

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tuberkulosis

Tuberkulosis adalah penyakit infeksi multistemik yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*, bakteri berbentuk batang. Tuberkulosis adalah penyebab paling umum dari kematian akibat penyakit menular dan sekitar 1,3 juta orang meninggal akibat tuberkulosis di seluruh dunia pada tahun 2017 menurut WHO. Gejala tuberkulosis dapat menjangkau rentang yang luas sehingga tuberkulosis disebut sebagai “*great imitator*” oleh banyak orang yang mempelajari penyakit menular karena gejala tuberkulosis dapat meniru banyak penyakit lain. Istilah tambahan menjelaskan tuberkulosis meliputi konsumsi, penyakit pott, aktif, laten, paru, kulit, dan lainnya dan dalam publikasi medis dan nonmedis. Tempat yang paling umum (sekitar 85%) untuk berkembangnya tuberkulosis adalah saluran paru-paru walaupun dapat menginfeksi bagian tubuh lain. Manusia adalah satu-satunya inang yang diketahui untuk *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri mungkin bernoda lemah baik gram negatif maupun gram positif karena permukaan selnya sehingga para profesional medis menggunakan pewarna asam untuk memvisualisasikannya dengan mikroskop (Medicine.net.inc.2018).

Faktor risiko untuk terjadinya tuberkulosis meliputi kondisi medis yang melemahkan sistem imun, seperti HIV/AIDS, diabetes, dan malnutrisi. Selain itu, faktor sosial ekonomi, seperti kemiskinan, kepadatan penduduk, dan akses terbatas terhadap layanan kesehatan, juga berkontribusi terhadap penyebaran penyakit ini (Kementerian Kesehatan RI, 2020).

Diagnosis tuberkulosis dapat dilakukan melalui berbagai metode, termasuk pemeriksaan mikroskopis dahak, tes tuberkulin, dan pemeriksaan radiologi seperti rontgen dada. Pengobatan tuberkulosis memerlukan regimen antibiotik yang panjang, biasanya selama enam bulan, untuk memastikan bahwa semua bakteri TB dalam tubuh pasien dapat dihilangkan dan mencegah terjadinya resistensi obat (Kurniawan & Sari, 2019).

2.1.1 Penyebab Tuberkulosis Paru

Tuberkulosis Mycobacterium, khususnya Mycobacterium tuberculosis. Terdapat beberapa spesies Mycobacterium, antara lain: *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium africanum*, *Mycobacterium bovis*, dan *Mycobacterium leprae*, yang juga dikenal sebagai bakteri tahan asam (World Health Organization 2022). Secara umum sifat kuman tuberkulosis paru sebagai berikut:

1. Berbentuk panjang dengan panjang 1-10 mikron, lebar 0,2-0,6 mikron
2. Bersifat tahan asam dalam pewarnaan dengan metode Ziehl-Neelsen
3. Memerlukan biakan khusus untuk biakan, antara lain Löwenstein-Jensen Ogawa
4. Kuman nampak berbentuk batang berwarana merah dalam pemeriksaan dibawah mikroskop
5. Tahan terhadap suhu rendah sehingga dapat bertahan hidup dalam angka waktu lama pada suhu antara 4°C sampai minus 70°C
6. Kuman sangat peka terhadap panas, sinar matahari dan sinar ultraviolet (Bahar dkk, 2014).

2.1.2 Klasifikasi

Klasifikasi penyakit Tuberkulosis memerlukan suatu definisi khusus yang meliputi 4 hal yaitu:

- a. Berdasarkan organ yang terkena:
 1. Berbentuk panjang dengan panjang 1-10 mikron, lebar 0,2-0,6 mikron
 2. Bersifat tahan asam dalam pewarnaan dengan metode Ziehl-Neelsen
 3. Memerlukan biakan khusus untuk biakan, antara lain Löwenstein-Jensen Ogawa
 4. Kuman nampak berbentuk batang berwarana merah dalam pemeriksaan dibawah mikroskop
 5. Dibawah mikroskop tahan terhadap suhu rendah sehingga dapat bertahan hidup dalam angka waktu lama pada suhu antara 4°C sampai minus 70°C

6. Kuman sangat peka terhadap panas, sinar matahari dan sinar ultraviolet (Bahar dkk, 2014)

b. Berdasarkan hasil pemeriksaan dahak mikroskopis

1. Tuberkulosis paru BTA positif

- a) Sekurang kurangnya 2 dari 3 spesimen dahak SPS hasilnya BTA Positif.
- b) Satu spesimen dahak SPS hasilnya BTA positif dan foto toraks dada menunjukkan gambar tuberkulosis.
- c) Satu spesimen dahak SPS hasilnya BTA positif dan biakan kuman TB positif.
- d) Satu atau lebih spesimen dahak hasilnya positif setelah tiga spesimen dahak SPS pada pemeriksaan sebelumnya hasilnya BTA negatif dan tidak ada perbiakan setelah pemberian antibiotik OAT.

2. Tuberkulosis BTA negatif

Tb yang tidak memenuhi definisi pada Tb paru dan BTA Positif. BTA negative memiliki kriteria diagnostik yaitu:

- a) Paling tidak ada tiga specimen dahak yang hasil BTA negative.
- b) Foto toraks abnormal menunjukkan gambaran tuberkulosis.
- c) Tidak adanya perbaikan setelah pemberian antibiotika non OAT.
- d) Dokter memberikan pertimbangan untuk pengobatan

c. Berdasarkan tingkat keparahan penyakit

- a) TB paru BTA negatif, foto toraks positif dan dibagi berdasarkan tingkat keparahan penyakitnya, yaitu bentuk berat dan ringan atau keadaan umum pasien yang buruk.
- b) TB ekstra paru
 - 1) TB ekstra paru berat, misalnya meningitis, peritonitis, pleuritis eksudative bilateral, TB tulang belakang, TB usus, TB alat saluran kemih dan alat kelamin.

- 2) TB ekstra paru ringan, misalnya kelenjar limfe, pleuritis
Oksudative unilateral, tulang sendi dan kelenjar adrenal.

d. Berdasarkan riwayat pengobatan sebelumnya

a) Kasus baru

Pasien yang sudah pernah konsumsi OAT ataupun yang belum pernah konsumsi OAT

b) Kasus kambuh

Pasien TB yang sudah pernah mendapat pengobatan tuberkulosis dantelah dinyatakan sembuh tetapi didiagnosis kembali dengan BTA positif

c) Kasus setelah putus berobat (default)

Pasien yang telah berobat tetapi putus berobat 2 bulan atau lebih dengan BTA positif

d) Kasus setelah gagal (failure)

Pasien dengan hasil pemeriksaan dahaknya tetap positif atau kembali menjadi positif pada bulan kelima atau lebih dalam pengobatannya

e) Kasus pindahan (transfer in)

Pasien TB yang dipindahkan ke UPK yang telah memiliki register TB lain untuk melanjutkan pengobatannya

f) Kasus lain

Semua kasus TB yang tidak memenuhi tindakan diatas, yang termasuk ke dalam kasus kronik, yaitu pasien dengan hasil pemeriksaan masih BTA positif setelah selesai pengobatan ulang (Suprpto, 2018).

2.1.3 Penularan Tuberkulosis

2.1.3.1 Sumber Penularan Tuberkulosis

Sumber Penularan TB Sumber penularan adalah pasien TB terutama pasien yang mengandung kuman TB dalam dahaknya. Pada waktu batuk atau bersin, pasien menyebarkan kuman ke udara dalam bentuk percikan dahak (droplet nuclei/percik renik). Infeksi akan terjadi apabila seseorang menghirup udara yang mengandung percikan dahak yang infeksius. Sekali batuk dapat

menghasilkan sekitar 3000 percikan dahak yang mengandung kuman sebanyak 0-3500M tuberculosis. Sedangkan bersin dapat mengeluarkan sebanyak 4.500 – 1.000.000M tuberculosis (Kementerian Kesehatan RI, 2016).

2.1.3.2 Perjalanan Alamiiah Tuberkulosis Manusia

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 67 Tahun 2016 Tentang Penanggulangan Tuberkulosis terdapat 4 tahapan perjalanan alamiiahpenyakit. Tahapan tersebut meliputi tahap paparan, infeksi, menderita sakit dan meninggal dunia, sebagai berikut :

- a. Paparan peluang peningkatan paparan terkait dengan:
 - 1) Jumlah kasus menular di masyarakat.
 - 2) Peluang kontak dengan kasus menular.
 - 3) Tingkat daya tular dahak sumber penularan.
 - 4) Intensitas batuk sumber penularan.
 - 5) Kedekatan kontak dengan sumber penularan.
 - 6) Lamanya waktu kontak dengan sumber penularan.

A. Infeksi

Reaksi daya tahan tubuh akan terjadi setelah 6-14 minggu setelah infeksi. Lesi umumnya sembuh total namun dapat saja kuman tetap hidup dalam lesi tersebut (dormant) dan suatu saat dapat aktif kembali tergantung dari daya tahan tubuh manusia. Penyebaran melalui aliran darah atau getah bening dapat terjadi sebelum penyembuhan lesi.

B. Faktor Resiko

Faktor risiko untuk menjadi sakit TB adalah tergantung dari:

- 1) Konsentrasi/jumlah kuman yang terhirup
- 2) Lamanya waktu sejak terinfeksi
- 3) sia seseorang yang terinfeksi
- 4) Tingkat daya tahan tubuh seseorang
- 5) Infeksi HIV.

C. Meninggal dunia Faktor risiko kematian karena TB:

- 1) Akibat dari keterlambatan diagnosis
- 2) Pengobatan tidak adekuat.
- 3) Adanya kondisi kesehatan awal yang buruk atau penyakit penyerta
- 4) Pada pasien TB tanpa pengobatan, 50% diantaranya akan meninggal dan risiko ini meningkat pada pasien dengan HIV positif. Begitu pula pada ODHA, 25% kematian disebabkan oleh TB (Kementerian Kesehatan RI, 2016)

2.1.3 Diagnosis Tuberkulosis

Diagnosis tuberkulosis (TB) berdasarkan pada gejala klinis, pemeriksaan fisik, pemeriksaan bakteriologi dan pemeriksaan penunjang lainnya.

2.1.3.1 Gejala Klinis

Gejala klinis tuberkulosis paru (TB paru) sering kali berkembang secara bertahap dan dapat bervariasi dari satu individu ke individu lainnya. Salah satu gejala yang paling umum adalah batuk yang berlangsung lebih dari tiga minggu. Batuk ini bisa kering atau produktif, dan dalam beberapa kasus, dapat disertai dengan dahak berdarah. Gejala ini sering kali menjadi alasan utama pasien mencari perawatan medis, dan penting untuk diwaspadai sebagai tanda infeksi TB (World Health Organization, 2021).

Selain batuk, pasien TB paru sering mengalami gejala sistemik seperti demam, keringat malam, dan penurunan berat badan yang tidak dapat dijelaskan. Demam biasanya bersifat ringan dan dapat meningkat pada malam hari, sementara keringat malam dapat mengganggu tidur pasien. Penurunan berat badan yang signifikan sering kali terjadi akibat kehilangan nafsu makan dan peningkatan metabolisme yang terkait dengan infeksi (Gonzalez et al., 2020).

Gejala lain yang mungkin muncul adalah nyeri dada, yang dapat disebabkan oleh iritasi pleura atau peradangan di sekitar paru-paru. Nyeri ini dapat bervariasi dari ringan hingga berat dan sering kali diperburuk oleh batuk atau pernapasan dalam. Selain itu, sesak napas juga dapat terjadi, terutama pada kasus yang lebih lanjut di mana ada kerusakan paru yang signifikan (Kumar et al., 2019).

Penting untuk dicatat bahwa tidak semua pasien dengan TB paru akan menunjukkan semua gejala ini, dan beberapa mungkin hanya mengalami gejala ringan. Oleh karena itu, kesadaran akan gejala klinis ini sangat penting untuk diagnosis dini dan pengobatan yang efektif. Deteksi dini dapat membantu mencegah penyebaran infeksi ke individu lain dan mengurangi morbiditas yang terkait dengan penyakit ini (Bansaletal., 2021).

2.1.3.2 Pemeriksaan Fisik

Pemeriksaan fisik pada pasien TB paru meliputi auskultasi untuk mendeteksi suara napas abnormal seperti ronki basil halus, serta pemeriksaan tanda sistemik seperti demam subfebris dan penurunan berat badan" (Kemenkes RI, 2020).

Pada TB ekstraparu, temuan fisik bergantung pada organ yang terlibat, misalnya pembengkakan kelenjar getah bening leher pada TB limfadenitis" (WHO, 2021).

Pemeriksaan fisik pada pasien dengan dugaan tuberkulosis paru dimulai dengan inspeksi umum. Dokter akan mengamati tanda-tanda klinis seperti penurunan berat badan, keringat malam, dan keadaan umum pasien. Selain itu, pola pernapasan dan adanya kesulitan bernapas juga menjadi fokus perhatian. Gejala-gejala ini sering kali menjadi petunjuk awal yang penting dalam menilai kemungkinan infeksi tuberkulosis (Santos et al., 2020).

Setelah inspeksi, langkah selanjutnya adalah palpasi, di mana dokter akan memeriksa adanya fremitus suara yang dapat meningkat atau menurun. Peningkatan fremitus dapat menunjukkan adanya konsolidasi paru, sedangkan penurunan dapat mengindikasikan adanya efusi pleura. Selain itu, palpasi juga dilakukan untuk menilai pembesaran kelenjar getah bening di daerah servikal atau supraklavikula, yang sering kali terkait dengan infeksi tuberkulosis (Kumar et al., 2019).

Auskultasi dan perkusi merupakan bagian penting dari pemeriksaan fisik. Suara napas yang tidak normal, seperti ronki basah atau suara napas bronkial, dapat mengindikasikan adanya proses patologis di paru-paru. Perkusi juga

membantu dalam mendeteksi adanya cairan atau massa di dalam paru, yang dapat berhubungan dengan tuberkulosis. Kombinasi dari semua temuan ini sangat penting untuk menegakkan diagnosis dan menentukan langkah selanjutnya dalam manajemen pasien (Bansaletal., 2021).

2.1.3.3 Pemeriksaan Bakteriologi

Pemeriksaan bakteriologi adalah metode utama dalam diagnosis tuberkulosis paru (TB paru) yang bertujuan untuk mendeteksi keberadaan *Mycobacterium tuberculosis* dalam spesimen klinis, terutama sputum. Metode yang paling umum digunakan adalah mikroskopi sputum dengan pewarnaan Ziehl-Neelsen, yang memungkinkan identifikasi bakteri asam cepat. Menurut penelitian oleh Gunawan et al. (2021), pemeriksaan sputum dengan metode ini memiliki sensitivitas yang bervariasi, tergantung pada jumlah bakteri dalam spesimen, tetapi tetap menjadi langkah awal yang penting dalam diagnosis TB paru.

Selain mikroskopi, kultur bakteri juga merupakan metode bakteriologi yang sangat penting. Kultur dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan memungkinkan identifikasi spesifik dari *Mycobacterium tuberculosis*. Penelitian oleh Agustina (2022) menunjukkan bahwa kultur memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskopi, dan dapat mendeteksi bakteri meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Namun, proses kultur memerlukan waktu yang lebih lama, biasanya antara 2 hingga 6 minggu, sehingga tidak selalu praktis untuk diagnosis cepat.

Metode lain yang semakin populer adalah penggunaan tes molekuler, seperti GeneXpert, yang dapat mendeteksi DNA *Mycobacterium tuberculosis* secara cepat dan akurat. Menurut penelitian oleh Lestari et al. (2023), GeneXpert tidak hanya memberikan hasil dalam waktu kurang dari dua jam, tetapi juga dapat mendeteksi resistensi terhadap rifampisin, salah satu obat utama dalam pengobatan TB. Hal ini menjadikan GeneXpert sebagai alat yang sangat berharga dalam manajemen TB, terutama di daerah dengan prevalensi tinggi.

Pemeriksaan bakteriologi juga berfungsi untuk memantau respons terhadap pengobatan. Setelah beberapa bulan terapi, pemeriksaan sputum dapat dilakukan kembali untuk memastikan bahwa bakteri telah tereliminasi. Pemantauan berkala melalui pemeriksaan bakteriologi sangat penting untuk menilai efektivitas pengobatan dan mencegah terjadinya kekambuhan. Hasil negatif pada pemeriksaan sputum setelah pengobatan menunjukkan bahwa pasien telah merespons terapi dengan baik (Hidayah,2020).

Namun, hasil pemeriksaan bakteriologi tidak selalu dapat diandalkan. Beberapa pasien, terutama yang memiliki sistem imun yang lemah, mungkin tidak menghasilkan sputum yang positif meskipun mereka terinfeksi TB. Oleh karena itu, penting untuk menggabungkan hasil pemeriksaan bakteriologi dengan data klinis dan radiologi. Menurut Setiawan (2021), pendekatan multidisipliner sangat penting untuk memastikan diagnosis yang akurat dan pengobatan yang tepat, serta untuk mengurangi risiko penularan di masyarakat.

2.1.3.4 Pemeriksaan Penunjang Lain

a. Hematologi

Pemeriksaan ini kurang spesifik untuk tuberkulosis. Pada saat keadaan tuberkulosis yang aktif akan didapatkan leukosit yang sedikit meningkat, jumlah limfosit masih dibawah normal, dan laju endap darah meningkat cepat. Apabila penyakit mulai sembuh, jumlah leukosit kembali normal dan jumlah limfosit masih tinggi, dan laju endap darah mulai turun ke arah normal.

b. Uji Tuberkulin

Uji tuberkulin sangat berarti dalam mendeteksi infeksi tuberkulosis di daerah dengan prevalensi rendah. Sedangkan di Indonesia, dengan prevalensi tuberkulosis yang tinggi, pemeriksaan ini sebagai alat bantu diagnostik kurang berarti, terutama pada orang dewasa. Dasar tes tuberkulin adalah reaksi alergi tipe lambat. Tes ini hanya menyatakan apakah seseorang individu pernah atau sedang mengalami infeksi *M. tuberculosis*, *M. Bovis*, vaksinasi BCG dan *Mycobacteria* patogen lain.

Teknik pemeriksaan yang digunakan adalah tes Mantoux yakni dengan menyuntikkan 0,1 cc tuberkulosis Purified Protein Derivative (P.P.D) intrakutan berkekuatan Setelah 48-72 jam tuberkulin disuntikkan, akan timbul reaksi berupa indurasi kemerahan yang terdiri dari infiltrat limfosit yaitu reaksi antara antibodi dan antigen tuberkulin..

2.2. Laju Endap Darah

Laju endap darah (LED) adalah tes laboratorium yang mengukur seberapa cepat sel darah merah mengendap di dasar tabung uji dalam waktu tertentu, biasanya satu jam. Tes ini digunakan sebagai indikator adanya peradangan dalam tubuh. Proses pengendapan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jumlah dan jenis protein dalam plasma darah, serta jumlah sel darah merah. LED yang tinggi dapat menunjukkan adanya infeksi, penyakit autoimun, atau kondisi inflamasi lainnya (Kumar et al., 2020).

Penting untuk memahami bahwa LED bukanlah tes spesifik untuk suatu penyakit tertentu, melainkan lebih sebagai alat skrining untuk mendeteksi adanya proses patologis. Nilai normal LED bervariasi tergantung pada usia dan jenis kelamin, tetapi umumnya, nilai normal untuk pria adalah 0-15 mm/jam dan untuk wanita adalah 0-20 mm/jam. Kenaikan LED dapat terjadi pada berbagai kondisi, termasuk infeksi, kanker, dan penyakit inflamasi seperti rheumatoid arthritis (Sullivan et al., 2019).

Interpretasi hasil LED harus dilakukan dengan hati-hati, karena banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasilnya. Misalnya, anemia, kehamilan, dan penggunaan obat-obatan tertentu dapat menyebabkan peningkatan LED. Sebaliknya, dehidrasi dapat menyebabkan penurunan LED. Oleh karena itu, hasil LED harus dipertimbangkan bersama dengan gejala klinis dan hasil pemeriksaan lainnya untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang kondisi kesehatan pasien (Bansa et al., 2021).

Dalam praktik klinis, LED sering digunakan sebagai bagian dari panel pemeriksaan darah rutin. Meskipun tidak spesifik, LED dapat memberikan informasi berharga tentang status inflamasi dan membantu dalam pemantauan

respon terhadap pengobatan. Misalnya, pada pasien dengan penyakit autoimun, penurunan LED setelah terapi dapat menunjukkan perbaikan kondisi. Oleh karena itu, LED tetap menjadi alat yang berguna dalam manajemen berbagai kondisi medis (Gonzalezetal., 2020).

2.2.1 Fase-Fase Laju Endap Darah

- a) Fase pertama (fase pembentukan rouleaux) pada fase ini, sel darah merah (eritrosit) berada dalam suspensi di dalam plasma darah. Eritrosit memiliki muatan negatif pada permukaannya, yang menyebabkan mereka saling tolak menolak. Proses ini menghambat pengendapan awal. Namun, ketika ada peningkatan kadar protein dalam plasma, seperti fibrinogen dan globulin, muatan negatif ini dapat berkurang. Akibatnya, eritrosit dapat mulai saling menempel dan memulai proses pengendapan. Fase ini biasanya berlangsung selama beberapa menit hingga satu jam, tergantung pada kondisi spesifik pasien (Kumar etal., 2020).
- b) Fase kedua (fase pengendapan maksimum) di mana eritrosit mulai mengendap ke dasar tabung. Pada fase ini, kecepatan pengendapan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk ukuran dan bentuk eritrosit, serta viskositas plasma. Eritrosit yang lebih besar dan lebih berat cenderung mengendap lebih cepat. Selain itu, kondisi seperti anemia atau kelainan bentuk sel darah merah dapat mempengaruhi laju pengendapan. Selama fase ini, pengendapan yang terjadi diukur dalam milimeter (mm) dan biasanya dilakukan dalam waktu satu jam. Hasil pengukuran ini memberikan indikasi awal tentang adanya proses inflamasi atau infeksi dalam tubuh (Sullivanetal., 2019).
- c) Fase ketiga (fase pengendapan lambat) di mana laju pengendapan mulai melambat dan mencapai titik stabil. Pada fase ini, pengendapan eritrosit akan berlanjut, tetapi dengan kecepatan yang lebih lambat. Stabilitas ini dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk adanya proses inflamasi atau infeksi dalam tubuh. Jika ada kondisi patologis yang sedang berlangsung, seperti infeksi atau penyakit autoimun, fase ini dapat

menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam laju endap darah. Setelah penyebab inflamasi diatasi, LED akan kembali ke nilai normal, menandakan bahwa proses inflamasi telah mereda (Bansaletal., 2021).

2.2.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Laju Endap Darah

Laju Endap Darah dipengaruhi oleh faktor eritrosit, kimia, teknik, fisik, Fisiologi, dan plasma.

1) Faktor Eritrosit

Faktor eritrosit adalah salah satu komponen utama yang mempengaruhi laju endap darah. Bentuk, ukuran, dan jumlah eritrosit dapat mempengaruhi kecepatan endapan. Misalnya, anemia dapat menyebabkan peningkatan LED karena jumlah eritrosit yang lebih sedikit. Selain itu, bentuk abnormal eritrosit, seperti dalam kasus sickle cell anemia, juga dapat mempengaruhi hasil LED (Johnson, 2019).

2) Faktor Kimia

Komposisi kimia dalam plasma darah, seperti kadar protein, juga berpengaruh terhadap LED. Kadar protein yang tinggi, terutama fibrinogen dan globulin, dapat meningkatkan LED. Ini karena protein-protein tersebut meningkatkan viskositas darah dan memfasilitasi agregasi eritrosit, yang mempercepat proses endapan (Williams, 2021).

3) Faktor Teknik

Teknik yang digunakan dalam pengujian LED juga dapat mempengaruhi hasil. Metode yang paling umum digunakan adalah metode Westergren, yang melibatkan pengukuran endapan eritrosit dalam tabung vertikal. Variasi dalam teknik, seperti penggunaan tabung dengan diameter yang berbeda atau waktu pengukuran yang tidak konsisten, dapat menghasilkan hasil yang berbeda (Davis, 2018).

4) Faktor fisik seperti suhu dan tekanan juga dapat mempengaruhi LED.

Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju endapan, sedangkan suhu yang lebih rendah dapat memperlambatnya. Selain itu, tekanan

osmotik dalam plasma dapat mempengaruhi integritas sel darah merah dan, pada gilirannya, mempengaruhi LED (Martinez, 2022).

5) Faktor Fisiologi

Faktor fisiologi, termasuk usia, jenis kelamin, dan kondisi kesehatan individu, juga berperan dalam hasil LED. Misalnya, wanita cenderung memiliki LED yang lebih tinggi dibandingkan pria, terutama selama menstruasi. Selain itu, kondisi kesehatan seperti infeksi, penyakit autoimun, dan kanker dapat menyebabkan peningkatan LED (Chen, 2023).

6) Komponen Plasma

Komponen plasma, termasuk elektrolit dan hormon, juga dapat mempengaruhi LED. Kadar elektrolit seperti natrium dan kalium dapat mempengaruhi viskositas darah, sedangkan hormon seperti kortisol dapat mempengaruhi respons inflamasi tubuh, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi LED (Thompson, 2021).

2.2.3 Pemeriksaan Laju Endap Darah Metode Westergren

Laju Endap Darah (LED) dengan metode Westergren adalah teknik yang digunakan untuk mengukur seberapa cepat sel darah merah (eritrosit) mengendap dalam tabung vertikal yang berisi darah yang dicampur dengan antikoagulan, biasanya natrium sitrat. Dalam prosedur ini, darah dibiarkan dalam posisi tegak lurus selama satu jam, dan kecepatan pengendapan eritrosit diukur dalam milimeter (mm). Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa eritrosit, yang memiliki muatan negatif, akan saling tolak dalam kondisi normal, tetapi peningkatan kadar protein inflamasi dalam plasma, seperti fibrinogen, dapat menyebabkan eritrosit saling menempel dan membentuk agregat yang disebut rouleaux, sehingga mempercepat pengendapan (Gandasoebrata, 2020).

Nilai LED yang tinggi (>20 mm/jam) dapat menunjukkan adanya proses inflamasi, infeksi, atau penyakit autoimun, sedangkan nilai normal untuk pria adalah kurang dari 10 mm/jam dan untuk wanita kurang dari 15 mm/jam. Metode Westergren memiliki kelebihan, seperti skala tabung yang panjang, yang

memungkinkan pengukuran yang lebih akurat. Jika hasil pada satu jam menunjukkan nilai di atas normal, penilaian pada dua jam tidak dilakukan, tetapi jika hasilnya normal, penilaian pada dua jam perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat (Masito, 2020).

Pemeriksaan LED ini sering digunakan dalam praktik klinis sebagai alat bantu diagnosis untuk berbagai kondisi medis. Dengan memahami hasil LED, dokter dapat mengevaluasi adanya proses patologis dalam tubuh pasien dan merencanakan langkah-langkah diagnostik atau terapeutik yang sesuai (Susanti, 2022).

Pemeriksaan LED metode otomatis, dapat dilakukan menggunakan bahan darah EDTA tanpa pengenceran. Sampel darah dalam tabung EDTA dapat langsung dimasukan ke alat pembaca dan hasil pemeriksaan akan terbaca dalam waktu 20 menit. Pemeriksaan LED otomatis mempunyai waktu pengerjaan yang lebih cepat, prosedur yang digunakan pun lebih mudah karena tidak memerlukan pengenceran. Selain itu, volume sampel yang digunakan harus sesuai ketentuan, yaitu sebanyak dua ml. (Shenzhen Yhlo Biotech Co., 2020)

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil LED adalah faktor eritrosit. Jumlah eritrosit di bawah nilai normal menyebabkan volume plasma lebih tinggi, sehingga dapat mempercepat pengendapan eritrosit, dan nilai LED cenderung meningkat. Kondisi tersebut terdapat pada pasien anemia, dengan ciri berkurangnya jumlah sel eritrosit atau kadar hemoglobin di bawah nilai normal. Anemia dapat disebabkan dari perdarahan hebat, berkurangnya pembentukan sel eritrosit dan meningkatnya penghancuran sel eritrosit (Syarif, 2017).

2.2.4 Pemeriksaan Laju Endap Darah Metode Wintrobe

Metode Wintrobe merupakan salah satu cara klasik pemeriksaan Laju Endap Darah (LED) yang masih digunakan di laboratorium. Prinsip pemeriksaan ini adalah mengukur kecepatan pengendapan eritrosit dalam plasma setelah darah yang telah diberi anti koagulan dibiarkan dalam posisi tegak selama satu jam. Sampel darah yang digunakan biasanya darah vena dengan EDTA sebagai antikoagulan, kemudian dimasukkan ke dalam tabung Wintrobe yang memiliki panjang sekitar 110 mm dengan skala 0–100 mm. Setelah 1 jam, tinggi plasma

jernih di atas eritrosit diukur dan dinyatakan dalam mm/jam. Nilai normal LED metode Wintrobe yaitu 0–9 mm/jam pada laki-laki dan 0–15 mm/jam pada perempuan (Infolabmed, 2019).

Kelebihan metode Wintrobe adalah lebih hemat reagen karena tidak memerlukan larutan pengencer, cukup menggunakan darah dengan EDTA, sehingga prosedurnya lebih sederhana dan ekonomis. Namun, metode ini juga memiliki keterbatasan, terutama kurang sensitif dalam mendeteksi LED yang tinggi karena panjang tabung relatif lebih pendek dibandingkan metode Westergren. Selain itu, teknik pengisian darah harus benar-benar hati-hati agar tidak terbentuk gelembung, dan posisi tabung harus tegak lurus karena kemiringan sedikit saja dapat mempercepat sedimentasi hingga 30%. Hal ini menjadikan metode Wintrobe kurang akurat dalam kondisi peradangan berat meskipun tetap banyak digunakan pada laboratorium dengan keterbatasan fasilitas (Sari, 2018).

Secara klinis, metode Wintrobe masih relevan digunakan untuk memantau adanya proses inflamasi atau infeksi, khususnya di laboratorium yang tidak memiliki akses ke metode Westergren atau alat otomatis. Penelitian oleh Dewi dkk. (2021) pada pasien tuberkulosis menunjukkan bahwa nilai LED metode Wintrobe lebih rendah dibandingkan Westergren, namun setelah dilakukan uji statistik tidak terdapat perbedaan signifikan ($p = 0,895$). Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun kurang sensitif untuk nilai tinggi, metode Wintrobe tetap dapat dijadikan alternatif pemeriksaan LED dengan catatan interpretasi harus hati-hati.