

Adaptasi Fisiologi Sistem Pernapasan dan Kulit pada Amfibi: Tinjauan Literatur

Dina Olivia Simalango¹

¹ Dina Olivia Simalango

dina.olivia@student.undiksha.ac.id

Abstrak

Amfibi merupakan kelompok vertebrata ektotermik yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan lembap untuk mempertahankan homeostasis tubuh. Adaptasi tersebut didukung oleh sistem pernapasan yang memanfaatkan paru-paru dan kulit sebagai organ utama pertukaran gas. Artikel ini bertujuan mengkaji mekanisme fisiologis respirasi kutaneus, peran kelenjar kulit dalam menjaga keseimbangan cairan tubuh, serta respons termoregulasi dan osmoregulasi amfibi terhadap perubahan kondisi lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (*literature review*) dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Data dikumpulkan melalui penelusuran artikel ilmiah dan buku berbahasa Indonesia yang diterbitkan pada periode 2019–2026 menggunakan Google Scholar, kemudian dipilih berdasarkan kesesuaian topik dan dianalisis secara deskriptif. Hasil kajian menunjukkan bahwa respirasi kutaneus berlangsung secara optimal karena didukung oleh struktur kulit yang tipis, vaskularisasi kapiler yang rapat, serta aktivitas kelenjar mukus yang menjaga kelembapan permukaan kulit. Selain berfungsi sebagai organ respirasi, kulit juga berperan penting dalam proses osmoregulasi melalui pelvic patch dan membantu mekanisme termoregulasi melalui pengaturan aliran darah serta sekresi mukus sebagai respons terhadap perubahan suhu lingkungan. Kajian ini menunjukkan bahwa respirasi kutaneus, osmoregulasi, dan termoregulasi merupakan mekanisme fisiologis yang saling terintegrasi dalam mempertahankan homeostasis.

Kata Kunci: amfibi, respirasi kutaneus, osmoregulasi, termoregulasi, kulit.

Abstract

Amphibians are ectothermic vertebrates that depend heavily on moist environmental conditions to maintain body homeostasis. This adaptation is supported by a respiratory system that utilizes both the lungs and the skin as the primary organs for gas exchange. This article aims to examine the physiological mechanisms of cutaneous respiration, the role of skin glands in maintaining body fluid balance, and the thermoregulatory and osmoregulatory responses of amphibians to environmental changes. This study employed a literature review using a descriptive qualitative approach. Data were collected from Indonesian scientific articles and academic books published between 2019 and 2026 through Google Scholar, selected based on their relevance, and analyzed descriptively. The findings indicate that cutaneous respiration functions efficiently due to the thin structure of amphibian skin, dense capillary vascularization, and continuous secretion of mucous glands that maintain skin moisture. In addition to facilitating gas exchange, the skin plays an essential role in osmoregulation through the pelvic patch and contributes to thermoregulation by regulating blood flow and mucous secretion in response to environmental temperature changes. This review demonstrates that cutaneous respiration, osmoregulation, and thermoregulation are integrated physiological mechanisms that maintain amphibian homeostasis.

Keywords: amphibians, cutaneous respiration, osmoregulation, thermoregulation, skin.

A. PENDAHULUAN

Amfibi merupakan salah satu fauna penyusun ekosistem yang menempati posisi ekologis sangat penting, baik sebagai predator tingkat menengah maupun sebagai bioindikator sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan (Saputra, 2023). Sebagai hewan yang mengalami dua fase kehidupan (metamorfosis) dari fase akuatik berupa berudu hingga fase terestrial atau semi-akuatik berupa individu dewasa, amfibi menunjukkan sifat adaptasi pertengahan antara ikan dan reptil (Santri & Adawiyah, 2025; Sebayang *et al.*, 2025). Kehidupan lintas medium ini memaksa ordo Anura (katak dan kodok) untuk mengembangkan struktur tubuh yang sangat adaptif guna melakukan aktivitas metabolisme, lokomosi, dan homeostasis dalam kondisi lingkungan darat yang cenderung kering serta fluktuatif (Santri & Adawiyah, 2025).

Salah satu bentuk adaptasi evolusioner yang paling mengagumkan pada amfibi adalah sistem pernapasannya yang sangat fleksibel. Pada saat berada di darat, amfibi dewasa bernapas menggunakan paru-paru (pulmo) dan rongga mulut (buccopharyngeal), namun ketika berada di dalam air atau habitat yang lembap, mereka mengandalkan kulit sebagai organ respirasi utama melalui mekanisme respirasi kutaneus (Santri & Adawiyah, 2025). Kulit amfibi bukan sekadar lapisan pelindung tubuh dari gangguan mekanis eksternal, melainkan sebuah organ multiorgan yang terlibat aktif dalam pertukaran gas, regulasi air (osmoregulasi), dan termoregulasi tubuh (Ismail *et al.*, 2024; Alsyahira *et al.*, 2024).

Sebagai konsekuensi dari ketergantungan pernapasan pada kulit, efisiensi respirasi kutaneus amfibi sangat dipengaruhi oleh parameter fisik mikrohabitatnya. Berdasarkan penelitian ekologis di Taman Nasional Ujung Kulon, stasiun pengamatan yang ideal bagi kelangsungan hidup amfibi memiliki suhu rata-rata berkisar 25–30°C dengan kelembaban udara yang sangat tinggi mencapai 80–89% (Badriah *et al.*, 2022). Kelembaban yang tinggi ini mutlak diperlukan karena kulit amfibi harus selalu basah agar molekul oksigen (O₂) dari udara dapat larut dan berdifusi masuk menembus membran seluler menuju pembuluh darah kapiler di bawah kulit (Santri & Adawiyah, 2025). Jika lingkungan sekitar mengalami kekeringan atau fluktuasi suhu ekstrem, amfibi akan mengalami dehidrasi berat

yang secara langsung menghentikan proses respirasi kutaneus dan berujung pada kematian (Ismail *et al.*, 2024).

Selain sistem respirasi, kulit amfibi juga terintegrasi erat dengan sistem osmoregulasi. Berbeda dengan hewan vertebrata darat lain yang memiliki kulit tebal berkeratin atau dilapisi sisik untuk menahan penguapan, kulit amfibi sangat permeabel terhadap air dan ion. Karakteristik ini membuat amfibi rentan kehilangan cairan tubuh melalui evaporasi, tetapi di sisi lain juga memungkinkan mereka untuk menyerap air secara langsung dari substrat basah tanpa perlu minum melalui mulut (Alyahira *et al.*, 2024). Di lingkungan dengan salinitas tinggi atau fluktuasi pasang surut seperti hutan mangrove, katak endemik harus mengoptimalkan perilaku etologis dan fisiologis kulitnya untuk mempertahankan tekanan osmotik internalnya (Tadris, 2025).

Meskipun biologi dasar amfibi telah banyak dikaji, penelitian yang mengintegrasikan respirasi kutaneus, fungsi kelenjar kulit, dan pengaruh perubahan suhu lingkungan masih terbatas. Di Indonesia, sebagian besar penelitian amfibi masih berfokus pada inventarisasi spesies dan keanekaragaman hayati (Wea *et al.*, 2024; Badriah *et al.*, 2022). Artikel *literature review* ini bertujuan mengkaji mekanisme respirasi kutaneus, peran kelenjar kulit dalam menjaga keseimbangan cairan, serta respons termoregulasi dan osmoregulasi amfibi terhadap perubahan lingkungan.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka (*literature review*) dengan pendekatan analisis deskriptif kualitatif. Data diperoleh melalui penelusuran literatur secara daring menggunakan Google Scholar dengan rentang tahun publikasi 2019–2026. Kata kunci yang digunakan meliputi adaptasi fisiologi amfibi, respirasi kutaneus, kulit amfibi, termoregulasi amfibi, osmoregulasi amfibi, dan histologi kulit Anura. Literatur yang dipilih merupakan artikel jurnal ilmiah nasional dan buku berbahasa Indonesia yang membahas mekanisme respirasi kutaneus, fungsi kelenjar kulit, serta adaptasi fisiologis amfibi terhadap perubahan lingkungan. Selanjutnya, sumber yang memenuhi kriteria dianalisis, dibandingkan,

dan disintesis secara deskriptif untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai fisiologi sistem pernapasan dan adaptasi kulit pada amfibi.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme Fisiologis Respirasi Kutaneus pada Amfibi

Respirasi kutaneus merupakan proses pertukaran gas pernapasan yang berlangsung menembus kulit terluar organisme. Pada amfibi dewasa, kulit memegang peranan vital yang melengkapi atau bahkan mendominasi kerja organ paru-paru (*pulmo*), terutama saat katak melakukan aktivitas di dalam air atau selama periode metabolisme rendah (Santri & Adawiyah, 2025). Ketika berada di darat, udara masuk melalui lubang hidung eksternal (*nares*) menuju paru-paru dengan mekanisme pompa tekanan positif rongga mulut (Santri & Adawiyah, 2025). Namun, ketika menyelam atau berada di liang tanah yang lembap, glotis paru-paru menutup dan pertukaran gas beralih sepenuhnya ke organ kulit (Santri & Adawiyah, 2025).

Secara anatomis dan histologis, efisiensi respirasi kutaneus didukung oleh beberapa spesifikasi struktur kulit amfibi. Kulit amfibi terdiri atas dua lapisan utama, yaitu epidermis di bagian luar dan dermis di bagian dalam (Santri & Adawiyah, 2025). Lapisan epidermis amfibi sangat tipis, hanya terdiri dari beberapa lapis sel epitel pipih yang tidak mengalami keratinisasi tebal seperti reptil. Di bawah epidermis, tepatnya pada lapisan dermis bagian atas (*stratum spongiosum*), terdapat anyaman pembuluh darah kapiler yang sangat padat dan meluas (Santri & Adawiyah, 2025). Jarak difusi yang sangat pendek antara permukaan kulit terluar dengan dinding kapiler darah ini meminimalkan hambatan fisik bagi pergerakan gas.

Proses pertukaran gas pada kulit berlangsung secara difusi pasif mengikuti gradien tekanan parsial gas antara lingkungan eksternal dan sirkulasi darah kapiler. Oksigen (O₂) yang terlarut dalam lapisan mukus cair di permukaan epidermis berdifusi masuk melintasi membran sel epitel menuju sel darah merah (eritrosit) di dalam kapiler dermis. Sebaliknya, karbon dioksida (CO₂) yang merupakan produk sisa respirasi seluler dibawa oleh darah menuju kulit dan dikeluarkan ke lingkungan

luar dengan cara berdiffusi keluar (Santri & Adawiyah, 2025). Pada banyak spesies Anura, kulit terbukti jauh lebih efisien untuk membuang karbon dioksida dibandingkan paru-paru karena kelarutan CO₂ di dalam media air/lendir kulit 20 kali lebih tinggi daripada oksigen.

Kelembaban udara dan ketersediaan air di habitat mikro memegang kendali mutlak atas laju respirasi ini. Berdasarkan data inventarisasi ekologis amfibi di Taman Nasional Ujung Kulon, habitat katak memiliki kelembaban relatif udara yang sangat tinggi berkisar 80-89% (Badriah *et al.*, 2022). Tingkat kelembaban yang optimal ini menjamin bahwa lapisan lendir pelarut oksigen pada epidermis amfibi tidak mengalami penguapan kering. Apabila kelembaban lingkungan turun drastis di bawah ambang batas fisiologisnya, pertukaran gas melalui kulit akan terhenti karena gas oksigen tidak dapat berdiffusi dalam fase gas kering melintasi membran sel epitel kulit yang mengering (Ismail *et al.*, 2024).

Struktur Anatomi Kulit dan Peran Kelenjar Mukus dalam Homeostasis

Integritas kulit amfibi dalam mempertahankan fungsi respirasi dan proteksi sangat ditopang oleh keberadaan organ kelenjar multiseluler yang terletak di lapisan dermis dengan saluran pelepasan menembus epidermis. Terdapat dua jenis kelenjar kulit utama yang umum dijumpai pada ordo Anura, yaitu kelenjar mukus (*mucous gland*) dan kelenjar granular atau kelenjar racun (*poison/granular gland*) (Santri & Adawiyah, 2025).

Kelenjar mukus berukuran lebih kecil, tersebar merata di seluruh permukaan tubuh katak, dan berfungsi menghasilkan sekret berlendir encer yang kaya akan glikoprotein (Santri & Adawiyah, 2025). Lendir ini disekresikan secara kontinu ke permukaan epidermis. Fungsi fisiologis kelenjar mukus ini meliputi:

1. Penyedia Media Pelarut Gas: Menjaga kulit agar selalu basah dan licin sehingga gas oksigen dapat larut sebelum berdiffusi ke dalam kapiler darah (Santri & Adawiyah, 2025).
2. Hambatan Evaporasi Cairan: Membentuk lapisan pelindung hidrofilik di atas epidermis yang menekan laju kehilangan air trans-epidermal akibat penguapan ke udara bebas (Ismail *et al.*, 2024).

3. Lubrikasi Mekanis: Mengurangi gesekan tubuh katak dengan partikel tanah atau tumbuhan saat bergerak melompat atau berenang di air (Santri & Adawiyah, 2025).

Kelenjar granular berukuran lebih besar dan sering kali terkonsentrasi di area tertentu, seperti kelenjar parotoid di belakang kepala katak. Kelenjar ini menghasilkan senyawa kimia toksik atau alkaloid beracun yang disekresikan saat katak berada dalam kondisi stres, terancam bahaya, atau diserang oleh predator. Modifikasi kelenjar granular ini merupakan mekanisme pertahanan diri yang sangat efektif untuk kelangsungan hidup amfibi di alam liar (Santri & Adawiyah, 2025).

Aktivitas sekresi kelenjar-kelenjar ini diatur secara ketat oleh sistem saraf otonom dan pelepasan hormon adrenalin saat katak menghadapi stres lingkungan. Pada kondisi suhu udara yang meningkat, kelenjar mukus akan dirangsang untuk menyekresikan lendir lebih banyak sebagai bentuk kompensasi evaporatif guna mendinginkan suhu tubuh melalui penguapan air yang terkontrol (Ismail *et al.*, 2024). Namun, mekanisme pelepasan air yang berlebihan ini harus diimbangi oleh kapasitas osmoregulasi internal yang kuat agar katak tidak jatuh ke dalam kondisi dehidrasi fatal (Alyahira *et al.*, 2024)

Regulasi Keseimbangan Cairan Tubuh dan Osmoregulasi Melalui Kulit

Osmoregulasi merupakan serangkaian proses fisiologis untuk mengontrol volume cairan tubuh dan konsentrasi zat terlarut (osmolaritas) di dalam sel atau jaringan organisme. Karena amfibi adalah hewan vertebrata dengan kulit yang sangat permeabel dan tipis, mereka menghadapi tantangan osmotik ganda yang ekstrem tergantung pada tipe habitatnya. Di lingkungan air tawar (kondisi hiperosmotik terhadap media), air secara konstan cenderung masuk ke dalam tubuh amfibi melalui osmosis melewati kulit, sementara garam-garam tubuh berdiffusi. Sebaliknya, di darat atau air payau, air dalam tubuh amfibi cenderung menguap atau tertarik keluar secara osmosis (Alyahira *et al.*, 2024; Tadris, 2025).

Untuk mengatasi tantangan ini, amfibi menggunakan kulit ventral sebagai organ penyerap air yang sangat khusus. Sebagian besar katak terestrial memiliki area kulit yang sangat tipis dan kaya akan vaskularisasi darah di bagian bawah perut

hingga paha belakang, yang dikenal dengan sebutan *pelvic patch* atau "daerah dudukan air" (Alyahira *et al.*, 2024). Katak jarang minum air menggunakan mulutnya; sebaliknya, mereka merebahkan area *pelvic patch* ini ke permukaan tanah yang basah, serasah daun berembun, atau substrat lembap lainnya. Air dari luar kemudian diserap secara aktif dan cepat melintasi sel epitel kulit menuju pembuluh darah kapiler melalui aksi protein saluran air spesifik yang disebut aquaporin (Alyahira *et al.*, 2024).

Di dalam tubuh, pengaturan cairan ini berkoordinasi erat dengan organ ginjal dan kandung kemih. Pada saat air melimpah, ginjal amfibi akan menyaring darah dan menghasilkan urine dalam volume besar yang sangat encer (hiposmotik) untuk membuang kelebihan air tubuh. Ketika katak berada di lingkungan darat yang kering, sekresi *hormon arginine vasotocin* (AVT) dari kelenjar hipofisis akan memicu peningkatan reabsorpsi air pada dinding kandung kemih dan meningkatkan permeabilitas kulit ventral (*pelvic patch*) agar penyerapan air eksternal berjalan maksimal. Kandung kemih amfibi bertindak sebagai reservoir air internal yang sangat besar; air urine yang encer di dalam kandung kemih dapat diserap kembali ke dalam sirkulasi darah kapiler saat katak mengalami stres kekeringan di darat (Alyahira *et al.*, 2024).

Adaptasi osmoregulasi yang ekstrem ditemukan pada spesies amfibi yang mendiami ekosistem pesisir seperti hutan mangrove. Berdasarkan studi etologi, katak endemik yang mendiami kawasan mangrove menunjukkan ketahanan yang luar biasa terhadap fluktuasi kadar garam (salinitas) yang tinggi (Tadris, 2025). Untuk mencegah keluarnya cairan tubuh akibat tekanan osmotik air payau yang pekat, katak mangrove secara fisiologis mengakumulasi urea di dalam jaringan tubuhnya guna meningkatkan osmolaritas cairan internalnya agar sejajar dengan osmolaritas air laut di sekitarnya (Tadris, 2025). Mekanisme ini mencegah terjadinya penyusutan volume sel darah dan kerusakan jaringan tubuh akibat penarikan air secara osmotik keluar menembus kulit (Tadris, 2025).

Respons Homeostasis Termoregulasi Amfibi terhadap Fluktuasi Suhu Lingkungan

Amfibi dikelompokkan sebagai organisme poikiloterm (ektotermik), yang berarti bahwa suhu tubuh mereka tidak dihasilkan secara internal melalui metabolisme tubuh sendiri, melainkan sangat bergantung dan berfluktuasi mengikuti suhu lingkungan eksternalnya. Fluktuasi suhu udara atau air di habitat mikro amfibi secara langsung memengaruhi laju reaksi biokimia, aktivitas enzim, dan metabolisme umum di dalam tubuh amfibi (Ismail *et al.*, 2024).

Dalam menghadapi perubahan suhu lingkungan, amfibi menerapkan kombinasi strategi antara adaptasi fisiologis (melibatkan kulit) dan perilaku termoregulasi (*behavioral thermoregulation*). Saat suhu lingkungan meningkat melebihi kisaran suhu nyaman (suhu kritis maksimal), amfibi akan segera menunjukkan respons etologis dengan mencari mikrohabitat pelindung yang lebih teduh, seperti di bawah serasah daun, di balik batuan sungai, atau membenamkan diri ke dalam lumpur basah. Lokasi-lokasi ini memiliki suhu mikro yang lebih rendah dan kelembaban yang stabil untuk meminimalkan paparan radiasi panas langsung (Wea *et al.*, 2024; Badriah *et al.*, 2022).

Secara fisiologis, amfibi merespons kenaikan suhu lingkungan dengan memodifikasi aliran darah kapiler pada kulitnya. Melalui proses vasodilatasi (pelebaran pembuluh darah kapiler kulit), volume aliran darah hangat dari bagian inti tubuh menuju permukaan kulit dermis akan ditingkatkan. Hal ini memicu pelepasan energi panas tubuh secara radiasi dan konveksi ke udara luar yang bersuhu lebih rendah. Bersamaan dengan itu, sekresi kelenjar mukus ditingkatkan untuk mempercepat pendinginan evaporatif (*evaporative cooling*) pada permukaan kulit (Ismail *et al.*, 2024).

Sebaliknya, pada kondisi suhu lingkungan yang sangat dingin (suhu kritis minimal), katak akan melakukan vasokonstriksi (penyempitan pembuluh darah kulit) guna meminimalkan hilangnya panas dari dalam tubuh ke lingkungan eksternal yang dingin. Laju metabolisme tubuh juga diturunkan ke tingkat paling rendah untuk menghemat energi (Ismail *et al.*, 2024). Melalui koordinasi yang terintegrasi antara sistem pernapasan kutaneus, aktivitas osmoregulasi kelenjar mukus, dan kontrol sirkulasi kapiler kulit, amfibi tropis di Indonesia terbukti mampu mempertahankan kelangsungan hidupnya di tengah variasi elevasi ketinggian dan iklim mikro perbukitan yang dingin (Wea *et al.*, 2024).

D. KESIMPULAN

Respirasi kutaneus merupakan salah satu adaptasi fisiologis utama yang memungkinkan amfibi mempertahankan pertukaran gas secara efektif melalui kulit. Keberhasilan mekanisme ini didukung oleh struktur kulit yang tipis, kaya pembuluh kapiler, serta keberadaan kelenjar mukus yang menjaga kelembapan kulit sehingga proses respirasi, osmoregulasi, dan termoregulasi dapat berlangsung secara terpadu. Berbagai adaptasi tersebut menunjukkan bahwa kulit amfibi tidak hanya berfungsi sebagai pelindung tubuh, tetapi juga berperan penting dalam menjaga homeostasis ketika menghadapi perubahan suhu, kelembapan, dan kondisi osmotik lingkungan. Kelangsungan hidup amfibi sangat dipengaruhi oleh kualitas habitat yang mampu mempertahankan kondisi iklim mikro yang sesuai. Kajian selanjutnya disarankan mengintegrasikan penelitian fisiologi, histologi, dan ekologi lapangan untuk memperkuat pemahaman mengenai respons adaptasi amfibi terhadap perubahan lingkungan, khususnya di ekosistem tropis Indonesia.

E. REFERENSI

- Alsyahira, Alsyahira., Khutni, K. I. D., Alie, N. H. K., Wawan, W., & Sahribulan, S. (2024). Literature Review: Osmoregulation in Vertebrate & Invertebrate Animals. *BioTeach: Biology Science and Biology Education Journal*, 1(2), 38-45. <https://journal.ininnawaparaedu.com/index.php/bioteach>
- Badriah, S. R., Wahyuni, I., Usman, U., Mahrawi, M., Ratnasari, D., & Rifqiawati, I. (2022). Inventarisasi Jenis Amfibi (Ordo Anura) di Kawasan Taman Nasional Ujung Kulon. *Berkala Ilmiah Biologi*, 13(3), 1-8.
- Ismail, F. Y., Rahmawati S, S., Sari, N. I., Muhlisa, M., & Sahribulan, S. (2024). Thermoregulation as an Adaptation Strategy in Frogs. *BioTeach: Biology Science and Biology Education Journal*, 1(2), 69-74. <https://journal.ininnawaparaedu.com/index.php/bioteach>

- Manangkot, H. J., & Kawatu, M. H. M. (2023). *Aneka Ternak dan Satwa Harapan: Cacing & Mollusca*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Santri, I. P., & Adawiyah, R. (2025). Pengamatan Kelas Amphibia Katak (Anura). *Fatih: Journal of Contemporary Research*, 2(2), 823-832.
<https://ziaresearch.or.id/index.php/fatih>
- Saputra, A. W. (2023). *Analisis Keanekaragaman Amfibi (Ordo Anura) di Kawasan Budidaya Desa Fajar Baru Kecamatan Pagelaran Utara Kabupaten Pringsewu Lampung* (Skripsi, Universitas Lampung). Repositori Universitas Lampung.
- Sebayang, A., Rangkuty, S. M., Aritonang, C., & Silaban, M. O. (2025). Penerapan Video Pendek Terhadap Hasil Belajar Mahasiswa dalam Pembelajaran Perkembangan Hewan Amfibi. *BIO-CONS: Jurnal Biologi dan Konservasi*, 7(2), 118-125. <https://doi.org/10.31537/biocons.v7i2.2301>
- Tadris, D. S. (2025). Studi Etologi Katak Endemik di Ekosistem Mangrove Indonesia. *Jurnal Biologi Indonesia*, 1(1), 29-35.
<https://ejournal.samudrailmu.com/index.php/jbi>
- Wea, F., Purnama, M. M. E., & Pramatana, F. (2024). Amphibian Species Diversity Based on Altitude in Fatumnasi Protection Forest. *Saluttack Journal of Science Research and Development*, 6(1), 1302-1311.
<https://idm.or.id/JSCR>