

Maiser Syaputra | Saleh Amin | I Gde Mertha
Alfa Widayawan | Anajib Prabu Arras
Abdulloh Muzakky | Panji Hertadian | Muhammad Anggi

KEANEKARAGAMAN HAYATI INDIKATOR LANSKAP INDUSTRI



PT PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG

KEANEKARAGAMAN HAYATI INDIKATOR LANSKAP INDUSTRI

**Maiser Syaputra
Saleh Amin
I Gde Mertha
Alfa Widyawan
Anajib Prabu Arras
Abdulloh Muzakky
Panji Hertadian
Muhammad Anggi**

**PT PUPUK SRIWIDJAJA PALEMBANG
2023**

KEANEKARAGAMAN HAYATI INDIKATOR LANSKAP INDUSTRI

Copyright 2023

Tim penulis:

Maiser Syaputra, Saleh Amin, I Gde Mertha, Alfa Widyawan, Anajib Prabu Arras,
Abdulloh Muzakky, Panji Hertadian, Muhammad Anggi

Desain dan foto-foto:

Saleh Amin

ISBN: 978-602-72775-3-3

Sitasi:

Syaputra, M., Amin S., Mertha I.G., Widyawan A., Arras A.P., Muzakky A., Hertadian P., Anggi M. (2023). *Keanekaragaman Hayati Indikator Lanskap Industri*. PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Palembang.

Cetakan pertama, Juli 2023



SAMIYU





Isi Buku

PENGANTAR	5
SAMBUTAN DIREKTUR UTAMA	7
PENDAHULUAN	11
KEANEKARAGAMAN HAYATI	13
Tingkatan KEHATI	15
Peran dan Manfaat KEHATI	16
Nilai Penting KEHATI	17
BIOINDIKATOR	20
Peranan dan Manfaat Bioindikator	22
Karakteristik Bioindikator	22
Klasifikasi Bioindikator	23
LANSKAP INDUSTRI	25
Karakteristik Lanskap Industri	27
Tipologi Habitat Pada Lanskap Industri	28
Implikasi Keberadaan Lanskap Industri	29
Industri Hijau	32

Beberapa Jenis Keanekaragaman Hayati Indikator Lanskap Industri	34
Beringin	35
Lumut Kerak (Lichen)	38
Lumut air	39
Eceng Padi	40
Burung Pemangsa	41
Burung Air	44
Famili Cuculidae	45
Kelelawar	47
Katak dan Kodok	48
Monyet Ekor-panjang	49
Ular	52
Bajing Kelapa	53
Biawak	56
Lebah	57
Kupu-kupu	58
Capung	60
Belalang dan Jangkrik	61
Lalat	64
Daftar Pustaka	65



PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul **“Keanekaragaman Hayati Indikator Lanskap Industri”**. Buku ini menghadirkan informasi tentang peranan keanekaragaman hayati dalam konteks lanskap industri sebagai indikator yang efisien dan efektif untuk mengukur dan memantau kondisi kesehatan lingkungan industri. Lanskap industri sering kali dianggap kurang mendukung bagi kehidupan alam, namun buku ini akan mengajak pembaca untuk melihat bagaimana penggunaan keanekaragaman hayati sebagai bioindikator dapat menjadi instrumen dalam pengelolaan lingkungan kawasan industri secara bijaksana dengan tujuan utama mempromosikan dan melestarikan keanekaragaman hayati.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah memfasilitasi, memberikan dukungan, menyumbangkan pemikiran, data, serta membantu kelancaran dalam proses penulisan buku ini, terutama kepada Pimpinan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, seluruh staf Departemen Lingkungan Hidup PT Pupuk Sriwidjaja Palembang, serta pihak-pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini tidak sempurna dan masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, saran dan masukan dari berbagai pihak terutama pembaca sangat penulis harapkan guna menyempurnakan tulisan ini kedepannya. Akhir kata penulis berharap buku ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak, khususnya dari kalangan korporasi maupun juga kalangan umum yang tertarik dengan isu-isu lingkungan hidup, upaya pelestarian keanekaragaman hayati, dan pengelolaannya di lingkungan industri.

Penulis



SAMBUTAN DIREKTUR UTAMA



Selamat atas telah diterbitkannya buku **“Keanekaragaman Hayati Indikator Lanskap Industri”**. Saya sebagai Direktur Utama PT Pupuk Sriwidjaja Palembang sangat bangga atas pencapaian ini. Sebagai salah satu perusahaan yang beroperasi di sektor industri pupuk, kami sadar tanggung jawab kami bukan hanya untuk mencapai kesuksesan bisnis, tetapi juga untuk melestarikan lingkungan alam di sekitar kami.

Melalui buku ini, kami ingin menyampaikan pesan bahwa kegiatan industri dan kelestarian alam dapat berjalan beriringan. Kami telah mengadopsi pendekatan yang berkelanjutan dalam operasional kami, dengan mempertimbangkan perlindungan keanekaragaman hayati dan pengurangan dampak negatif terhadap lingkungan. Kami berharap buku ini dapat menjadi sumber inspirasi bagi industri lainnya dan masyarakat umum dalam menjalankan kegiatan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim penulis dan semua pihak yang terlibat. Kontribusi mereka dalam menyajikan informasi yang berharga sebagai solusi praktis bagi industri adalah suatu prestasi yang patut diapresiasi. Dengan terbitnya buku ini, kami berharap dapat mendorong industri-industri lainnya untuk menjaga kelestarian keanekaragaman hayati. Bersama-sama, kita dapat menciptakan lingkungan yang seimbang antara pembangunan ekonomi dan pelestarian alam.

Semoga buku ini menjadi sumber pengetahuan yang berharga dan memicu tindakan nyata untuk kelestarian keanekaragaman hayati. Mari bersama-sama kita berkomitmen untuk menciptakan masa depan yang lebih baik, dimana industri dan lingkungan dapat berjalan beriringan.

Terima kasih.

Wassalam





© PT Pupuk Sriwidjaja Palembang

PENDAHULUAN

Lanskap industri saat ini telah mengalami pertumbuhan yang sangat pesat sebagai akibat semakin meningkatnya perkembangan teknologi dan kebutuhan manusia. Secara sederhana, lanskap industri dapat dijelaskan sebagai ragam aktivitas manusia yang berlangsung dalam ekosistem seperti pabrik, pertambangan, perkebunan, dan infrastruktur dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan manusia. Sayangnya, pertumbuhan lanskap industri seringkali memberikan tekanan terhadap ekosistem dan keanekaragaman hayati.

Keanekaragaman hayati, yang mencakup berbagai spesies tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme serta interaksi mereka dalam suatu ekosistem, memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlangsungan kehidupan di bumi. Namun, lanskap industri seringkali mengalami perubahan drastis dalam penggunaan lahan, degradasi habitat, dan polusi yang berpotensial mengakibatkan penurunan keanekaragaman hayati.

Pemantauan keanekaragaman hayati di lanskap industri menjadi semakin penting untuk memahami dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Melalui pemantauan tersebut, kita dapat mengidentifikasi spesies indikator yang sensitif terhadap perubahan lingkungan dan menggunakan mereka sebagai bioindikator, organisme yang memberikan informasi tentang kondisi lingkungan berdasarkan respons mereka terhadap perubahan lingkungan.



© PT Pupuk Sriwidjaja Palembang

Penggunaan bioindikator dalam pemantauan keanekaragaman hayati pada lanskap industri memiliki manfaat yang signifikan. Mereka dapat membantu dalam mendeteksi perubahan yang terjadi, mengidentifikasi daerah yang rentan terhadap perubahan lingkungan, dan mengukur efektivitas usaha konservasi. Dengan memantau keanekaragaman hayati indikator, kita akan mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi ekosistem pada lanskap industri, lalu menggunakan untuk merancang langkah-langkah konservasi yang lebih efektif.

Namun, untuk memaksimalkan peran bioindikator, pemahaman terhadap karakteristik yang harus dimiliki oleh bioindikator sangat perlu diketahui, terutama yang relevan dalam konteks lanskap industri. Sensitivitas terhadap perubahan lingkungan, spesifik dalam merespons parameter lingkungan tertentu, dan kemampuan untuk memberikan informasi tentang kondisi ekosistem secara keseluruhan menjadi faktor kunci dalam pemilihan bioindikator yang tepat.

KEANEKARAGAMAN HAYATI



Keanekaragaman hayati, disingkat KEHATI, secara sederhana dapat diartikan sebagai variasi yang terjadi pada berbagai tingkatan makhluk hidup yang tinggal pada suatu wilayah. Menurut Campbell et al., (2020), makhluk hidup dicirikan sebagai organisme yang terdiri dari satu atau lebih sel. Selain itu, makhluk hidup juga memiliki kemampuan untuk bereproduksi, beradaptasi, serta melakukan pertumbuhan dan perkembangan. Karakteristik utama makhluk hidup adalah keragaman dalam bentuk dan struktur. Simpson (1961) menyoroti bahwa makhluk hidup memiliki keragaman bentuk tubuh yang luas, mulai dari mikroskopis hingga organisme yang besar dan kompleks. Selain itu, makhluk hidup juga memiliki keragaman struktur dan fungsi organ-organ mereka, yang memungkinkan mereka untuk menjalankan berbagai peran dan adaptasi dalam lingkungan yang berbeda.

Keanekaragaman hayati menjadi bagian yang sangat penting dan tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, karena keberadaannya berkontribusi dalam menyokong keseimbangan alam. Berdasarkan pendapat para ahli, keanekaragaman hayati didefinisikan sebagai berikut:

1. “Keanekaragaman hayati adalah variasi makhluk hidup dari semua sumber, termasuk di antaranya, antara lain, darat, laut, dan ekosistem air tawar, serta kompleks ekologis di mana mereka menjadi bagian. Ini mencakup keragaman dalam tingkat genetik di dalam spesies dan variasi antara spesies, serta variasi ekosistem.” (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2010).
2. “Keanekaragaman hayati adalah keragaman kehidupan di semua tingkat organisasi biologis, termasuk keragaman genetik dalam spesies dan antara spesies, keragaman spesies di suatu area geografis, dan keragaman ekosistem.” (Wilson, 2010).
3. “Keanekaragaman hayati mencakup variasi genetik, variasi spesies, serta variasi ekosistem di suatu area tertentu. Hal ini merupakan kekayaan yang sangat berharga bagi manusia dan perlu dijaga dan dilestarikan.” (Convention on Biological Diversity, 2023).

Pengelompokan keanekaragaman hayati dapat dilakukan berdasarkan klasifikasi ilmiah yang telah dikembangkan oleh berbagai ahli. Menurut Whittaker (1969), keanekaragaman hayati utamanya dapat dibagi ke dalam lima kerajaan (*Kingdom*),

yaitu Monera, Protista, Fungi, Plantae, dan Animalia. Kerajaan Monera meliputi bakteri dan archaea, Protista meliputi protista uniseluler, Fungi meliputi jamur, Plantae meliputi tumbuhan, dan Animalia meliputi hewan. Pembagian ini didasarkan pada perbedaan dalam struktur dan sifat-sifat dasar makhluk hidup.

Karakteristik keanekaragaman hayati makhluk hidup juga dapat dibagi berdasarkan taksonomi, yang mencakup tingkatan hierarki dari tingkat spesies hingga tingkat kerajaan. Mayr (1968) menekankan bahwa taksonomi memungkinkan pengelompokan makhluk hidup berdasarkan kesamaan sifat-sifat mereka. Tingkat taksonomi ini termasuk spesies, genus, famili, ordo, kelas, filum, dan kerajaan. Dalam setiap tingkatan ini, terdapat ciri-ciri dan karakteristik yang membedakan kelompok-kelompok makhluk hidup tersebut.

Penelitian juga telah menunjukkan bahwa evolusi memainkan peran penting dalam pembagian dan karakteristik makhluk hidup, makhluk hidup berasal dari nenek moyang bersama dan mengalami perubahan bertahap melalui seleksi alam. Proses evolusi mengarah pada perubahan dalam ciri dan karakteristik makhluk hidup seiring waktu. Dalam studi evolusi makhluk hidup, ciri dan karakteristik makhluk hidup dapat ditelusuri kembali ke leluhur bersama dan dianalisis dalam konteks sejarah evolusi.

Tingkatan KEHATI

Berdasarkan sumber yang ada, KEHATI dibedakan menjadi tiga tingkatan. Tingkatan pertama adalah keanekaragaman genetik, merujuk pada variasi gen dalam suatu populasi atau spesies. Pritchard et al., (2000) menunjukkan bahwa struktur genetik dapat mencerminkan sejarah evolusi, pergerakan individu, dan pengaruh lingkungan terhadap populasi. Melalui analisis struktur genetik, peneliti dapat memahami pola hubungan antar individu dan populasi, serta mengidentifikasi populasi yang rentan terhadap kepunahan atau perubahan ekosistem. Frankham et al., (2002) menambahkan, keanekaragaman genetik penting karena memberikan pondasi untuk adaptasi dan evolusi. Variasi genetik memungkinkan populasi beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dan serangan penyakit.

Tingkatan kedua adalah keanekaragaman spesies. Keanekaragaman spesies mencakup jumlah spesies yang ada dalam suatu wilayah atau ekosistem. Keanekaragaman spesies memiliki nilai ekologis yang besar. Spesies-spesies berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem, berpartisipasi dalam siklus nutrisi, serta memberikan berbagai manfaat ekosistem, seperti sebagai polininator, pengendali hama, dan produsen oksigen.

Ruang lingkup KEHATI tingkat spesies mencakup variasi morfologi, perilaku, dan adaptasi di antara spesies yang berbeda. Menurut Gaston (2000), keberagaman morfologi dan perilaku spesies merupakan indikator penting dari keanekaragaman spesies. Variasi ini memungkinkan spesies untuk memanfaatkan sumber daya dan memenuhi kebutuhan ekologis mereka dengan cara yang berbeda, sehingga meningkatkan ketahanan dan fleksibilitas ekosistem. Distribusi spesies dalam ruang geografis juga menjadi bagian dari ruang lingkup biodiversitas tingkat spesies. Kreft dan Jetz (2007) menunjukkan bahwa variasi dalam distribusi spesies mempengaruhi keanekaragaman regional dan global. Distribusi spesies mencerminkan interaksi antara faktor lingkungan dan sejarah evolusi, yang mempengaruhi pola persebaran spesies di berbagai habitat dan wilayah.

Tingkatan berikutnya adalah keanekaragaman ekosistem. Keanekaragaman ekosistem mencakup keragaman ekosistem yang ada dalam suatu wilayah atau planet. Menurut Hooper et al., (2005), keanekaragaman ekosistem penting karena setiap ekosistem memiliki karakteristik dan fungsi yang unik. Kehadiran berbagai tipe ekosistem, seperti hutan, padang rumput, dan terumbu karang, memberikan manfaat ekologi yang beragam dan melindungi keanekaragaman spesies.

Ruang lingkup biodiversitas tingkat ekosistem menyoroti perbedaan dalam struktur, komposisi, dan fungsionalitas ekosistem yang berbeda-beda. Ekosistem yang berbeda memiliki karakteristik yang unik, termasuk struktur fisik, komposisi spesies, dan fungsionalitas ekologis. Keanekaragaman ekosistem juga mempengaruhi produktivitas ekosistem, siklus nutrisi, dan keberlanjutan sumber daya alam. Cardinale et al., (2012) menunjukkan bahwa hilangnya keanekaragaman ekosistem dapat mengurangi produktivitas, stabilitas, dan resiliensi ekosistem. Selain itu, keberagaman ekosistem juga memberikan perlindungan terhadap perubahan lingkungan dan dapat meningkatkan kemampuan ekosistem untuk beradaptasi. Naeem et al., (2012) menyoroti pentingnya keanekaragaman ekosistem dalam menjaga ketahanan dan keberlanjutan ekosistem terhadap tekanan eksternal, seperti perubahan iklim dan kerusakan habitat. Melindungi keanekaragaman ekosistem menjadi kunci dalam menjaga fungsi dan keseimbangan ekosistem di seluruh planet kita.

Peran dan Manfaat KEHATI

Peneliti dan para ahli telah mengungkapkan berbagai peranan yang dimainkan oleh keanekaragaman hayati diantaranya: pertama, keanekaragaman hayati berperan dalam menjaga stabilitas ekosistem. Menurut Tilman et al., (2001) keanekaragaman

hayati berkontribusi dalam menjaga stabilitas ekosistem dengan mengurangi dampak perubahan lingkungan. Dengan adanya beragam spesies yang saling berinteraksi dan bergantung satu sama lain, ekosistem menjadi lebih tangguh dan mampu menahan gangguan serta tetap berfungsi secara optimal.

Kedua, keanekaragaman hayati juga penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem. Loreau et al., (2002) menunjukkan bahwa keanekaragaman hayati memberikan keberlanjutan dan ketahanan terhadap perubahan alam yang tidak terduga. Keanekaragaman spesies memungkinkan ekosistem untuk beradaptasi dan mempertahankan fungsinya meskipun menghadapi tekanan lingkungan yang berubah.

Selanjutnya, keanekaragaman hayati berperan penting dalam menjaga keseimbangan populasi dan rantai makanan. Pimm (1984) menyoroti bahwa keanekaragaman hayati membantu menjaga keseimbangan populasi berbagai spesies serta proporsi yang tepat antara produsen, konsumen, dan dekomposer dalam rantai makanan. Dengan adanya keanekaragaman hayati, ekosistem dapat mempertahankan interaksi yang kompleks antara berbagai organisme, yang penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Selain itu, keanekaragaman hayati juga memberikan kontribusi penting dalam penyediaan layanan ekosistem. Cardinale et al., (2012) menunjukkan bahwa keragaman spesies berperan dalam pengendalian erosi, pemurnian air, dan penguraian limbah organik. Layanan ekosistem ini membantu menjaga kualitas lingkungan dan memberikan manfaat langsung bagi manusia.

Terakhir, keanekaragaman hayati memiliki nilai intrinsik yang tak ternilai. Selain manfaat fungsionalnya, keanekaragaman hayati juga memiliki nilai estetika dan keunikan yang memberikan kekayaan budaya dan spiritual bagi manusia (TEEB, 2010). Keanekaragaman hayati merupakan bagian penting dari warisan alam yang harus kita jaga dengan baik untuk kepentingan kita sendiri dan generasi mendatang.

Nilai Penting KEHATI

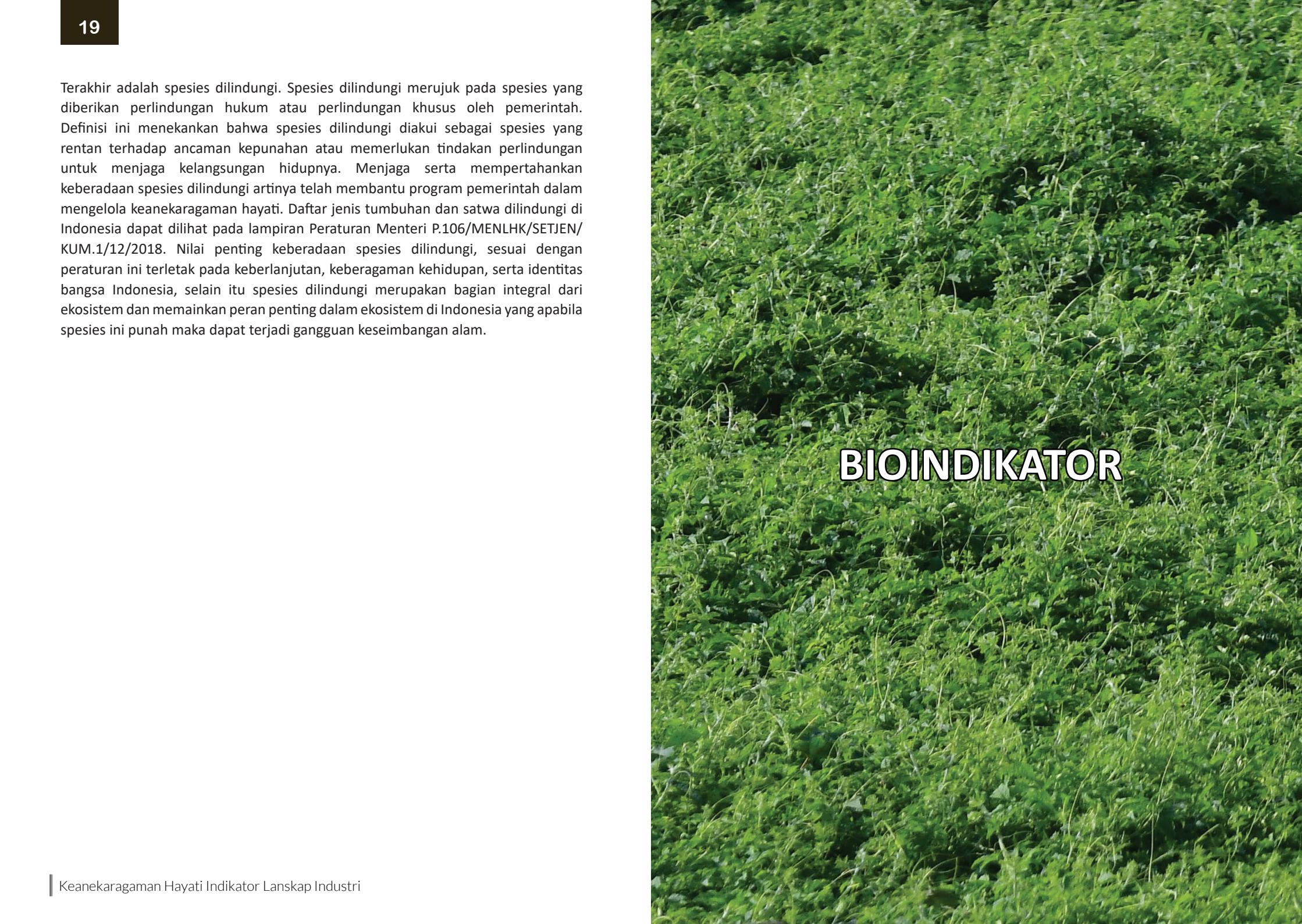
Keanekaragaman hayati memiliki nilai penting jika dilihat dari spesies yang mendiami suatu wilayah. Nilai penting **pertama** adalah keberadaan jenis endemik. Myers et al., (2000) mendefinisikan spesies endemik sebagai spesies yang hanya ditemukan di suatu wilayah tertentu dan tidak ada di tempat lain di dunia. Keberadaan spesies endemik mengungkapkan pentingnya konservasi dan perlindungan habitat yang unik dan penting. Keanekaragaman spesies endemik juga memiliki nilai ekologis

yang tinggi karena spesies-spesies ini sering kali memiliki peran penting dalam keseimbangan rantai makanan dalam ekosistem. Ceballos et al., (2015) menyoroti pentingnya perlindungan dan pemulihian spesies endemik dalam menjaga keanekaragaman hayati global dan menjaga ekosistem yang seimbang. Melindungi spesies endemik adalah upaya yang penting dalam menjaga keanekaragaman hayati di tingkat lokal maupun global, serta memastikan keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan hidup.

Nilai penting **kedua** adalah spesies asli atau spesies *native*. Terminologi ini merujuk pada spesies yang memiliki sejarah evolusi dan distribusi alami di suatu wilayah. Definisi ini menyoroti bahwa spesies asli telah ada dalam wilayah tersebut sejak jangka waktu yang panjang dan signifikan, serta telah beradaptasi dengan baik terhadap lingkungan setempat. Vitousek et al., (1997) menyatakan bahwa spesies asli merujuk pada spesies yang telah berkembang dan menyebar secara alami dalam suatu wilayah geografis sebelum adanya intervensi manusia. Hobbs et al., (2006) menyoroti pentingnya spesies asli dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan melindungi spesies lain yang bergantung pada interaksi ekologi yang kompleks. Spesies asli juga berperan dalam menjaga kualitas habitat dan fungsi ekosistem, seperti pengendalian erosi tanah, penyerbukan tanaman, dan pemulihian ekosistem yang terganggu. Perlindungan spesies asli menjadi penting dalam menjaga keanekaragaman hayati, integritas ekosistem, serta memastikan keberlanjutan sumber daya alam dan kesejahteraan manusia.

Nilai penting **ketiga** adalah spesies terancam punah. Spesies terancam punah merujuk pada spesies yang menghadapi risiko kepunahan di masa depan. Beberapa ahli sepakat menggunakan daftar jenis internasional seperti IUCN (International Union for Conservation of Nature) dalam mengidentifikasi status keterancaman keanekaragaman hayati. Spesies terancam punah adalah kelompok spesies yang populasi alamnya terus-menerus menghadapi penurunan yang signifikan di alam. Spesies terancam punah seringkali memiliki peran ekologis yang penting, dimana jika spesies tersebut punah akan mengakibatkan terganggunya keseimbangan rantai makanan, hilangnya agen penyerbuk, terganggunya reproduksi tumbuhan dan lain sebagainya. Pimm et al., (2014) menyoroti pentingnya perlindungan spesies terancam punah dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan mempertahankan integritas ekologis. Melindungi spesies terancam punah adalah upaya penting dalam menjaga keanekaragaman hayati, termasuk mencegah kepunahan, serta memastikan kelangsungan hidup dan warisan alam yang berharga bagi generasi mendatang.

Terakhir adalah spesies dilindungi. Spesies dilindungi merujuk pada spesies yang diberikan perlindungan hukum atau perlindungan khusus oleh pemerintah. Definisi ini menekankan bahwa spesies dilindungi diakui sebagai spesies yang rentan terhadap ancaman kepunahan atau memerlukan tindakan perlindungan untuk menjaga kelangsungan hidupnya. Menjaga serta mempertahankan keberadaan spesies dilindungi artinya telah membantu program pemerintah dalam mengelola keanekaragaman hayati. Daftar jenis tumbuhan dan satwa dilindungi di Indonesia dapat dilihat pada lampiran Peraturan Menteri P.106/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2018. Nilai penting keberadaan spesies dilindungi, sesuai dengan peraturan ini terletak pada keberlanjutan, keberagaman kehidupan, serta identitas bangsa Indonesia, selain itu spesies dilindungi merupakan bagian integral dari ekosistem dan memainkan peran penting dalam ekosistem di Indonesia yang apabila spesies ini punah maka dapat terjadi gangguan keseimbangan alam.



BIOINDIKATOR

■ Pengembangan Keanekaragaman Hayati

Bioindikator, atau dikenal juga dengan istilah indikator biologis, atau indikator hidup, merupakan organisme hidup yang dapat digunakan untuk memonitor atau mengevaluasi kondisi lingkungan dari waktu ke waktu. Umumnya, organisme bioindikator memiliki hubungan erat dengan lingkungannya, sehingga keberadaan mereka sangat penting sebagai petunjuk tentang perubahan lingkungan melalui respon-respon biologis mereka terhadap faktor-faktor tertentu, seperti polusi, perubahan suhu, kualitas air, dan lain sebagainya (Holt & Miller, 2010). Perubahan-perubahan dalam lingkungan umumnya dapat bersifat antropogenik seperti perubahan akibat konversi lahan, dan alami seperti perubahan akibat kekeringan, banjir, atau longsor. Pemantauan menggunakan bioindikator dapat memberikan informasi penting tentang kesehatan ekosistem dan potensi dampak negatif terhadap organisme hidup, termasuk manusia.

Bioindikator telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk lingkungan, pertanian, dan kesehatan. Bioindikator dapat berupa species atau komunitas tumbuhan, hewan, atau mikroorganisme, yang memiliki variasi sensitivitas terhadap perubahan lingkungan. Misalnya, beberapa jenis lumut dapat digunakan sebagai bioindikator untuk tingkat polusi udara karena rentan terhadap perubahan kualitas udara (Skye, 1979; Shi et al., 2017; Oishi & Hiura, 2017). Pada bidang pertanian, bioindikator dapat membantu dalam pemantauan kualitas tanah dan keberlanjutan pertanian. Organisme seperti cacing tanah atau bakteri tanah banyak digunakan sebagai bioindikator untuk mengukur kesehatan tanah dan keberagaman biologis (Pelosi, 2014; Römbke et al., 2005).

Penggunaan bioindikator sebagai alat pemantauan lingkungan telah berkembang pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran tentang perlunya menjaga keseimbangan ekosistem. Pemantauan dengan menggunakan bioindikator dapat memberikan informasi yang sangat berharga untuk mengidentifikasi masalah lingkungan, menentukan keefektifan tindakan mitigasi, dan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang interaksi antara organisme hidup dan lingkungan.

Peranan dan Manfaat Bioindikator

Dalam pemantauan lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam, bioindikator memiliki peranan dan fungsi yang penting. Sensitivitas mereka terhadap perubahan lingkungan sangat efektif sebagai petunjuk adanya masalah pada lingkungan, seperti polusi atau degradasi lingkungan. Selain itu, bioindikator juga dapat memberikan gambaran tentang kestabilan suatu ekosistem. Perubahan dalam komposisi atau kepadatan populasi mereka dapat mengungkapkan ada tidaknya gangguan atau ketidakseimbangan dalam ekosistem, memberikan petunjuk tentang kerentanan ekosistem terhadap beragam tekanan (Carignan & Villard, 2004). Dengan memonitor organisme bioindikator selama periode waktu yang panjang, perubahan jangka panjang dapat diidentifikasi dan kuantifikasi (Parmar et al., 2016). Hal ini membantu dalam memahami tren perubahan lingkungan secara keseluruhan, seperti perubahan iklim atau perubahan dalam praktik pengelolaan lahan.

Bioindikator juga digunakan untuk mengevaluasi dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan. Misalnya, penggunaan bioindikator dalam pemantauan kualitas air dapat membantu mengidentifikasi efek negatif dari rumah tangga, industri, atau pertanian (Parmar et al., 2016). Data yang diperoleh dari pemantauan bioindikator dapat digunakan untuk memberikan informasi penting kepada para pengambil keputusan dalam pengelolaan lingkungan dan upaya konservasi. Hal ini membantu dalam pengembangan kebijakan dan tindakan yang lebih efektif untuk melindungi dan memulihkan lingkungan.

Karakteristik Bioindikator

Bioindikator biasanya merupakan spesies atau komunitas yang dapat menunjukkan respon spesifik terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti hilangnya habitat, polusi, atau perubahan lainnya. Keanekaragaman hidup atau disebut juga biodiversitas, sering difungsikan sebagai indikator yang efektif karena memiliki hubungan yang terdokumentasi dengan baik dengan variabel lingkungan tertentu atau sangat sensitif terhadap perubahan di lingkungan mereka (Parmar et al., 2016).

Carignan & Villard (2002), Parmar et al., (2016), dan Holt & Miller, (2010) menjelaskan bahwa bioindikator harus mampu menunjukkan fenomena yang terkait secara langsung dengan perubahan parameter lingkungan yang diamati. Sebagai contoh, penurunan jumlah individu atau hilangnya jenis-jenis tertentu dapat mengindikasikan peningkatan polusi atau kerusakan lingkungan, dan sebaliknya hadir atau meledaknya jumlah populasi jenis-jenis tertentu dapat dikaitkan dengan telah terjadinya kerusakan lingkungan. Beberapa karakteristik yang harus dimiliki

oleh organisme bioindikator dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Bioindikator harus memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan dalam parameter lingkungan tertentu. Bioindikator harus mampu merespons dengan cepat terhadap perubahan yang terjadi, baik itu dalam komposisi kimia, suhu, kelembaban, atau faktor lingkungan lainnya.
2. Bioindikator harus memiliki spesifisitas dalam merespons parameter lingkungan tertentu. Misalnya, organisme yang digunakan sebagai bioindikator kualitas air harus memiliki kepekaan khusus terhadap polutan tertentu yang ada dalam air.
3. Organisme bioindikator harus dapat diamati dan diidentifikasi dengan mudah. Pengamatan dan analisis terhadap bioindikator harus bisa dilakukan secara langsung dan efisien.
4. Penggunaan bioindikator yang konsisten dan dapat diulang memberikan keunggulan dalam pengambilan keputusan. Bioindikator yang dapat direplikasi di berbagai lokasi dan waktu memungkinkan pemantauan yang konsisten dan perbandingan data yang akurat.
5. Bioindikator yang baik harus dapat memberikan informasi yang relevan tentang keadaan ekosistem secara keseluruhan. Mereka harus mampu mencerminkan interaksi dan dinamika ekosistem yang lebih luas.

Klasifikasi Bioindikator

Secara umum, bioindikator dapat klasifikasikan ke dalam beberapa kategori berdasarkan karakteristik ekologis atau faktor lingkungan tertentu yang sensitif terhadapnya. Beberapa pengelompokan yang umum sebagai berikut:

1. Bioindikator perairan

Organisme yang hidup di dalam air, seperti ganggang, plankton, dan makroinvertebrata air, dapat digunakan sebagai bioindikator untuk mengukur kualitas ekosistem perairan. Perubahan dalam populasi atau jenis dari organisme ini dapat mengindikasikan ada atau tidaknya perubahan kondisi pada lingkungan perairan (Zechmeister, et al., 2003; Shi, et al., 2017).

2. Bioindikator udara

Beberapa organisme seperti lumut, liken, dan beberapa jenis serangga, dapat digunakan sebagai bioindikator untuk mengukur kualitas udara. Mereka rentan terhadap polutan tertentu dan dapat menunjukkan tingkat polusi udara pada ekosistem yang mereka tempati (Abas, 2021; Skye, 1979).

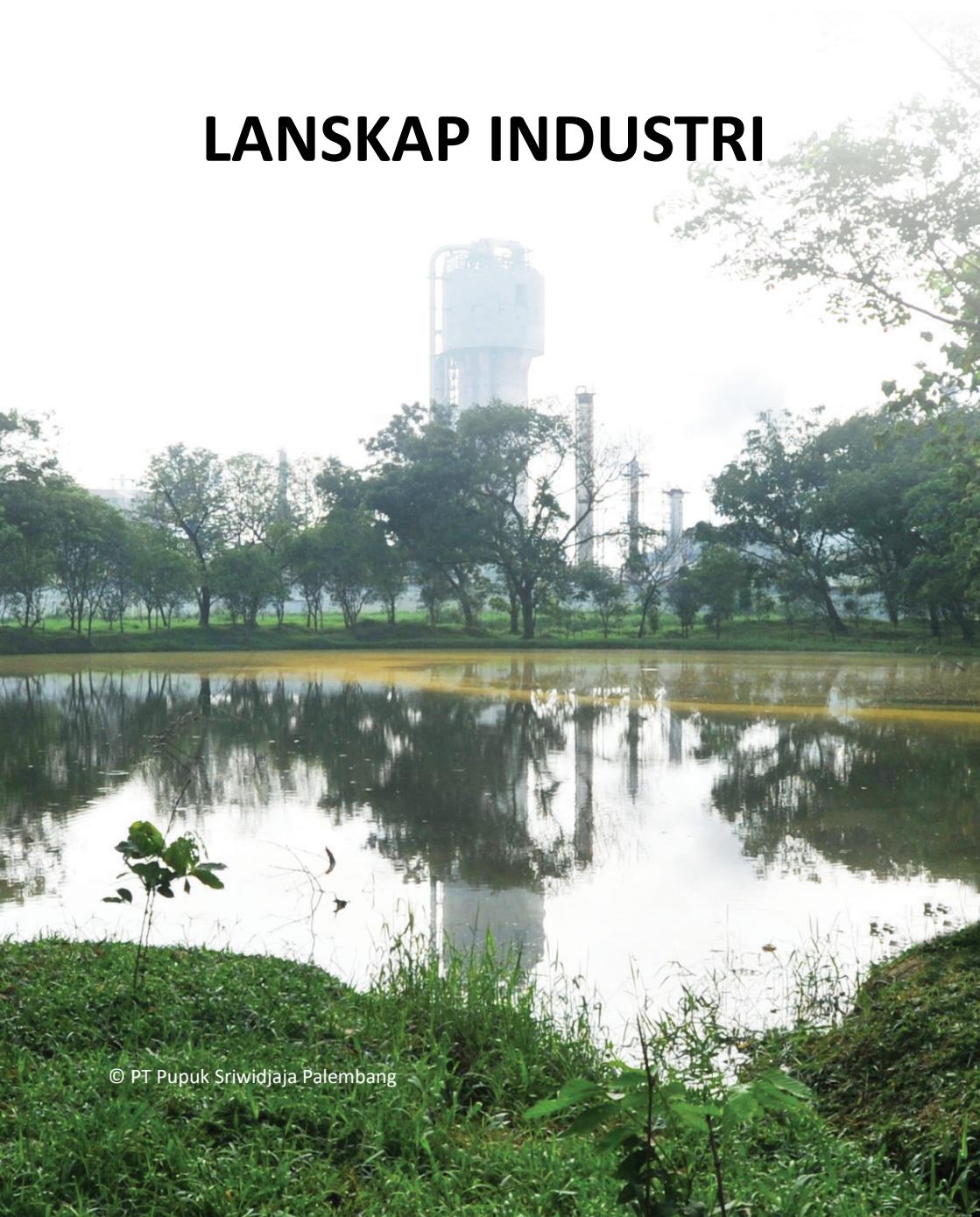
3. Bioindikator tanah

Organisme seperti cacing tanah, serangga tanah, dan mikroba tanah dapat digunakan sebagai bioindikator untuk mengukur kualitas tanah. Dengan melihat atau mengukur komposisi mereka, kita dapat melakukan penilaian terkait tingkat kesuburan, polusi, atau perubahan lingkungan lainnya pada tanah (Marinissen & de Ruiter, 1993; Schloter et al., 2017; Elmholz, 1996; Pankhurst et al., 1995).

4. Bioindikator keanekaragaman hayati

Beberapa organisme seperti burung atau kelelawar dapat digunakan sebagai proxy untuk menilai kondisi keanekaragaman hayati dan ekosistem secara keseluruhan. Perubahan dalam keanekaragaman spesies dan komunitas dapat mengindikasikan perubahan dalam ekosistem yang lebih luas (Sergio et al., 2008; Burgas et al., 2014; Natsukawa et al., 2021; Morelli et al., 2017).

LANSKAP INDUSTRI



© PT Pupuk Sriwidjaja Palembang

Lanskap industri dapat digambarkan sebagai transformasi lahan yang disebabkan oleh kegiatan manusia dalam sektor industri atau kegiatan ekonomi lainnya. Lanskap industri mencakup seluruh area industri, meliputi pabrik, infrastruktur pendukung pabrik, area perkantoran, fasilitas umum, perumahan pegawai beserta fasilitas-fasilitas terkait lainnya. Lanskap industri seringkali ditandai dengan adanya struktur bangunan dan aktivitas manusia yang berhubungan dengan kegiatan produksi.

Lanskap industri mencerminkan dampak langsung dan tidak langsung yang dihasilkan oleh aktivitas manusia terhadap ekosistem alami. Lanskap industri memiliki peran penting dalam pelestarian keanekaragaman hayati. Lanskap industri dapat menjadi habitat bagi berbagai jenis organisme yang mampu beradaptasi dengan lingkungan sekitar industri. Beberapa spesies tanaman dan satwa mungkin dapat hidup di sekitar area industri yang telah mengalami perubahan lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa lanskap industri dapat memberikan peluang untuk mempertahankan keanekaragaman hayati yang ada.

Aktivitas industri dapat menyebabkan kerusakan habitat alami, fragmentasi lanskap, dan pencemaran lingkungan, dampak ini dapat mengancam kelangsungan hidup spesies yang sebelumnya ada di wilayah tersebut. Oleh karena itu, penting bagi industri untuk mengadopsi praktik-praktik berkelanjutan yang dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap keanekaragaman hayati.

Melalui perencanaan yang tepat, pengelolaan lahan, dan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, lanskap industri dapat memberikan kesempatan bagi keberadaan dan pelestarian flora dan fauna di wilayah industri. Implementasi strategi hijau di sektor industri dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan berkontribusi pada pelestarian keanekaragaman hayati. Dengan melibatkan pemangku kepentingan, termasuk perusahaan, pemerintah, dan masyarakat lokal, lanskap industri dapat dirancang dan dikelola sedemikian rupa sehingga memungkinkan adanya keseimbangan antara kegiatan industri dan keanekaragaman hayati. Ini memungkinkan perlindungan habitat penting, koridor ekologis, dan upaya restorasi lingkungan. Dengan demikian, lanskap industri dapat memiliki peran signifikan dalam menjaga dan melestarikan keanekaragaman hayati dalam konteks pembangunan berkelanjutan.

Peran penting lanskap industri dalam pelestarian keanekaragaman hayati juga dapat dilihat dari perspektif manajemen lingkungan. Penerapan strategi mitigasi dan restorasi lingkungan pada lanskap industri dapat membantu memperbaiki kondisi habitat dan mendukung pemulihan populasi spesies yang terancam punah atau terpengaruh oleh aktivitas industri. Ini termasuk penyediaan kawasan hijau, pemulihan ekosistem, dan konservasi spesies yang terancam punah. Namun, meskipun lanskap industri dapat memberikan peluang dan tantangan bagi pelestarian keanekaragaman hayati, upaya kolaboratif antara industri, pemerintah, dan masyarakat sangat penting. Kombinasi antara perlindungan habitat alami, restorasi lingkungan, dan praktik berkelanjutan di dalam dan sekitar lanskap industri dapat memberikan manfaat jangka panjang bagi keanekaragaman hayati.

Karakteristik Lanskap Industri

Karakteristik lanskap industri yang pertama adalah perubahan bentang alam. Concepción et al., (2015) menyatakan bahwa, perubahan bentang alam pada lanskap industri dapat mempengaruhi habitat alami satwa. Perubahan bentang alam dapat mempengaruhi ketersediaan sumber daya yang diperlukan oleh satwa, seperti makanan, tempat berlindung, dan area berkembang biak selain itu berdasarkan Forman dan Alexander (1998), perubahan bentang alam kawasan industri dapat pula berdampak kepada interaksi sosial, pola pergerakan, dan pola reproduksi satwa. Disisi lain berdasarkan hasil penelitian, beberapa spesies satwa ternyata juga mampu beradaptasi dengan perubahan bentang alam yang terjadi akibat aktivitas industri. Menurut McKinney (2008), beberapa spesies satwa urban telah mengembangkan perilaku baru, seperti memanfaatkan sumber daya yang disediakan oleh manusia, seperti tumpukan sampah atau area pertanaman. Adaptasi ini memungkinkan beberapa spesies satwa untuk bertahan dan bahkan meningkatkan kelangsungan hidup mereka dalam lingkungan yang telah diubah oleh lanskap industri.

Karakteristik kedua adalah tingginya aktivitas manusia. Tingginya aktivitas manusia pada lanskap industri memiliki pengaruh signifikan terhadap keanekaragaman hayati. Aktivitas manusia yang intensif di lanskap industri dapat menyebabkan perubahan dalam perilaku satwa. Kondisi suara, cahaya, dan kehadiran infrastruktur manusia seperti jalan raya dan bangunan industri dapat mengganggu rutinitas perilaku alami satwa. Misalnya, beberapa spesies satwa yang sebelumnya aktif pada siang hari mungkin mengalami pergeseran perilaku menjadi lebih aktif pada malam hari untuk menghindari gangguan manusia. Namun, ada juga beberapa adaptasi yang dilakukan oleh satwa dalam menghadapi tingginya aktivitas manusia dalam lanskap

industri. Menurut Luniak (2017), beberapa spesies satwa mampu beradaptasi dengan perubahan habitat dan perilaku manusia. Misalnya, beberapa burung kota telah beradaptasi dengan memanfaatkan bangunan manusia sebagai sarang dan sumber makanan. Ini menunjukkan bahwa beberapa satwa dapat menunjukkan perilaku yang fleksibel dan adaptif dalam menghadapi perubahan lanskap industri.

Karakteristik selanjutnya adalah rawan terjadinya fragmentasi habitat yang dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati. Menurut Fahrig (2017), fragmentasi habitat adalah kondisi terpisahnya populasi satwa atau tumbuhan menjadi fragmen-fragmen kecil yang saling terisolasi. Hal ini dapat mengurangi kemampuan organisme untuk bergerak dan berpindah, serta meningkatkan risiko kepunahan lokal hingga mengganggu aliran genetik. Spesies yang membutuhkan wilayah yang luas untuk mempertahankan populasi yang sehat mungkin terancam oleh fragmentasi habitat, oleh karena itu pemahaman yang baik akan penataan ruang terbuka hijau di dalam kawasan industri menjadi penting. Salah satu solusi dalam mengatasi fragmentasi habitat adalah menyediakan koridor hijau yang dapat menghubungkan satu habitat dengan habitat lainnya.

Tipologi Habitat Pada Lanskap Industri

Tipologi habitat keanekaragaman hayati pada lanskap industri dapat didefinisikan sebagai berbagai tipe habitat atau ekosistem yang terbentuk di dalam kawasan industri atau di sekitarnya. Melalui identifikasi dan pemahaman terhadap tipologi habitat ini, langkah-langkah konservasi dan pengelolaan yang lebih efektif dapat diambil untuk mendukung keanekaragaman hayati.

Salah satu tipologi habitat yang sering dijumpai pada lanskap industri adalah habitat terbuka, seperti padang rumput, lahan terbuka, dan tegalan. Habitat terbuka ini sering dihasilkan sebagai hasil dari aktivitas pertanian atau pembangunan infrastruktur industri. Meskipun tampak terdegradasi, habitat ini sering menyediakan ruang bagi tumbuhan dan satwa untuk beradaptasi dengan lingkungan terbuka, termasuk beberapa spesies langka atau endemik.

Selain itu, habitat air juga merupakan tipologi yang signifikan dalam lanskap industri, terutama di sekitar area dengan aktivitas industri yang melibatkan pengolahan lahan seperti pengeringan. Habitat air seperti sungai, rawa, dan kolam dapat memberikan habitat bagi berbagai spesies akuatik, termasuk ikan, amfibi, burung, dan serangga air. Dalam beberapa kasus, habitat air di lanskap industri bahkan dapat menjadi sumber keanekaragaman hayati yang penting, terutama jika lingkungan air dijaga dan dikembalikan ke kondisi alami.

Selain itu, beberapa ahli juga memperhatikan adanya habitat khusus seperti hutan atau lahan basah di sekitar kawasan industri. Habitat ini seringkali merupakan sisa-sisa kawasan hijau asli yang masih ada atau telah direstorasi di dalam lanskap industri. Misalnya, hutan yang terjaga baik dapat menjadi habitat penting bagi banyak spesies tumbuhan dan satwa, termasuk mamalia, burung, dan serangga. Lahan basah juga dapat menjadi tempat tinggal bagi berbagai spesies unik dan langka, serta menyediakan layanan ekosistem yang berharga.

Implikasi Keberadaan Lanskap Industri

Perubahan bentang alam maupun fungsi lahan untuk memenuhi kebutuhan industri berpotensi menyebabkan hilangnya vegetasi, termasuk tanaman penutup tanah serta pohon-pohon yang memiliki peran sentral dalam ekosistem. Hilangnya vegetasi ini berakibat juga pada terganggunya rantai makanan yang ada di dalam ekosistem tersebut, sebagai contoh satwa akan kehilangan sarang, sumber pakan, dan tempat berkembang biak. Selain itu, tanah menjadi terbuka dan rentan terhadap erosi oleh air dan angin, hal tersebut mengakibatkan penurunan kualitas tanah secara signifikan. Semakin besar skala pembukaan lahan, maka semakin besar pula dampaknya terhadap kehidupan tumbuhan dan satwa yang ada di dalamnya.

Aktivitas manusia yang menghasilkan suara dengan tingkat kebisingan tertentu, dari kegiatan operasional mesin, alat berat, dan kegiatan transportasi, memiliki dampak pada satwa yang hidup di sekitarnya. Kehadiran suara yang berlebihan dapat mengubah aspek kehidupan spesies satwa di alam, terutama bagi spesies-spesies yang memiliki toleransi rendah terhadap kebisingan. Dampak dari gangguan suara ini seperti sulitnya katak betina dalam menemukan katak jantan, satwa predator yang mengalami kesulitan dalam mendeteksi mangsa mereka, dan kelelawar yang menghindari daerah berburu yang bising (Barber et al., 2010). Dalam penelitian lain, diketahui bahwa kebisingan dengan tingkat sekitar 40-100 dB atau lebih tinggi memiliki dampak negatif pada kehidupan satwa darat, terutama burung berkicau dan mamalia (Shannon et al., 2015).

Selain suara, keberadaan cahaya memiliki peran dan turut mempengaruhi perilaku satwa tertentu. Cahaya berfungsi sebagai pengatur dan pengendali ritme endogen harian pada satwa. Ritme ini dapat terganggu oleh aktivitas industri yang menghasilkan cahaya dengan intensitas tinggi. Cahaya merupakan sinyal lingkungan yang penting bagi organisme dalam mengatur waktu aktivitas harian dan musiman mereka. Oleh karena itu, dampak cahaya dapat mencakup gangguan pada ritme waktu aktif dan istirahat, reproduksi, migrasi, hingga interaksi sosial pada satwa.

Cahaya buatan juga dapat mengganggu orientasi dan navigasi pada satwa, terutama yang mengandalkan cahaya alami untuk mencari makan.

Kondisi udara terhadap kehidupan tumbuhan maupun satwa juga perlu diperhatikan. Peningkatan pemantauan kualitas udara, penegakan regulasi yang lebih ketat dapat membantu melindungi tumbuhan dan satwa liar dari dampak negatif dari hal tersebut. Zat yang ada di udara juga mempengaruhi ekosistem, zat tersebut dapat mengendap pada permukaan daun dan ranting pohon, menghalangi proses fotosintesis, dan mengurangi produktivitas tumbuhan. Selain itu, zat tersebut dapat masuk ke dalam saluran pernapasan satwa dan mengganggu fungsi normal organ-organ internal satwa jika termakan secara tidak sengaja. Dampak dari penurunan daya dukung habitat khususnya bagi satwa dapat mencakup beberapa hal, di antaranya adalah:

1. Menurunnya jumlah populasi satwa, penurunan daya dukung habitat menyebabkan habitat menjadi kurang mampu menampung populasi satwa. Ketersediaan sumber daya, termasuk makanan dan ruang hidup, menjadi terbatas, yang pada akhirnya meningkatkan tingkat kompetisi di antara satwa-satwa tersebut. Sebagai akibatnya, populasi satwa secara alami akan mengalami penurunan.
2. Perpindahan satwa ke habitat lain, jika sumber daya terbatas dan daya dukung habitat menurun, satwa cenderung bergerak ke habitat lain yang menyediakan sumber daya yang lebih banyak setelah habitat asli berubah atau hilang karena kondisi lingkungan yang telah berubah.
3. Punah secara lokal, punah lokal terjadi ketika satwa tidak dapat beradaptasi dengan wilayah yang mengalami perubahan atau ketika habitat mengalami perubahan yang signifikan di luar batas toleransi satwa. Menurut Rahmawati dan Hidayat (2017), kepunahan terjadi ketika suatu spesies gagal menggantikan individu yang mati. Kepunahan seharusnya terjadi secara alami, lambat, dan dalam jangka waktu yang cukup lama (jutaan tahun) (Alikodra, 2010).

Selain dampak-dampak yang telah dijelaskan di atas, satwa juga memiliki kemampuan untuk beradaptasi dengan lingkungan yang didominasi oleh manusia. Mardiastuti (2018) menjelaskan beberapa respons satwa terhadap lanskap yang didominasi oleh manusia, antara lain adalah adaptasi dan eksplorasi:

1. Adaptasi, satwa dapat beradaptasi dengan lanskap yang didominasi oleh manusia. Satwa jenis ini mampu menerima, mengatasi, menyesuaikan, dan memanfaatkan situasi dan kondisi yang diciptakan oleh manusia. Meskipun jumlahnya terbatas karena kendala-kendala yang ada di lanskap tersebut, satwa adaptif ini dapat berkembangbiak dengan baik.

2. Eksplorasi, satwa eksploratif merupakan kelompok satwa yang mendapat keuntungan dari lanskap yang didominasi oleh manusia. Seperti halnya satwa yang beradaptasi, satwa jenis ini juga mampu menerima, mengatasi, menyesuaikan, dan memanfaatkan situasi dan kondisi yang dibuat oleh manusia. Perbedaannya adalah satwa eksploratif ini benar-benar memanfaatkan peluang yang ada. Jumlah populasi satwa eksploratif bahkan bisa melebihi jumlah yang ada di habitat aslinya pada lanskap.

Beberapa ahli mencoba mendeskripsikan derajat perubahan terhadap kondisi lingkungan pada suatu kawasan. Derajat perubahan menjadi pedoman bagi para pihak khususnya pengelola untuk lebih memahami dinamika yang terjadi di lapangan, yang mana ketika kondisi tersebut terjadi pengelola dapat segera mengambil tindakan perlindungan. Salah satu model derajat perubahan yang dikemukakan oleh Australian Government (2016) menitikberatkan pada keberadaan spesies-spesies terancam punah, yang dijelaskan melalui tabel berikut:

No	Drajat Perubahan	Deskripsi	Parameter
1	Ringan (Low)	Dampak insidental dan lokal terhadap habitat alami	-
2	Sedang (Moderate)	Konversi habitat alami berskala kecil	-
3	Berat (Heavy)	Konversi habitat alami berskala besar atau konversi habitat 'penting' berskala kecil	Kawasan dihuni oleh spesies dengan status konservasi Vulnerable
4	Ekstrim (Extreme)	Kehilangan habitat 'penting' berskala besar	Kawasan dihuni oleh spesies dengan status konservasi Endangered
5	Bencana (Disaster)	Kehilangan habitat 'penting' berskala besar	Kawasan dihuni oleh spesies dengan status konservasi Critically Endangered

(Sumber: Australian Government, 2016 yang dimodifikasi)

Industri Hijau

Konsep hijau dalam pengelolaan lanskap industri merupakan pendekatan yang didasarkan pada prinsip pelestarian keanekaragaman hayati. Menurut Sanderson et al., (2002), salah satu konsep penting dalam pengelolaan lanskap industri yang ramah lingkungan adalah pelestarian habitat alami. Melalui pelestarian habitat alami, baik di dalam maupun di luar kawasan industri, keanekaragaman hayati dapat dipertahankan dan ditingkatkan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengidentifikasi dan melindungi habitat-habitat penting, termasuk lahan basah, hutan, dan koridor ekologis yang menghubungkan berbagai habitat.

Selain itu, strategi penghijauan juga menjadi basis dalam pengelolaan lanskap industri. Penghijauan melibatkan penanaman vegetasi yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan mempertimbangkan kebutuhan satwa, termasuk pemilihan spesies tanaman yang memberikan sumber makanan, tempat berlindung, dan area berkembang biak bagi satwa. Penghijauan dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dan memberikan manfaat ekologi yang signifikan, seperti meningkatkan kualitas udara dan menyediakan habitat bagi satwa lain seperti serangga dan burung.

Strategi dalam menciptakan habitat bagi keanekaragaman hayati:

1. Rehabilitasi dan restorasi habitat: melalui upaya seperti pemulihan kembali lahan terbuka, pemulihan ekosistem air, dan peningkatan struktur habitat, lanskap industri dapat bertransformasi menjadi habitat yang lebih ramah lingkungan dan mendukung keanekaragaman hayati.
2. Pemeliharaan koridor hijau: koridor hijau adalah jalur yang menghubungkan berbagai habitat dan memungkinkan pergerakan satwa antar habitat. Pemeliharaan koridor hijau pada lanskap industri dapat meningkatkan koneksi ekologis, memfasilitasi pergerakan satwa, dan mengurangi isolasi populasi.
3. Pengelolaan lahan yang berkelanjutan: penggunaan yang bijaksana dan efisien terhadap sumber daya alam, pengendalian polusi, dan perlindungan terhadap kualitas air dan udara. Mengadopsi praktik pengelolaan yang berkelanjutan dapat meminimalkan dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati dan menjaga keseimbangan ekosistem.
4. Penggunaan teknologi yang ramah lingkungan. Banerjee et al., (2020) menekankan pentingnya mengadopsi teknologi hijau, seperti penggunaan energi terbarukan, pengelolaan limbah yang efisien, dan penerapan prinsip ramah lingkungan dalam proses produksi. Dengan demikian, dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati dapat dikurangi, sementara keberlanjutan industri tetap terjaga.

5. Peningkatan kualitas habitat: peningkatan kualitas habitat pada lanskap industri dapat dilakukan melalui penanaman vegetasi yang sesuai dengan kondisi lingkungan dan kebutuhan satwa. Pohon, tanaman penutup tanah, dan tumbuhan asli lainnya dapat memberikan habitat, makanan, dan tempat berlindung bagi berbagai jenis satwa.
6. Partisipasi pemangku kepentingan dan insan perusahaan: melibatkan pemangku kepentingan dan seluruh insan perusahaan dalam pembangunan keanekaragaman hayati pada lanskap industri sangat penting. Kolaborasi dan partisipasi aktif dapat meningkatkan pemahaman dan kesadaran akan pentingnya pelestarian keanekaragaman hayati, serta mendorong pengambilan keputusan yang berkelanjutan.



Beberapa Jenis Keanekaragaman Hayati Indikator Lanskap Industri

Beringin

Pohon Beringin (*Ficus benjamina*) merupakan salah satu jenis KEHATI yang dapat dijadikan sebagai bioindikator lingkungan yang baik. Pohon ini memiliki toleransi yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan. Mereka dapat tumbuh subur di lingkungan yang berbeda, termasuk daerah perkotaan, pantai, dan hutan. Kemampuan mereka untuk bertahan dalam berbagai kondisi lingkungan dapat menunjukkan tingkat keberlanjutan lingkungan dimana mereka tumbuh. Salah satu peran pentingnya yaitu sebagai penyerap polutan di udara seperti karbon dioksida, nitrogen dioksida, dan partikel debu. Mereka merupakan filter alami yang membantu memperbaiki kualitas udara. Perubahan terkait kondisi daun dapat memberikan indikasi tentang tingkat polusi udara di lingkungan tersebut. Pohon beringin memiliki kebutuhan air yang tinggi dan sensitif terhadap kekurangan air. Jika pohon beringin mengalami kekeringan atau kondisi kelembaban yang tidak memadai, ini dapat mengindikasikan perubahan dalam ketersediaan air di lingkungan tersebut (Reyes et al., 2012; Guzmán-Morales et al., 2011). Selain itu, pohon beringin berperan juga sebagai habitat yang penting bagi berbagai organisme, termasuk serangga, burung, dan mamalia. Kehadiran keanekaragaman hayati di sekitar pohon beringin dapat menjadi indikator keseimbangan ekosistem dan kualitas habitat di sekitarnya.





Lumut Kerak (Lichen)

Penggunaan lumut kerak (lichen) sebagai bioindikator lingkungan telah banyak digunakan dalam pemantauan kualitas udara dan keberlanjutan ekosistem. Lumut kerak merupakan bentuk simbiosis mutualistik antara fungi dan alga atau cyanobacteria. Keistimewaan lichen sebagai bioindikator adalah sensitivitasnya terhadap perubahan lingkungan. Mereka sangat sensitif terhadap polutan udara, seperti sulfur dioksida, nitrogen dioksida, dan logam berat. Perubahan dalam penampilan, pertumbuhan, dan kelimpahan lichen dapat memberikan indikasi tentang tingkat polusi udara di suatu daerah. Karakteristik dalam memperoleh nutrisi dan air, yaitu melalui penyerapan dari atmosfer, menjadikan kehadiran atau ketiadaan lichen dapat mengindikasikan kualitas udara di lingkungan tersebut, termasuk tingkat pencemaran udara. Respons cepat terhadap perubahan lingkungan, baik yang disebabkan oleh polusi, perubahan iklim, atau keberadaan zat beracun, juga merupakan keunikan lichen sebagai bioindikator. Respon berupa perubahan warna, penurunan kelimpahan, atau kerusakan struktural, dapat menunjukkan adanya perubahan yang tidak menguntungkan dalam lingkungan tersebut (Abas, 2021; Skye, 1979).



Lumut air

Lumut air merupakan tanaman yang termasuk dalam kelompok Bryophyta. Mereka merupakan organisme fotosintetik yang menghuni perairan tawar, termasuk sungai, danau, rawa, dan kolam. Mereka umumnya membutuhkan air yang bersih dan kaya oksigen untuk tumbuh dengan baik. Ketika terjadi pencemaran air dengan bahan kimia beracun atau logam berat, lumut air cenderung mati atau mengalami pertumbuhan yang terhambat. Lumut air memiliki karakteristik menyerap nutrisi langsung dari perairan tempat mereka hidup. Kehadiran nutrisi berlebih atau kekurangan nutrisi dalam air dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan lumut air (Zechmeister, et al., 2003; Shi, et al., 2017). Oleh karena itu, perubahan jumlah lumut air dapat memberikan petunjuk tentang tingkat nutrisi dan kontaminasi dalam perairan tersebut.

Lumut air memiliki peran penting sebagai penyaring alami. Mereka dapat menyerap partikel padat dan material organik dari air dan udara, serta mengendapkan sedimen. Hal ini membantu mengurangi kekeruhan air dan memperbaiki kualitas air dengan menyediakan kondisi yang lebih baik bagi organisme air lainnya. Oleh karena itu, keberadaan lumut air yang sehat dapat menunjukkan kualitas air yang baik dan kondisi ekosistem yang seimbang. Penggunaan lumut air sebagai bioindikator dapat dilakukan dengan memonitor populasi, pertumbuhan, dan kesehatan lumut air dalam suatu perairan. Perubahan yang diamati dalam lumut air dapat memberikan petunjuk tentang adanya masalah lingkungan, seperti pencemaran, perubahan nutrisi, atau perubahan kondisi fisik air (Gecheva dan Yurukova, 2014; Oishi dan Hiura, 2017).



© I Gde Mertha

Eceng Padi

Eceng Padi (*Monochoria vaginalis*) memiliki karakteristik yang tergolong mirip dengan jenis Eceng lainnya seperti Eceng Gondok. Golongan tanaman air ini sering digunakan sebagai bioindikator untuk mengukur kualitas air. Mereka umumnya tumbuh subur pada perairan yang kaya nutrisi, terutama fosfor. Kehadiran mereka secara berlebihan dapat menandakan adanya eutrofikasi, yaitu peningkatan kadar nutrisi berlebihan dalam air yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti limbah domestik. Pertumbuhan mereka yang berlebihan tentunya akan mempengaruhi ekosistem perairan, menyebabkan penutupan permukaan air dan menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air. Hal ini dapat menghambat fotosintesis tanaman air lainnya dan mengganggu ekosistem perairan. Selain itu, ketika tanaman-tanaman air tersebut mati dan membusuk, dekomposisi mereka menghabiskan banyak oksigen di dalam air, sehingga menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut dan mengganggu organisme air lainnya. Golongan tanaman air tersebut juga dapat menunjukkan respon yang signifikan terhadap perubahan kondisi lingkungan seperti perubahan suhu, aliran air, dan salinitas. Respon tersebut dapat berupa gangguan pertumbuhan dan perkembangan atau bahkan mati. Oleh karena itu, perubahan dalam populasi dan kondisi ekologis mereka dapat memberikan petunjuk tentang perubahan lingkungan yang terjadi dalam perairan tersebut (Setiawati, 2004; Mangabeira et al., 2004; De Laet et al., 2019).



Sikep Madu Asia
Pernis ptilorhynchus



Elang Tikus
Elanus caeruleus



Elang Bondol
Haliastur indus

Burung Pemangsa

Burung pemangsa atau raptor merupakan bioindikator yang sangat baik untuk menilai kondisi ekosistem. Posisi mereka sebagai top predator sangat bergantung pada jumlah mangsa. Oleh karena itu, perubahan lingkungan seperti hilangnya habitat, polusi, perubahan iklim, dan gangguan manusia sangat berpengaruh terhadap mereka karena akan berdampak pada penurunan populasi mangsanya. Dengan memantau populasi dan perilaku mereka, kita dapat mengevaluasi dampak dari perubahan-perubahan lingkungan terhadap satwa liar lain dan ekosistem secara keseluruhan. Keberadaan burung pemangsa juga dapat mengindikasikan keanekaragaman hayati tumbuhan yang tinggi pada ekosistem perkotaan, karena mereka cenderung memilih lokasi yang kaya dengan tumbuhan beragam, terutama untuk berkembang biak. Oleh karena itu, raptor dapat berfungsi sebagai *proxy* konservasi yang efektif untuk mengidentifikasi kawasan yang beragam secara biologis (Sergio et al., 2008; Burgas et al., 2014; Natsukawa et al., 2021).

Beberapa contoh burung pemangsa yaitu Elang Bondol *Haliastur indus*, Sikep Madu Asia *Pernis ptilorhynchus* dan Elang Tikus *Elanus caeruleus*. Elang Bondol umumnya ditemukan di sekitar lahan basah, muara, dan hutan bakau sebagai habitat untuk mencari mangsa yang utamanya berupa ikan. Sementara Elang Tikus sering ditemukan pada habitat terbuka seperti daerah lahan basah (*wetlands*) atau lahan pertanian, mencari makanan yang umumnya berupa tikus, namun kadang juga reptil. Sikep Madu Asia tergolong sedikit berbeda. Jenis burung pemangsa ini menyukai daerah yang kaya dengan lebah, tawon. Terkadang mereka memakan mamalia kecil, dan reptil. Karena sangat bergantung pada serangga, Sikep Madu Asia sangat sensitif terhadap keberadaan insektisida dan pestisida di lingkungan. Perubahan populasi dari burung-burung pemangsa seperti yang disebutkan tadi dapat menunjukkan ada tidaknya dampak dari hilangnya habitat dan ketersediaan mangsa di lingkungan yang mereka tempati.

Kareo Padi
Amaurornis phoenicurus



Burung Air

Burung air merupakan kelompok burung yang dapat dijadikan bioindikator karena keberadaan mereka sangat dipengaruhi oleh kualitas perairan serta ketersediaan mangsa. Dengan mempelajari populasi dan perilaku mereka, kita dapat menilai dampak-dampak dari perubahan lingkungan akibat adanya degradasi habitat, polusi, perubahan iklim, dan gangguan manusia. Burung air juga dapat menunjukkan apakah suatu ekosistem perairan memiliki keanekaragaman hayati dan produktivitas yang tinggi karena mereka cenderung memilih lokasi dengan sumber makanan yang kaya dan beragam untuk mencari makan dan berkembang biak (Amat dan Green, 2010).

Salah satu contoh burung air yang dapat dijadikan sebagai bioindikator adalah Kareo Padi *Amaurornis phoenicurus*. Jenis burung burung ini erat kaitannya dengan habitat lahan basah, seperti kolam, danau, rawa-rawa, dan badan air lainnya. Mereka mengandalkan habitat-habitat tersebut untuk mencari makan, bersarang, dan membesarakan anak. Mereka memangsa invertebrata air, katak, ikan kecil, dan mangsa lainnya. Kehadiran mereka mencerminkan ketersediaan sumber makanan dan keanekaragaman hayati secara keseluruhan pada lahan basah yang mereka tempati. Sebagai burung yang bergantung pada perairan, Kareo Padi peka terhadap perubahan kualitas air. Pemantauan populasi mereka dapat membantu menilai dampak perubahan pada badan air dalam habitat yang mereka tempati.

Famili Cuculidae

Jenis-jenis burung dari famili Cuculidae memiliki kecenderungan responsif terhadap perubahan lingkungan dan memiliki kepekaan tinggi terhadap perubahan iklim, ketersediaan mangsa, dan kualitas habitat. Jika terjadi perubahan kondisi lingkungan, misalnya perubahan musim, meningkatnya gangguan, atau degradasi habitat, jenis-jenis dari famili ini dapat menunjukkan perubahan dalam perilaku mereka. Famili Cuculidae memiliki keanekaragaman jenis yang tinggi pada berbagai tipe habitat, mulai dari hutan hujan hingga lanskap perkotaan. Kehadiran berbagai jenis burung Cuculidae dapat memberikan informasi tentang kondisi lingkungan dan menjadi indikator keanekaragaman hayati dan stabilitas ekosistem. Beberapa jenis burung Cuculidae, seperti Wiwik Uncuing *Cacomantis variolosus* dikenal unik karena perilaku parasitik mereka, dimana mereka meletakkan telur mereka pada sarang dari jenis burung lain. Oleh karena itu, kehadiran mereka dijadikan indikasi terkait jenis-jenis lainnya, terutama dari jenis burung inangnya. Perubahan dalam pola perilaku parasitik mereka juga dapat mengindikasikan perubahan dalam kondisi lingkungan. Burung Cuculidae cenderung lebih mudah ditemukan dan diamati dibandingkan dengan beberapa jenis burung lainnya. Mereka bersifat vokal dan aktif secara visual, yang membuat pemantauan dan pengamatan mereka lebih mudah dilakukan (Morelli et al., 2015; Morelli et al., 2017).



Wiwik Uncuing
Cacomantis variolosus



Codot Horsefield
Cynopterus horsefieldii



Nighi Jawa
Pipistrellus javanicus

Kelelawar

Kelelawar merupakan mamalia nokturnal yang memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Jenis kelelawar pemakan serangga seperti Nighi jawa (*Pipistrellus javanicus*) merupakan predator serangga yang efektif, sehingga membantu dalam pengendalian populasi serangga dan menjaga kesehatan lingkungan. Keberadaan serangga yang melimpah sangat penting bagi keberadaan kelelawar. Jika terjadi penurunan jumlah serangga akibat penggunaan pestisida berlebihan atau kerusakan habitat, kelelawar akan menghadapi krisis pangan yang dapat menyebabkan penurunan populasi. Kelelawar pemakan buah seperti Codot horsfield berperan dalam penyebaran biji tanaman. Perubahan populasi mereka dapat mengindikasikan gangguan ekosistem, seperti penurunan ketersediaan tanaman berbuah (Maharadatunkamsi, 2012; Suyanto, 2001; Pratomo, 2012).

Fenomena kelelawar yang menghuni plafon rumah kemungkinan berhubungan dengan adaptasi satwa ini dalam menghadapi kehilangan habitat alami mereka. Hal ini dapat terjadi akibat perubahan penggunaan lahan, atau kerusakan ekosistem yang menyebabkan berkurangnya tempat berlindung. Ketika habitat alami mereka tidak lagi memadai, kelelawar dapat mencari alternatif tempat berlindung, seperti di dalam bangunan.

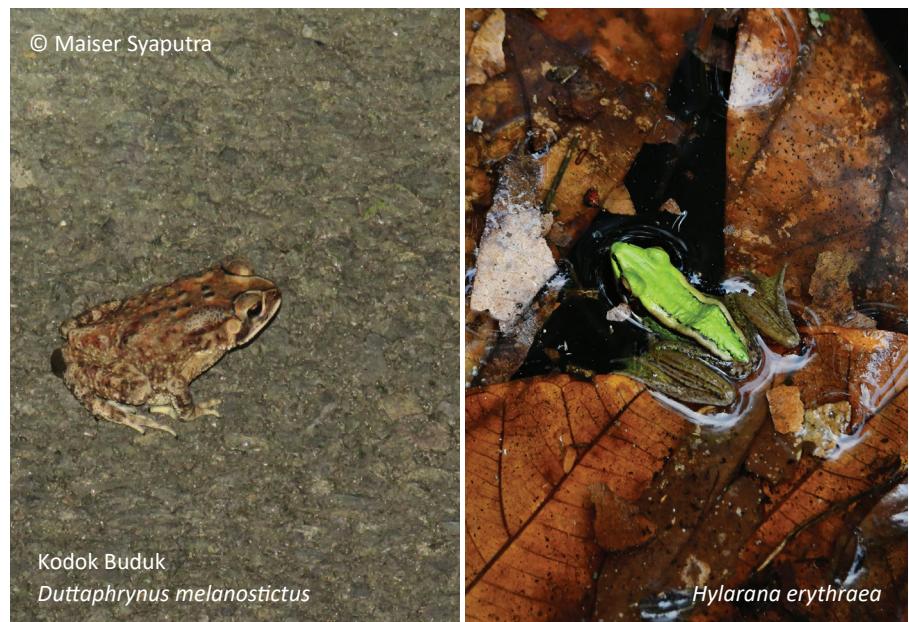
Katak dan Kodok

Katak dan kodok mempunyai peranan yang sangat penting sebagai indikator pencemaran lingkungan. Bahkan, tinggi rendahnya pencemaran di suatu lingkungan dapat dilihat dari jumlah katak dan kodok di daerah tersebut (Amin, 2020). Katak dan kodok umumnya ditemukan di lingkungan perairan, seperti danau, rawa, dan sungai. Mereka memiliki kulit yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Mereka dapat merespons dengan cepat terkait perubahan kualitas air, keasaman tanah, dan polusi lingkungan lainnya. Katak dan kodok juga dapat memberikan indikasi terjadinya perubahan iklim. Sebagai hewan amfibi, mereka tergantung pada air dan tanah yang lembab. Perubahan pola hujan, suhu, dan kelembaban dapat mempengaruhi habitat mereka. Penurunan populasi atau perubahan perilaku yang tidak biasa, dapat mengindikasikan adanya perubahan pada ekosistem.

Katak dan kodok sangat rentan terhadap pencemaran air, seperti bahan kimia beracun dan polutan organik. Jika mereka tidak ada atau jumlahnya berkurang, ini dapat menunjukkan masalah kualitas air di lingkungan tersebut. Katak dan kodok merupakan predator alami serangga (Stebbins & Cohen, 1997). Keberadaan mereka dapat menunjukkan keseimbangan ekosistem dan fungsi pengendalian populasi serangga yang efektif. Penurunan populasi katak dan kodok dapat menyebabkan peningkatan populasi serangga.



© Maiser Syaputra



Kodok Buduk
Duttaphrynus melanostictus

Hylarana erythraea

Monyet Ekor-panjang

Monyet Ekor-panjang adalah spesies mamalia yang memiliki toleransi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan dan memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap berbagai jenis habitat, sehingga satwa ini dapat ditemukan di beberapa tempat seperti hutan primer, hutan sekunder, hutan mangrove, hutan pantai, dan lain sebagainya. Kemampuan Monyet Ekor-panjang untuk beradaptasi dengan perubahan lingkungan dapat menjadikan mereka kandidat yang menjanjikan sebagai indikator lingkungan (Rahman, et al., 2020).

Monyet Ekor-panjang secara alami tinggal jauh dari lingkungan manusia. Sebagai satwa omnivora mereka memanfaatkan pakan yang tersedia di alam seperti buah, daun, umbi, bunga, biji, hingga serangga. Namun bila terjadi tekanan terhadap habitatnya, satwa ini dapat keluar dari hutan dan berpindah ke lingkungan manusia, sehingga situasi adanya Monyet Ekor-panjang di lingkungan manusia dapat menjadi indikasi awal terjadinya perubahan terhadap habitat alami dari satwa ini (Farida, 2008). Monyet ekor panjang yang mengkonsumsi makanan manusia juga dapat dijadikan indikator bahwa sumber makanan di habitat alamnya berkurang, sehingga satwa ini mencari sisa makanan seperti di tempat sampah, atau menunggu makanan yang diberikan secara langsung oleh manusia.



© Maiser Syaputra



Ular

Ular merupakan predator yang menduduki posisi penting dalam rantai makanan. Kehadiran dan kelimpahan ular di suatu daerah dapat menunjukkan tingkat keberagaman hayati yang baik. Menurut Huda (2020), ekosistem akan stabil apabila komposisi komponen-komponen penyusun ekosistem, baik biotik maupun abiotik berada dalam keadaan seimbang yaitu jumlahnya sesuai dengan peranannya dalam ekosistem tersebut. Jika salah satu komponennya hilang, maka akan terjadi ketidakstabilan dalam ekosistem tersebut. Ular memakan berbagai hewan kecil seperti tikus, kadal, burung dan serangga. Penurunan populasi ular dapat menjadi indikasi penurunan sumber pakannya. Hilangnya ular juga akan berimplikasi pada meningkatnya populasi mangsa ular seperti tikus. Hal ini tentunya akan berdampak pada kehidupan manusia. Misalnya, populasi tikus umumnya menjadi hama pada kawasan pertanian bahkan dapat berdampak pada hasil pertanian. Hilangnya mangsa ular juga dapat berdampak pada perubahan pola persebarannya. Banyaknya kejadian ular masuk ke kawasan perumahan dapat menjadi indikasi rendahnya atau tidak adanya mangsa pada habitat aslinya.

Bajing Kelapa

Bajing Kelapa (*Callosciurus orestes*) dapat menjadi indikator keadaan ekosistem hutan. Satwa ini memakan buah-buahan, tetapi seringkali biji dari buah tersebut tidak ikut dimakan atau jika ikut tertelan, biji-biji tersebut tidak ikut dicerna di dalam tubuhnya. Dengan begitu, Bajing Kelapa membantu dalam penyebaran biji dari buah yang dimakannya ke tempat-tempat yang mereka kunjungi dan secara tidak langsung perilaku ini telah membantu dalam regenerasi hutan. Kehadiran dan aktivitas Bajing Kelapa di suatu daerah dapat menunjukkan tingkat keberagaman hayati yang baik dan ekosistem yang kompleks. Perubahan dalam populasi bajing kelapa atau hilangnya satwa ini dari habitat alamnya dapat mencerminkan indikasi adanya perubahan dalam ketersediaan sumber daya alam, seperti menurunnya ketersediaan makanan ataupun tempat berlindung. Apabila kondisi sumber pakan menurun, satwa ini bisa saja berpindah ketempat lain (Mickleburgh et al., 1992; Sudarso 2011).



Biawak Air Asia
Varanus salvator



Biawak

Kehadiran biawak di suatu daerah dapat menunjukkan keberlanjutan dan keberagaman habitat. Biawak membutuhkan tempat berlindung yang cukup, makanan yang memadai, dan lingkungan yang sesuai untuk reproduksi dan pertumbuhannya. Mereka umumnya dijumpai pada tepi sungai, rawa dan sumber sumber air lainnya. Biawak memiliki respons cepat terhadap perubahan iklim, seperti peningkatan suhu atau perubahan pola curah hujan. Biawak juga merupakan predator yang berperan penting dalam rantai makanan. Keberadaan mereka dapat menjadi indikator keberadaan satwa dan interaksi dari organisme lain. Oleh karena itu, kehadirannya di suatu daerah dapat menunjukkan tingkat keberagaman hayati yang baik. Biawak memakan burung, serangga dan lainnya. Biawak juga menyukai pakan berupa ikan, sehingga keberadaan biawak pada suatu kawasan dapat menunjukkan kondisi sungai masih baik dan mampu menyuplai ikan sebagai pakannya. Jika populasi Biawak menurun, ini bisa mengindikasikan kondisi sungai sudah terganggu, atau keberadaan satwa-satwa kecil yang menjadi makanannya sudah menghilang (Mulyana et al., 2023; Apriyanto et al., 2015).



Lebah Sialang
Apis dorsata

Lebah

Lebah merupakan spesies yang penting, terutama dalam konteks keanekaragaman tumbuhan. Lebah berperan sebagai penyerbuk utama bagi 87,5% tanaman berbunga dan hampir semua tanaman pertanian maupun perkebunan yang tidak melakukan penyerbukan sendiri memerlukan bantuan serangga termasuk lebah agar menghasilkan biji atau buah. Hal ini menjadikan perubahan dalam populasi lebah dapat memberikan indikasi tentang kualitas habitat, ketersediaan sumber pakan, dan stabilitas ekosistem yang mereka tempati. Hilangnya lebah dari suatu kawasan juga dapat dikaitkan dengan potensi masalah lingkungan seperti penggunaan pestisida yang berlebihan. Lebah sering terpapar pestisida secara langsung saat mencari makanan dari bunga yang telah disemprot dengan pestisida atau saat mereka mengumpulkan nektar dan serbuk sari dari tanaman yang telah terkontaminasi. Paparan jangka panjang terhadap pestisida dapat memiliki dampak negatif pada lebah, termasuk mengganggu reproduksi, perilaku makan, dan orientasi mereka (Ollerton et al., 2011; Kleijn et al., 2015; Slaa et al., 2006).



Acraea violae

Kupu-kupu

Kupu-kupu dikenal dapat menjadi indikator lingkungan yang baik. Kehadiran mereka bergantung pada keanekaragaman tumbuhan inang dan ketersediaan pakan sehingga memberikan korelasi positif antara kupu-kupu, keanekaragaman hayati tumbuhan dan kondisi habitatnya. Kupu-kupu bergantung pada nektar dari tanaman berbunga terutama ketika berada pada fase imago (dewasa), yang membuatnya lebih rentan terhadap perubahan dalam ketersediaan tanaman berbunga. Disisi lain larva kupu-kupu (ulat) juga sangat spesifik terkait tanaman inang. Masing-masing spesies larva kupu-kupu memiliki preferensi makanan yang khas dan hanya akan makan dari satu atau beberapa jenis tanaman tertentu. Proses ini dikenal sebagai pemilihan inang atau *host plant selection*. Dengan pemilihan inang yang spesifik ini, larva kupu-kupu dapat menjadi indikator penting dalam pemantauan keanekaragaman hayati dan kesehatan ekosistem, karena perubahan dalam ketersediaan atau kerusakan habitat tanaman inang dapat mempengaruhi populasi kupu-kupu dan keseluruhan ekosistem di sekitarnya (Zhongmin & Yunfei, 2012; Koneri & Maabuau, 2016).



Capung Kembara Pantai
Macrodipax cora

Capung

Capung dapat ditemukan di berbagai habitat air tawar seperti sungai, danau, rawa, dan kolam. Mereka dapat hidup di berbagai kondisi iklim dan geografis. Kehadiran mereka di suatu daerah mencerminkan ketersediaan sumber daya, kualitas air, dan keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, pemantauan populasi capung dapat memberikan informasi tentang kelestarian lingkungan dan kesehatan ekosistem di suatu wilayah. Capung memiliki kemampuan terbang yang kuat dan mampu menyebar ke berbagai habitat dalam jarak yang jauh. Kemampuan ini membuat mereka responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Jika ada perubahan atau gangguan di suatu habitat, capung dapat berpindah ke habitat lain yang lebih baik atau sesuai dengan kebutuhan mereka.

Capung memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan lingkungan seperti perubahan habitat, kualitas air, dan polusi. Capung dapat digunakan sebagai bioindikator air bersih, karena nimfa dari serangga ini tidak akan dapat hidup di air yang sudah tercemar atau perairan yang tidak ada tumbuhannya (Ansari et al., 2016). Jika ada gangguan atau degradasi lingkungan, populasi capung dapat menurun atau spesies tertentu dapat menghilang dari suatu daerah (Klym & Quinn, 2003). Oleh karena itu, perubahan dalam keberadaan atau keanekaragaman spesies capung dapat memberikan petunjuk tentang kondisi lingkungan yang mendasarinya.

Belalang dan Jangkrik

Salah satu serangga yang dapat digunakan sebagai indikator pencemaran lingkungan adalah serangga dari Ordo Orthoptera seperti belalang dan jangkrik (Falahudin et al., 2015). Dalam rantai makanan dan jaring-jaring ekologi, belalang dan jangkrik berperan sebagai pemangsa atau mangsa bagi berbagai spesies lainnya. Kehadiran dan kelimpahan belalang dan jangkrik dapat memberikan petunjuk tentang stabilitas ekosistem dan kesehatan lingkungan. Perubahan dalam populasi belalang dapat memberikan indikasi adanya perubahan ekosistem yang lebih luas. Belalang dan jangkrik juga dikenal dengan perilaku mereka yang vokal, seperti menghasilkan suara atau nyanyian. Perubahan pola nyanyian belalang dan jangkrik dapat mencerminkan perubahan pada habitatnya. Belalang dan jangkrik sangat responsif terhadap perubahan lingkungan. Mereka memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan suhu, kelembaban, dan kualitas habitat. Perubahan dalam komunitas belalang dan jangkrik dapat mencerminkan perubahan lingkungan secara keseluruhan. Jika populasi belalang dan jangkrik menurun atau mengalami pergeseran distribusi, hal tersebut dapat menjadi petunjuk adanya gangguan atau degradasi lingkungan (Utami & Ramli, 2022).



Belalang
Valanga sp.



Jangkrik
Acheta sp.



Lalat Hijau

Chrysomya megacephala

Lalat

Kehadiran lalat dapat memberikan informasi yang berharga tentang kondisi lingkungan. Lalat memiliki variasi spesies yang tinggi dan memiliki kecenderungan untuk merespons perubahan substrat dan sumber daya yang tersedia. Lalat senang pada tempat-tempat yang kotor, sehingga tingginya kehadiran lalat di suatu tempat dapat dipakai sebagai indikator bahwa tingkat kebersihan lingkungan tersebut rendah (Sutrisno, 2000). Dalam beberapa kasus, perubahan dalam komposisi dan kelimpahan komunitas lalat dapat mencerminkan perubahan yang lebih luas dalam ekosistem. Sebagai contoh, kehadiran yang tinggi dari *Musca domestica* (Lalat Rumah) dapat mengindikasikan adanya sumber limbah organik atau sanitasi yang buruk (Kartini, 2019).

Daftar Pustaka

- Abas, A. (2021). A systematic review on biomonitoring using lichen as the biological indicator: A decade of practices, progress and challenges. *Ecological Indicators*, 121, 107197.
- Alikodra, H.S. (2010). *Teknik Pengelolaan Satwaliaar dalam Rangka Mempertahankan Keanekaragaman Hayati di Indonesia*. IPB Press. Bogor.
- Amat, J.A. and Green, A.J., (2010). Waterbirds as bioindicators of environmental conditions. in *Conservation monitoring in freshwater habitats: A practical guide and case studies*, pp.45-52.
- Amin, B. (2020). *Katak di Jawa Timur*. Akademia Pustaka. Tulungagung.
- Ansari, M. L., Soendjoto, M. A., Dharmono. (2016). Odonata in the Swamp Area of Sungai Lumbah Village, Barito Kuala Regency. Prosiding Seminar Nasional Lahan Basah. LPPM, Universitas Lambung Mangkurat.
- Apriyanto, P., Yanti, A. H., & Setyawati, T. R. (2015). Keragaman Jenis Kadal Sub Ordo Sauria pada Tiga Tipe Hutan di Kecamatan Sungai Ambawang. *Jurnal Protobiont*, 4(1): 108-114.
- Australian Goverment. (2016). *Pengelolaan Keanekaragaman Hayati Praktik Kerja Unggulan dalam Program Pembangunan Berkesinambungan untuk Industri Pertambangan*. Persemakmuran Australia. Canberra.
- Barber, J.R., Crooks, K.R. and Fistrup, K.M. (2010) The Costs of Chronic Noise Exposure for Terrestrial Organisms. *Trends in Ecology and Evolution*, 25: 180-189.
- Burgas, D., Byholm, P., & Parkkima, T. (2014). Raptors as surrogates of biodiversity along a landscape gradient. *Journal of Applied Ecology*, 51, 786-794.
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M.L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., and Reece, J. B. (2020). *Biology: A Global Approach*. 12th Global Edition. Pearson Education Limited. London.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67.
- Carignan, V., & Villard, M. (2002). Selecting Indicator Species to Monitor Ecological Integrity: A Review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 78, 45-61.

- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., Palmer, T.M., (2015). Accelerated modern human-induced species losses: entering the sixth mass extinction. *Science Advances*, 1(5): 1-5.
- Concepción, E. D., Moretti, M., Altermatt, F., Nobis, M. P., & Obrist, M. K. (2015). Impacts of urbanisation on biodiversity: the role of species mobility, degree of specialisation and spatial scale. *Oikos*, 124(12): 1571-1582.
- Convention on Biological Diversity. (2023). Article 2. Use of Terms. Di akses dari <https://www.cbd.int/convention/articles/?a=cbd-02>
- De Laet, C., Matringe, T., Petit, E. and Grison, C., (2019). *Eichhornia crassipes*: a powerful bio-indicator for water pollution by emerging pollutants. *Scientific reports*, 9(1), p.7326.
- Elmholt, S. (1996). Microbial Activity, Fungal Abundance, and Distribution of *Penicillium* and *Fusarium* as Bioindicators of a Temporal Development of Organically Cultivated Soils. *Biological Agriculture & Horticulture*, 13, 123-140.
- Fahrig, L. (2017). Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 48: 1-23.
- Falahudin, I., Maretta, D., E., & Rahayu, I. A. P. (2015). Diversitas Serangga Ordo Orthoptera pada Lahan Gambut di Kecamatan Lalan Kabupaten Musi Banyuasin. *Bioilm: Jurnal Pendidikan*, 1(1): 1-7.
- Farida, H. (2008). Aktivitas Makan Monyet Ekor Panjang (*Macaca fascicularis*) di Bumi Perkemahan Pramuka Cibubur. Jakarta. Skripsi. Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Forman, R. T., & Alexander, L. E. (1998). Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29(1), 207-231.
- Frankham, R., Ballou, J. D., Briscoe, D. A. (2002). *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Gaston, K. (2000). Global patterns in biodiversity. *Nature* 405: 220–227.
- Gecheva, G., & Yurukova, L.D. (2014). Water pollutant monitoring with aquatic bryophytes: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 12, 49-61.
- Guzman-Morales, J., Morton-Bermea, O., Hernández-Álvarez, E., Rodríguez-Salazar, M.T., García-Arreola, M.E., & Tapia-Cruz, V. (2011). Assessment of Atmospheric Metal Pollution in the Urban Area of Mexico City, Using *Ficus benjamina* as Biomonitor. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86, 495-500.

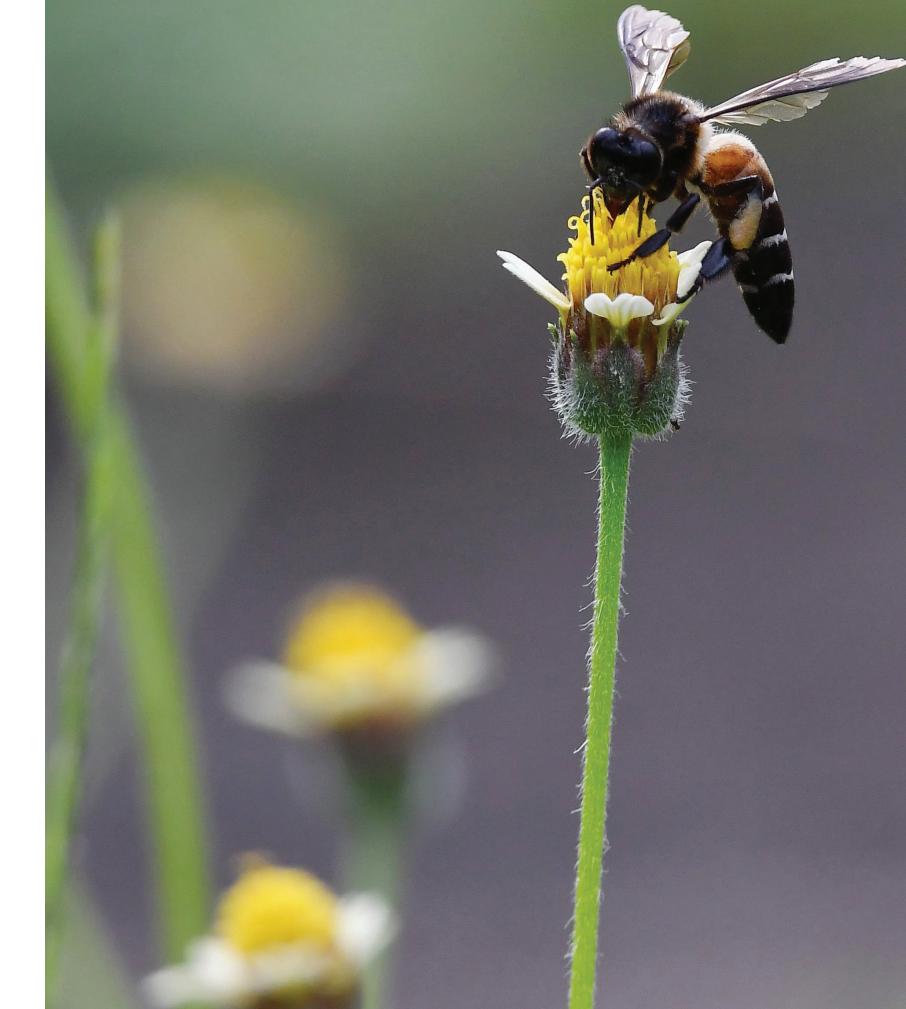
- Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Baron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., Epstein, P. R., Ewel, J. J., Klink, C. A., Lugo, A. E., Norton, D., Ojima, D., Richardson, D. M., Sanderson, E. W., Valladares, F., Vilà, M., Zamora, R., Zobel, M. (2006). Novel ecosystems: theoretical and management aspects of the new ecological world order. *Global Ecology and Biogeography*, 15(1), 1-7.
- Holt, E. A. & Miller, S. W. (2010) Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge* 3(10):8
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., Wardle, D. A. (2005). Effects of Biodiversity on Ecosystem Functioning: A Consensus of Current Knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35.
- Huda, K. (2020). Biologi. Direktorat SMA, Direktorat Jenderal PAUD, DIKDAS dan DIKMEN. Jakarta.
- Kartini, A. A. (2019). Kepadatan dan Metode Pengendalian Lalat di Perumahan Grand Nusa Kelurahan Liliba Tahun 2019. *Tugas Akhir. Program Studi Kesehatan Lingkungan. Politeknik Kesehatan Kemenkes Kupang. Kupang*.
- Kleijn, D., Winfree, R., Bartomeus, I. (2015). Delivery of crop pollination services is an insufficient argument for wild pollinator conservation. *Nature Communications* 6: 7414.
- Klym, M., & Quinn, M. (2003). Introduction to Dragonfly and Damselfly Watching. Order a Journal on the Theory of Ordered Sets and Its Applications: 2–19.
- Koneri, R & Maabuat, P.V. (2016). Diversity of Butterflies (Lepidoptera) in Manembo – Nembo Wildlife Reserve, North Sulawesi, Indonesia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9 (5):202-210.
- Kreft, H., and Jetz, W. (2007). Global patterns and determinants of vascular plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5925-5930.
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. & Wardle, D.A. (2001). Ecology: Biodiversity and ecosystem functioning: Current knowledge and future challenges. *Science* 294(5543): 804–808.
- Luniak, M. (2017). Synurbization—adaptation of animal wildlife to urban development. *Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium*.
- Maharadatunkamsi. (2012). Pengaruh Habitat dan Ketinggian Tempat Terhadap Sebaran Kelelawar di Taman Nasional Gunung Ciremai, Jawa Barat. *Jurnal Biologi Indonesia* 8(2): 355-365.

- Mangabeira, P.A., Labéjof, L.P., Lamperti, A., Almeida, A.-, Oliveira, A.H., Escaig, F., Severo, M.I., Silva, D.D., Saloes, M., Mielke, M.S., Lucena, E.A., Martins, M.C., Santana, K.B., Gavrilov, K.L., Gallé, P., & Levi-Setti, R. (2004). Accumulation of chromium in root tissues of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. in Cachoeira river-Brazil. *Applied Surface Science*, 231, 497-501.
- Mardiastuti, A. (2018). *Ekologi Satwa Pada Lanskap yang Didominasi Manusia*. IPB Press. Bogor.
- Marinissen, J.C., & Ruiter, P.C. (1993). Contribution of earthworms to carbon and nitrogen cycling in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 47, 59-74.
- McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11(2), 161-176.
- Mickleburgh, S. P., Hutson, A. M., & Racey, P. A. (1992). *Old World Fruit Bats: An action plan for their conservation*. IUCN. Switzerland.
- Morelli, F., Jiguet, F., Reif, J., Plexida, S.G., Valli, A.S., Indykiewicz, P., Šimová, P., Tichit, M., Moretti, M., & Tryjanowski, P. (2015). Cuckoo and biodiversity: Testing the correlation between species occurrence and bird species richness in Europe. *Biological Conservation*, 190, 123-132.
- Morelli, F., Møller, A.P., Nelson, E., Benedetti, Y., Tichit, M., Šimová, P., Jerzak, L., Moretti, M., & Tryjanowski, P. (2017). Cuckoo as indicator of high functional diversity of bird communities: a new paradigm for biodiversity surrogacy. *Ecological Indicators*, 72, 565-573.
- Mulyana, N. A. P., Suratman, S. A., Satriani, N., Zaskya, F. A., Fortuna, Z. A., Prakarsa, T. B. P. (2023). Diversity of Reptile Species (Squamata) In Aquatic and Terrestrial Habitats in Magelang, Surakarta, and Magetan. *Jurnal Biologi Universitas Andalas*, 11 (1): 14-21.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772): 853-858.
- Naeem, S., Chair, F.S., Chapin III., Costanza, R., Ehrlich, P. R., Golley, F. B., Hooper, D. U., Lawton, J.H., O'Neill, R. V., Mooney, H.A., Sala, O. E., Symstad, A. J & Tilman, D. (2012). Biodiversity and ecosystem functioning: maintaining natural life support processes. *Issues in Ecology* (16): 1-20.
- Natsukawa, H., Yuasa, H., Komuro, S., & Sergio, F. (2021). Raptor breeding sites indicate high plant biodiversity in urban ecosystems. *Scientific Reports*, 11(1), p.21139.
- Oishi, Y., & Hiura, T. (2017). Bryophytes as bioindicators of the atmospheric environment in urban-forest landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 167, 348-355.

- Ollerton, J., R. Winfree, and S. Tarrant. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos* 120: 321– 326.
- Pankhurst, C.E., Hawke, B., Mcdonald, H.J., Kirkby, C.A., Buckerfield, J.C., Michelsen, P.P., O'Brien, K., Gupta, V.V., & Doube, B.M. (1995). Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 35, 1015-1028.
- Parmar, T.K., Rawtani, D.D., & Agrawal, Y.K. (2016). Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. *Frontiers in Life Science*, 9, 110 - 118.
- Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M., & Vandenbulcke, F. (2013). Pesticides and earthworms. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 199-228.
- Peniwidiyanti, P., Qayim, I., & Chikmawati, T. (2022). A Study on Diversity and Distribution of Figs (*Ficus*, Moraceae) in Bogor City, West Java, Indonesia. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*. 7(2).
- Pimm, S. L. (1984). The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949): 321-326.
- Pimm, S. L., Jenkins, C. N., Abell, R., Brooks, T. M., Gittleman, J. L., Joppa, L. N., Raven, P. H., Roberts, C. M., Sexton, J. O. (2014). The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187).
- Pratomo, I., Hendrasto, M., Gunawan, D., Soemarno, S., Girmansyah, D., Herawati, W., Widiawati, Y., Hidayah, H. A., Budiana, A., Sukarsa, Sungkono, J., Chasanah, T., Widodo, P., Wibowo, D. N., Maharatatkamsi, Sulistyadi, E., Widodo, W., Riyanto, A., Trilaksono, W., Haryono, Susatyo, P., Sugiharto, Heryanto, Noerdjito, A. W., Kahono, S., & Santosa, I. (2012). *Ekologi Gunung Slamet: Geologi, Klimatologi, Biodiversitas dan dinamika sosial Hayati*. LIPI Press. Jakarta.
- Pritchard, J. K., Stephens, M., Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2): 945–959.
- Rahman, M. A., Marantika, N., & Parmadhi, R. (2020). Populasi Monyet Ekor Panjang (*Macaca fascicularis*) di Kawasan Pesisir Pantai Nipah Pulo Aceh. Prosiding Seminar Nasional Biotik 2020.
- Rahmawati, E., & Hidayat, J.W. (2017). Kepadatan Populasi Lutung Jawa (*Trachypithecus auratus*) di Cagar Alam Kecubung Ulolanang Kabupaten Batang. Prosiding Biology Education Conference.
- Reyes, B.A., Ruiz, R.C., Martinez-Cruz, J.M., Bautista, F., Goguitchaichvili, A., Carvalho, C., & Morales, J. (2012). *Ficus benjamina* leaves as indicator of atmospheric pollution: a reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 56, 879-887.

- Rocha-Ortega, M., Rodríguez, P., & Córdoba-Aguilar, A. (2019). Can dragonfly and damselfly communities be used as bioindicators of land use intensification? *Ecological Indicators*, 107, 105553.
- Sanderson, E. W., Jaiteh, M., Levy, M. A., Redford, K. H., Wannebo, A. V., & Woolmer, G. (2002). The human footprint and the last of the wild. *Bioscience*, 52(10), 891-904.
- Schloter, M., Nannipieri, P., Sørensen, S.J., & Elsas, J.D. (2017). Microbial indicators for soil quality. *Biology and Fertility of Soils*, 54, 1-10.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2010). *Global Biodiversity Outlook 3*. United Nations Environment Programme. Montreal.
- Sergio, F., Caro, T., Brown, D., Clucas, B., Hunter, J.S., Ketchum, J., McHugh, K.A., & Hiraldo, F. (2008). Top Predators as Conservation Tools: Ecological Rationale, Assumptions, and Efficacy. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39, 1-19.
- Setiawati, E., (2004). Kajian Enceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Sebagai Fitoremedia 134 Cs. Berkala Fisika, 7(1), pp.11-15.
- Shannon, G., McKenna, M. F., Angeloni, L. M., Crooks, K. R., Fistrup, K. M., Brown, E., & Wittemyer, G. (2015). A synthesis of two decades of research documenting the effects of noise on wildlife. *Biological Reviews*, 91(4):982-1005.
- Shi, X., Song, L., Liu, W., Lu, H., Qi, J., Li, S., Chen, X., Wu, J., Liu, S., & Wu, C. (2017). Epiphytic bryophytes as bio-indicators of atmospheric nitrogen deposition in a subtropical montane cloud forest: Response patterns, mechanism, and critical load. *Environmental pollution*, 229, 932-941.
- Simpson, G. G. (1961). *Principles of Animal Taxonomy*. Columbia University Press.
- Skye, E. (1979). Lichens as Biological Indicators of Air Pollution. *Annual Review of Phytopathology*, 17, 325-341.
- Slaa, E.J., Chaves, L.A., Malagodi-Braga, K.S., & Hofstede, F.E. (2006). Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologie*, 37, 293-315.
- Stebbins, R. C. & Cohen, N. W. (1997). *A Natural History of Amphibians*. New Jersey: Princeton University Press
- Sudarso. (2011). Studi Keanekaragaman Jenis Tupai (Tupaiidae) Dalam Kawasan Hutan Lindung Naning Desa Meragun Kecamatan Nanga Taman Kabupaten Sekadau. Skripsi. Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- Sutrisno. (2000). Hubungan Kondisi Lingkungan dengan Tingkat Kepadatan Lalat pada Perusahaan Jasa Boga di Wilayah Kabupaten Semarang. Skripsi. Departemen Kesehatan Masyarakat. Universitas Diponegoro.
- Suyanto, A. (2001). *Panduan Lapangan Kelelawar di Indonesia*. Pusat Oenelitian dan Pengembangan Biologi – LIPI. Bogor

- TEEB. (2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. Progress Press. Malta.
- Utami, K. A., & Ramli, M. (2022). Analisis Perilaku Jangkrik (*Gryllus bimaculatus*) Pada Simulasi Efek Polusi Cahaya. Proceeding Biology Education Conference, 19 (1): 75- 78.
- Vitousek, P. M., D'Antonio, C. M., Loope, L., Rejmanek, M., Westbrooks, R. G. (1997). Introduced species: a significant component of human-caused global change. *New Zealand Journal of Ecology*, 21(1), 1-16.
- Whittaker, R. H. (1969). New concepts of kingdoms or organisms. *Science*, 163(3863): 150-160.
- Wilson, E. O. (2010). *The Diversity of Life*. Belknap Press. Cambridge.
- Zechmeister, H.G., Grodzińska, K., & Szarek-Łukaszewska, G. (2003). Chapter 10 Bryophytes. *Trace Metals and other Contaminants in the Environment*, 6, 329-375.
- Zhongmin, W., & Yunfei, Y. (2012). Species diversity of butterflies in Changbai Mountain in China. *Acta Ecologica Sinica* 32: 279 – 284.







“Kita tidak mewarisi bumi dari nenek moyang kita, kita meminjamnya dari anak cucu kita”

--- David Brower ---

ISBN 978-602-72775-3-3



9 78602 277533