperlukan untuk pengambilan keputusan klinis (Kara, 2014).

3. Hemolisis

a. Serum

Serum merupakan komponen cairan darah berwarna kuning, yang tersisa setelah darah tanpa antikoagulan membeku. Serum tidak mengandung sel-sel darah dan faktor-faktor pembekuan (Sacher dan Mc Pherson, 2004). Serum mengandung 90% air, protein (albumin dan globulin), elektrolit, antibody dan hormon (Hiru, 2013). Serum yang memenuhi persyaratan harus tidak kemerahan (hemolisis) dan keruh (lipemik) (Kemenkes, 2013).

b. Definisi hemolisis

Hemolisis adalah kerusakan yang terjadi pada membran sel darah merah (eritrosit) yang menyebabkan pelepasan hemoglobin dan komponen intraseluler lainnya ke dalam cairan ekstraseluler di sekelilingnya. Hemolisis dapat terlihat setelah dilakukan sentrifugasi pada sampel darah dan menunjukkan warna kemerahan pada serum atau plasma (Lippi, dkk., 2011).

Hemolisis merupakan pelepasan komponen intraseluler (sel eritrosit, ion Kalium dan sel darah lainnya) ke dalam ruang ekstraseluler darah (serum atau plasma) (Sodi, et. al., 2004).

c. Penyebab hemolisis

Hemolisis *in vivo* dapat terjadi karena mekanisme biokimia, fisik, immunologis serta infeksi yang terjadi pada tubuh sebelum pengambilan darah, misalnya pada pasien *Auto Immune Hemolitic*

Anemia (AIHA), hemoglobinopati, thalassemia, *Disseminated Intravascular Coagulation* dan *Hemolytic Uremic Syndrome* (Mitsios,2018).

Hemolisis *in vitro* dapat terjadi pada proses pengambilan darah yang tidak tepat, misalnya penggunaan jarum yang terlalu kecil, perpindahan residu alkohol dari kulit ke sampel, penusukan berulang di lokasi yang sama, ketidaksesuaian volume darah dengan antikoagulan, pencampuran sampel yang terlalu kuat, pemasangan *tourniquette* yang terlalu lama (de Jonge, dkk., 2018).

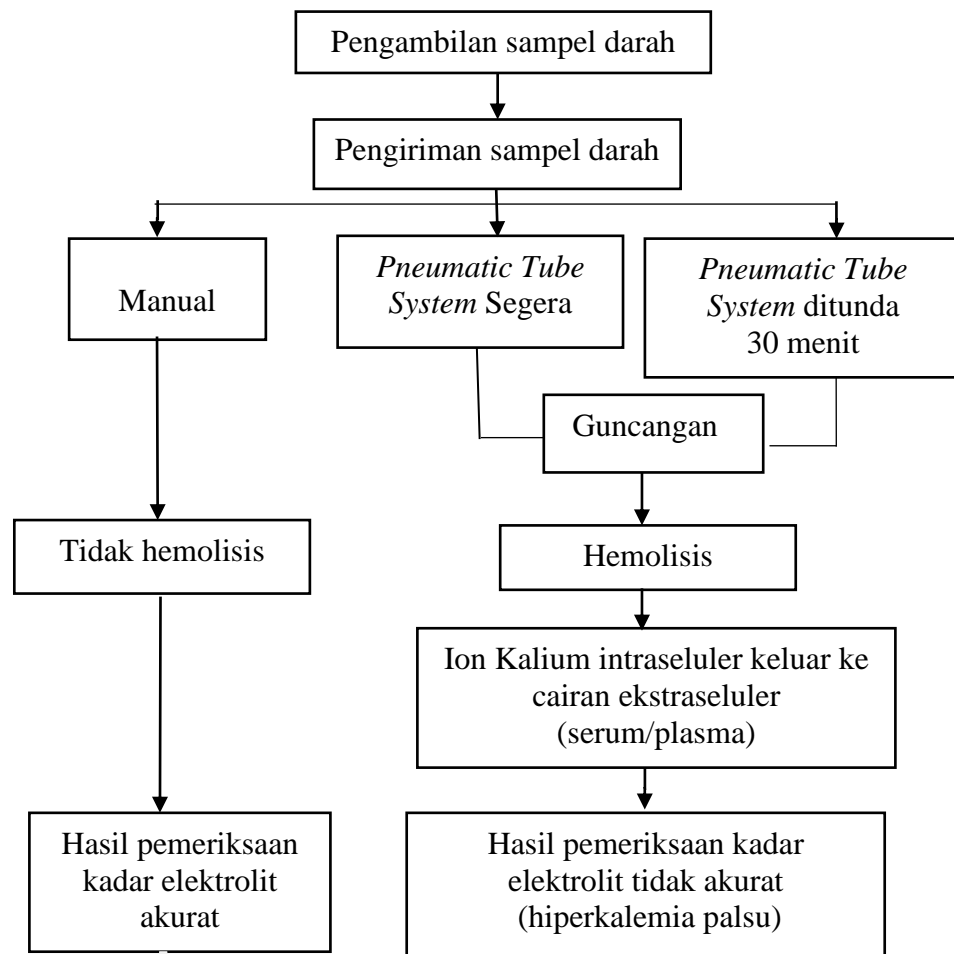
Hemolisis *in vitro* terjadi pada pengambilan, pemrosesan dan pengiriman sampel yang tidak tepat (Kathiravelu, dkk., 2021). Hemolisis dapat disebabkan oleh kesalahan pra-analitik yang terkait dengan pungsi vena, pengumpulan sampel, metode pengiriman darah, suhu, penanganan sampel dan pemrosesan yang tertunda (Tian,et.al.,2022). Pengiriman sampel menggunakan *Pneumatic Tube System* dapat menyebabkan terjadinya hemolisis karena adanya getaran kecil sampel selama proses pengiriman. Getaran diakibatkan oleh perubahan kecepatan sehingga menyebabkan membran sel plasma pecah, terutama sel eritrosit (Kurniawan, dkk., 2015).

d. Pengaruh hemolisis

Hemolisis merupakan penyebab utama penolakan dan gangguan dalam metode analisis biokimia. Hemolisis *in vitro* tidak mengganggu kadar Natrium karena konsentrasi Natrium intraseluler secara

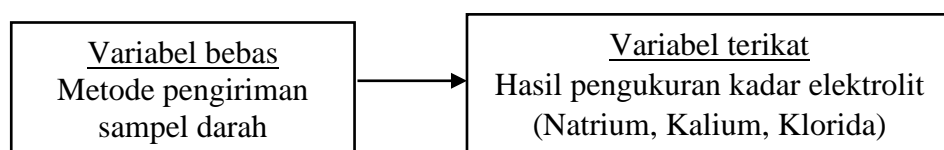
signifikan lebih rendah daripada konsentrasi dalam serum atau plasma (Delgado,dkk.,2019). Kalium akan mengalami peningkatan pada sampel yang mengalami hemolisis dan karena peningkatan jumlah leukosit (Dimeski, dkk., 2005).

B. Kerangka Teori



Gambar 4. Kerangka Teori

C. Hubungan Antar Variabel



Gambar 5. Hubungan Antar Variabel

D. Hipotesis

Ada perbedaan kadar elektrolit (Natrium, Kalium, Klorida) pada sampel darah yang dikirim secara manual dengan sampel darah yang dikirim menggunakan *Pneumatic Tube System* segera dan ditunda 30 menit.