

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebisingan

2.1.1 Definisi Kebisingan

Definisi kebisingan menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP 48/MENLH/11/1996 merupakan suara yang tidak diharapkan yang berasal dari usaha atau kegiatan apapun dalam intensitas dan durasi tertentu, yang dapat menjadi penyebab gangguan terhadap kesehatan serta kenyamanan lingkungan (Hendrawan *et al*, 2020). Kebisingan juga bisa dikategorikan sebagai contoh dari pencemaran udara karena dampaknya dirasakan akibat suara bising yang merambat melalui udara (Nabilah *et al*, 2020). Dalam hal ini kebisingan bisa diartikan sebagai salah satu bentuk polusi lingkungan yang sering kali diacuhkan namun mempunyai dampak signifikan terhadap kesehatan (Amalia, Srisantyorini, and Hasanah 2025).

Menurut Hendrawan *et al*, 2020. bising adalah suara yang muncul akibat gelombang bunyi yang memiliki intensitas dan frekuensi yang tidak teratur. Berdasarkan cara energi bunyi menyebar dan merambat, kebisingan dapat dibagi menjadi beberapa jenis:

1. *Structur-Borne Noise*, merupakan kebisingan yang terjadi karena getaran yang merambat melalui struktur suatu sistem. Komponen atau bagian yang bergetar akan memancarkan energi akustik dalam bentuk gelombang longitudinal.

2. *Liquid-Borne Noise*, yaitu kebisingan yang muncul akibat perubahan tekanan pada fluida yang menyebabkan getaran pada kolom fluida, pusaran aliran, suara aliran fluida, atau fenomena kavitasi.
3. *Air-Borne Noise*, merupakan kebisingan yang merambat melalui udara akibat fluktuasi tekanan. Perambatan bunyi melalui udara dan struktur saling berhubungan. Getaran yang berasal dari struktur dapat menggetarkan udara di sekitarnya, dan udara yang bergetar dapat menimbulkan getaran kembali pada struktur.

2.1.2 Sumber-Sumber Kebisingan

Menurut *World Health Organization* (WHO) 2024, diperkirakan sekitar satu juta tahun kehidupan sehat hilang akibat paparan kebisingan dari lalu lintas di kawasan Eropa Barat pada tahun 2011. Sumber kebisingan lingkungan meliputi lalu lintas jalan raya, kereta api, pesawat, serta aktifitas konstruksi. Paparan juga dapat berasal dari sumber lain seperti tubin angin atau kegiatan hiburan seperti mendengarkan musik dengan volume tinggi atau konten audio lainnya (WHO, 2024).

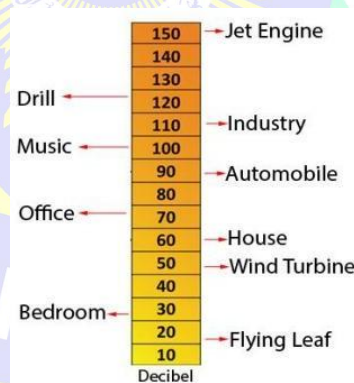
Kebisingan dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu kebisingan internal yang berasal dari aktivitas manusia di dalam bangunan seperti percakapan, batuk, bersin, dan perpindahan perabot, serta kebisingan eksternal yang berasal dari luar bangunan. Kategori ini mencakup berbagai sumber kebisingan seperti transportasi, suara mesin, dan kebisingan dari lingkungan sekitar. Selain itu sumber kebisingan juga dibagi menjadi dua jenis, yaitu kebisingan tunggal dan kebisingan majemuk. Kebisingan tunggal muncul dari sumber bunyi yang berbentuk titik seperti loudspeaker, suara mesin pabrik, suara kendaraan yang tidak bergerak, dan sumber

lainnya yang statis, sedangkan kebisingan majemuk berasal dari sumber yang berbentuk garis seperti kebisingan dari jalan raya (Ola et al. 2020)

2.1.3 Intensitas dan Satuan Kebisingan

Kebisingan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti intensitas, frekuensi, durasi, dan pola waktu. Suara bising mempunyai susunan yang terdiri atas frekuensi yang tidak teratur, getaran yang tidak konsisten, dan tidak berkaitan satu dengan yang lainnya (Lintang *et al.*, 2024).

Suara bising dihasilkan dari segala objek yang bergetar mendorong dan menekan udara di depannya yang menyebabkan molekul di sekitarnya juga bergetar dan getarannya dipancarkan sebagai hasil dari gerakan beruntun. Suara yang berasal dari berbagai sumber dapat saling berinteraksi dan membentuk gelombang bunyi dengan frekuensi serta tingkat kekuatan yang bervariasi. Intensitas bunyi dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Intensitas bunyi menggambarkan besarnya daya suara yang melewati suatu permukaan per satuan luas yang tegak lurus terhadap arah rambat gelombang (Şabıkoğlu *et al.*, 2021).



Gambar 2.1 Macam-Macam Intensitas Kebisingan Suara
(Sumber: Şabıkoğlu *et al.*, 2021)

Intensitas suara secara internasional diklasifikasikan kedalam empat jenis pembobotan, yaitu A, B, C, dan D. Skala dB(A) digunakan untuk

merepresentasikan tingkat kebisingan yang bisa dirasakan oleh pendengaran manusia, sementara dB(D) diaplikasikan untuk pengukuran sumber bunyi dengan tingkat intensitas sangat tinggi seperti mesin pesawat jet. Pengukuran kebisingan lingkungan dilakukan menggunakan *sound level meter* yang mampu menampilkan nilai intensitas bunyi dalam satuan desibel. Selain itu, perangkat *smart phone* dapat dimanfaatkan sebagai alternatif alat ukur melalui penggunaan mikrofon dan aplikasi pendukung (Şabİkoğlu *et al*, 2021).

2.1.4 Nilai Ambang Batas dan Standar Kebisingan

Batas ambang kebisingan yang ditetapkan sebesar 85 dB dinilai masih aman bagi sebagian besar individu apabila terpapar selama 8 jam per hari atau 40 jam per minggu. Ambang batas kebisingan tersebut menunjukkan tingkat intensitas tertinggi yang masih dapat ditoleransi oleh individu yang terpapar tanpa menimbulkan gangguan pendengaran permanen, selama paparan terjadi secara berkelanjutan dalam durasi yang tidak melebihi 8 jam sehari atau 40 jam dalam satu minggu (Hendrawan *et al*, 2020). Berikut tabel waktu maksimum bagi manusia untuk menerima paparan kebisingan:

Tabel 2.1 Waktu Maksimum Paparan Kebisingan (Hendrawan *et al*, 2020)

No.	Tingkat Kebisingan (dBA)	Durasi Paparan Harian
1.	85	8 jam
2.	88	4 jam
3.	91	2 jam
4.	94	1 jam
5.	97	30 menit
6.	100	15 menit

Selain maksimum durasi kebisingan yang dapat diterima oleh manusia, juga terdapat standar kebisingan yang telah ditetapkan oleh WHO pada 2024 dalam *Compendium of WHO and other UN guidance on health and environment*, untuk

paparan kebisingan rata-rata, tingkat tekanan suara yang direkomendasikan meliputi <53 dB untuk kebisingan lalu lintas jalan, <54 dB untuk kebisingan kereta api, serta masing-masing <45 dB untuk kebisingan pesawat udara dan turbin angin. Selain itu, rata-rata tahunan kebisingan dari seluruh sumber hiburan secara gabungan dibatasi hingga tidak melebihi 70 dB selama 24 jam, sedangkan paparan mingguan dari sumber kebisingan hiburan seperti penggunaan perangkat audio pribadi, dianjurkan <80 dB(A). Untuk paparan jangka pendek yang bersifat sesekali, tingkat kebisingan maksimum yang dianjurkan adalah 100 dB selama 15 menit. Sementara itu, untuk kebisingan pada malam hari, tingkat paparan suara yang disarankan adalah <45 dB untuk lalu lintas jalan, <44 dB untuk kereta api, dan <40 dB untuk kebisingan pesawat udara (WHO, 2024).

2.1.5 Dampak Kebisingan

Polusi suara berupa kebisingan adalah bentuk potensi bahaya bagi kesehatan maupun kesejahteraan, selain itu juga akibat dari sumber stres dan gangguan lingkungan. Sebagai stresor fisik yang bersifat umum dan tidak spesifik, kebisingan dapat mengganggu fungsi normal sistem kardiovaskular, endokrin, dan imun. Terutama ketika tubuh berusaha menyesuaikan diri terhadap tuntutan lingkungan. Ketidakmampuan tubuh dalam mengendalikan stimulasi berlebihan akibat kebisingan dapat menimbulkan stres yang berbahaya dan berdampak pada penurunan daya tahan tubuh, sehingga meningkatkan risiko terjadinya penyakit. Kebisingan juga dapat menjadi penyebab terhadap kerusakan sel akibat peningkatan produksi radikal bebas yang tidak hanya terjadi pada organ pendengaran (Nwuke *et al.*, 2021).

Dampak kebisingan terhadap pendengaran diklasifikasikan menjadi dua kategori dalam yaitu dampak permanen dan dampak sementara. Paparan kebisingan dalam jangka panjang dapat menimbulkan gangguan pendengaran permanen yang dikenal sebagai *Noise-Induced Hearing Loss* (NIHL), yaitu penurunan fungsi pendengaran akibat paparan suara dengan intensitas melebihi nilai ambang batas di lingkungan kerja. Selain dampak permanen, kebisingan juga dapat menyebabkan gangguan pendengaran sementara atau *Temporary Threshold Shift* (TTS), yakni penurunan ambang pendengaran yang bersifat sementara dan dapat kembali normal setelah periode istirahat yang memadai (Amalia et al. 2025).

Dampak kebisingan pada kesehatan selain gangguan pendengaran yaitu dampak secara fisiologis maupun psikologis terhadap manusia dalam jangka panjang. Gangguan psikologis bisa tergambar dengan meningkatnya gangguan tidur, kesulitan komunikasi, atau bahkan ketidakpuasan dalam menjalani aktivitas sehari-hari (Wijayanti, Theresia, and Budiastuti 2020). Bukti terbaru juga menyebutkan kebisingan memberikan dampak kesehatan lainnya seperti masalah mental dan skala kelahiran yang memburuk (WHO, 2024).

2.1.6 Mekanisme Stres Akibat Kebisingan

Kebisingan merupakan salah satu potensi bahaya kesehatan bagi banyak individu yang terdampak, khususnya pada masalah pendengaran maupun masalah fisiologis lainnya seperti gangguan jantung dan darah. Intensitas kebisingan juga bisa menjadi faktor utama stres. Stres adalah kondisi dimana seseorang mengalami perasaan tidak nyaman dikarenakan dia secara subjektif merasa ada hal yang membebani. Dalam kondisi stres, hal yang terjadi dalam tubuh yaitu diaktifkannya aksis *Hipotalamus Hipofisis Adrenal* (HPA) yang nantinya akan

melepas hormon kortisol dimana pada kondisi tersebut adalah respon stres secara fisiologis manusia. Kadar hormon kortisol diukur melalui spesimen saliva atau serum darah, umumnya ditetapkan sebagai hormon stres. (Lintang *et al.*, 2024).

Stres psikologis pada manusia maupun hewan pengerat diketahui berperan dalam menurunkan kadar zat besi yang beredar dalam darah, menghambat proses pembentukan sel darah, dan memicu terjadinya anemia, yang seluruhnya berkaitan dengan kondisi depresi. Banyak penderita depresi menunjukkan adanya peningkatan stres oksidatif pada eritrosit disertai anemia. Selain itu, kondisi tersebut ditandai dengan berkurangnya kapasitas antioksidan, meningkatnya stres oksidatif, serta bertambahnya produksi sitokin proinflamasi, yang secara kuat berkaitan dengan gangguan keseimbangan homeostasis zat besi. Meskipun demikian, mekanisme yang menyebabkan terganggunya regulasi homeostasis zat besi serta pengaruhnya terhadap sistem hematopoietik pada individu yang mengalami stres psikologis dan depresi akibat stres hingga kini masih belum sepenuhnya terungkap (Kasahara *et al.* 2024a).

2.2 Darah

2.2.1 Definisi Darah

Darah merupakan jaringan ikat yang berbentuk cair dan beredar di dalam sistem kardiovaskular. Darah juga menjadi komponen terbesar dari cairan ekstraseluler yang berperan penting dalam mempertahankan fungsi tubuh. Secara fisik, darah memiliki beberapa karakteristik khusus. Warna darah tampak merah karena mengandung pigmen hemoglobin yang terdapat di dalam eritrosit. Darah yang mengalir dalam arteri umumnya berwarna merah cerah karena kaya oksigen,

sedangkan darah vena berwarna merah lebih gelap akibat kandungan oksigennya yang lebih rendah.

Pada orang dewasa, volume darah berkisar antara 5–6 liter atau sekitar 8% dari berat badan total, setara dengan kurang lebih 80 mL per kilogram berat badan. Selain itu, darah memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan air, yaitu sekitar lima kali lebih kental. Berat jenis darah berada pada kisaran 1,050–1,060, dengan berat jenis eritrosit yang lebih besar dibandingkan plasma, masing-masing sekitar 1,090 dan 1,030. Dari segi kimiawi, darah memiliki pH normal antara 7,38–7,42 yang menunjukkan sifat sedikit basa (alkali). Apabila pH darah turun di bawah 7,38 maka kondisi tersebut disebut asidosis, sedangkan peningkatan pH di atas 7,42 disebut alkalosis (Ariani *et al.* 2025).

2.2.2 Fungsi Darah

Darah memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan fungsi tubuh (homeostasis) melalui fungsi transportasi, regulasi, dan proteksi. Dalam fungsi transportasi, darah bertugas mengalirkan oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh melalui eritrosit, membawa zat gizi hasil pencernaan ke sel-sel tubuh, mengedarkan hormon ke organ sasaran, serta mengangkut karbon dioksida dan sisa metabolisme menuju organ ekskresi untuk dikeluarkan dari tubuh. Selain itu, darah juga berperan dalam memastikan distribusi oksigen berlangsung secara optimal sesuai dengan kebutuhan metabolisme masing-masing jaringan.

Selain berfungsi sebagai alat transportasi, darah juga berperan dalam proses regulasi untuk mempertahankan kondisi internal tubuh agar tetap stabil. Darah membantu menjaga keseimbangan cairan dan elektrolit, mengatur tekanan osmotik, mempertahankan suhu tubuh, serta menjaga keseimbangan asam-basa (pH) yang

diperlukan agar berbagai proses fisiologis dapat berlangsung dengan baik. Karakteristik fisik darah, seperti tingkat kekentalan dan kemampuannya mengalir di dalam pembuluh darah, juga turut mendukung kelancaran sirkulasi dan distribusi zat-zat penting ke seluruh tubuh.

Darah juga memiliki fungsi proteksi yang berperan dalam melindungi tubuh dari berbagai gangguan. Komponen sel darah putih (leukosit) beserta unsur sistem imun lainnya bekerja untuk mengenali dan melawan mikroorganisme atau zat asing yang masuk ke dalam tubuh. Di sisi lain, trombosit dan faktor-faktor pembekuan darah berperan dalam proses hemostasis, yaitu mekanisme penghentian perdarahan ketika terjadi cedera pada pembuluh darah. Melalui fungsi tersebut, darah berkontribusi dalam menjaga tubuh dari infeksi sekaligus mencegah kehilangan darah yang berlebihan (Wise *et al.* 2024).

2.2.3 Komponen Darah

Sebanyak 45% dari total darah merupakan terdiri dari elemen seluler yang terdiri dari leukosit, eritrosit, dan trombosit, sedangkan 55% elemennya merupakan cairan atau biasa disebut sebagai plasma. Pada saat dilakukan proses sentrifugasi, maka akan didapatkan hematokrit sebagai elemen yang mengendap di bagian bawah tabung, sedangkan pada bagian atas yang terlihat sebagai cairan bening merupakan plasma. Selain itu, bagian warna putih di antara plasma dan hematokrit disebut *buffycoat* yang terdiri atas leukosit dan trombosit. Di antara berbagai elemen seluler darah, eritrosit merupakan komponen yang paling banyak ditemukan. Proporsi eritrosit dalam darah, yang dinyatakan sebagai nilai hematokrit, berkisar antara 36–46% pada wanita dan 42–53% pada pria.

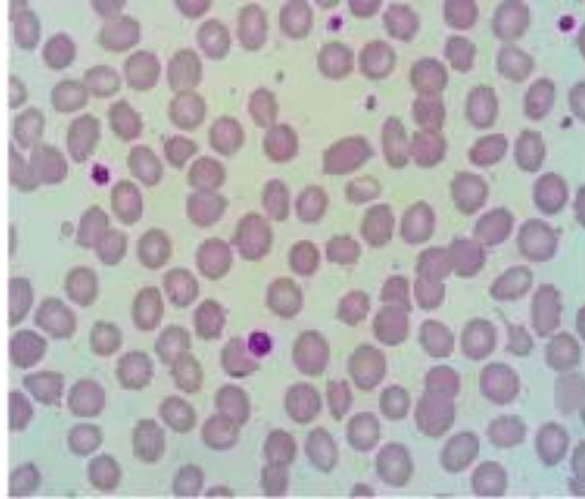
Leukosit berbeda dari eritrosit dan trombosit yang cenderung homogen dalam bentuk dan strukturnya. Sel-sel leukosit terbagi ke dalam dua kelompok utama, yaitu granulosit dan agranulosit, yang dibedakan berdasarkan keberadaan granula pada sitoplasma. Di antara seluruh elemen seluler darah, leukosit merupakan satu-satunya yang memiliki struktur sel lengkap karena masih mengandung nukleus dan berbagai organel sel yang berfungsi dalam aktivitas metabolisme (Ariani *et al.* 2025).

2.3 Eritrosit

2.3.1 Definisi dan Fungsi Eritrosit

Dalam tubuh manusia dewasa diperkirakan terdapat 30 triliun sel, yang dimana 90 persennya berasal dari turunan hematopoietik dan sebagian besarnya merupakan sel darah merah atau biasa disebut eritrosit. Eritrosit merupakan bagian dari sirkulasi darah yang menyanggah bagian penting dalam tubuh manusia. (Alessandro *et al.* 2023).

Dalam tubuh manusia, eritrosit memiliki bentuk yang kecil, bulat dan bikonkaf. Pergerakannya pun fleksibel yang memberikan benefit untuk memudahkan eritrosit dalam pergerakannya melewati pembuluh darah yang sempit. Eritrosit memiliki bagian membran yang terdiri dari protein, terbungkus oleh lemak dan tidak memiliki inti sel. Eritrosit berisi hemoglobin serta protein yang bertanggung jawab untuk mengikat oksigen pada bagian alveolus paru-paru saat pertukaran oksigen (O_2) dengan karbondioksida (CO_2), dan O_2 lah yang memberikan warna merah pada protein yang berada dalam eritrosit. Dengan tidak adanya inti sel merupakan suatu kelebihan eritrosit untuk meminimalkan kebutuhan oksigen untuk metabolisme sel sekaligus memaksimalkan pelepasan oksigen ke dalam jaringan.

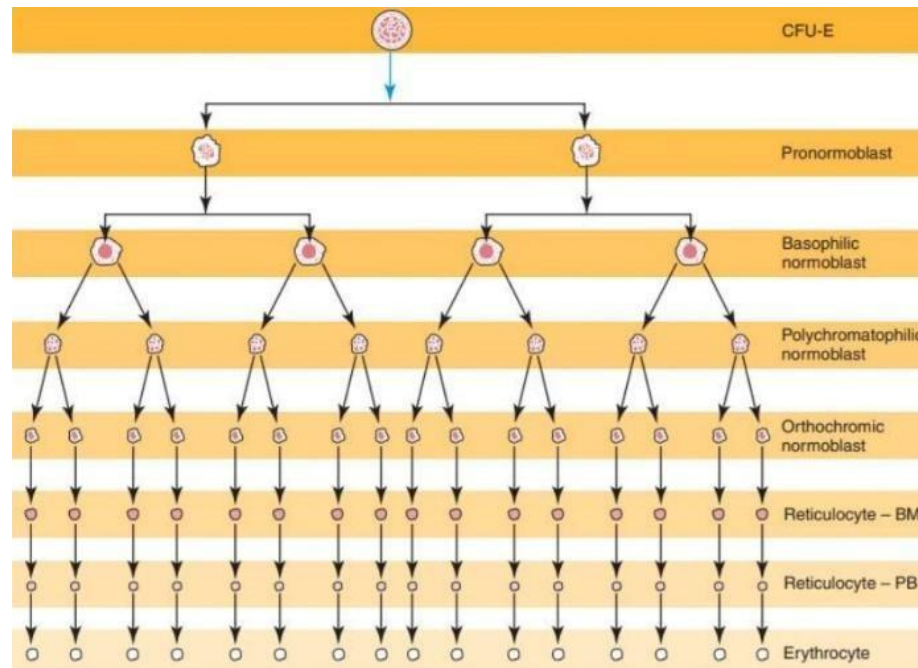


Gambar 2.2 Bentuk Mikroskopis Eritrosit
(Sumber: Sada *et al.* 2023)

Selain bertanggung jawab dalam pertukaran udara, eritrosit juga berfungsi untuk menjaga keseimbangan pH dalam darah, mengatur viskositas darah, bertindak sebagai penanda golongan darah dan memiliki peran tambahan seperti pengaturan respon imun serta perlindungan terhadap sel dari radikal bebas (Singh *et al.* 2024).

2.3.2 Proses Eritropoiesis

Eritropoiesis merupakan rangkaian proses pembentukan sel darah merah yang berlangsung melalui beberapa tahap di dalam sumsum tulang. Proses ini dimulai dari sel induk hematopoietik yang mengalami diferensiasi menjadi proeritroblast, kemudian berkembang menjadi eritroblast basofilik dan eritroblast polikromatik. Tahap selanjutnya menghasilkan retikulosit yang melepaskan inti sel (nukleus) dan akhirnya bermaturasi menjadi eritrosit dewasa (Nurjanah *et al.*, 2025).



Gambar 2.3 Pembentukan eritrosit
(Sumber: Nurjanah. *et al.*, 2025).

Eritropoiesis adalah proses pembentukan sel darah merah (eritrosit) yang berawal dari sel punca hematopoietik yang bersifat pluripoten. Sel punca ini selanjutnya mengalami diferensiasi menjadi sel punca mieloid atau common myeloid progenitor. Sel punca mieloid kemudian berkembang lebih lanjut menjadi *Megakaryocyte–Erythroid Progenitor* (MEP). Dengan adanya pengaruh berbagai faktor pertumbuhan, sel tersebut berdiferensiasi menjadi *Burst Forming Unit–Erythroid* (BFU-E). Proses diferensiasi ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor pertumbuhan, antara lain SCF (*Stem Cell Factor*), TPO, IL-3, IL-11, serta ligan FLT-3. BFU-E merupakan tahap progenitor paling awal dalam jalur eritropoiesis yang memiliki sifat motil dan menjadi awal pembentukan koloni sel yang tersusun dari banyak subunit. CFU-E merupakan sel progenitor eritroid yang terdapat di sumsum tulang merah dan membentuk koloni yang lebih banyak dibanding BFU-E, namun tidak ditemukan dalam darah perifer. Dibandingkan BFU-E yang masih memiliki kemampuan proliferasi tinggi dan sifat menyerupai stem cell, CFU-E

yang telah matur memiliki kemampuan pembelahan yang lebih terbatas, tidak dapat beregenerasi, dan sangat sensitif terhadap stimulasi *eritropoietin* (EPO). Selanjutnya, CFU-E berdiferensiasi menjadi proeritroblast yang berukuran besar, dengan inti sel dominan dan sitoplasma basofilik (Tichil *et al.*, 2024).

Proeritroblast kemudian berkembang melalui beberapa tahap eritroblast: eritroblast basofilik awal, eritroblast polikromatofilik, hingga eritroblast ortokromatofilik. Selama proses ini, ukuran sel semakin mengecil, inti semakin mengondensasi, dan sitoplasma berubah dari basofilik menjadi semakin asidofilik seiring meningkatnya kandungan hemoglobin. Pada tahap berikutnya, inti sel dikeluarkan dan difagositosis oleh makrofag, menghasilkan sel tanpa inti yang disebut retikulosit. Retikulosit masuk ke sirkulasi darah dan membentuk sekitar 1% dari total eritrosit, lalu mengalami pematangan dengan kehilangan sisa organel hingga akhirnya menjadi eritrosit dewasa. (Rosita *et al.*, 2019).

2.3.3 Faktor yang Memengaruhi Jumlah Eritrosit

Jumlah eritrosit ditentukan berdasarkan banyaknya sel darah merah yang terdapat dalam setiap satuan volume darah dan biasanya dinyatakan dalam jumlah sel per mikroliter (sel/ μ L). Nilai rujukan jumlah eritrosit pada orang dewasa bervariasi menurut jenis kelamin, di mana pada pria dewasa berkisar antara 4,6–6,2 juta sel/ μ L, sedangkan pada wanita dewasa berada pada rentang 4,2–5,4 juta sel/ μ L. Penentuan jumlah sel darah merah memiliki peran krusial sebagai penanda biologis (*biomarker*) dalam berbagai pemeriksaan hematologi. Perubahan jumlah eritrosit dari nilai rujukan dapat memberikan petunjuk awal terhadap adanya kelainan fisiologis maupun patologis, seperti anemia, gangguan hemolisis, proses inflamasi,

kanker, penyakit kardiovaskular, serta kelainan lain yang berkaitan dengan perubahan struktur dan fungsi sel darah merah (Nurjanah *et al.*, 2025).

Gangguan pada parameter hematologi bisa dipengaruhi oleh banyak sekali faktor, seperti kekurangan zat besi, olahraga ekstrim, dan salah satunya merupakan kebisingan dalam bentuk apapun. Hasil pada studi yang dilakukan oleh Nwuke *et al.*, 2021 menunjukkan adanya peningkatan secara signifikan pada beberapa parameter hematologi seperti hitung jumlah sel eritrosit, hitung jumlah leukosit, jumlah trombosit, konsentrasi hemoglobin, dan *Packed Cell Volume* dengan paparan volume kebisingan 85 – 105 dB secara terus-menerus (Nwuke *et al.* 2021).

Dalam lingkup olahraga eritrosit juga terpengaruh dikarenakan peningkatan deformabilitas eritrosit pada orang yang berolahraga ekstrim maupun amatir dapat mempengaruhi performa eritrosit dalam mengangkut oksigen ke jaringan yang ada dalam tubuh manusia terutama pada bagian kardiovaskular. Olahraga dapat menyebabkan hiperplasia sumsum tulang yang kemudian mempengaruhi eritropoiesis. Situasi ini memungkinkan eritrosit muda untuk terus bertambah jumlahnya secara bersamaan yang kemudian menjelaskan peningkatan deformabilitas eritrosit dan nantinya juga memperlihatkan peningkatan pada Indeks Eritrosit (MCV, MCH, MCHC) (Caimi, Carlisi, and Presti 2024).

2.3.4 Metabolisme Eritrosit

Eritrosit pada sumsum tulang mengalami proses metabolisme yang rumit. Fase awal dimulai sebagai hemositoblas yang kemudian akan menjadi eritroblas dan retikulosit. Selama itu pula, sel terisi oleh hemoglobin bersamaan dengan meluruhnya nukleus dan mitokondrianya. Eritrosit yang sudah benar-benar dewasa memiliki masa hidup selama 100-120 hari dalam manusia dewasa yang

diperkirakan memiliki $5.2 \text{ juta sel/mm}^3$. Sel yang sudah rusak dan menua, nantinya akan dimusnahkan oleh limpa dan hati, namun kemudian *cyclenya* akan terus berulang seiring dengan sumsum tulang belakang yang terus memproduksi eritrosit baru (Singh et al. 2024).

Walaupun sebagian besar eritrosit secara fisiologis mengalami penghancuran di limpa, sebagian sel darah merah juga dapat mengalami kerusakan di dalam pembuluh darah. Kondisi aliran darah yang turbulen, terutama di sekitar jantung atau pada percabangan pembuluh darah, dapat memberikan tekanan mekanis yang merugikan eritrosit. Partikel kecil maupun bekuan di dalam pembuluh darah berpotensi menjebak dan merusak sel. Kerusakan eritrosit di dalam pembuluh darah terjadi akibat stres mekanik atau trauma yang memicu pecahnya membran sel sehingga isi sel terfragmentasi dan terlepas ke dalam plasma, suatu proses yang dikenal sebagai fragmentasi atau hemolisis intravaskular. Setelah membran eritrosit mengalami kerusakan, isi sel akan dilepaskan ke dalam plasma di sekitarnya, terlepas dari lokasi terjadinya peristiwa tersebut.

2.4 Indeks Eritrosit

2.4.1 Definisi Indeks Eritrosit

Indeks Eritrosit merupakan kumpulan parameter yang dihitung untuk menggambarkan karakteristik eritrosit, seperti ukuran, volume, dan konsentrasi sel. Parameter yang termasuk di dalamnya antara lain *Mean Corpuscular Volume* (MCV) untuk mengetahui volume rata-rata eritrosit, *Mean Corpuscular Hemoglobin* (MCH) untuk mengetahui jumlah rata-rata hemoglobin di dalam setiap

sel eritrosit, dan *Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration* (MCHC) bertujuan untuk mengetahui konsentrasi hemoglobin dalam setiap sel eritrosit.

Perubahan pada nilai indeks ini dapat menjadi indikator berbagai gangguan kesehatan, seperti anemia, penyakit kardiovaskular, proses peradangan, dan kekurangan zat gizi. Perubahan struktur dan fungsi eritrosit dapat memperburuk kondisi inflamasi dengan meningkatkan pelepasan mediator proinflamasi dan memperkuat stres oksidatif. Selain itu, gangguan fungsi eritrosit dapat menimbulkan hipoksia dan penurunan respons imun, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan risiko terjadinya karsinogenesis (Fu et al. 2025).

2.4.2 Jenis-Jenis Indeks Eritrosit

Jenis pemeriksaan Indeks Eritrosit dapat diuraikan dalam empat pemeriksaan, yaitu MCV, MCH, dan MCHC (Nurhayati et al. 2022).

2.4.2.1 *Median Corpuscular Volume* (MCV)

Mean Corpuscular Volume (MCV) adalah parameter Indeks Eritrosit yang digunakan untuk mengukur ukuran atau volume rata-rata sel darah merah. Pemeriksaan ini membantu menilai apakah eritrosit berukuran normal, lebih kecil, atau lebih besar dari ukuran normal. Hasil MCV biasanya dinyatakan dalam satuan femtoliter (fL) atau mikrometer kubik (μm^3). Peningkatan MCV bisa disebabkan karena adanya makrositosis, yang kemudian dapat mempengaruhi peningkatan hasil parameter lain seperti hemoglobin dan hematokrit yang kemudian rentan disalahartikan sebagai *Polycythemia Vera* (PV) (Yavorkovsky 2021).

Nilai MCV dihitung menggunakan perbandingan antara hematokrit (Hct) dan jumlah eritrosit (RBC) dengan rumus:

$$\text{MCV (fL)} = \frac{\text{Nilai Hematokrit}}{\text{Jumlah Eritrosit}} \times 10$$

2.4.2.1 *Median Corpuscular Hemoglobin (MCH)*

Mean Corpuscular Hemoglobin (MCH) adalah parameter pada Indeks Eritrosit yang digunakan untuk mengetahui rata-rata jumlah atau massa hemoglobin yang terkandung di dalam setiap sel darah merah. Parameter ini memberikan gambaran tentang kapasitas sel eritrosit dalam membawa oksigen, karena hemoglobin merupakan komponen utama yang berperan dalam pengangkutan oksigen ke jaringan.

Hasil pemeriksaan MCH dinyatakan dalam satuan pikogram (pg), di mana 1 pikogram setara dengan 10^{-12} gram. Nilai MCH diperoleh melalui perhitungan berdasarkan kadar hemoglobin total (Hb) yang dibagi dengan jumlah eritrosit (RBC), menggunakan rumus:

$$\text{MCH (pg)} = \frac{\text{Kadar Hemoglobin}}{\text{Jumlah Eritrosit}} \times 10$$

2.4.2.2 *Median Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC)*

Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration (MCHC) adalah parameter pemeriksaan laboratorium yang digunakan untuk menilai rata-rata konsentrasi hemoglobin di dalam sel darah merah. Berbeda dengan MCH yang menggambarkan jumlah hemoglobin per sel, MCHC menunjukkan kepadatan atau konsentrasi hemoglobin di dalam volume eritrosit. Parameter ini penting untuk menilai apakah sel darah merah tampak pucat (hipokrom) atau justru tampak lebih pekat warnanya.

Hasil pemeriksaan MCHC biasanya dinyatakan dalam persentase (%) atau dalam satuan g/dL pada beberapa sistem laboratorium. Nilai MCHC dihitung menggunakan perbandingan antara kadar hemoglobin (Hb) dan nilai hematokrit (Hct), dengan rumus:

$$\text{MCHC (\%)} = \frac{\text{Kadar Hemoglobin}}{\text{Nilai Hematokrit}} \times 100$$

2.4.3 Interpretasi Indeks Eritrosit

Pemeriksaan MCV (*Mean Corpuscular Volume*) digunakan untuk menilai ukuran rata-rata sel darah merah. Nilai MCV yang rendah menunjukkan eritrosit berukuran kecil (mikrositik), nilai dalam batas normal menunjukkan ukuran sel normal (normositik), sedangkan nilai yang meningkat menunjukkan eritrosit berukuran besar (makrositik). Pemeriksaan MCH (*Mean Corpuscular Hemoglobin*) menggambarkan jumlah hemoglobin di dalam tiap eritrosit. Nilai MCH yang rendah menandakan sel darah merah mengandung hemoglobin yang lebih sedikit (hipokrom), sementara nilai normal menunjukkan pengisian hemoglobin yang adekuat, dan nilai yang tinggi biasanya dijumpai pada eritrosit berukuran besar. Selanjutnya, MCHC (*Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration*) menunjukkan konsentrasi hemoglobin dalam sel darah merah dan berkaitan dengan intensitas warna sel. Nilai MCHC yang rendah mengindikasikan eritrosit tampak pucat (hipokrom), nilai normal menunjukkan warna sel yang normal, sedangkan nilai yang meningkat dapat ditemukan pada sel hiperkrom atau mikrosferosit (Nurhayati et al. 2022).

2.4.4 Faktor yang Memengaruhi Nilai Indeks Eritrosit

Hasil pengukuran Indeks Eritrosit (MCV, MCH, dan MCHC) sangat bergantung pada keakuratan tiga parameter utama, yaitu kadar hemoglobin (Hb), nilai hematokrit (Hct), dan jumlah sel eritrosit (RBC). Ketiga parameter ini dikenal sebagai “trias eritrosit”, karena menjadi dasar perhitungan seluruh Indeks Eritrosit. Oleh karena itu, ketelitian dalam pemeriksaan ketiga parameter tersebut sangat menentukan validitas hasil Indeks Eritrosit.

Secara umum, faktor-faktor yang memengaruhi hasil Indeks Eritrosit sama dengan faktor-faktor yang memengaruhi pemeriksaan Hb, Hct, dan hitung eritrosit, terutama ketika pemeriksaan dilakukan secara manual. Metode manual memiliki potensi kesalahan yang lebih tinggi dibandingkan metode otomatis, sehingga kesalahan teknis dapat menyebabkan bias pengukuran dan pergeseran nilai Indeks Eritrosit. Pergeseran ini dapat menyebabkan hasil yang dilaporkan menjadi tidak akurat, tidak presisi, dan tidak mencerminkan kondisi klinis pasien yang sebenarnya, sehingga berisiko menimbulkan kesalahan interpretasi klinis.

Faktor teknis yang memengaruhi hasil pemeriksaan Indeks Eritrosit terutama berkaitan dengan kualitas pengambilan sampel dan ketepatan prosedur laboratorium. Pengambilan darah dari lengan yang terpasang infus dapat menyebabkan hemodilusi sehingga nilai hemoglobin, hematokrit, dan jumlah eritrosit tampak lebih rendah. Kesalahan pemipetan atau pengenceran dapat menimbulkan bias hasil. Kontaminasi larutan kerja serta penggunaan alat yang basah atau kotor dapat mengganggu reaksi pemeriksaan. Selain itu, ketidakteelitian dalam perhitungan, terutama pada metode manual, dapat menurunkan keakuratan dan keandalan hasil pemeriksaan (Yayuningsih *et al.*, 2017).

2.5 *Rattus norvegicus*

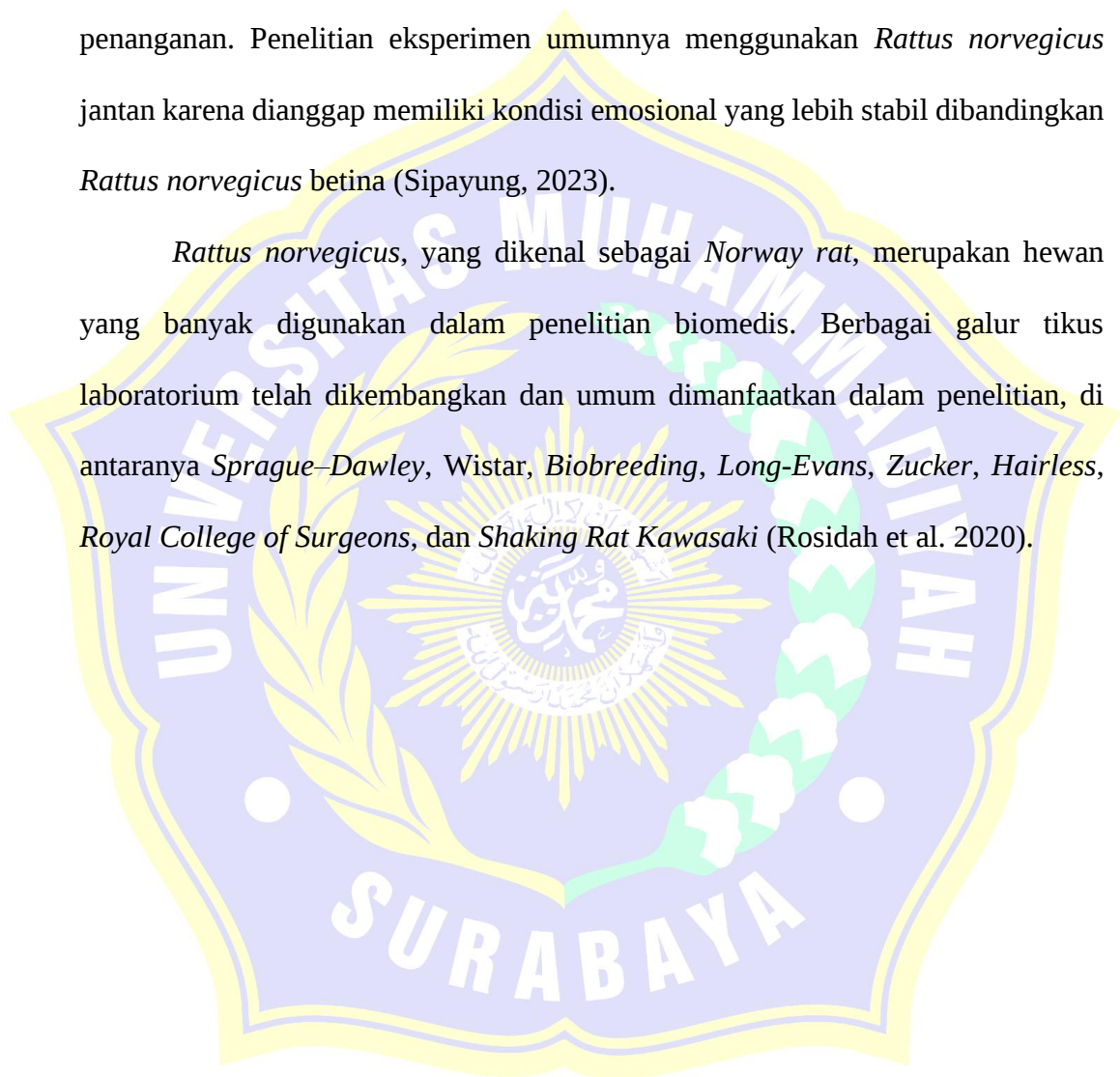
2.5.1 Definisi *Rattus norvegicus*

Penggunaan hewan dalam penelitian dapat dilakukan sebagai subjek uji untuk memperoleh data ilmiah. Pelaksanaan percobaan langsung pada manusia memiliki risiko yang dapat mengancam kesehatan fisik maupun psikologis, bahkan berpotensi menyebabkan kematian. Oleh sebab itu, penelitian dilakukan pada

hewan sebagai model yang dapat memberikan gambaran ilmiah tentang kemungkinan dampak yang dapat terjadi pada manusia.

Rattus norvegicus merupakan mamalia yang banyak dimanfaatkan sebagai hewan model dalam berbagai penelitian karena memiliki kemampuan adaptasi yang baik. Tikus sering dipilih sebagai hewan uji karena keunggulannya, antara lain ukuran tubuh yang relatif kecil serta kemudahan dalam pemeliharaan dan penanganan. Penelitian eksperimen umumnya menggunakan *Rattus norvegicus* jantan karena dianggap memiliki kondisi emosional yang lebih stabil dibandingkan *Rattus norvegicus* betina (Sipayung, 2023).

Rattus norvegicus, yang dikenal sebagai *Norway rat*, merupakan hewan yang banyak digunakan dalam penelitian biomedis. Berbagai galur tikus laboratorium telah dikembangkan dan umum dimanfaatkan dalam penelitian, di antaranya *Sprague-Dawley*, *Wistar*, *Biobreeding*, *Long-Evans*, *Zucker*, *Hairless*, *Royal College of Surgeons*, dan *Shaking Rat Kawasaki* (Rosidah et al. 2020).



2.5.2 Klasifikasi *Rattus norvegicus*



Gambar 2.4 *Rattus norvegicus*/Tikus Wistar
(Sumber: Harefa, 2024)

Rattus norvegicus diklasifikasikan sebagai berikut (Harefa 2024):

Kingdom	: <i>Animalia</i>
Filum	: <i>Chordata</i>
Sub filum	: <i>Vertebrata</i>
Class	: <i>Mamalia</i>
Ordo	: <i>Rodentia</i>
Famili	: <i>Muridae</i>
Sub family	: <i>Murinae</i>
Genus	: <i>Rattus</i>
Species	: <i>Rattus norvegicus</i>

2.5.3 Morfologi *Rattus norvegicus*

Ciri khas tikus yang menonjol adalah adanya sepasang gigi seri pada rahang atas dan bawah yang terus mengalami pertumbuhan. Pertumbuhan gigi seri ini berlangsung dengan cepat sehingga memungkinkan tikus beradaptasi untuk mengerat dan menggigit berbagai benda keras. Morfologi *Rattus norvegicus* ditandai dengan berat badan sekitar 150–600 gram. Bagian kepala dan badan memiliki ciri hidung tumpul, tubuh relatif besar dan pendek dengan panjang sekitar 18–25 cm. Ekor umumnya lebih pendek dibandingkan panjang kepala dan badan, dengan warna bagian dorsal lebih gelap dan bagian ventral lebih terang, serta tertutup rambut pendek dan kaku dengan panjang sekitar 16–21 cm. Warna bulu pada bagian punggung cenderung abu-abu kecokelatan, sedangkan bagian perut

berwarna lebih kelabu. Ukuran telinga relatif kecil, sebagian tertutup bulu, dan umumnya tidak melebihi 20–23 mm (Aini 2025).

2.5.4 Karakteristik *Rattus norvegicus*

Selain karakteristik habitat dan pola hidup yang erat kaitannya dengan lingkungan manusia, tikus juga memiliki kemampuan sensorik dan fisik yang sangat berkembang, terutama dalam hal penciuman dan peraba, yang berperan penting dalam kelangsungan hidupnya (Aini 2025).

A. Penciuman

Sebelum keluar dari sarang, tikus biasanya melakukan gerakan mengendus dengan menggerakkan kepala untuk mendeteksi kondisi lingkungan sekitar dan mengantisipasi adanya potensi bahaya. Hal ini berkaitan dengan kemampuan indera penciuman rodensia yang sangat tajam. Tikus juga mampu menghasilkan dan meninggalkan jejak bau melalui urin, sekresi dari organ genital, serta minyak alami dari tubuhnya. Jejak bau ini berfungsi sebagai penanda jalur yang dapat diikuti oleh tikus lain, serta berperan dalam komunikasi kimia. Melalui bau tersebut, tikus dapat mengenali wilayahnya, menandai daerah kekuasaan, dan membedakan antara individu asing dengan anggota koloni atau kelompoknya sendiri.

B. Peraba

Indera peraba pada tikus, khususnya pada rodensia komensal, berkembang dengan sangat baik untuk mendukung aktivitasnya yang dominan dilakukan pada malam hari. Tikus memanfaatkan sentuhan tubuh, kumis (*vibrissae*), serta kibasan ekor untuk mendeteksi permukaan lingkungan seperti lantai, dinding, dan berbagai objek di sekitarnya. Kontak fisik ini membantu tikus dalam menjaga keseimbangan, menentukan arah pergerakan, serta menghindari rintangan di lingkungan yang

minim cahaya. Kemampuan peraba ini menjadi salah satu faktor penting yang memungkinkan tikus bergerak dengan cepat dan efisien meskipun dalam kondisi gelap.

C. Pendengaran

Rodensia memiliki kemampuan pendengaran yang sangat peka, termasuk kemampuan menerima dan menghasilkan suara berfrekuensi tinggi (ultrasonik) yang tidak dapat didengar oleh manusia. Sensitivitas ini membuat tikus mampu merespons dengan cepat terhadap suara yang muncul secara tiba-tiba, yang sering kali menjadi sinyal adanya ancaman atau perubahan kondisi lingkungan. Sistem pendengaran ini juga berperan dalam komunikasi antarindividu, terutama dalam interaksi sosial dan perilaku reproduksi.

D. Penglihatan

Tikus memiliki struktur mata yang beradaptasi untuk aktivitas nokturnal (aktif pada malam hari). Penglihatannya memungkinkan tikus untuk membedakan pola objek sederhana, mengenali perbedaan ukuran benda, serta mendeteksi pergerakan hingga jarak sekitar 10 meter. Selain itu, tikus mampu memperkirakan jarak dalam radius sekitar 1 meter untuk menentukan waktu dan arah lompatan saat menghadapi rintangan atau ancaman, sehingga mendukung kemampuan mereka dalam melarikan diri dengan cepat.

E. Pengecap (indra perasa)

Indera pengecap pada tikus berkembang dengan sangat baik, memungkinkan mereka untuk mengenali rasa pahit atau zat berbahaya dalam makanan dan minuman. Tikus dan mencit mampu mendeteksi keberadaan senyawa toksik dalam air minum atau bahan makanan, sehingga secara refleks akan

menghindari dan menolak konsumsi zat yang berpotensi membahayakan tubuh mereka. Kemampuan ini berperan penting sebagai mekanisme pertahanan alami terhadap racun dan bahan kimia berbahaya.

F. Menggali

Tikus memiliki kemampuan menggali yang sangat baik, dengan kedalaman lubang yang dapat mencapai sekitar 2–3 meter tanpa mengalami kesulitan berarti. Spesies seperti *Rattus norvegicus* dikenal sangat terampil dalam membuat liang atau terowongan di dalam tanah. Lubang-lubang tersebut berfungsi sebagai sarang, tempat berlindung, serta area yang aman untuk menyimpan makanan dan melindungi diri dari predator maupun gangguan lingkungan.

G. Kemampuan memanjat

Rodensia komensal memiliki kemampuan memanjat yang sangat baik. Tikus rumah atau tikus atap umumnya lebih lincah dalam memanjat karena bentuk tubuhnya yang lebih kecil dan ramping dibandingkan tikus got, namun kedua jenis tersebut mampu memanjat permukaan seperti kayu dan dinding bangunan yang memiliki tekstur kasar. Beberapa jenis tikus juga mampu memanjat pipa, baik yang berada di dalam maupun di luar ruangan, sehingga memungkinkan mereka menjangkau area yang sulit diakses.

H. Kemampuan meloncat

Rattus norvegicus dewasa mampu melakukan lompatan vertikal dengan ketinggian lebih dari 77 cm. Dalam kondisi diam, tikus got dapat melompat secara horizontal hingga sekitar 1,2 meter. Kemampuan ini membantu tikus dalam menghindari ancaman dan melewati berbagai rintangan fisik di lingkungannya.

I. Perilaku mengerat

Tikus memiliki kebiasaan menggerogoti berbagai jenis material untuk mempertahankan panjang gigi serinya yang terus tumbuh. Bahan yang sering dirusak meliputi kayu, lembaran aluminium, serta campuran material bangunan seperti pasir, kapur, dan semen yang memiliki kualitas rendah. Perilaku ini tidak hanya berkaitan dengan kebutuhan biologis, tetapi juga menjadi salah satu penyebab utama kerusakan pada bangunan dan fasilitas.

J. Kemampuan berenang dan menyelam

Rattus norvegicus dikenal sebagai perenang yang baik. Secara khusus, *Rattus norvegicus* memiliki kemampuan berenang dan menyelam dengan sangat baik, sehingga sering menunjukkan perilaku semiakuatik. Spesies ini mampu hidup dan bergerak di saluran air bawah tanah, sungai, serta berbagai area lembap atau tergenang air, yang menjadikannya sangat adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan basah.