

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Darah

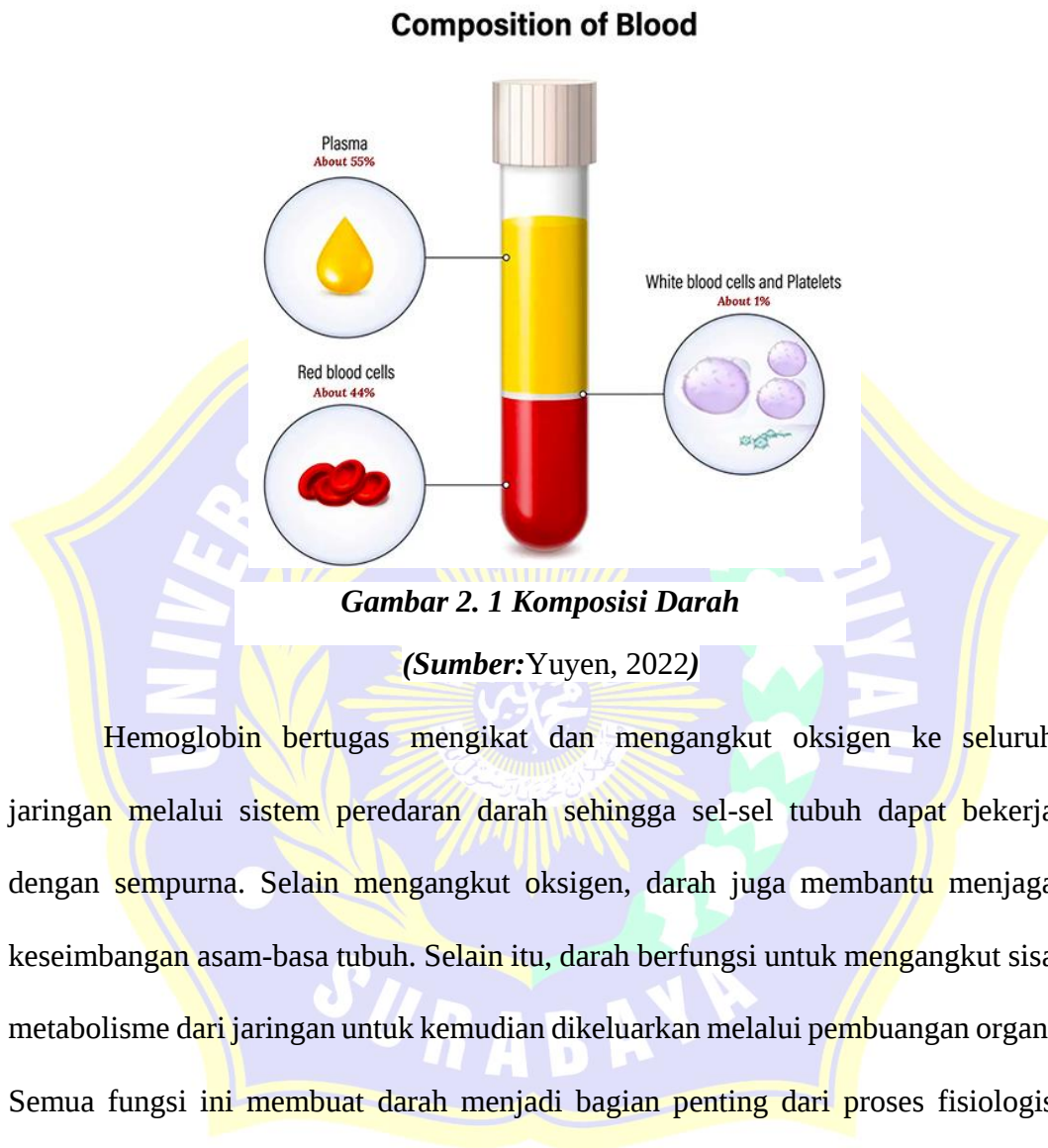
2.1.1 Tinjauan darah

Menurut *American Society of Hematology*, Darah adalah cairan tubuh khusus yang memiliki empat komponen utama: plasma, sel darah merah, sel darah putih, dan trombosit. Darah yang mengalir melalui vena, arteri dan kapiler dikenal sebagai darah lengkap dengan campuran sekitar 55% plasma dan 45% sel darah. Sekitar 7% hingga 8% dari total berat badan anda adalah darah. Pria dengan ukuran rata-rata memiliki sekitar 12 pint darah dalam tubuhnya, dan wanita dengan ukuran rata-rata memiliki sekitar 9 pint darah.

Sel darah berkembang dari sel punca hematopoietik dan dibentuk di sumsum tulang melalui proses hematopoiesis yang sangat terkontrol. Sel awal yang dapat berkembang menjadi sel darah merah, sel darah putih, dan trombosit dikenal sebagai sel punca hematopoietik. Sel-sel ini ditemukan dan disebarkan di dalam darah dan sumsum tulang pada semua kelompok usia, termasuk di dalam tali pusat bayi yang baru lahir. Sel punca dari sumber ketiga tersebut dapat digunakan untuk mengobati berbagai penyakit seperti limfoma, leukemia, kegagalan sumsum tulang, dan masalah sistem kekebalan tubuh lainnya.

Pada manusia, jumlah total darah yang beredar di dalam tubuh manusia rata-rata mencapai lima liter. Sekitar lima puluh lima persen dari volume ini terdiri dari plasma, yang merupakan komponen cair, dan sisa empat puluh lima persen terdiri dari berbagai jenis sel darah, seperti trombosit, eritrosit, dan leukosit. Setiap bagian

darah melakukan tugas yang berbeda. Membawa sel darah merah yang mengandung hemoglobin adalah salah satu fungsi darah yang paling penting.



Hemoglobin bertugas mengikat dan mengangkut oksigen ke seluruh jaringan melalui sistem peredaran darah sehingga sel-sel tubuh dapat bekerja dengan sempurna. Selain mengangkut oksigen, darah juga membantu menjaga keseimbangan asam-basa tubuh. Selain itu, darah berfungsi untuk mengangkut sisa metabolisme dari jaringan untuk kemudian dikeluarkan melalui pembuangan organ. Semua fungsi ini membuat darah menjadi bagian penting dari proses fisiologis tubuh. (Gajbhiye & Aate, 2023)

2.1.2 Komponen Darah

Darah memiliki dua komponen utama: plasma darah dan sel-sel darah. Sel darah terdiri dari eritrosit (sel darah merah), leukosit (sel darah putih), dan trombosit (keping darah) (Chen & Leng, 2023). Dua bagian utama darah adalah

plasma dan komponen seluler. Plasma adalah bagian cair dari darah yang berfungsi sebagai media untuk mengangkut berbagai zat penting. Komponen seluler terdiri dari tiga jenis sel: trombosit, yang juga dikenal sebagai keping darah, leukosit, yang dikenal sebagai sel darah merah, dan eritrosit, yang dikenal sebagai sel darah putih. Jenis sel ketiga ini bertanggung jawab masing-masing untuk menjaga keseimbangan dan fungsi tubuh secara keseluruhan.

Eritrosit membawa oksigen ke seluruh jaringan, leukosit melindungi tubuh dari infeksi, dan trombosit membantu pembekuan darah saat luka terbuka. Dengan kombinasi sel-sel darah dan plasma, darah dapat melakukan berbagai fungsi penting bagi tubuh manusia.

2.1.2.1 Plasma darah

Menurut (Balach *et al.*, 2019; Dumiri *et al.*, 2024) Plasma darah adalah bagian cair dari darah yang mengandung berbagai nutrisi dan zat penting lainnya yang diperlukan oleh tubuh manusia. Plasma darah memiliki fungsi penting sebagai sistem penyangga yang mencegah penumpukan asam dan basa dalam tubuh melalui keberadaan elektrolit seperti ion hidrogen dan bikarbonat. Selain itu, plasma berperan sebagai mediator dalam distribusi nutrisi, termasuk makanan, mineral, lemak, glukosa, dan asam amino ke seluruh tubuh. Plasma juga berfungsi mengangkut berbagai zat hasil metabolisme, seperti urea, urat, dan produk sisa lainnya untuk dibawa ke organ ekskresi.

Berbagai macam komponen dalam plasma darah termasuk elektrolit, hormon, protein, dan bahan lain yang diperlukan tubuh. Sekitar 92 % plasma terdiri dari air, dengan sekitar 7% protein dan sisanya terdiri dari nutrisi, produk metabolisme, gas, enzim, hormon, garam organik, serta faktor pembekuan.

Albumin serum, beberapa jenis globulin (alpha-1, alpha-2, beta, dan gamma globulin), fibrinogen, protrombin, dan protein yang membantu proses pembekuan darah adalah semua protein yang ditemukan dalam plasma. Albumin dan gamma globulin bertanggung jawab untuk menjaga tekanan osmotik koloid, sedangkan gamma globulin juga mengandung berbagai jenis antibodi, seperti IgM, IgG, IgA, IgD, dan IgE, yang membantu pertahanan tubuh terhadap bakteri yang menyebabkan penyakit (Dumiri et al., 2024).

2.1.2.2 Sel darah merah

Sel darah merah (eritrosit) merupakan sel darah yang berwarna merah dan berukuran kecil, memiliki cekungan (bikonkaf) pada kedua sisinya sehingga tampak seperti dua bulan sabit yang saling berhadapan saat dilihat dari samping. Dalam setiap satu mililiter darah, terdapat sekitar lima juta sel darah merah atau eritrosit. Jumlah yang sangat besar ini menunjukkan bahwa eritrosit memiliki peran penting dalam menunjang fungsi tubuh. Sel darah merah berfungsi utama mengangkut oksigen dari paru-paru menuju seluruh jaringan dan organ. Peran ini dijalankan oleh hemoglobin, yaitu protein khusus yang berada di dalam eritrosit dan mampu mengikat oksigen. Selain itu, hemoglobin juga membantu membawa sebagian kecil karbon dioksida dari jaringan tubuh kembali ke paru-paru untuk dikeluarkan. Proses pembentukan eritrosit berlangsung di sumsum tulang melalui beberapa tahap pematangan. Setiap eritrosit akan mengalami perubahan bentuk dan peningkatan fungsi hingga akhirnya dilepaskan ke dalam peredaran darah. Proses ini sangat dipengaruhi oleh hormon eritropoietin, yaitu hormon yang diproduksi terutama oleh ginjal. Ketika tubuh mengalami penurunan kadar oksigen misalnya akibat anemia atau kondisi medis tertentu ginjal akan meningkatkan produksi

eritropoietin. Kenaikan hormon ini kemudian merangsang sumsum tulang untuk mempercepat pembentukan sel darah merah baru agar kebutuhan oksigen tubuh dapat kembali terpenuhi (Gajbhiye & Aate, 2023)

Oleh karena itu, keseimbangan antara jumlah eritrosit dan proses pembentukannya sangat penting untuk memastikan distribusi oksigen tetap optimal dan seluruh organ tubuh dapat berfungsi dengan baik.

2.1.2.3 Sel darah putih

Menurut (Loddo & Putzu, 2021) dalam darah perifer, telah diidentifikasi lima jenis sel darah putih, yakni Eosinofil (1-2%), Basofil (0-1%), Neutrofil (55%), Limfosit (36%), dan Monosit (6%). Leukosit atau sel darah putih merupakan bagian penting dari darah dan berperan besar dalam sistem kekebalan tubuh. Secara umum, leukosit dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu granulosit dan agranulosit. Bentuk leukosit sendiri bervariasi, mulai dari bulat hingga agak lonjong, tergantung pada jenis dan fungsinya.

Kelompok granulosit terdiri atas neutrofil, eosinofil, dan basophil, yang memiliki butiran (granula) di dalam sitoplasmanya. Sementara itu, kelompok agranulosit mencakup limfosit dan monosit, yang tidak memiliki granula jelas. Setiap jenis leukosit memiliki perannya masing-masing dalam pertahanan tubuh, seperti melawan mikroorganisme penyebab infeksi, menghasilkan antibodi, hingga membantu membersihkan jaringan yang rusak atau sel-sel yang sudah tidak berfungsi. Leukosit berperan penting dalam menjaga pertahanan tubuh karena mampu mengidentifikasi dan menghilangkan berbagai benda asing, termasuk mikroorganisme patogen. Pada kondisi normal, jumlah sel darah putih dalam darah berkisar antara 4.000 hingga 10.000 sel per mililiter darah. Rentang ini dapat

meningkat ketika tubuh mengalami infeksi atau peradangan sebagai bentuk respon imun.

Fungsi utama leukosit adalah melindungi tubuh dari serangan mikroorganisme penyebab penyakit. Beberapa jenis leukosit bekerja sebagai fagosit, yaitu sel yang mampu menelan dan menghancurkan bakteri atau partikel asing yang masuk ke aliran darah. Selain berperan dalam melawan infeksi, leukosit juga berkontribusi dalam proses penyembuhan luka dengan membantu membersihkan jaringan yang rusak dan merangsang perbaikan sel. Dengan demikian leukosit sangat penting untuk menjaga fungsi sistem kekebalan tubuh dan pertahanan tubuh (Aristoteles, 2023).

2.1.2.4 Trombosit

Trombosit atau keping darah merupakan komponen penting dalam proses hemostasis, yaitu mekanisme tubuh untuk menghentikan perdarahan. Ketika terjadi luka pada pembuluh darah, trombosit akan segera menempel pada lapisan endotel yang rusak dan membentuk sumbat trombosit sebagai langkah awal dalam proses pembekuan darah. Saat trombosit menjadi aktif, bentuk dan strukturnya akan mengalami perubahan untuk membantu proses penutupan luka. Trombosit tidak memiliki inti sel dan berukuran sangat kecil, sekitar 1–4 mikrometer. Bagian sitoplasmanya tampak berwarna biru dengan granula berwarna ungu kemerahan yang menyimpan berbagai faktor penting untuk pembekuan darah.

Trombosit berasal dari pemecahan sitoplasma sel besar yang disebut megakariosit di dalam sumsum tulang. Dalam kondisi normal, jumlah trombosit berada pada kisaran 150.000 hingga 350.000 per mililiter darah. Setiap trombosit memiliki umur sekitar sepuluh hari sebelum akhirnya dihancurkan oleh limpa atau

sistem retikuloendotelial. Keberadaan trombosit yang cukup sangat penting untuk mencegah perdarahan berlebihan dan menjaga fungsi hemostasis tetap berjalan dengan baik (Dumiri et al., 2024).

2.2 Hemoglobin

2.2.1 Tinjauan Hemoglobin

Hemoglobin (Hb) adalah protein kompleks yang kaya akan zat besi dan ditemukan di dalam sel darah merah (eritrosit) pada hampir semua vertebrata (hewan bertulang belakang) dan beberapa invertebrata (Saraswati, 2021). Hemoglobin merupakan molekul penting yang terdapat di dalam sel darah merah dan memiliki dua fungsi utama bagi tubuh. Pertama, hemoglobin bertugas membawa oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh sehingga sel-sel dapat melakukan proses metabolisme dengan baik. Kedua, hemoglobin juga membantu mengangkut sebagian kecil karbon dioksida serta proton dari jaringan perifer kembali ke paru-paru. Gas dan ion ini kemudian akan dikeluarkan dari tubuh melalui proses pernapasan.

Dengan peran ganda tersebut, hemoglobin berkontribusi besar dalam menjaga keseimbangan oksigen dan karbon dioksida dalam darah, serta mendukung kelancaran fungsi sistem respirasi dan metabolisme tubuh secara keseluruhan.

2.2.2 Struktur Hemoglobin

Molekul hemoglobin pada dasarnya terbentuk dari dua komponen utama, yaitu kelompok protein globin dan gugusan non-protein bernama hem. Komponen globin sendiri tersusun atas empat rantai polipeptida yang saling melipat, sedangkan hem merupakan struktur nitrogenosa non-protein berinti besi yang masing-masing melekat pada tiap rantai polipeptida tersebut. Di dalam sel darah merah, senyawa

ini memegang peranan krusial dalam mengikat oksigen untuk diedarkan ke seluruh jaringan tubuh, bahkan sampai ke bagian yang paling ujung sekalipun. Namun, stabilitas jumlah eritrosit dan kadar hemoglobin seseorang sangat bergantung pada berbagai macam faktor, seperti pola makan, faktor usia, gender, tingkat aktivitas fisik, kebiasaan merokok, hingga adanya riwayat medis tertentu seperti thalasemia, tuberkulosis, dan leukemia. Ketika konsentrasi hemoglobin merosot di bawah ambang batas normal, kapasitas darah dalam membawa oksigen akan ikut menurun, yang pada akhirnya dapat memicu gangguan kesehatan seperti anemia dan sesak napas (Rinza Rahmawati Samsudin, Ellies Tunjung Sari Maulidiyanti, 2023).

Kemampuan hemoglobin dalam mengikat oksigen serta hubungannya dengan berbagai kondisi klinis tersebut tidak lepas dari karakteristik struktur molekulnya. Struktur hemoglobin dewasa berbentuk tetramer, artinya terdiri dari empat subunit protein. Keempat subunit tersebut tersusun atas dua subunit alfa dan dua subunit beta yang tidak terikat secara kovalen. Masing-masing subunit memiliki ukuran dan bentuk yang hampir sama, sehingga keseluruhan molekul hemoglobin dapat bekerja secara efisien dalam mengikat dan melepaskan oksigen (Budi Sungkawa & Wahdaniah, 2020).

2.2.3 Nilai Normal

Nilai rujukan berperan penting dalam menilai parameter hematologi, baik untuk kebutuhan pelayanan pasien maupun penelitian. Namun, hingga kini sebagian besar nilai rujukan hematologi masih mengacu pada literatur luar negeri, yang belum tentu sesuai dengan kondisi populasi di wilayah tertentu, seperti disampaikan oleh (Esa et al., 2018) dalam publikasi yang dikutip oleh (Budi Sungkawa & Wahdaniah, 2020). Pemeriksaan hemoglobin sendiri merupakan salah

satu tes paling awal dan paling sering dilakukan dalam bidang laboratorium klinik. Hal ini sejalan dengan pernyataan (Sumiyarsi et al., 2018) dalam publikasi (Budi Sungkawa & Wahdaniah, 2020) bahwa pengukuran kadar hemoglobin merupakan prosedur dasar yang penting. Kadar hemoglobin juga menjadi indikator utama untuk menentukan kondisi anemia, yaitu keadaan ketika kadar hemoglobin berada di bawah batas normal.

Untuk mendapatkan nilai rujukan yang benar-benar sesuai dengan karakteristik populasi suatu daerah, penetapan nilai rujukan idealnya dilakukan melalui penelitian terhadap populasi lokal. Hal ini karena perbedaan karakteristik pasien dapat menyebabkan variasi nilai parameter hematologi. Pendekatan ini didukung oleh temuan (Budi Sungkawa & Wahdaniah, 2020) yang menekankan pentingnya penentuan nilai rujukan berbasis populasi setempat.

Tabel 2. 1 Nilai Normal Hemoglobin

NO.	KADAR	UMUR
1.	16-23 g/dL	Bayi baru lahir
2.	10-14 g/dL	Anak-anak
3.	13-17 g/dL	Laki-laki dewasa
4.	11-13 g/dL	Wanita dewasa yang

(Estridge dan Reynolds, Basic Medical Laboratory Techniques, 2012)

2.2.4 Pemeriksaan Kadar Hemoglobin

2.2.4.1 Metode Cyanmethemoglobin

Metode *cyanmethemoglobin* merupakan teknik yang paling luas digunakan dalam praktik laboratorium klinis untuk pengukuran kadar hemoglobin. Metode ini dinilai lebih sederhana, stabil, dan memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode Sahli. Selain itu, cyanmethemoglobin dianggap sebagai *gold standard* dalam pemeriksaan hemoglobin karena menghasilkan warna yang stabil

serta memungkinkan pengukuran sebagian besar fraksi hemoglobin. Hingga saat ini, banyak fasilitas pelayanan kesehatan termasuk rumah sakit dan puskesmas masih memanfaatkan metode ini dalam analisis hematologi. Keandalannya tetap tinggi karena memiliki tingkat kesalahan relatif kecil, yaitu sekitar $\pm 2\%$.

Metode cyanmethemoglobin bekerja dengan mengoksidasi ion besi (Fe^{2+}) yang ada dalam hemoglobin oleh kalium ferrisianida menjadi methemoglobin (Fe^{3+}) (WICAKSONO, 2022). Setelah terbentuk, methemoglobin akan bereaksi dengan ion sianida dan membentuk senyawa cyanmethemoglobin yang berwarna coklat kemerahan. Selanjutnya warna yang dihasilkan diukur dengan menggunakan colorimeter atau spektrofotometer dengan panjang gelombang sekitar 540 nm. Besarnya serapan yang diukur mencerminkan kadar hemoglobin dalam sampel, sehingga hasil pemeriksaan dapat dihitung secara akurat.

Pemeriksaan kadar hemoglobin menggunakan larutan Drabkin dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor yang menimbulkan kekeruhan. Deterjen ionik dalam reagen berfungsi mempercepat lisis sel darah merah, namun dapat menyebabkan sejumlah besar sel darah putih menjadi keruh sehingga mengganggu pembacaan spektrofotometer. Selain itu, kekeruhan juga dapat muncul akibat hiperlipidemia maupun peningkatan kadar globulin dalam sampel. Kondisi leukositosis dapat menghasilkan kekeruhan yang signifikan dan meningkatkan nilai absorbansi secara artifisial, sehingga menyebabkan hasil pengukuran hemoglobin menjadi tidak akurat.

2.2.4.2 Metode Hemometer atau Sahli

Menurut (Faatih & Dany, 2020) dalam metode Sahli, hemositometer (Sahli) terdiri dari kolorimeter, tabung pengenceran, pipet darah (201) dan pipet pengencer

darah. Metode Sahli memiliki banyak kelemahan yang cukup besar, sehingga jarang disarankan dalam praktik laboratorium kontemporer. Ketidakakuratan proses kolorimetri visual merupakan salah satu kendala utamanya. Metode pengukuran ini sangat bergantung pada kemampuan manusia untuk membedakan intensitas warna, sehingga hasilnya dapat dipengaruhi oleh pendapat operator. Selain itu, hemoglobin asam yang digunakan dalam metode Sahli bukan reagen yang tepat. Reagen ini tidak dapat mengubah semua fraksi hemoglobin menjadi hemoglobin asam, sehingga pengukuran beberapa jenis hemoglobin seperti karboksihemoglobin, methemoglobin, dan sulfohemoglobin atau tiohemoglobin menjadi sulit. Karena ketidakmampuan ini, hasil pemeriksaan tidak mewakili kadar hemoglobin total yang sebenarnya.

Faktor-faktor teknis juga mempengaruhi tingkat akurasi metode Sahli. Perbedaan dalam kemampuan setiap orang untuk menginterpretasikan diskriminasi warna dapat mempengaruhi interpretasi hasil. Persepsi warna dapat berubah karena sumber cahaya tidak memadai atau tidak konsisten, terutama di lingkungan dengan pencahayaan rendah atau berubah-ubah. Karena ketegangan dan kelelahan mata operator, pengamatan terhadap warna akan menurun. Selain itu, sangat penting untuk menjaga kebersihan peralatan karena komparator kaca yang kotor, memudar, atau tergores dapat menyebabkan masalah visual selama pencocokan warna. Selain itu, pipa yang digunakan dalam metode Sahli harus dikalibrasi dengan benar. Variasi volume dapat mempengaruhi hasil, termasuk kesalahan ukuran pipet, metode pemipetan yang tidak konsisten, atau residu dalam pipa (WICAKSONO, 2022).

Di Indonesia, metode Sahli merupakan teknik konvensional yang paling lazim diterapkan dengan estimasi tingkat kesalahan sebesar $\pm 10\%$. Walaupun akurasi belum mencapai standar absolut jika dibandingkan dengan teknologi mutakhir, metode Sahli dinilai masih representatif sebagai langkah skrining awal dalam mengidentifikasi gejala anemia. Secara prosedural, prinsip dasar pengujian ini terletak pada transformasi hemoglobin menjadi senyawa heme asam hematin yang berwarna coklat melalui reaksi kimia dengan asam klorida (HCl 0,1 N). Proses penentuan nilai Hb dilakukan dengan mengencerkan noda heme tersebut menggunakan air suling secara bertahap hingga intensitas warnanya selaras dengan standar visual pada komparator. Namun, metode ini memiliki tantangan besar dalam hal konsistensi hasil, karena sangat bergantung pada ketajaman persepsi visual manusia saat mencocokkan warna. Kualitas alat komparator juga memegang peranan krusial; hasil pengukuran dapat menyimpang secara signifikan apabila warna standar pada alat tersebut memudar akibat faktor usia pemakaian atau paparan cahaya berlebih. Mengingat presisinya yang lebih rendah dibandingkan metode berbasis spektrofotometri, saat ini terdapat kecenderungan kuat dalam dunia medis untuk beralih dari metode manual visual ini menuju metode yang lebih akurat dan terstandarisasi, seperti metode cyanmethemoglobin atau penggunaan alat hematologi analyzer otomatis (Faatih & Dany, 2020).

2.3 Hematokrit

2.3.1 Tinjauan Hematokrit

Hematokrit merupakan salah satu parameter yang diperiksa dalam laboratorium hematologi. Pemeriksaan ini dapat dilakukan menggunakan sampel darah vena maupun darah kapiler, tergantung pada kebutuhan analisis dan prosedur

yang digunakan. Nilai hematokrit menggambarkan persentase volume sel darah merah terhadap volume total darah, sehingga pemeriksaan ini berperan penting dalam menilai status hematologi seseorang (Tumpuk & Suwandi, 2018; *Dumiri et al.*, 2024).

Hematokrit dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengetahui berbagai jenis penyakit yang berhubungan dengan sistem kekebalan atau sistem darah manusia. Pemeriksaan ini membantu mengidentifikasi perubahan komposisi darah yang muncul pada kondisi tertentu, seperti demam berdarah, anemia, leukemia, hipertiroid, dan berbagai gangguan hematologis lainnya. Perubahan nilai hematokrit tersebut menjadi indikator penting dalam mendukung proses penegakan diagnosis (Nuraeni, 2020). Jumlah eritrosit dalam 100 mililiter sampel darah dihitung untuk menghitung nilai hematokrit. Nilai ini biasanya ditunjukkan dalam bentuk persentase, yang menunjukkan proporsi volume sel darah merah terhadap volume total darah.

2.3.2 Fungsi

Pemeriksaan hematokrit berfungsi untuk mengetahui jumlah eritrosit, atau sel darah merah, yang ada dalam tubuh seseorang. Pengukuran ini menunjukkan proporsi sel darah merah terhadap volume darah total. Hasilnya kemudian dapat membantu dalam diagnosis penyakit hematologis seperti anemia dan demam berdarah. Berdasarkan pernyataan dari (Dewi, 2020) ketika hasil dari pemeriksaan hematokrit memperlihatkan adanya peningkatan, maka dapat diindikasikan terjadi suatu kondisi demam berdarah pada seorang individu. Namun, hasil pemeriksaan hematokrit yang menurun dapat menjadi salah satu cara untuk mendiagnosis anemia, leukemia, atau hipertiroid.

2.3.3 Pemeriksaan hematokrit

Berdasarkan pernyataan (Firdayanti *et al.*,2021) pemeriksaan hematokrit dibagi menjadi dua, yakni sebagai berikut:

1. Manual

Pemeriksaan hematokrit dalam metode manual, terbagi menjadi dua pula yakni sebagai berikut:

a. Mikrohematokrit

Pada metode mikrohematokrit, pemeriksaan berpusat pada kekuatan sentrifugasi, dan pemusingan harus dilakukan dengan kontrol waktu dan kecepatan. Agar verifikasi komponen darah berhasil, sangat penting untuk memenuhi parameter tersebut. Karena durasi pengerjaannya yang lebih singkat dibandingkan dengan metode makrohematokrit, Metode mikrohematokrit manual lebih sering digunakan dalam praktik laboratorium karena durasi pengerjaannya relatif lebih singkat dibandingkan dengan metode makrohematokrit, sehingga lebih efisien untuk kebutuhan pemeriksaan rutin (Suryati, 2021).

b. Makrohematokrit

Pemeriksaan hematokrit manual metode makrohematokrit memerlukan volume sampel darah yang jauh lebih besar dibandingkan metode mikrohematokrit. Meskipun tujuan dari jumlah sampel yang lebih besar ini adalah untuk membuat proses pemisahan komponen darah menjadi lebih jelas, teknik ini menjadi tidak praktis. Selain itu, waktu yang dibutuhkan selama proses pemeriksaan lebih

lama, mulai dari penyiapan sampel hingga proses pemusingan dan pembacaan hasil. Hal ini membuat metode makrohematokrit menjadi kurang efisien, terutama untuk pemeriksaan biasa atau lingkungan laboratorium yang membutuhkan hasil cepat. Akibatnya, metode mikrohematokrit yang lebih cepat dan membutuhkan sampel yang lebih kecil semakin jarang digunakan (Suryati, 2021).

2. **Automatik**

Pemeriksaan hematokrit juga dapat dilakukan menggunakan alat otomatis berupa hematology analyzer. Metode otomatis ini memungkinkan proses analisis berlangsung lebih cepat serta mampu menampilkan berbagai parameter hematologi dalam satu kali pemeriksaan. Pada prosedur ini, sampel darah harus terlebih dahulu dicampur dengan antikoagulan agar tidak mengalami pembekuan selama proses analisis. Setelah sampel siap, operator memilih menu *whole blood* (WB) pada layar perangkat, kemudian memasukkan identitas dan nomor sampel pasien, lalu menekan *enter*. Untuk proses pembacaan, sampel ditempatkan pada port pemasukan dengan menekan bagian atas tempat sampel yang berwarna ungu. Setelah sampel terpasang, penutup port harus ditutup kembali dengan rapat dan tombol *Run* ditekan. Selanjutnya, alat akan memproses sampel secara otomatis. Hasil pemeriksaan hematokrit, bersama dengan parameter hematologi lainnya, akan ditampilkan pada layar setelah proses analisis selesai. Metode ini dinilai lebih efisien dan akurat dibandingkan pemeriksaan manual karena minim intervensi operator dan waktu pengerjaannya lebih singkat. (Suryati, 2021)

2.4 Eritrosit (White Blood Cell)

2.4.1 Tinjauan eritrosit

Sel darah merah atau eritrosit merupakan jenis sel yang jumlahnya paling banyak dalam sirkulasi darah. Eritrosit memiliki bentuk bikonkaf dengan diameter sekitar 8 μm dan tidak memiliki inti. Eritrosit merupakan salah satu jenis sel darah yang berasal dari proses pembentukan di sumsum tulang. Sel ini mengalami beberapa tahapan perkembangan sebelum akhirnya menjadi sel darah merah yang matang. Pada fase awal, eritrosit masih memiliki inti dan masih mampu melakukan pembelahan beberapa kali untuk memperbanyak jumlah sel. Seiring berjalannya proses pematangan, inti sel perlahan mengecil dan akhirnya hilang sama sekali. Karena itu, eritrosit yang sudah matang tidak lagi memiliki inti dan siap dilepaskan ke dalam peredaran darah sebagai eritrosit dewasa. ATP atau adenosin trifosfat merupakan sumber energi utama yang dibutuhkan eritrosit untuk mempertahankan kelangsungan hidup dan fungsi normalnya. Pada penyimpanan darah, energi ini dipertahankan dalam komponen sel darah merah yang dipisahkan dan disimpan dalam kantong khusus yang disebut *Packed Red Cell* (PRC). Eritrosit merupakan sel darah merah yang jumlahnya paling dominan, dengan konsentrasi sekitar 4,0–5,0 juta sel/ μL pada perempuan dan 4,5–5,0 juta sel/ μL pada laki-laki. Komponen utamanya adalah hemoglobin, yaitu protein yang menempati sepertiga volume sel dan berfungsi penting dalam pertukaran oksigen serta karbon dioksida. Sel yang dipisahkan melalui proses sentrifugasi ini memiliki masa hidup sekitar 120 hari, di mana setiap harinya 1% sel yang hancur akan digantikan oleh eritrosit baru hasil produksi sumsum tulang (Rizki Arviananta, Syuhada, 2020).

2.4.2 Pemeriksaan eritrosit

Pemeriksaan eritrosit pada umumnya dilakukan untuk menilai jumlah, ukuran, serta kondisi sel darah merah seseorang. Dalam praktik laboratorium, pemeriksaan ini dapat dilakukan melalui dua metode utama. Metode yang pertama adalah pemeriksaan manual dan metode yang kedua adalah pemeriksaan otomatis yang bekerja dengan prinsip sensor elektronik atau optik untuk menghitung eritrosit secara cepat dan akurat, yaitu:

a. Metode Manual (Kamar Hitung/ Haemocytometer)

Pemeriksaan eritrosit secara manual dilakukan menggunakan alat hemositometer, yang masih dapat memberikan hasil yang cukup akurat. Namun, ketelitiannya sangat bergantung pada kemampuan teknis laboratorium. Pada pemeriksaan manual, darah harus dicampur dengan larutan pengencer isotonik yang tidak menyebabkan hemolisis atau krenasi dan mencegah penggumpalan, agregasi, dan pembentukan rouleaux. Larutan pengencer juga harus membuat eritrosit mudah dilihat di bawah mikroskop. Beberapa jenis larutan yang biasa digunakan sebagai pengencer saat menghitung eritrosit dengan manual adalah larutan Hayem, saline, Rees-Ecker, dan larutan Gower (Tedy Febriyanto, 2023).

b. Metode Automatik (Hematology Analyzer)

Pemeriksaan eritrosit dengan metode otomatis menggunakan *hematology analyzer* merupakan teknik yang paling banyak digunakan di laboratorium modern karena mampu memberikan hasil yang cepat, akurat, dan konsisten. Pada metode ini, sampel darah yang telah dicampur dengan antikoagulan dimasukkan ke dalam alat, kemudian dianalisis secara otomatis berdasarkan

prinsip impedansi listrik atau *flow cytometry*. Ketika sel darah melewati sensor dalam ruang aliran sempit, perubahan hambatan listrik atau penyebaran cahaya akan dihitung oleh alat, sehingga jumlah eritrosit, hemoglobin, hematokrit, serta indeks eritrosit seperti MCV, MCH, dan MCHC dapat diperoleh secara langsung (Suryati, 2021).

Keunggulan utama metode otomatis adalah minimnya kesalahan subjektif, waktu analisis yang singkat, dan kemampuan alat untuk memproses sampel dalam jumlah besar. Selain menghitung jumlah sel, analyzer juga dapat mendeteksi kelainan morfologi tertentu melalui grafik atau histogram sel darah. Metode ini dianggap lebih efisien dibandingkan metode manual yang memerlukan keterampilan teknisi dan berpotensi menghasilkan variasi antar-pemeriksa. Oleh karena itu, *hematology analyzer* menjadi pilihan utama dalam pemeriksaan hematologi rutin di fasilitas kesehatan dan laboratorium klinik.

2.5 Indeks Eritrosit

2.5.1 Tinjauan Indeks Eritrosit

Dalam pemeriksaan hematologi, indeks eritrosit merupakan serangkaian parameter kuantitatif yang digunakan untuk menggambarkan karakteristik fisik serta kandungan hemoglobin pada sel darah merah. Nilai-nilai ini dihasilkan secara otomatis oleh *hematology analyzer*, sehingga memberikan informasi yang objektif dan konsisten. Indeks eritrosit berperan penting dalam membantu proses klasifikasi anemia serta dalam penilaian kelainan morfologi eritrosit. Indeks eritrosit secara umum ada tiga parameter yaitu, MCV, MCH dan MCHC yang memiliki fungsi evaluasi terhadap proses eritropoiesis dan distribusi hemoglobin dalam eritrosit

yang dapat dilakukan secara lebih akurat. Indeks eritrosit juga berfungsi sebagai langkah awal dalam membedakan berbagai jenis anemia, seperti anemia defisiensi besi, anemia megaloblastik, dan anemia normositik normokrom. Oleh karena itu, indeks eritrosit menjadi komponen penting dalam proses diagnostik hematologi dan interpretasi hasil pemeriksaan darah lengkap (Laloan, R. J., *et al*, 2018; Wulandari *et al.*, 2021)

2.5.2 Pemeriksaan indeks eritrosit

Indeks eritrosit, yang terdiri dari MCV, MCH, dan MCHC, dihitung berdasarkan kadar hemoglobin, hematokrit, dan jumlah eritrosit untuk menggambarkan karakteristik sel darah merah. Parameter yang diukur secara otomatis oleh *hematology analyzer* ini berfungsi sebagai instrumen klinis untuk menentukan pola anemia serta mendeteksi kelainan bentuk atau warna eritrosit. Melalui interpretasi terpadu dari ketiga komponen tersebut, dapat diketahui apakah kondisi eritrosit subjek berada dalam rentang normal atau mengalami perubahan patologis. *Mean Corpuscular Volume* (MCV) merupakan ukuran rata-rata volume eritrosit dan digunakan untuk mengklasifikasikan anemia menjadi mikrositik, normositik, atau makrositik. Penurunan MCV umumnya ditemukan pada anemia defisiensi besi dan talasemia, sedangkan peningkatan MCV sering berkaitan dengan anemia megaloblastik, penyakit hati, atau gangguan maturasi eritroid. *Mean Corpuscular Hemoglobin* (MCH) menggambarkan jumlah rata-rata hemoglobin dalam satu eritrosit. Nilai MCH yang menurun menunjukkan kondisi hipokrom, terutama pada anemia defisiensi besi. Karena nilainya sering mengikuti perubahan MCV, MCH biasanya diinterpretasikan bersama MCV dan MCHC agar hasil lebih akurat. *Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration* (MCHC) menunjukkan

konsentrasi hemoglobin dalam eritrosit. Penurunan MCHC menandakan hipokromia akibat berkurangnya sintesis hemoglobin, sementara peningkatan MCHC dapat terjadi pada hemolisis berat atau sferositosis hereditas. Karena tidak dipengaruhi ukuran sel, MCHC dianggap lebih stabil dalam menilai kadar hemoglobin seluler (Wulandari et al., 2021).

2.6 Rokok Elektrik

2.6.1 Tinjauan Rokok Elektrik

Rokok elektrik, yang juga dikenal sebagai *vaping*, *e-cigaret*, atau *vaporizer*, merupakan perangkat elektronik bertenaga baterai yang bekerja dengan memanaskan cairan khusus hingga menghasilkan aerosol yang sering disebut sebagai “uap” dan kemudian dihirup oleh penggunanya. Cairan ini umumnya mengandung nikotin, perisa, serta berbagai zat kimia lain yang membantu menghasilkan sensasi menyerupai rokok konvensional. Secara global, rokok elektrik mulai mengalami peningkatan popularitas sejak tahun 2014 dan terus berkembang hingga saat ini. Di Indonesia, penggunaan rokok elektrik juga semakin meningkat setiap tahunnya. Indonesia sendiri termasuk negara dengan jumlah perokok tertinggi di dunia, menempati posisi ketiga, sehingga rokok elektrik kerap dipromosikan atau dianggap sebagai alternatif bagi individu yang ingin mengurangi atau berhenti merokok konvensional. Meskipun demikian, tren penggunaannya tidak hanya terbatas pada perokok lama, tetapi juga mulai menarik minat kelompok usia muda (TCSC, 2020).

2.6.2 Komponen dan mekanisme kerja

Perangkat rokok elektrik merupakan alat yang bekerja dengan mengubah cairan *e-liquid* menjadi uap menggunakan sumber daya dari baterai. Secara umum,

rokok elektrik terdiri atas tiga komponen utama, yaitu pemanas logam (*atomizer*), baterai sebagai sumber energi, dan *cartridge* atau wadah yang berisi cairan rokok elektrik. Seiring perkembangan teknologi, desain rokok elektrik terus mengalami perubahan hingga muncul generasi ketiga yang menggunakan sistem *tank* dengan kapasitas cairan lebih besar. Saat ini, bentuk rokok elektrik juga semakin bervariasi, bahkan ada yang tidak lagi menyerupai rokok dan dapat terhubung dengan perangkat gawai. Rokok elektrik mengandung berbagai zat kimia yang terbentuk dalam bentuk aerosol saat cairan dipanaskan. Kandungan utama dalam rokok elektrik umumnya meliputi nikotin, propilen glikol, gliserin nabati, serta bahan perisa (BPOM, 2017).

2.6.3 Jenis rokok elektrik

Perkembangan rokok elektronik saat ini menunjukkan peningkatan yang sangat pesat, baik dari segi model maupun merek yang tersedia di pasaran. Menurut laporan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), terdapat ratusan merk rokok elektronik yang berbeda serta ribuan varian perisa yang dipasarkan secara global, dengan lebih dari 8000 jenis perisa yang ditawarkan kepada konsumen. Keberagaman merek dan varian rasa ini mencerminkan tren inovasi dalam industri rokok elektronik sekaligus menunjukkan tantangan dalam hal regulasi dan pengendalian produk karena variasi komponen dan bahan isian dapat berbeda-beda antara satu produk dengan produk lain (BPOM, 2017).

Menurut publikasi (Dawkins & Corcoran, 2016) dalam (BPOM, 2017) menyebutkan terdapat beberapa jenis rokok elektrik, yaitu:

1. Cigalike

Cigalike merupakan jenis rokok elektrik pertama yang dikembangkan dan bentuknya dibuat menyerupai rokok konvensional. Perangkat ini biasanya memiliki ukuran kecil, ringan, dan menggunakan cartridge sekali pakai yang berisi cairan. Karena kapasitas baterainya terbatas, jumlah uap yang dihasilkan juga relatif sedikit. Cigalike sering digunakan oleh pemula atau seseorang yang baru beralih dari rokok tembakau karena bentuknya yang familiar dan penggunaannya yang sangat praktis.

2. Vape pen

Vape pen merupakan rokok elektrik generasi kedua memiliki bentuk memanjang mirip pena dengan ukuran yang lebih besar dibandingkan cigalike. Jenis ini dilengkapi tank kecil yang dapat diisi ulang dan baterai dengan kapasitas lebih besar. Vape pen mampu menghasilkan uap lebih banyak dan memberikan rasa yang lebih stabil. Karena pengoperasiannya yang mudah, vape pen menjadi salah satu jenis yang cukup populer di kalangan pengguna yang sudah mulai terbiasa dengan rokok elektrik.

3. Box mod

Mod atau box mod merupakan perangkat yang lebih canggih dengan ukuran lebih besar dan fitur yang lebih lengkap. Mod dilengkapi baterai berdaya tinggi serta memungkinkan pengguna mengatur berbagai pengaturan seperti watt, voltase, hingga resistansi coil. Jenis ini mampu menghasilkan jumlah uap yang sangat banyak dan cocok untuk pengguna berpengalaman yang menginginkan performa tinggi. Karena

fleksibilitasnya, mod sering dipilih oleh pengguna yang ingin menyesuaikan pengalaman vaping sesuai preferensi pribadi.

2.6.4 Dampak paparan

Rokok elektrik menghasilkan aerosol yang mengandung berbagai zat kimia yang dapat berdampak buruk bagi tubuh. Salah satu kandungan utamanya adalah nikotin ($C_{10}H_{14}N_2$), yaitu senyawa bersifat toksik dengan efek yang cukup kuat dan kompleks pada tubuh manusia. Kebanyakan produk rokok elektrik sebenarnya mengandung nikotin, meskipun tidak jarang informasi pada labelnya tidak sesuai dengan isi di dalamnya. Bahkan, FDA (Food and Drug Administration) pernah menemukan bahwa beberapa kartrid yang diklaim “tanpa nikotin” justru tetap mengandung nikotin dalam jumlah tertentu. Penggunaan nikotin dalam jangka waktu lama dapat menumpuk dalam tubuh dan memengaruhi sistem pembuluh darah, misalnya memicu penyempitan pembuluh atau meningkatkan pengentalan darah. Dalam bentuk cair, nikotin pada rokok elektrik juga berpotensi lebih berbahaya dibandingkan nikotin pada rokok biasa, karena selain dapat masuk melalui saluran pernapasan, cairannya dapat terserap melalui kulit. Beberapa kasus keracunan nikotin bahkan terjadi pada anak-anak yang tidak sengaja menelan cairan e-liquid, dan kondisi ini bisa menyebabkan keracunan akut hingga berakibat fatal (Yogeswaran & Rahman, 2022).

Kebiasaan merokok diketahui berhubungan dengan berbagai gangguan kesehatan serius dan telah dikaitkan dengan sedikitnya 25 jenis penyakit. Beberapa di antaranya meliputi kanker rongga mulut, kanker esofagus, kanker paru-paru, penyakit jantung koroner, serta bronkitis kronis. Paparan zat berbahaya dalam asap

rokok menjadi faktor utama yang berperan dalam timbulnya penyakit-penyakit tersebut (Golung, 2025).

Selain nikotin, rokok elektrik juga mengandung beragam bahan kimia dan logam berat yang diketahui dapat meningkatkan risiko kanker. Beberapa zat perasa yang digunakan mungkin aman bila dikonsumsi melalui makanan, tetapi belum tentu aman jika dihirup, karena cara kerja paru-paru berbeda dengan sistem pencernaan. Walaupun aerosol rokok elektrik mengandung lebih sedikit bahan kimia berbahaya dibandingkan ribuan zat toksik pada asap rokok konvensional, hal tersebut tidak berarti rokok elektrik aman digunakan. Para peneliti masih terus mengkaji dampak kesehatan, baik jangka pendek maupun jangka panjang, dari penggunaan rokok elektrik (FDA, 2020)

2.7 Rokok Konvensional

2.7.1 Tinjauan rokok konvensional

Rokok merupakan zat adiktif yang berasal dari tembakau yang diproses dan dikemas dalam berbagai bentuk, seperti rokok konvensional dan cerutu. Bahan baku rokok umumnya berasal dari tanaman *Nicotiana tabacum* dan *Nicotiana rustica*, yang diperoleh baik secara alami maupun melalui proses sintesis. Kandungan utama rokok adalah nikotin dan tar, dengan atau tanpa penambahan bahan lainnya. Secara umum, rokok dibuat dari daun tembakau yang telah dikeringkan, kemudian digulung menggunakan kertas hingga membentuk silinder dengan panjang sekitar 70–120 mm dan diameter kurang lebih 10 mm. Rokok konvensional dikonsumsi dengan cara membakar salah satu ujungnya, kemudian asap hasil pembakaran dihisap melalui ujung lainnya menggunakan rongga mulut. Proses pembakaran tersebut menghasilkan asap rokok yang mengandung berbagai

senyawa kimia berbahaya yang dapat membahayakan kesehatan, baik bagi perokok aktif maupun perokok pasif.(Dea Rosalina Ritonga, 2025)

Setelah melalui proses fermentasi atau penuaan (*aging*) selama kurang lebih satu hingga tiga tahun, tembakau kering diketahui mengandung sekitar 2.500 senyawa kimia. Dari jumlah tersebut, sekitar 1.100 senyawa dapat langsung berubah menjadi asap tanpa mengalami perubahan akibat pembakaran, sedangkan sekitar 1.400 senyawa lainnya mengalami pemecahan, bereaksi dengan senyawa lain, dan membentuk senyawa baru. Proses ini menyebabkan jumlah total komponen kimia yang terdapat dalam asap rokok meningkat hingga sekitar 4.800 senyawa(Adiba & Arsanti, 2023). Asap rokok mengandung berbagai zat berbahaya, seperti nikotin, hidrogen sianida, formaldehida, arsenik, amonia, benzena, karbon monoksida, dan nitrosamin, yang dapat menyebabkan kanker, penyakit jantung, gangguan paru-paru, serta berbagai masalah kesehatan lainnya.

Selain senyawa yang terdapat dalam asap, batang rokok juga mengandung bahan kimia yang tidak seharusnya masuk ke dalam tubuh manusia. Beberapa di antaranya adalah hidrogen sianida yang bersifat sangat toksik, toluidin, dibenzakridin, naftilamin, dimetilnitrosamin, benzopiren, dan urethane yang berpotensi bersifat karsinogenik. Rokok juga mengandung arsenik yang dikenal sebagai racun, toluena dan pirena yang digunakan sebagai pelarut industri, butana sebagai bahan bakar, serta polonium-210 yang bersifat radioaktif. Selain itu, terdapat pula aseton, metanol, naftalena, kadmium, karbon monoksida, dan vinil klorida yang umumnya digunakan dalam industri, sehingga paparan zat-zat tersebut dapat membahayakan kesehatan perokok maupun orang-orang di sekitarnya (Viana Nur Zulaikhah, 2021)

2.7.2 Jenis-jenis rokok konvensional

Terdapat 2 jenis rokok yang beredar dipasaran yaitu rokok kretek dan rokok putih (Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan Nomor 62/MPP/Kep/2/2004 tanggal 17 Februari 2004). Berdasarkan hasil riset, rokok kretek menguasai sekitar 92% pasar rokok di Indonesia. Rokok kretek dibedakan menjadi dua kategori yaitu kretek dengan filter dan kretek tanpa filter (Diza et al., 2014).

1. Sigaret Kretek Tangan (Rokok Non-Filter)

Sigaret Kretek Tangan (SKT) merupakan hasil olahan tembakau yang dibuat dari daun tembakau yang telah dicacah atau diiris, kemudian dibungkus menggunakan kertas rokok dan ini adalah jenis rokok yang tidak menggunakan filter. Namanya berasal dari suara "kretek" yang dihasilkan saat rokok ini dibakar. Kretek terbuat dari campuran tembakau dan cengkeh, dengan tambahan berbagai bahan lain untuk memberikan rasa khas, yang mengandung senyawa utama tar berada pada kisaran tertinggi yaitu 30–45 mg dengan nikotin sebesar 1,8–2,5 mg per batang, karena tidak adanya media penyaring dan kepadatan tembakau yang tinggi. Beberapa merek terkenal yang memproduksi rokok kretek di antaranya adalah Djarum, Gudang Garam, dan Sampoerna. Berdasarkan proses pembuatan dan komposisinya, sigaret dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, yaitu Sigaret Kretek Mesin (SKM), Sigaret Kretek Tangan (SKT) (Agustin et al., 2025).

2. Sigaret Kretek Mesin (Rokok Filter)

Rokok filter atau sigaret kretek mesin (SKM) merupakan jenis rokok yang dilengkapi dengan alat penyaring pada bagian pangkalnya yang terbuat

dari serat selulosa asetat, yang berfungsi untuk memerangkap sebagian partikel padat dan gas berbahaya dari hasil pembakaran. Di Indonesia, jenis ini umumnya dikategorikan sebagai Sigaret Kretek Mesin (SKM), yang mengandung senyawa utama berupa tar dengan kadar rata-rata 15–31 mg, nikotin berkisar 0,6–2,2 mg, serta senyawa *eugenol* khas cengkeh dan gas karbon monoksida. Meskipun filter memberikan sensasi isapan yang lebih halus dan mengurangi iritasi tenggorokan, produk ini tetap membawa ribuan zat karsinogenik yang berbahaya bagi tubuh. Contoh merek populer yang mendominasi pasar kategori ini meliputi Gudang Garam International dan Djarum Super untuk varian *full flavor*, serta Sampoerna A Mild dan Clas Mild untuk kategori *Low Tar Low Nicotine* (LTLN).

3. Rokok putih

Rokok putih merupakan salah satu jenis rokok konvensional yang dibuat hanya dari daun tembakau tanpa adanya penambahan cengkeh maupun bahan rempah lainnya. Jenis rokok ini umumnya lebih banyak dikonsumsi oleh masyarakat perkotaan dan memiliki pangsa pasar yang luas di tingkat internasional, sehingga lebih mudah ditemukan pada produk rokok yang beredar secara global. Beberapa merek rokok putih yang telah dikenal secara luas di berbagai negara antara lain Marlboro, Camel, Dunhill, dan Lucky Strike. Perbedaan merek dan jenis rokok putih menyebabkan variasi kandungan tar dan nikotin yang dihasilkan, tergantung pada komposisi tembakau serta proses produksi yang digunakan. Meskipun demikian, secara umum rokok putih sering dianggap memiliki karakteristik yang lebih ringan apabila dibandingkan dengan rokok kretek, khususnya

dari segi rasa dan aroma. Namun, anggapan tersebut tidak menghilangkan fakta bahwa rokok putih tetap menghasilkan asap yang mengandung berbagai zat kimia berbahaya yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan perokok maupun orang di sekitarnya (Kadek et al., 2020).

2.7.3 Kandungan rokok konvensional

Rokok mengandung ribuan senyawa kimia yang terbentuk dari proses pengolahan tembakau dan pembakaran. Zat-zat tersebut terdiri atas komponen berbentuk gas dan partikel padat, yang sebagian besar bersifat toksik, iritatif, dan karsinogenik. Beberapa kandungan utama rokok yang paling berbahaya antara lain nikotin, tar, karbon monoksida, hidrogen sianida, benzena, formaldehida, dan logam berat seperti cadmium. (Adiba & Arsanti, 2023)

1. Nikotin

Nikotin merupakan zat utama dalam rokok yang bersifat adiktif. Zat ini secara alami terdapat pada tanaman tembakau dan dapat dengan cepat masuk ke aliran darah serta mencapai otak hanya dalam hitungan detik setelah dihisap. Nikotin merangsang pelepasan dopamin yang menimbulkan rasa nyaman sementara, sehingga memicu ketergantungan dan membuat perokok sulit menghentikan kebiasaan merokok. Meskipun nikotin bukan penyebab utama kanker, zat ini berperan besar dalam mempertahankan perilaku merokok jangka panjang (Viana Nur Zulaikhah, 2021)

2. Tar

Tar merupakan residu padat hasil pembakaran rokok yang terdiri dari ribuan senyawa kimia, termasuk zat karsinogenik. Tar dapat mengendap di saluran pernapasan dan paru-paru, serta merusak silia yang berfungsi menyaring kotoran dan partikel asing. Akumulasi tar dalam jangka panjang berkontribusi terhadap terjadinya bronkitis kronis, emfisema, dan kanker paru-paru (Nurhayati, 2021)

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah gas beracun yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna rokok. Gas ini memiliki afinitas tinggi terhadap hemoglobin sehingga membentuk karboksihemoglobin dan menghambat pengikatan oksigen dalam darah. Akibatnya, suplai oksigen ke jaringan tubuh berkurang dan dapat menyebabkan kelelahan, pusing, serta meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular (Anggarawati, 2021)

4. Hidrogen Sianida

Hidrogen sianida merupakan senyawa toksik yang juga digunakan dalam industri kimia dan pestisida. Dalam rokok, zat ini dapat mengganggu proses respirasi sel dengan menghambat pemanfaatan oksigen oleh jaringan. Paparan hidrogen sianida dapat menimbulkan gejala seperti sakit kepala, mual, kelelahan, hingga penurunan kesadaran (Adiba & Arsanti, 2023)

5. Benzena

Benzena adalah senyawa berbahaya hasil pembakaran rokok yang bersifat karsinogenik. Paparan benzena dalam jangka panjang dapat

mengganggu fungsi sumsum tulang dan menurunkan produksi sel darah merah, sehingga meningkatkan risiko anemia dan gangguan darah lainnya (Adiba & Arsanti, 2023)

6. Formaldehida

Formaldehida merupakan zat iritan yang terbentuk selama proses pembakaran rokok. Zat ini dapat menyebabkan iritasi pada mata dan saluran pernapasan dalam paparan jangka pendek, serta meningkatkan risiko kanker nasofaring apabila terpapar dalam jangka panjang (Adiba & Arsanti, 2023)

7. Kadmium

Kadmium adalah logam berat beracun yang terdapat dalam rokok dan dapat terhirup hingga masuk ke paru-paru. Zat ini dapat terakumulasi dalam tubuh dan menyebabkan gangguan ginjal, gangguan saraf, serta meningkatkan risiko kanker. Kadmium juga diketahui berperan dalam kerusakan jaringan dan gangguan metabolisme tubuh (Nurhayati, 2021)

2.8 Hematology Analyzer

Hematology analyzer merupakan alat laboratorium klinik otomatis yang digunakan untuk pemeriksaan darah lengkap, guna menilai komponen seluler darah secara cepat dan akurat. Alat ini bekerja berdasarkan kombinasi prinsip impedansi listrik, metode optik atau flow cytometry, serta spektrofotometri untuk menghitung jumlah eritrosit, leukosit, trombosit, serta mengukur kadar hemoglobin, hematokrit, dan indeks eritrosit. Pemeriksaan diawali dengan pengambilan darah vena menggunakan antikoagulan EDTA, kemudian sampel diencerkan secara otomatis dan dicampur dengan larutan hemolitik untuk melisiskan sel darah, terutama eritrosit. Seluruh sinyal hasil pengukuran diproses oleh mikroprosesor internal dan

ditampilkan dalam bentuk nilai numerik serta grafik pendukung. Penggunaan hematology analyzer bertujuan untuk memberikan gambaran kondisi hematologis pasien, mendeteksi kelainan darah, serta memantau perjalanan penyakit dan respons terapi, dengan keunggulan berupa efisiensi waktu, presisi tinggi, dan objektivitas hasil, namun tetap memerlukan verifikasi lanjutan seperti pemeriksaan apusan darah tepi apabila ditemukan hasil yang tidak normal (Tedy Febriyanto, 2023).

