

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. COVID-19

a. Definisi COVID-19

Coronavirus Disease 2019 merupakan penyakit baru yang ditemukan di Wuhan, China pada Desember 2019, Penyakit ini diduga berawal dari masyarakat China yang suka mengkonsumsi kelalawar dan hewan liar lain. Gejala umum infeksi COVID-19 yang sering muncul yaitu demam, batuk, gangguan pernapasan dan sulit bernafas. SARS-CoV-2 membutuhkan waktu selama 5-6 hari untuk masa inkubasi sampai menimbulkan penyakit atau selama 14 hari. Mekanisme penularan virus yang sangat mudah, yaitu melalui pernapasan (droplet) orang yang terinfeksi dan percikan cairan ludah kemudian masuk ke dalam saluran pernapasan. Karena penyebaran ini terjadi sangat cepat maka upaya yang dapat dilakukan terhadap infeksi SARS-CoV-2 yaitu dengan cara memakai masker, mencuci tangan setiap kali menyentuh benda, pemberlakuan ke luar negeri dan karantina di sejumlah wilayah (Tandjungbulu *et al.*, 2021).

b. Etiologi Penyakit COVID-19

COVID-19 merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus SARS-CoV-2 yang tergolong dalam famili coronavirus. Coronavirus tergolong ke dalam ordo Nidovirales, dari famili Coronaviridae. Coronavirus ialah virus RNA yang mempunyai strain tunggal positif, berkapsul dan tidak bersegmen. Kata corona dalam bahasa Latin memiliki arti crown atau mahkota. Coronavirus berbentuk bulat dan struktur virus ini dibentuk dari protein struktural seperti : protein glikoprotein *membrane* (M), protein *nukleokapsid* (N), glikoprotein spike (S), protein *selubung* (E). Virus ini terdapat materi genetik berupa RNA rantai tunggal. Pada selubung *lipid bilayer*, terlihat bahwa protein S,M, E melekat dan protein N menyatu pada RNA yang berada dalam inti partikel virus yang membentuk

spike pada permukaan virus yang memiliki peran untuk memfasilitasi masuknya virus (Lazarus *et al.*, 2023).

c. Penularan COVID-19

Penyebaran COVID-19 itu sendiri dapat ditularkan melalui sesama manusia dengan sangat cepat dan efektif, virus yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat mengakibatkan manusia tertular SARS-CoV-2 dan masa inkubasi virus selama 3-7 hari. Pasien menularkan virus dengan sangat mudah dengan cara langsung yaitu melalui droplet atau percikan ludah pernapasan yang terdapat virus dan penularan yang secara tidak langsung yaitu dengan menyentuh benda yang terkena droplet tersebut. Penularan secara fekal-oral yaitu melalui mulut, penularan ini terjadi karena terdapat aerosol pasien terkonfirmasi COVID-19 pada benda, makanan dan minuman yang telah terkontaminasi. Virus COVID-19 juga mampu bertahan hidup pada aerosol setidaknya selama 3 jam (Lazarus *et al.*, 2023).

d. Patofisiologi dan Patogenesis COVID-19

Coronavirus bersifat *zoonotik* yang mana penularannya melalui hewan ke manusia. Pada hewan liar banyak ditemukan sebagai pembawa patogen dan menjadi vektor pada penyakit tertentu yang menular. Kelelawar adalah sumber utama dalam kejadian yang menyebabkan *severe Acute Respiratory Syndrome* (SARS) dan *Middle East respiratory syndrome* (MERS). Coronavirus dapat memperbanyak diri melalui sel *host*-nya, virus ini tidak bisa hidup tanpa sel *host*. SARS-CoV-2 dapat menyerang saluran khususnya pada sel yang melapisi alveoli pada manusia. SARS-CoV-2 memiliki glikoprotein pada *envelope spike* atau protein S pada SARS-CoV-2 yang ada dipermukaan sel akan menjadi perantara masuknya virus ke dalam sel target. Pelepasan virus pada infeksi yang akut akan terjadi dari saluran napas dan virus dapat berlanjut melakukan pelepasan dalam beberapa waktu pada sel gastrointestinal setelah pemulihan. Virus akan membutuhkan waktu untuk inkubasi hingga penyakit muncul sekitar 3-7 hari (Alhababy, 2016).

e. Manifestasi Klinis COVID-19

Manifestasi klinis pada pasien COVID-19 beragam seperti pasien tanpa gejala, gejala yang ringan hingga gejala yang berat. Pada gejala yang berat ini dapat menyebabkan perburukan sangat cepat. Gejala klinis yang muncul jika terpapar COVID-19 yaitu sebagai berikut :

1) Tidak Berkomplikasi

Fase ini membutuhkan sekitar 3-14 hari untuk bereplikasi pada nasofaring pasien, biasanya pasien tidak mengeluhkan adanya gejala atau gejala ringan. Gejala yang umum muncul seperti batuk, nyeri tenggorok, demam dan sakit kepala.

2) Pneumonia Ringan

Fase ini sudah memiliki gejala dan tanda klinis seperti demam, batuk dan sesak, namun tidak menunjukkan tanda adanya pneumonia berat. Pneumonia berat yang terjadi pada pasien dewasa :

- a) Gejala yang muncul seperti demam dan curiga terjadi infeksi saluran napas
- b) Tanda yang muncul ialah takipnea (frekuensi nafas : $> 30x/\text{menit}$), distress pernapasan yang berat dan saturasi oksigen $< 90\%$ udara luar (Alhababy, 2016).

f. Gejala dan Diagnosis COVID-19

Penyakit COVID-19 adalah suatu penyakit yang memiliki beberapa gejala khas seperti gangguan pernapasan atas disertai dengan sesak napas, demam dan batuk. Gejala umum lain yang jarang terjadi atau dialami beberapa pasien yaitu rasa nyeri dan sakit, seperti sakit pada kepala, sakit tenggorokan, hidung tersumbat, diare dan kehilangan indera rasa atau penciuman.

Kriteria diagnostik COVID-19 yaitu:

- 1) Pasien dengan pengawasan atau dengan kasus Suspek/Possible Seseorang yang sedang demam atau memiliki riwayat demam, flu, sakit pada tenggorokan, mengalami batuk, mengalami pneumonia yang ringan sampai dengan berat yang didukung dengan gambaran radiologis dan didapatkan dengan kondisi lain seperti

memiliki riwayat dalam perjalanan ke negara terjangkit virus yang terjadi selama 14 hari sebelum yang dapat menimbulkan gejala atau pada petugas kesehatan yang sedang merawat pasien ISPA.

2) Kontak erat

Seseorang tanpa gejala yang membutuhkan waktu 3-14 untuk virus bereplikasi pada nasofaring dan biasanya tidak mengeluhkan gejala, pasien yang sudah memiliki gejala pernapasan ringan seperti batuk kering, pilek, sakit tenggorokan dan sakit kepala.

3) Kontak probable

Seseorang dalam pengawasan yang sedang melakukan pemeriksaan COVID-19, tetapi hasilnya inkonklusif atau hasil terkonfirmasi positif *pancoronavirus* atau *betacoronavirus*.

4) Kontak terkonfirmasi

5) Seseorang yang melakukan pemeriksaan yang terkonfirmasi COVID-19 (Alhababy, 2016).

g. Pemeriksaan Laboratorium COVID-19

Pemeriksaan laboratorium berperan penting dalam penanganan COVID-19, mulai dari penapisan, diagnosis, pemantauan terapi, penentuan prognosis, sampai dengan surveilans. COVID-19 termasuk kedalam penyakit menular baru sehingga diagnosis klinis yang cepat dan tepat yang dilakukan oleh tenaga kesehatan terutama dokter yang menangani penderita bergejala COVID-19 masih banyak membutuhkan informasi baru, sehingga dibutuhkan parameter pemeriksaan penunjang, terutama pemeriksaan laboratorium dalam mendiagnosis COVID-19 (Magfiroh et al., 2024).

1) Pemeriksaan Rapid Antigen

Pemeriksaan Rapid Antigen ini dilakukan untuk mendeteksi protein *Nucleocapsid* (N) dan protein *spike* (S) pada antigen virus. Pemeriksaan ini merupakan pemeriksaan paling tepat saat awal infeksi karena antigen akan terdeteksi pada saat virus aktif bereplikasi. Sampel yang mengandung antigen SARS-

CoV-2 akan berikatan dengan antibodi monoclonal pada strip uji lalu pada area uji akan menghasilkan warna sebagai tanda visual (Alhababy, 2016).

2) Pemeriksaan Rapid Antibodi

Pemeriksaan Rapid Antibodi merupakan pemeriksaan yang digunakan untuk menemukan adanya antibodi sebagai respons pada infeksi SARS-CoV-2 yaitu IgM dan IgG yang muncul dalam darah seseorang. Tes antibodi ini bertujuan untuk skrining atau surveilans bukan sebagai diagnostik karena tes antibodi ini dapat mengakibatkan reaksi hilang patogen yang menyebabkan reaksi palsu. COVID-19 memiliki antibodi yang dapat dideteksi sebelum 7-10 hari setelah timbulnya gejala (Alhababy, 2016).

3) Pemeriksaan Hematologi

Pemeriksaan Hematologi ialah pemeriksaan penunjang diagnostik yang dapat digunakan untuk melihat tingkat keparahan penyakit pada pasien COVID-19. Pemeriksaan hematologi terdiri dari pemeriksaan eritrosit, leukosit, hemaglobin, hematokrit, indeks eritrosit dan trombosit, leukosit diferensial yang terdiri dari *neutrophil*, *basophil*, *eosinophil*, *lymphocyte*, dan *monocyte* (Alhababy, 2016).

4) Pemeriksaan Imunoserologi

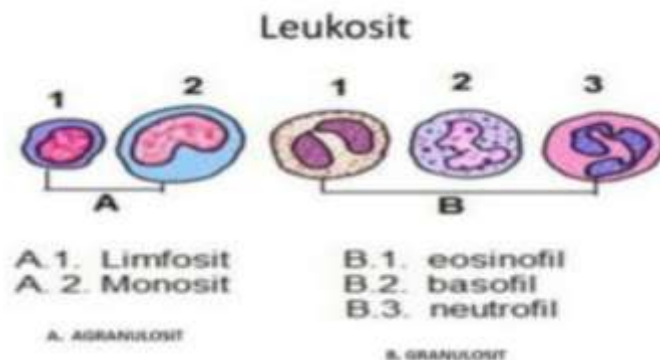
Pemeriksaan Imunoserologi dilakukan untuk mendeteksi IgG, IgM atau total antibodi terhadap SARS-CoV-2 dalam serum, plasma dan darah. Pemeriksaan serologi dapat menilai setelah pajanan virus selama 7-11 hari. Tes imunoserologis yaitu pada tes penanda inflamasi terdiri dari tes *C-Reactive Protein* (CRP) dan pemeriksaan *procalcitonin* (PCT) yang tersedia saat ini memanfaatkan beberapa teknik seperti *Fluorescent Immunoassay* (FIA), *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) dan *Enzyme Chemiluminescence Immunoassay* (ELCIA) (Alhababy, 2016).

Tidak terdapat perbedaan antara pemeriksaan imunoserologi dengan rapid test, keduanya sama – sama menggunakan antigen dan antibodi untuk melakukan screening pemeriksaan. Sensitivitas pada pemeriksaan imunoserologi lebih baik dibandingkan dengan penggunaan rapid test. Penggunaan metode imunoserologi menggunakan alat yang canggih dengan teknisi terlatih sehingga memerlukan waktu yang lebih lama dibandingkan menggunakan rapid test (Magfiroh *et al.*, 2024).

2. Leukosit

a. Definisi Leukosit

Leukosit, atau sel darah putih, merupakan komponen penting dari sistem kekebalan tubuh. Pada infeksi COVID-19, jumlah dan jenis leukosit dalam darah bisa berubah. Beberapa pola perubahan leukosit yang umum terjadi pada pasien COVID-19 termasuk Peningkatan Jumlah Leukosit (Leukositosis) ini bisa terjadi pada fase awal infeksi atau saat tubuh berusaha melawan virus. Leukosit pada pasien COVID-19 mengalami Penurunan di-sebut (Leukopenia), terutama sel limfosit, yang dapat menunjukkan respons imun yang terganggu atau infeksi berat. Perubahan profil leukosit di dapat perubahan dalam jenis leukosit, seperti peningkatan neutrofil dan penurunan limfosit, yang dapat mencerminkan reaksi inflamasi atau stres (Sylvana, *et al.* 2020).



Gambar 2. 1 Sel Agranulosit dan Granulosit

Sumber: (Annisa, 2024)

Pada infeksi yang disebabkan virus atau bakteri di dalam tubuh sering mengakibatkan terjadinya leukositosis. Infeksi akut, nekrosis jaringan dan leukimia. Leukopenia sering terjadi akibat penurunan produksi total leukosit di sumsum tulang atau peningkatan kerusakan sel darah putih. Leukopenia biasanya terjadi karena penyakit hematopoetik (anemia aplastik, anemia permisiosa, hipersplenisme), defisiensi imun, kerusakan hati atau kerusakan limpa dapat menyebabkan infeksi virus dan agranulositosis. Leukosit dibagi menjadi dua golongan yaitu memiliki granula dan tidak memiliki granula. Basofil, eosinofil, neutrofil, limfosit dan monosit merupakan lima jenis tipe berdasarkan bentuk leukosit. Basofil, eosinofil dan neutrofil termasuk dalam jenis leukosit yang memiliki granula, sedangkan limfosit dan monosit termasuk ke dalam jenis leukosit yang tidak memiliki granula (Sylvana, *et al.* 2020).

b. Jenis - jenis Leukosit

1) Basofil

Basofil jumlahnya 0-1% dari leukosit didarah, berbentuk bulat berdiameter $14\mu\text{m}$, inti satu, memiliki susunan yang tidak teratur, granula dengan ukuran yang bervariasi sehingga nukleus tertutup dan granula basofilik. Basofil terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 2 Basofil

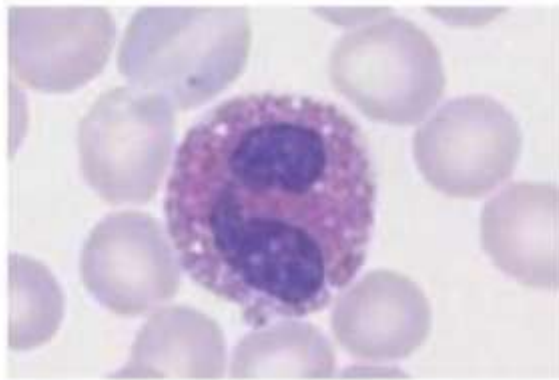
Sumber: (Annisa, 2024)

Basofil memiliki peran dalam perlindungan terhadap infeksi cacing tetapi juga terlibat dalam alergi, anafilaksis, dan peradangan kronis.

Peningkatan basofil dalam darah jarang terjadi, namun peningkatan basofil terjadi karena kelainan mieloproliferatif seperti leukemia myeloid kronik atau polisitemia vera, (Reza *et al.*, 2022).

2) Eosinofil

Eosinofil memiliki ukuran lebih besar dari neutrofil yaitu berukuran $16\mu\text{m}$, granula sitoplasma lebih kasar dan bersifat eosinofilik sehingga pada pewarnaan giemsa akan berwarna merah. Eosinofilik jumlahnya 1-3% didarah. Eosinofilik terlihat pada gambar dibawah ini (Sylvana, *et al.* 2020).



Gambar 2. 3 Eosinofil

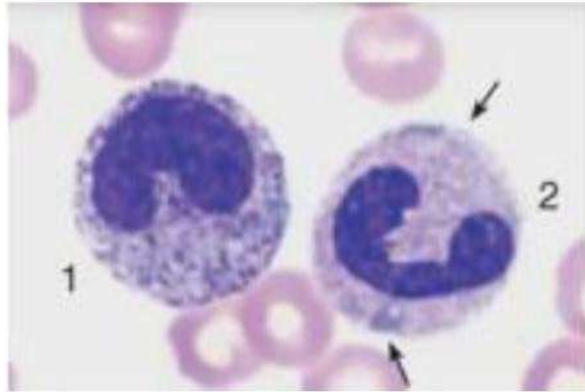
Sumber: (Annisa, 2024)

Eosinofil berperan sebagai mediator penting terhadap reaksi alergi dan penting dalam pertahanan terutama pada infeksi cacing karena eosinofil meningkat pada infeksi cacing. Sel eosinofil dapat bertahan hidup selama 8-12 jam (Sylvana, *et al.* 2020).

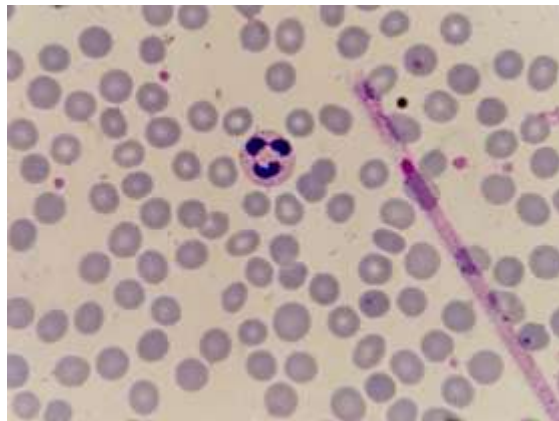
3) Neutrofil

Neutrofil diproduksi di sumsum tulang dan bersirkulasi dalam darah sebelum bermigrasi di jaringan. Neutrofil jumlahnya 50-70% dari leukosit di darah sebagian besar neutrofil memiliki inti yang terbagi menjadi dua hingga lima lobus yang dipisahkan satu sama lain oleh filamen tipis. Neutrofil terbagi dalam dua jenis yaitu neutrofil batang dan neutrofil segmen. Neutrofil berdiameter $14\mu\text{m}$, memiliki granula neutrofil yang berbentuk butiran halus tipis.

Neutrofil batang terlihat pada gambar dan neutrofil segmen terlihat pada gambar dibawah ini (Sylvana, *et al.* 2020).



Gambar 2. 4 Neutrofil Batang
Sumber: (Annisa, 2024)



Gambar 2. 5 Neutrofil Segmen
Sumber: (Annisa, 2024)

Neutrofil memiliki peran yang penting yaitu sebagai fagositosis dan pembersih debris. Sel neutrofil dapat bertahan hidup selama 6-10 jam (Sylvana, *et al.* 2020).

4) limfosit

Limfosit adalah leukosit terkecil, berdiameter sekitar 12 μ m. Limfosit jumlahnya 50-70% dari leukosit di darah, tidak bergranula dengan inti besar, dihasilkan oleh jaringan limfatik yang berperan dalam imunitas seluler. Limfosit terdapat dua jenis yaitu

limfosit T dan limfosit B, limfosit B diproduksi di dalam sumsum tulang yang berperan sebagai imunitas humoral sedangkan limfosit T diproduksi didalam kelenjar timus yang berperan untuk imunitas seluler. Peningkatan limfosit terjadi pada leukemia limfositik, infeksi virus, bakteri dan infeksi kronik limfosit terlihat pada gambar dibawah ini (Sylvana, *et al.* 2020).



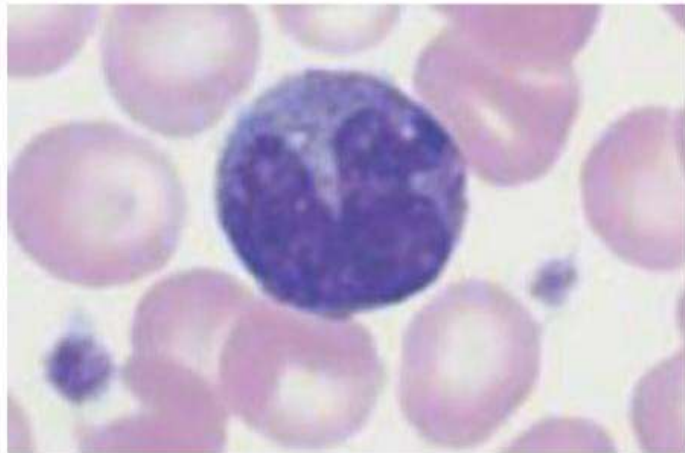
Gambar 2. 6 Limfosit

Sumber: (Annisa., 2024)

Limfosit B berperan dalam membuat antibodi yang mengikat patogen, sedangkan limfosit T berperan sebagai tanggapan ketahanan kekebalan tubuh (Sylvana. *et al.* 2020).

5) Monosit

Monosit adalah leukosit terbesar yang memiliki diameter sekitar 18 μ m. Inti berbentuk padat dan berlekuk, sitoplasma tidak mengandung granula. Granula azurofilik, sel monosit dapat bertahan hidup selama 20-40 jam dalam sirkulasi. Monosit terlihat pada gambar dibawah ini (Sylvana, *et al.* 2020).



Gambar 2. 7 Monosit

Sumber: (Annisa, 2024)

Monosit adalah sel fagositik bagian dari sistem kekebalan bawaan. Fungsinya mempertahankan kapasitas proliferasi, berdiferensiasi menjadi makrofag dan sel khusus lainnya dari sistem retikuloendotelial (Sylvana, *et al.* 2020).

c. Mekanisme Infeksi

Virus SARS-CoV-2 pada manusia dapat menyerang pada saluran pernapasan terutama pada sel yang dilapisi alveoli. Virus masuk ke dalam sel akan bereplikasi lalu akan dilepaskan, dan ketika virus dilepaskan akan memicu reaksi inflamasi, kemudian sel darah akan masuk kedalam jaringan paru lalu dilepaskan sitokin proinflamasi. Reaksi inflamasi pada kondisi yang berat maka semakin berat. Oleh karena itu leukosit mengindikasikan tingkat keparahan penyakit atau kematian (Capinera, 2021).

d. Faktor Yang Mempengaruhi Jumlah Leukosit

Jumlah leukosit bisa lebih tinggi atau rendah, Jumlah leukosit dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Sumsum tulang dapat menghambat atau menghentikan memproduksi leukosit jika terpajan bahan toksik kimia tertentu atau radiasi berlebihan. Selain itu jumlah leukosit juga dapat dipengaruhi karena usia, infeksi, perdarahan dan anemia (Capinera, 2021).

e. **Hitung Jenis Leukosit Pada COVID-19**

Leukosit adalah sel yang memiliki fungsi utama menjaga imunitas tubuh. Leukosit terdiri dari 5 jenis yaitu eosinofil, basofil, neutrofil, limfosit, dan monosit.

1) Kadar Leukosit pada pasien COVID-19

Sebuah studi meneliti sampel 41 orang yang terbagi menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok pasien ICU dan kelompok pasien non-ICU. Pada kelompok pasien ICU, didapatkan sebanyak 54% mengalami leukositosis (leukosit $>10 \times 10^9/L$). Sedangkan pada kelompok non-ICU, didapatkan sebanyak 48% mempunyai kadar leukosit yang normal ($4-10 \times 10^9/L$). Studi lain dengan jumlah sampel 67 orang, meneliti 2 kelompok pasien, yaitu kelompok pasien ICU (9 pasien) dan kelompok pasien non-ICU (58 pasien). Pada kelompok pasien ICU, sebanyak 55,6% (5 pasien) mempunyai kadar leukosit $>4 \times 10^9/L$ sedangkan pada kelompok pasien non-ICU, sebanyak 73,2% (41 pasien) mempunyai kadar leukosit dalam rentang $2-4 \times 10^9/L$.

Berdasarkan studi-studi di atas, kadar leukosit akan cenderung lebih tinggi pada pasien yang dirawat di ICU daripada pasien di ruang rawat biasa. Namun, belum dapat dikonfirmasi apakah jumlah leukosit yang tinggi merupakan prediktor pasien yang akan membutuhkan ICU atau hanya terjadi akibat *acute respiratory syndrome (ARDS)*/pneumonia yang akhirnya dirawat di ICU, (Capinera, 2021).

2) Kadar Neutrofil pada Pasien COVID-19

Nilai neutrofil sangat berperan dalam menentukan tingkat keparahan COVID-19. Banyak studi menggunakan parameter ini sebagai skrining dan monitoring tingkat keparahan penyakit COVID-19. Neutrofilia, yaitu hitung jenis neutrofil di atas rentang normal, merupakan prediktor pemburukan pasien COVID-19. Sebuah studi dengan 60 pasien di Wuhan, didapatkan nilai rerata neutrofil absolut yaitu $2,8 \times 10^9/L$. Persentase pasien COVID-19 dengan kadar

neutrofil absolut di bawah rentang normal ($1,8-6,3 \times 10^9/L$) adalah sebanyak 11 pasien (21%) sedangkan persentase pasien COVID-19 dengan kadar neutrofil absolut di atas rentang normal adalah sebanyak 7 pasien (13%). Studi lain di daerah yang sama dengan sampel 40 orang, menyatakan bahwa kadar neutrofil absolut secara signifikan lebih tinggi pada kasus COVID-19 yang parah daripada kasus yang ringan. Besarnya peningkatan kadar neutrofil absolut dapat menunjukkan intensitas respons inflamasi pada pasien COVID-19, (Capinera, 2021).

3) Kadar Limfosit pada Pasien COVID-19

Limfosit, yaitu sel T ($CD4^+$, $CD8^+$), sel B, dan sel NK (*natural killer*), berperan untuk menjaga sistem imunitas tubuh, termasuk infeksi virus. Apabila virus menginfeksi maka sel tersebut akan mengalami perubahan, baik dalam bentuk maupun jumlah. Studi yang dilakukan pada 60 pasien COVID-19 dengan pneumonia, ditemukan bahwa rerata kadar limfosit absolut pasien COVID-19 ($0,8 \times 10^9/L$) lebih rendah dari rentang normal ($1,1-3,2 \times 10^9/L$). Kasus yang parah memiliki total limfosit yang lebih rendah. Studi lainnya menunjukkan bahwa dari 40 pasien COVID-19, 13 pasien termasuk kasus yang parah dan menunjukkan penurunan jumlah limfosit yang signifikan dan berkelanjutan. Nilai rerata limfosit pada kasus yang parah adalah $0,6 \times 10^9/L$ dan pada kasus yang ringan adalah $1,1 \times 10^9/L$. Dari beberapa studi di atas dapat disimpulkan bahwa parameter ini baik dijadikan sebagai skrining, pendukung diagnostik, dan monitoring tingkat keparahan penyakit (Capinera, 2021).

4) *Neutrophil-Lymphocyte Ratio* (NLR)

Sebuah studi retrospektif dengan sampel 93 pasien menyatakan bahwa NLR adalah parameter yang dapat memengaruhi prognosis penyakit COVID-19 ke arah pemburukan. Pada studi ini dilakukan pembagian kelompok antara infeksi COVID-19 akut dan kronik,

penelitian ini menunjukkan bahwa nilai NLR berhubungan dengan luaran klinis pasien COVID-19 dan peningkatan nilai NLR dapat dijadikan parameter prognostik independen untuk pasien dengan infeksi COVID-19 (Capinera, 2021).

5) Respon imun terhadap infeksi SARS-CoV-2

Respons imun terhadap SARS-CoV-2 sangat penting untuk pengembangan vaksin. Kumpulan epitop kelas I dan II HLA telah digunakan untuk mendeteksi sel T CD4 dan CD8 pada 70% pasien COVID yang sembuh. Respon CD4 terhadap protein Spike SARS-CoV-2 berkorelasi dengan besarnya titer imunoglobulin antivirus meskipun respon sel T juga ditemukan terhadap M, N, dan protein virus terbuka. Menariknya, 40–60% individu yang tidak terpapar SARS-CoV-2 juga memiliki respons sel CD4 terhadap SARS-CoV-2 yang menunjukkan tingkat reaktivitas silang antara Coronavirus. Fase awal infeksi virus SARS-CoV-2, setelah virus memasuki sel inang mereka akan dikenali oleh PRR. Setelah pengikatan ligan, PRR merekrut protein adaptor yang mengaktifkan faktor transkripsi hilir penting yang akan menghasilkan produksi Interferon antivirus IFN-I, IFN-III dan kemokin. Kemokin ini akan menarik lebih banyak sel imunitas bawaan seperti sel leukosit polimorfonuklear, monosit, sel NK, sel DC yang juga menghasilkan kemokin seperti MIG, IP-10, dan MCP-1 yang akan merekrut limfosit, dimana pada gilirannya akan mengenali antigen virus yang disajikan oleh DC. Menstimulus terbentuknya respon imun adaptif. Presentasi antigen virus ini pada sel T akan menstimulasi imunitas humoral untuk memproduksi antibodi penetralisir spesifik dan menstimulasi produksi sitokin pada imunitas seluler untuk aktivasi sel T sitotoksik yang berfungsi dalam mengeliminasi virus. Infeksi respon imun terhadap SARS-CoV-2 dan mekanisme imunopatologisnya dijelaskan lebih lanjut untuk menentukan strategi terapeutik untuk COVID-

19. SARS-CoV-2 sangat mirip dengan SARS-CoV dan MERS-CoV dan gejalanya juga mirip antara satu dengan yang lain. Namun, ada beberapa perbedaan yang terdapat antara jenis Coronavirus ini yang penting dalam pengendalian pandemik dan perawatan pasien (Tibar *et al.*, 2023).