

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebisingan

2.1.1 Definisi Kebisingan

Kebisingan adalah suara dengan intensitas yang tinggi. Menurut Permenkes No. 718 tahun, (1987), kebisingan merupakan suara yang tidak diinginkan sehingga berdampak mengganggu dan membahayakan kesehatan. Secara umum, kebisingan merupakan faktor utama masalah lingkungan yang berdampak negatif pada kehidupan sosial dan kesehatan.

Dengan ini menunjukkan bahwa kebisingan merupakan suara yang tidak dikehendaki atau tidak sesuai dari suatu kejadian pada saat tertentu, yang dapat mengganggu kesehatan dan kenyamanan lingkungan (Gayatri et al., 2025). Dalam konteks lingkungan, kebisingan dapat muncul dari kegiatan industri, transportasi, dan hiburan seperti *sound horeg* (musik dengan intensitas tinggi) yang dapat menyebabkan gangguan sosial dan kesehatan. Menurut informasi dari Kumparan, (2023) terdapat jenis-jenis kebisingan, sebagai berikut :

1. *Steady State Noice*

Jenis kebisingan ini merupakan suara yang berulang secara terus-menerus tanpa henti, tidak lebih dari 6 dB. Seperti suara kipas angin, air cooler atau air conditioner (AC) dan lain sebagainya. Kebisingan ini memiliki frekuensi yang tetap dan berlangsung dalam waktu lama.

2. *Impulse Noice*

Impulse noice merupakan suara kebisingan yang muncul tiba-tiba dengan frekuensi yang keras dan dalam waktu yang singkat. Seperti suara ledakan, kembang api, suara tembakan senjata dan lain-lain.

3. *Interrupted Noice*

Kebisingan ini memiliki frekuensi yang tidak teratur (mengeras dan melemah) tidak seperti *steady state noice* yang frekuensinya tetap. Contohnya suara transportasi di jalan raya, pesawat terbang yang akan lepas landas, *sound* horeg serta yang lainnya.

2.1.2 Nilai Ambang Batas (NAB) Kebisingan

Nilai Ambang Batas (NAB), merupakan ukuran standar untuk faktor risiko di lokasi kerja. Hal ini diukur sebagai intensitas rata-rata tertimbang waktu (*time weighted average*) yang dapat diterima oleh pekerja tanpa menimbulkan masalah kesehatan (Permenaker RI No. 5 Tahun, 2018). Ditetapkan bahwa NAB kebisingan sebesar 85 decibel (dB) dalam waktu 8 jam sehari (Kemnakertrans RI No. PER 13, 2011). Selain itu, pada kawasan pemukiman pemerintah menetapkan ambang batas aman sebesar 55 dB (Kepmen LH RI No. Kep 48, 1996). Metode pengukuran yang digunakan adalah *sound level meter* yang dapat diukur dalam satuan decibel (dB) (Kepmen LH RI No. Kep 48 Tahun, 1996).

Pada tikus, batas aman kebisingan per harinya sebesar 55-70 dB (Turner & Manker, 2024). Penelitian sebelumnya mengatakan jika tingkat

kebisingan 85-95 dB selama lebih dari 60 menit per hari dapat menimbulkan masalah kesehatan pada tikus yaitu stres (Zica et al., 2025).

2.1.3 Fenomena *Sound Horeg*

Menurut Kamus Bahasa Jawa-Indonesia (KBJI) oleh Kemendikbud, horeg artinya bergerak atau bergetar. Adapaun definisi *sound horeg*, sebuah sistem suara dengan intensitas tinggi yang kerap dipakai dalam berbagai kegiatan masyarakat, terutama di Jawa Timur (Parikesit et al., 2025). Penamaan *sound horeg* pada awalnya merujuk pada suara dengan tingkat volume rendah, namun seiring berjalannya waktu, kebiasaan ini mulai mengalami perubahan. Hal ini yang menyebabkan lahirnya tradisi *sound horeg*, yaitu suara yang besar dengan intensitas tinggi yang sering digunakan dalam berbagai acara seperti pawai, karnaval mberot sholawat, dan berbagai kegiatan lainnya (Fauzi et al., 2024).

Fenomena *sound horeg* telah menjadi hal yang banyak dibicarakan dalam dunia hiburan di Indonesia. Banyak yang suka, tetapi juga ada banyak orang yang khawatir tentang masalah kebisingan yang ditimbulkannya (Milagsita, 2024). Studi menunjukkan bahwa tingkat suara *sound horeg* mencapai 120-140 dB (Suhala et al., 2025). Hal itu jauh melebihi dari ambang batas aman yang sudah diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 untuk kawasan pemukiman yaitu sebesar 55 dB (Kepmen LH RI No.Kep 48, 1996).



Gambar 2. 1 Sound horeg

2.1.4 Dampak Kebisingan *Sound Horeg*

Dampak dari kebisingan sound horeg tidak bisa dianggap sepele. Fenomena *sound horeg* dapat memicu konflik sosial, mengganggu keamanan masyarakat, dan bahkan merusak fasilitas umum. Hal ini dapat menimbulkan keresahan dan perdebatan di berbagai kelompok masyarakat (Parikesit et al., 2025). Kebisingan dengan intensitas tinggi seperti *sound horeg* juga dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang serius seperti gangguan pendengaran, hipertensi, gangguan tidur hingga stres (Welch et al., 2023).

2.1.5 Kebisingan *Sound Horeg* sebagai Stressor

Kebisingan adalah salah satu jenis pencemaran lingkungan yang bisa berdampak besar pada kesehatan manusia, baik dari segi fisiologis maupun psikologis. Salah satu tipe kebisingan yang sekarang sedang ramai di masyarakat adalah *sound horeg*. Ini adalah sistem audio yang memiliki daya besar dan biasanya dipakai dalam berbagai acara. Tingkat kebisingan dengan intensitas tinggi ini dapat menyebabkan tekanan fisiologis dan psikologis, apalagi jika paparan berlangsung lama dan berulang.

Menurut model reaksi kebisingan yang dibahas oleh Babisch pada tahun 2003 dan diperbarui oleh Arregi et al., (2024), kebisingan dapat

mempengaruhi kesehatan dengan dua cara utama, yaitu cara langsung dan tidak langsung. Cara langsung, terkait dengan suara yang sangat keras yang bisa menyebabkan masalah fisik seperti hipertensi dan gangguan tidur. Di sisi lain, cara tidak langsung berhubungan dengan cara orang merasakan kebisingan, yang bisa membuat mereka merasa terganggu, depresi, mengganggu fokus dan kenyamanan mereka.

Paparan kebisingan *sound* horeg yang keras dan tiba-tiba dapat mengaktifkan sistem saraf simpatis dan sumbu *Hipotalamus Hipofisis Adrenal* (HPA), yang kemudian membuat hormon stres seperti adrenalin, noradrenalin, dan kortisol bereaksi. Jika kejadian ini terus terjadi berulang kali, sistem HPA tidak bisa beradaptasi lagi, dan itu bisa menyebabkan stres kronik (Sivakumaran et al., 2022).

Hasil penelitian pada hewan uji (tikus), menunjukkan bahwa paparan suara keras (kebisingan) meningkatkan kerja enzim oksidatif di otak dan dapat mengganggu kemampuan sistem kekebalan tubuh (Arregi et al., 2024).

2.1.6 Stres Psikologis dan Fisiologis Akibat Kebisingan *Sound* Horeg

Stres psikologis adalah saat seseorang merasakan beban emosional, pikiran, atau mental karena adanya perbedaan antara apa yang diharapkan dari lingkungan dan kemampuan dirinya untuk menghadapinya (American Psychological Association, 2021). Stres psikologis itu berbeda-beda untuk setiap orang karena tergantung pada bagaimana seseorang melihat sumber stres. Dalam hal ini, suara dari *sound* horeg yang bisa mencapai tingkat keras

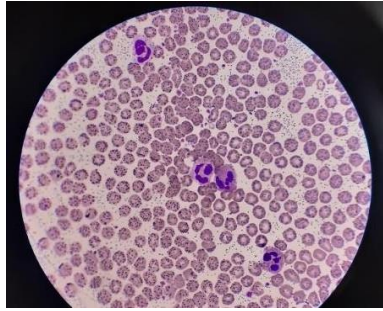
120–135 dB bisa membuat orang merasa terganggu, cemas, gangguan tidur, dan depresi jika mereka mendengarnya (Apriliyanti et al., 2025).

Selain mempengaruhi psikologis, kebisingan juga menyebabkan stres fisiologis, yaitu reaksi tubuh secara biologis terhadap tekanan dari lingkungan yang melibatkan perubahan pada sistem saraf dan sistem hormon. Paparan kebisingan dengan intensitas tinggi seperti *Sound Horeg* dapat membuat tubuh merasa stres karena dianggap sebagai ancaman. Ini akan mengaktifkan bagian dari sistem saraf yang bernama sistem saraf simpatis dan juga *Hipotalamus Hipofisis Adrenal* (HPA). Ketika ini terjadi, tubuh mulai melepaskan hormon stres seperti adrenalin, noradrenalin, dan kortisol. Jika suara bising dibiarkan terus-menerus, kadar hormon stres di dalam tubuh akan meningkat. Ini dapat menyebabkan lebih banyaknya radikal bebas (*reactive oxygen species*), serta inflamasi di seluruh tubuh yang terlihat dari meningkatnya jumlah sitokin seperti IL-6 dan CRP (*C-Reactive Protein*). Kondisi ini membuat pembuluh darah tidak berfungsi dengan baik dan bisa mengakibatkan masalah jantung, otak dan sistem kekebalan tubuh (Hahad et al., 2019).

2.2 Leukosit

2.2.1 Definisi Leukosit

Sel darah putih, yang juga disebut leukosit, merupakan komponen penting dari sistem pertahanan tubuh. Fungsi utamanya adalah melindungi tubuh dari zat asing (antigen), menghancurkan sel-sel yang tidak normal, dan membantu menjaga keseimbangan sistem imun (Sooriyaarachchi et al., 2023).



Gambar 2. 2 Sel Leukosit di Bawah Mikroskop (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

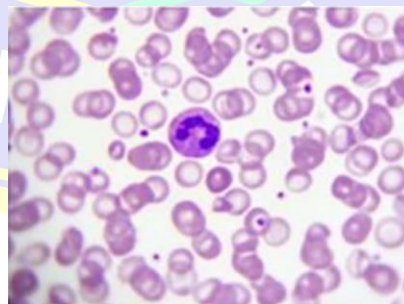
Sel ini diproduksi melewati hematopoiesis di sumsum tulang dan dapat ditemukan di pembuluh darah (Akinyemi et al., 2024). Proses ini terjadi di dalam sumsum tulang dan dimulai dari sel punca yang disebut sel punca hematopoietik. Sel-sel ini kemudian berkembang menjadi progenitor mieloid dan limfoid. Progenitor mieloid menciptakan granulosit, seperti neutrofil, eosinofil, serta basofil, dan juga menghasilkan monosit yang bisa berubah menjadi makrofag atau sel dendritik. Di sisi lain, progenitor limfoid menghasilkan limfosit B, limfosit T, dan sel natural killer (Mutia Hariani Nurjanah et al., 2025).

Jumlah normal leukosit pada manusia adalah 5.000 – 10.000 sel/ μ L darah dengan masa hidup selama 4-5 hari (Aliviameita & Puspitasari, 2019). Sedangkan pada *Rattus norvegicus* jumlah leukosit normal adalah 5.000-13.000 sel/ μ L darah (Putri et al., 2022). Jumlah tersebut dapat mengalami kenaikan yang disebut dengan leukositosis dan penurunan (leukopenia). Leukositosis sering terjadi karena adanya infeksi, inflamasi, stres dan leukemia. Di sisi lain, leukopenia sering muncul karena infeksi virus, penggunaan obat, masalah di sumsum tulang dan imunodefisiensi (Li et al., 2024). Terdapat dua metode yang dapat digunakan dalam pemeriksaan

jumlah leukosit, manual (*hemocytometer*) dan *automatic (hematology analyzer / darah lengkap)*.

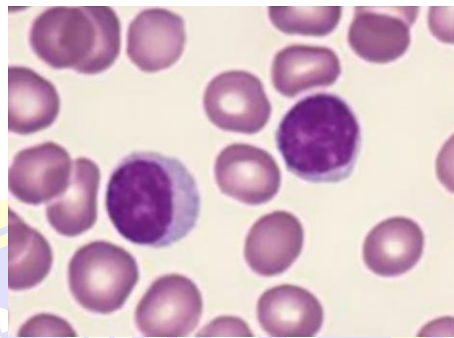
Leukosit merupakan sel darah yang mempunyai inti sel (Aliviameita & Puspitasari, 2019). Selain itu leukosit mempunyai bagian-bagian lain, dibagi menjadi dua kelompok yaitu granulosit dan agranulosit. Setiap kelompok memiliki cara yang berbeda untuk menyerang antigen penyebab penyakit. Neutrofil, basofil dan eosinofil adalah granulosit. Sedangkan, limfosit dan monosit adalah agranulosit. Pada keadaan normal terdapat lima jenis leukosit dalam darah yaitu neutrofil, limfosit, eosinofil, monosit, eosinofil dan limfosit (Asghar et al., 2024). Berikut jenis-jenis leukosit :

- a) Neutrofil adalah jenis sel darah putih yang paling banyak di dalam peredaran darah. Sel ini memiliki masa hidup sekitar 10 jam di dalam tubuh, ini termasuk singkat. Lebih singkat lagi ketika neutrofil aktif menelan antigen, yaitu hanya menjadi 30 menit . Dalam pengamatan mikroskop, neutrofil dapat dikenali karena memiliki butiran kecil di dalam sitoplasma dan inti sel yang memiliki beberapa segmen. Jenis leukosit ini termasuk dalam kelompok granulosit (Asghar et al., 2024).



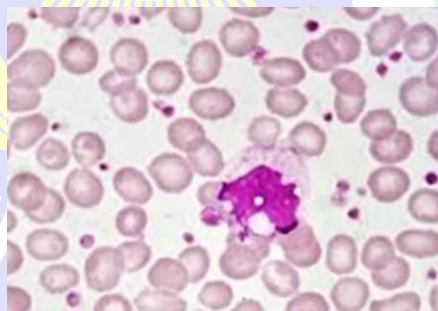
Gambar 2. 3 Neutrofil (Sumber : Asghar et al., 2024)

- b) Limfosit memiliki masa hidup seminggu hingga beberapa bulan. Limfosit adalah jenis sel yang tidak memiliki butiran dan memiliki inti besar berbentuk bulat yang mengisi hampir seluruh selnya, serta memiliki sedikit sitoplasma (Asghar et al., 2024).



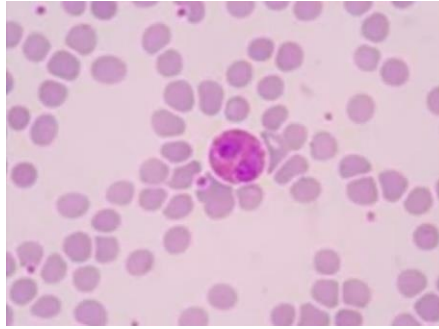
Gambar 2. 4 Limfosit (Sumber : Asghar et al., 2024)

- c) Monosit hanya berada dalam aliran darah selama satu hari sebelum mereka pergi ke tempat lain dan berubah menjadi makrofag. Monosit adalah jenis sel darah putih terbesar yang tidak memiliki butiran, dengan bentuk inti yang menyerupai ginjal atau oval dan memiliki banyak cairan di sitoplasma (Asghar et al., 2024).



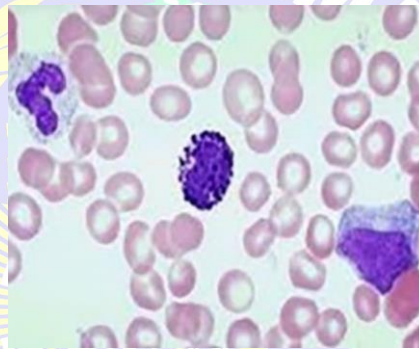
Gambar 2. 5 Monosit (Sumber : Asghar et al., 2024)

- d) Masa hidup eosinofil hanya sekitar 12 jam bahkan kurang. Eosinofil adalah jenis sel darah putih yang memiliki butiran besar berwarna oranye dan biasanya memiliki inti berbentuk dua lobus (Asghar et al., 2024).



Gambar 2. 6 Eosinofil (Sumber : Asghar et al., 2024)

- e) Basofil mempunyai masa hidup selama 1-2 hari. Basofil adalah jenis sel darah putih yang paling jarang ada dan memiliki butiran besar berwarna biru tua yang bisa menutupi bagian dalamnya (Asghar et al., 2024).



Gambar 2. 7 Basofil (Sumber : Asghar et al., 2024)

2.2.2 Fungsi Leukosit

Fungsi utama leukosit adalah untuk melindungi tubuh dari zat asing (antigen), menghancurkan sel-sel yang tidak normal, dan membantu menjaga keseimbangan sistem imun (Sooriyaarachchi et al., 2023). Leukosit dapat melawan kuman yang telah diketahuinya dan bersifat khusus, seperti virus HIV, bakteri yang menyebabkan TBC, dan sel kanker. Leukosit juga bisa menghancurkan dan membersihkan sel-sel tubuh yang

sudah mati (Aliviameita & Puspitasari, 2019). Setiap jenis leukosit memiliki fungsi dan perannya masing-masing berikut penjelasannya :

- a) Neutrofil, adalah pertahanan terdepan (*first line of defense*). Neutrofil berfungsi untuk melawan zat asing (antigen) yang masuk ke dalam tubuh, terutama dalam hal infeksi sehingga penting sebagai respon inflamasi. Jenis sel ini merupakan yang paling banyak di dalam darah sekitar 60-70% (Mutia Hariani Nurjanah et al., 2025) . Respon inflamasi di tubuh ditandai dengan meningkatnya jumlah neutrofil (Tunjung et al., 2023). Neutrofil yang sudah matang disebut segmen dan yang belum matang disebut stab.
- b) Basofil, memiliki peran yang penting dalam reaksi alergi yang cepat. Selain itu, berfungsi sebagai melindungi tubuh dari alergen dan parasit (Aliviameita & Puspitasari, 2019). Jenis sel ini merupakan yang paling sedikit berada di dalam darah yaitu hanya sekitar 0-3% (Mutia Hariani Nurjanah, et al., 2025).
- c) Eosinofil, dapat menyerang berbagai jenis parasit seperti cacing selain itu eosinofil berperan sebagai respon penyakit parasit dan alergi (Aliviameita & Puspitasari, 2019). Hal ini ditandai dengan meningkatnya jumlah eosinofil (eosinofilia) (Gazzinelli-guimaraes et al., 2024).
- d) Monosit, jumlah monosit dalam darah berkisar sekitar 3-8% dari keseluruhan jumlah leukosit. Disini, sel monosit yang sudah matang melakukan tugas utamanya yaitu menghancurkan zat asing. Dalam jaringan, monosit bisa bertahan hidup antara beberapa hari sampai

beberapa bulan dengan bentuk yang berubah-ubah (Aliviameita & Puspitasari, 2019).

- e) Limfosit, merupakan sel imun utama yang berasal dari sel punca hemopoietik. Sel ini berdiferensiasi menjadi sel B (berperan dalam imunitas humoral) dan sel T (berperan dalam imunitas seluler) (Aliviameita & Puspitasari, 2019).

2.2.3 Pemeriksaan Jumlah Leukosit

Banyak penyakit yang disebabkan oleh gangguan jumlah leukosit seperti infeksi, kanker, dan penyakit autoimun (S. H. Liu et al., 2025). Terdapat dua jenis gangguan pada jumlah leukosit yaitu kenaikan jumlahnya (leukositosis) dan penurunan (leukopenia). Hal ini penting diketahui untuk membantu menegakkan diagnosis pemeriksaan. Untuk mengetahui jumlah leukosit dilakukan pemeriksaan berupa menghitung jumlah dan total jenis sel nya (*diffcount*).

Pemeriksaan jumlah sel darah putih digunakan sebagai langkah pertama untuk melihat apakah ada infeksi akut dan seberapa serius infeksi itu. Jumlah sel darah putih yang tinggi berkaitan erat dengan meningkatnya risiko masalah lebih lanjut pada infeksi. Hal ini menunjukkan bahwa sel darah putih memiliki peran yang sangat penting sebagai tanda awal inflamasi dalam tubuh (Kazantzis et al., 2025).

Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengetahui jumlah sel leukosit yaitu metode manual (*hemocytometer*) dan *automatic* (*hematology analyzer*).

a) Metode manual (mikroskopis), pemeriksaan ini menggunakan mikroskop dan menghitung manual menggunakan slide kamar hitung yang disebut *hemocytometer*. Sediaan dibuat dengan cara sampel darah EDTA diencerkan menggunakan larutan turk yang di dalamnya terdapat kandungan asam asetat glasial, gentian violet, dan aquadest. Larutan ini berfungsi untuk melisis sel-sel lain selain leukosit dan mempunyai kandungan asam dengan pH 2,4 (Dani et al., 2024). Setelah itu sediaan diwarnai dan dihitung jumlah selnya dibawah mikroskop dengan perbesaran 10x lensa objektif.

b) *Automatic (hematology analyzer)*, adalah mesin otomatis yang memakai dasar pengukuran listrik dan analisis cahaya untuk menghitung, mengelompokkan, dan menilai bagian-bagian sel darah dengan cepat dan akurat (Daves et al., 2024). Alat ini memiliki berbagai hasil pengukuran parameter pemeriksaan (bergantung kepada jenis dan merk alat) seperti kadar hemoglobin (Hb), jumlah eritrosit (RBC), jumlah leukosit WBC), jumlah trombosit (PLT), hematokrit (HCT), indeks eritrosit (MCV, MCH, MCHC), dan hitung jenis leukosit (*diffcount*). Pemeriksaan ini lebih dikenal dengan pemeriksaan darah lengkap yang dapat membantu diagnosis penyakit kelainan hematologi dan hasil pengobatannya.

2.2.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Jumlah Leukosit

Sel darah putih memiliki fungsi utama untuk melindungi tubuh dari infeksi, kerusakan jaringan, serta sebagai reaksi terhadap stres fisiologis dan lingkungan. Jumlah sel darah putih dalam tubuh adalah salah satu

tanda penting dari sistem kekebalan tubuh yang dapat bervariasi akibat berbagai alasan internal dan eksternal.

- a) Faktor internal, terdapat berbagai faktor biologis yang dapat mempengaruhi jumlah leukosit dalam tubuh yaitu usia, jenis kelamin dan kondisi tubuh seseorang. Faktor yang paling mempengaruhi adalah kondisi tubuh seseorang seperti obesitas, kebiasaan merokok, gaya hidup, stres, kondisi infeksi, inflamasi dan faktor yang lainnya.
- b) Faktor eksternal, faktor ini melibatkan tahapan pemeriksaan di laboratorium.
 1. Tahapan pra analitik meliputi kesalahan pada saat pengambilan darah, volume darah tidak sesuai, antikoagulan yang digunakan, homogenisasi, sampel darah yang tidak segera di periksa, penyimpanan sampel, serta kesalahan penulisan data atau identitas sampel.
 2. Tahap analitik, metode yang digunakan seperti pada metode manual kebanyakan kesalahan terjadi disebabkan karena human error sehingga dapat mempengaruhi hasil jumlah leukosit.
 3. Pasca analitik, ketidaktepatan dalam pelaporan atau pencatatan hasil juga merupakan faktor yang mempengaruhi hasil jumlah leukosit.

2.2.5 Jumlah Leukosit Sebagai Indikator Inflamasi

Leukosit dapat mengalami kenaikan dan penurunan jumlah, hal ini disebabkan karena leukosit bertugas sebagai pertahanan tubuh. Peningkatan jumlah leukosit dapat disebabkan oleh beberapa hal salah

satunya adalah aktivasi respon inflamasi atau peradangan. Sedangkan, penurunan jumlah leukosit dapat menunjukkan jenis respon imun tertentu atau tekanan fisiologis kronis (Baddam & Burns., 2025). Hal ini dapat terjadi karena paparan zat asing berlangsung lama. Sehingga mengakibatkan leukosit mati (apoptosis) dan akhirnya menyebabkan penurunan jumlah leukosit yang menjadikan organisme rentan dan memperburuk inflamasi (Alotiby, 2024).

Inflamasi adalah respon perlindungan terhadap kerusakan jaringan yang ditandai oleh rubor (kemerahan), calor (panas), tumor (pembengkakan), dolor (nyeri) dan *function laesa* (penurunan fungsi) (Cavaillon, 2021). Terdapat 2 tahapan dalam proses inflamasi yaitu tahap vaskuler dan seluler. Pada tahap seluler, tubuh akan mengaktivasi leukosit menuju ke tempat terjadinya inflamasi melewati peredaran darah, melibatkan mediator respon inflamasi seperti sitokin pro inflamasi ($IL-1\beta$, $TNF-\alpha$, $IFN-\gamma$) yang merangsang sumsum tulang untuk melepaskan leukosit khususnya neutrofil (Bui & Wiesolek, 2020). Hal tersebut menyebabkan meningkatnya jumlah produksi leukosit baru dan mempercepat pelepasan leukosit yang sudah matang. Akibatnya jumlah leukosit dalam darah meningkat (leukositosis).

Peradangan atau inflamasi tidak hanya dapat menyebabkan leukositosis tetapi juga dapat menyebabkan leukopenia yaitu menurunnya jumlah leukosit dalam darah (Alotiby, 2024). Hal ini dapat terjadi karena kondisi tertentu, seperti saat inflamasi kronis. Leukosit banyak digunakan dan dihancurkan di bagian tubuh yang meradang. Aktivasi leukosit yang

berlebihan diikuti oleh kematian sel (apoptosis) setelah mereka melawan antigen menyebabkan jumlah leukosit yang ada dalam darah berkurang lebih cepat daripada jumlah yang diproduksi di sumsum tulang (D. Liu et al., 2022).

2.3 Inflamasi

2.3.1 Definisi Inflamasi

Inflamasi adalah respon biologis terhadap kerusakan pada jaringan, infeksi, atau hal-hal lainnya, yang bertujuan untuk menghapus penyebab masalah dan memulai proses perbaikan pada jaringan (Oronsky et al., 2022). Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa inflamasi adalah respon alami tubuh terhadap luka, penyakit, atau zat asing berbahaya. Tujuan dari proses ini adalah untuk menjaga jaringan agar tidak rusak lebih parah, menghilangkan penyebab luka, dan memulai proses penyembuhan (Megha et al., 2021). Menurut Calhelha et al., (2023), inflamasi bukan hanya reaksi akibat luka, tetapi juga bagian dari sistem imun alami untuk menjaga kesehatan jaringan.

Dari definisi-definisi diatas, disimpulkan bahwa inflamasi adalah reaksi perlindungan tubuh. Tetapi, jika reaksi ini tidak terkontrol, bisa berubah menjadi masalah kesehatan yang lebih serius, seperti inflamasi yang berlangsung lama (kronis), yang bisa menyebabkan penyakit.

Terdapat 2 jenis inflamasi yaitu inflamasi akut dan kronis. Inflamasi akut biasanya terjadi secara cepat yang ditandai dengan kemerahan (rubor), panas (calor), nyeri (dolor) dan bengkak (tumor), penyembuhannya melibatkan neutrofil serta sel imun bawaan (makrofag). Inflamasi kronis

terjadi ketika radang berlangsung dalam waktu yang lama, karena adanya sel-sel imun yang tetap berada di tempat tersebut dan bisa menyebabkan kerusakan pada jaringan yang dapat membentuk jaringan parut (bekas luka yang timbul) (Freund, 2023).

2.3.2 Mekanisme Terjadinya Inflamasi

Menurut Cavaillon, (2021) dalam jurnal *Once Upon a Time, Inflammation*, inflamasi merupakan respon perlindungan tubuh terhadap kerusakan jaringan yang ditandai oleh rubor (kemerahan), calor (panas), tumor (pembengkakan), dolor (nyeri) dan *function laesa* (penurunan fungsi).

Proses inflamasi mulai terjadi saat tubuh menemukan zat asing (antigen) atau cedera pada jaringan. Sel-sel imun bawaan (makrofag) akan cepat mengenali adanya masalah dan mengeluarkan bahan kimia yang disebut mediator peradangan seperti histamin, prostaglandin (senyawa lipid), bradykinin (peptida), dan sitokin pro inflamasi (seperti TNF- α , IL-1, IL-6). Zat-zat inilah yang menyebabkan reaksi pada pembuluh darah dan membawa sel imun ke bagian yang terluka (Poirier et al., 2023). Mekanisme dibagi menjadi dua tahap yaitu :

1. Tahap Vaskuler, terjadi pelebaran pada pembuluh darah (vasodilatasi) yang membuat lebih banyak darah menuju ke daerah yang terluka, inilah yang membuat area tersebut menjadi kemerahan (rubor) dan terasa panas (calor). Kemudian, dinding pembuluh darah menjadi lebih mudah dilewati, sehingga cairan dan protein bisa keluar ke jaringan di sekitarnya. Hal ini menyebabkan terjadinya pembengkakan (tumor) dan

rasa sakit (dolor), karena tekanan di jaringan menjadi lebih tinggi dan zat yang menyebabkan rasa sakit pun dilepaskan.

2. Tahap Seluler, leukosit terutama neutrofil dan makrofag, bergerak menuju tempat peradangan dengan cara yang terarah (kemotaksis). Mereka menempel pada dinding pembuluh darah, lalu masuk ke jaringan untuk memakan (fagositosis) kuman (zat asing) atau sel-sel yang sudah mati. Dalam proses ini, sel-sel imun juga mengeluarkan zat yang memperkuat reaksi inflamasi supaya penyembuhan bisa lebih cepat.

2.4 Hubungan Kebisingan dengan Jumlah Leukosit

Paparan kebisingan dengan intensitas tinggi dan terus-menerus tidak hanya mempengaruhi pendengaran, tetapi juga dapat menyebabkan reaksi stres yang mempengaruhi fungsi dan jumlah leukosit. Proses ini melibatkan hubungan antara sistem saraf, hormon stres, dan sistem kekebalan tubuh. Kebisingan sebagai stressor mengakibatkan aktifnya hormon-hormon stres seperti adrenalin dan kortisol (Sivakumaran et al., 2022). Kedua hormon tersebut dapat merubah kondisi fisiologis tubuh salah satunya adalah mengatur kembali aktivitas sel-sel imun di dalam darah. Karena hal itu, terjadi peningkatan jumlah leukosit jenis neutrofil dan monosit sebagai respon awal tubuh terhadap zat asing berupa stress karena kebisingan. Selanjutnya, terjadi penurunan jumlah leukosit jenis limfosit yang disebabkan oleh kortisol yang menekan atau menurunkan sistem kekebalan tubuh yang mempercepat proses apoptosis (She et al., 2021).

Selain itu, kebisingan dapat menyebabkan tubuh memproduksi radikal bebas dan mengaktifkan jalur yang menyebabkan inflamasi, dapat

meningkatkan jumlah sitokin pro inflamasi seperti IL-1 β dan TNF- α . Sitokin ini akan memperburuk reaksi inflamasi, menunjukkan bahwa sistem imun berada dalam keadaan "waspada tinggi" (Eckrich et al., 2021).

2.5 Hewan Uji

2.5.1 Definisi dan Klasifikasi *Rattus norvegicus*

Tikus putih (*Rattus norvegicus*) adalah jenis tikus yang dapat digunakan untuk keperluan penelitian. Tikus jenis ini mampu beradaptasi dengan baik, jadi sangat sesuai untuk dijadikan hewan percobaan dalam berbagai penelitian (Ayuning et al., 2022). Selain itu, hewan seperti tikus telah banyak dikenal karena ukurannya yang kecil, biaya yang terjangkau, kemampuan reproduksi yang cepat, kemudahan dalam pemeliharaan, serta variasi strain genetik yang tersedia, termasuk strain knockout dan transgenik. Kelebihan lain adalah persentase kesamaan genom yang mencapai $\geq 90\%$ dengan manusia, menjadikannya sangat bermanfaat untuk penelitian di bidang penyakit metabolik, kanker, imunologi, toksikologi, dan neurologi (Mukherjee et al., 2022). Berikut klasifikasi *Rattus norvegicus* menurut Jong et al., (2023):

Tabel 2. 1 Klasifikasi *Rattus norvegicus*

<i>Kingdom</i>	<i>Animalia</i>
<i>Phylum</i>	Chordata
<i>Class</i>	Mammalia
<i>Order</i>	Rodentia
<i>Family</i>	Muridae
<i>Genus</i>	<i>Rattus</i>
<i>Species</i>	<i>Rattus norvegicus</i>

(Sumber : Jong et., al 2023)



Gambar 2. 8 *Rattus norvegicus* (Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.5.2 Fisiologi *Rattus norvegicus*

Rattus norvegicus (tikus putih) memiliki fisiologi mamalia yang pada umumnya serupa dengan manusia, sehingga sering dijadikan subjek penelitian. Mereka menunjukkan regulasi kardiovaskular dan sistem pernapasan yang dapat diukur dan responsif, proses pencernaan serta mikrobiota usus yang bervariasi, serta metabolisme dan sistem endokrin yang serupa pada jalur dasar seperti glukosa dan lipid. Selain itu, mereka juga memiliki sistem saraf dan reproduksi yang kompleks, semua karakteristik ini menjadikan tikus sebagai model yang berharga dalam penelitian penyakit. Namun, terdapat perbedaan dalam angka kuantitatif seperti laju metabolisme, umur, serta ukuran organ saat menerapkan hasil penelitian tersebut kepada manusia (Ghasemi, 2021).

Penelitian ini menggunakan *Rattus norvegicus* jantan karena untuk menghindari hasil yang bias karena tikus betina memiliki siklus estrus yang menyebabkan perubahan kadar hormon estrogen dan progesteron yang dapat berdampak pada jumlah leukosit.

Secara fisiologis, *Rattus norvegicus* memiliki sistem hematologi yang rentan terhadap tekanan dari lingkungan, termasuk tekanan fisik, mental, dan

biologis. Komponen leukosit mereka meliputi neutrofil, limfosit, monosit, eosinofil, dan basofil, yang semuanya dapat berubah jumlahnya sebagai bentuk penyesuaian maupun respons terhadap inflamasi. Rentang nilai leukosit yang normal pada tikus berkisar antara 5.000-13.000 sel/ μ L, tetapi dapat dengan mudah mengalami perubahan saat mengalami stres, inflamasi, gangguan imun, atau paparan terhadap rangsangan berlebihan seperti kebisingan (Putri et al., 2022). Hewan uji seperti *Rattus norvegicus* ini dapat dengan mudah mengalami stres. Oleh karena itu, untuk menghindari kebiasaan hasil penelitian dapat dilakukan proses aklimatisasi sebelum dilakukannya perlakuan paparan kebisingan.

2.5.3 Aklimatisasi *Rattus norvegicus*

Hewan uji seperti *Rattus norvegicus* sangat peka terhadap perubahan lingkungan seperti perpindahan kandang, perbedaan suhu, pencahayaan dan suara. Kondisi tersebut dapat memicu *Rattus norvegicus* mengalami stres sebelum dilakukannya penelitian. Respon stres ini dapat mempengaruhi hasil berbagai pemeriksaan laboratorium, termasuk pemeriksaan hematologi. Sehingga hal ini dapat menjadi faktor perancu dalam penelitian eksperimental laboratorium.

Menurut The Swedish 3Rs Center, (2024), aklimatisasi adalah proses penyesuaian yang dilakukan oleh hewan coba secara fisik dan mental terhadap perubahan lingkungan yang dialaminya, terutama setelah proses pengangkutan, pemindahan tempat tinggal, atau perubahan dalam cara perawatan. Pada masa aklimatisasi, hewan diberikan kesempatan untuk pulih dari tekanan yang ditimbulkan oleh perubahan tersebut dan menyesuaikan

fungsi tubuhnya agar kembali ke keadaan seimbang. Ada beberapa faktor yang penting untuk diperhatikan pada saat aklimatisasi menurut Ratuski & Weary, (2022) :

1. Pencahayaan, tikus bersifat nokturnal, sehingga cahaya yang terlalu terang dapat mengakibatkan stres pada tikus.
2. Suhu, tikus sensitif terhadap perubahan suhu.
3. Kondisi kandang, kandang harus lebih tinggi. Karena kandang yang sempit membatasi perilaku alami tikus seperti berdiri tegak, eksplorasi dan interaksi sosial.
4. Stabilitas lingkungan dan minimalisasi gangguan, lingkungan yang stabil

2.5.4 Respon Perilaku terhadap Stres pada *Rattus norvegicus*

Penelitian ini akan menggunakan model stressor berupa paparan kebisingan dengan frekuensi yang tinggi seperti *sound* horeg terhadap *Rattus norvegicus*. Menurut penelitian oleh Young et al., (2024) tikus yang stres dapat diketahui dari perilaku tikus, seperti lebih banyak diam (*immobility*), menghindari area terbuka, dan lebih sering berada di sudut yang tertutup. Sedangkan pada penelitian oleh Ngala et al., (2025), tikus yang mengalami stres secara signifikan menunjukkan peningkatan perilaku agresif.

Dari penelitian-penelitian tersebut dapat diketahui bahwa setiap tikus memiliki respon yang berbeda-beda terhadap stressor. Efeknya dapat bergantung pada jenis stressor, durasi paparan atau perlakuan, usia tikus dan kondisi kesehatan tikus.