

KESEHATAN & LINGKUNGAN

Buku ini membahas tentang Pengertian Wilayah dan Kota, Aktivasi dalam Wilayah dan Kota, Permasalahan dalam Wilayah dan Kota, Pencemaran Lingkungan Udara, Pencemaran Lingkungan Air, Pencemaran Lingkungan Tanah, Pencemaran Lingkungan Biosfer, Dampak Temperature terhadap Kesehatan, Efek Radioterapi pada Rongga Mulut, Kimia Organik, Kimia Anorganik, Virus, Bakteri, Jamur dan Fungsi Cacing, Peraturan dan Perundang-Undangan, Institusi Pengelola Lingkungan dan Teknis Pengelolaan Lingkungan, dan Isu Kesehatan Global di Indonesia.



PT Mafy Media Literasi Indonesia
ANGGOTA IKAPI (041/SBA/2023)
Email: penerbitmafya@gmail.com
Website: penerbitmafya.com



KESEHATAN DAN LINGKUNGAN



KESEHATAN & LINGKUNGAN

Fendy Faizal Gobel, Ardiansyah Mahlia, Rizal Yahya Luthfian P, Tatan Sukwika, Shintawati Dyah Purwaningrum, Rizka Efi Mawli, Pratika Desy Anggraeni, Krisdianto, Nurfianti, Niyar Candra Agustin, Ricka Prasdiantika, Eriyta Dian Puspitarini, Gina Aulia, Yanang Surya Putra Hardyanto, Restu Auliani, Nahri Idris, Sulung Alfianto Akbar

Kesehatan &
Lingkungan

UU No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat ciptaan dan/atau produk hak terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu ciptaan dan/atau produk hak terkait dapat digunakan tanpa izin pelaku pertunjukan, produser fonogram, atau lembaga penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kesehatan & Lingkungan

Fendy Faizal Gobel, Ardiansyah Mahlia, Rizal Yahya Luthfian P, Tatan Sukwika,
Shintawati Dyah Purwaningrum, Rizka Efi Mawli, Pratika Desy Anggraeni,
Krisdianto, Nurfianti, Niyar Candra Agustin, Ricka Prasdiantika,
Erlyta Dian Puspitarini, Gina Aulia, Yanang Surya Putra Hardyanto,
Restu Auliani, Nahri Idris, Sulung Alfianto Akbar



Kesehatan dan Lingkungan

Penulis:

Fendy Faizal Gobel, Ardiansyah Mahlia, Rizal Yahya Luthfian P, Tatan Sukwika, Shintawati Dyah Purwaningrum, Rizka Efi Mawli, Pratika Desy Anggraeni, Krisdianto, Nurfianti, Niyar Candra Agustin, Ricka Prasdiantika, Erlyta Dian Puspitarini, Gina Aulia, Yanang Surya Putra Hardyanto, Restu Auliani, Nahri Idris, Sulung Alfianto Akbar

Editor:

Andi Asari

Desainer:

Tim Mafy

Sumber Gambar Cover:

www.freepik.com

Ukuran:

viii, 282 hlm, 15,5 cm x 23 cm

ISBN:

978-623-8390-27-4

Cetakan Pertama:

Juli 2023

Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-Undang. Dilarang menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA

ANGGOTA IKAPI 041/SBA/2023

Kota Solok, Sumatera Barat, Kode Pos 27312

Kontak: 081374311814

Website: www.penerbitmafy.com

E-mail: penerbitmafy@gmail.com

Prakata

Segala puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas pertolongan dan limpahan rahmatnya sehingga penulis bisa menyelesaikan buku yang berjudul **Kesehatan dan Lingkungan**. Buku ini disusun secara lengkap dengan tujuan untuk memudahkan para pembaca memahami isi buku ini. Buku ini membahas tentang Pengertian Wilayah dan Kota, Aktivasi dalam Wilayah dan Kota, Permasalahan dalam Wilayah dan Kota, Pencemaran Lingkungan Udara, Pencemaran Lingkungan Air, Pencemaran Lingkungan Tanah, Pencemaran Lingkungan Biosfer, Dampak Temperature terhadap Kesehatan, Efek Radioterapi pada Rongga Mulut, Kimia Organik, Kimia Anorganik, Virus, Bakteri, Jamur dan Fungsi Cacing, Peraturan dan Perundang-Undangan, Institusi Pengelola Lingkungan dan Teknis Pengelolaan Lingkungan, dan Isu Kesehatan Global di Indonesia

Kami menyadari bahwa buku yang ada di tangan pembaca ini masih banyak kekurangan. Maka dari itu kami sangat mengharapkan saran untuk perbaikan buku ini di masa yang akan datang. Dan tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penerbitan buku ini. Semoga buku ini dapat membawa manfaat dan dampak positif bagi para pembaca.

Penulis, Malang 8 Agustus 2023

Daftar Isi

Prakata	v
 01.	
Pengertian Wilayah dan Kota	1
 02.	
Aktivasi Dalam Wilayah dan Kota	13
 03.	
Permasalahan Dalam Wilayah dan Kota	25
 04.	
Pencemaran Lingkungan Udara	39
 05.	
Pencemaran Lingkungan Air	77
 06.	
Pencemaran Lingkungan Tanah	89
 07.	
Pencemaran Lingkungan Biosfer	99

08.

Dampak Temperature Terhadap Kesehatan 109

09.

Efek Radioterapi Pada Rongga Mulut 129

10.

Kimia Organik141

11.

Kimia Anorganik 153

12.

Virus 173

13.

Bakteri 195

14.

Jamur dan Fungsi Cacing 209

15.

Peraturan dan Perundang-Undangan225

16.

Institusi Pengelola Lingkungan dan Teknis Pengelolaan
Lingkungan239

17.

Isu Kesehatan Global di Indonesia 251

Tentang Penulis267

01.

PENGERTIAN WILAYAH DAN KOTA

Fendy Faizal Gobel

A. Wilayah Perkotaan sebagai Entitas Geografis

Wilayah dan kota telah menjadi entitas penting dari masyarakat sepanjang sejarah manusia. Dengan batas geografis wilayah yang telah ditetapkan, memungkinkan manusia melakukan pemetaan dan memahami keragaman alam serta cara manusia berinteraksi dengan lingkungan sekitar. Namun, kota sebagai pusat kehidupan, juga berfungsi sebagai tempat pertumbuhan sektor ekonomi, politik, sosial, dan budaya. Wilayah secara umum merupakan suatu bagian dari permukaan bumi yang teritorialnya ditentukan atas dasar pengertian, batasan, dan perwujudan fisik-geografis. Menurut Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional Nomor 14 Tahun 2022, wilayah kota adalah ruang yang merupakan kesatuan geografis beserta segenap unsur terkait yang batas dan sistemnya ditentukan berdasarkan batas administratif kota (Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/badan Pertanahan Nasional, 2022).

Sebagai entitas geografis, wilayah memiliki batas yang jelas, baik berdasarkan karakteristik fisik maupun standar administratif.

Masyarakat dapat belajar tentang sejarah, keanekaragaman flora dan fauna, dan potensi sumber daya alam dari wilayah tersebut. Dalam lingkup yang lebih luas, wilayah juga melibatkan pembagian politik dan kekuasaan, seperti negara, provinsi, kota atau kabupaten, membentuk identitas dan kerangka kerja untuk hubungan antar-wilayah. Dengan adanya kemampuan memahami tentang wilayah, memungkinkan masyarakat untuk menganalisis interaksi manusia dengan lingkungan, distribusi sumber daya, serta konflik maupun kerja sama yang muncul dalam konteks geografis (Asdak, 2006).

Sebaliknya, kota menunjukkan kehidupan urban yang dinamis dan kompleks (Enni Lindia Mayona, 2021). Kota bukan hanya sekedar kumpulan bangunan, tetapi juga cerminan peradaban manusia. Kota menarik orang untuk mencari peluang, kehidupan yang lebih baik, dan interaksi sosial yang lebih luas. Pertumbuhan kota yang cepat juga menyebabkan wilayah perkotaan menjadi lebih besar. Ini mengubah struktur lingkungan dan menimbulkan masalah baru dalam pengelolaan sumber daya dan layanan publik serta berimplikasi pada tantangan kompleks terkait kesehatan dan lingkungan.

Perkotaan sering kali menghadapi masalah kesehatan yang signifikan. Penduduk perkotaan menghadapi beberapa masalah utama, seperti polusi udara yang tinggi, terbatasnya akses terhadap air bersih, dan risiko penyakit menular yang tinggi (Priyana, 2023). Sementara itu, dampak pembangunan yang tidak terkendali, seperti penggundulan hutan, kehilangan kawasan hijau, dan pengelolaan limbah yang tidak efektif, menempatkan lingkungan perkotaan juga dalam bahaya.

B. Wilayah

(Supriyatin, 2020), pengelompokan *cluster* tipologi wilayah menjadi tiga karakteristik, yaitu perkotaan, suburban, dan perdesaan. Indikator sebuah tipologi kawasan diukur melalui ciri rasio lahan terbangun, densitas jaringan jalan, fasilitas sosial, fasilitas ekonomi, fasilitas pendidikan, dan kepadatan penduduk suatu wilayah.

(Suhaeni, 2010), mengklasifikasikan tipologi wilayah perkotaan berdasarkan karakteristik permukiman, sosial, dan ekonomi. Klasifikasi tipologi ini sebagai bentuk menangani tumbuhnya permukiman kumuh dan lingkungan yang tidak layak huni. Pada wilayah perkotaan ideal untuk permukiman berdasarkan luasan adalah berada pada lahan di atas 60 m², secara sosial adalah kelompok masyarakat berdasarkan umur dan anggota keluarga, secara ekonomi adalah kelompok masyarakat berdasarkan mata pencaharian, penghasilan, dan masyarakat yang menerapkan efisiensi waktu tempuh dari rumah menuju ke tempat kerja.

(Hapsari, Aprinita Dwisna, 2019), tipologi wilayah berdasarkan fungsi ekonomi. Tipologi wilayah ini mengklasifikasikan wilayah berdasarkan jenis kegiatan ekonomi yang dominan di dalamnya. Contohnya, terdapat wilayah pusat bisnis (*central business district*) yang menjadi pusat kegiatan perdagangan dan keuangan, wilayah industri yang didominasi oleh sektor manufaktur, serta wilayah residensial yang merupakan tempat tinggal penduduk.

Secara konseptual, wilayah dapat dibagi menjadi 4 jenis, yaitu 1) wilayah homogen; 2) wilayah nodal; 3) wilayah administratif; dan 4) wilayah perencanaan (Mahi, 2016). Wilayah homogen adalah wilayah yang memiliki kesamaan atau keseragaman fisik, sosial, ekonomi, atau budaya. Faktor geografis biasanya menyebabkan keseragaman ini terjadi. Wilayah homogen dapat memiliki karakteristik fisik yang sama. Misalnya, daerah dataran rendah dengan iklim tropis dapat memiliki jenis vegetasi yang sama, curah hujan yang sama, dan suhu yang relatif stabil sepanjang tahun. Daerah pegunungan juga dapat memiliki karakteristik fisik yang sama, seperti topografi yang curam, iklim yang dingin, dan flora dan fauna yang sama. Selain itu, wilayah homogen juga dapat dikaitkan dengan keseragaman dalam hal karakteristik sosial. Misalnya, wilayah yang dihuni oleh suku atau etnis tertentu dengan budaya, bahasa, dan adat istiadat yang serupa dapat dianggap sebagai wilayah homogen. Contohnya adalah wilayah yang dihuni oleh suku Jawa di Indonesia, di mana ada keseragaman dalam bahasa Jawa, tradisi, dan norma sosial yang dianut oleh penduduk lokal. Faktor

ekonomi juga dapat memengaruhi pembentukan wilayah homogen. Misalnya, dalam hal ekonomi, wilayah yang didominasi oleh industri pertanian dengan jenis tanaman yang serupa, seperti wilayah yang sebagian besar menghasilkan padi atau jagung, dapat dianggap sebagai wilayah homogen. Perikanan yang bergantung pada sumber daya laut juga dapat menjadi wilayah yang homogen dengan jenis tangkapan ikan atau spesies dominan yang sama.

Wilayah nodal adalah wilayah yang memiliki pusat atau simpul penting untuk transportasi, komunikasi, perdagangan, atau interaksi sosial. Pusat ini dapat berupa kota besar, pelabuhan, jalan raya, atau simpul transportasi lainnya. Sering kali, wilayah nodal menjadi pusat aliran manusia, barang, dan informasi. Contohnya adalah kota metropolitan, yang berfungsi sebagai pusat ekonomi, politik, dan sosial suatu negara atau daerah. Wilayah nodal memainkan peran penting dalam pembangunan wilayah yang berdekatan dengannya.

Wilayah nodal sering kali memiliki pusat transportasi yang penting, seperti bandara internasional, pelabuhan laut, atau stasiun kereta api besar. Pusat transportasi ini menjadi titik masuk dan keluar utama bagi orang dan barang yang datang dan pergi dari wilayah tersebut. Wilayah nodal sering kali menjadi pusat perdagangan dan kegiatan ekonomi. Di sini, terdapat konsentrasi bisnis, toko, pasar, dan pusat perbelanjaan yang menarik orang untuk bertransaksi dan berinteraksi. Pusat perdagangan dalam wilayah nodal memfasilitasi aliran barang dan jasa, serta menciptakan peluang kerja dan pertumbuhan ekonomi.

Wilayah administratif merujuk pada pembagian administratif suatu negara atau wilayah menjadi unit-unit yang lebih kecil, seperti provinsi, kabupaten, kota, atau desa. Pembagian administratif ini biasanya didasarkan pada pertimbangan politik, ekonomi, sosial, dan administratif, dan memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih efisien dan efektif. Kebanyakan unit wilayah administratif memiliki otoritas dan tanggung jawab tertentu dalam mengelola urusan internal dan pelayanan publik. Setiap unit administratif dalam wilayah administratif memiliki otoritas dan tanggung jawab tertentu dalam

pengelolaan urusan internal dan pelayanan publik. Misalnya, provinsi biasanya memiliki wewenang dalam mengelola bidang-bidang seperti pendidikan, kesehatan, dan infrastruktur regional, sementara kabupaten atau kota bertanggung jawab untuk pelayanan publik seperti perizinan, perencanaan tata ruang, dan pelayanan masyarakat.

Wilayah administratif memfasilitasi tata kelola pemerintahan yang lebih efektif dan efisien. Pembagian administratif ini memungkinkan pemerintah untuk lebih fokus pada kebutuhan dan karakteristik wilayah yang lebih kecil, serta mempercepat pengambilan keputusan dan implementasi kebijakan di tingkat lokal. Wilayah administratif juga membantu dalam pengaturan administrasi, pengumpulan pajak, pemantauan, dan pengawasan terhadap unit-unit administratif.

Wilayah perencanaan merujuk pada wilayah yang ditentukan untuk keperluan perencanaan dan pengembangan secara keseluruhan. Wilayah ini biasanya lebih besar daripada wilayah administratif dan terdiri dari beberapa unit administratif yang berbeda, dan biasanya mencakup berbagai aspek pembangunan, seperti perencanaan tata ruang, transportasi, lingkungan, dan ekonomi. Wilayah perencanaan berusaha menjaga pertumbuhan ekonomi, perlindungan lingkungan, dan kualitas hidup masyarakat dalam keseimbangan. Wilayah perencanaan bukan hanya dari aspek fisik dan ekonomi, namun ada juga dari aspek ekologis. Misalnya dalam kaitannya dengan pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Pengelolaan daerah aliran sungai harus direncanakan dan dikelola mulai dari hulu sampai hilirnya secara terpadu, karena perlakuan di hulu akan berakibat di bagian hilirnya.

C. Kota

Amos Rapoport dalam bukunya (Zahnd, 1999), bahwa kota bukan hanya sekadar kumpulan bangunan dan infrastruktur fisik, tetapi juga mencakup aspek-aspek sosial, ekonomi, budaya, dan lingkungan. Menekankan pentingnya memahami hubungan yang kompleks antara elemen ini dalam konteks perkembangan kota. Dalam pengertiannya

tentang kota, Amos Rapoport juga menyoroti aspek historis dan evolusi kota. Menurutnya, kota tidak bisa dipahami hanya dalam konteks waktu yang satu, melainkan perlu dilihat dalam dimensi sejarah yang meliputi perkembangan dan perubahan dari waktu ke waktu. Hal ini mencakup aspek perencanaan, pertumbuhan, transformasi, dan adaptasi kota terhadap berbagai faktor dan kebutuhan masyarakat. Amos Rapoport juga menggambarkan kota sebagai sistem yang kompleks dengan berbagai subsistem di dalamnya. Subsistem ini mencakup beragam elemen seperti infrastruktur fisik (jalan, gedung, taman), tata ruang, kehidupan sosial, sistem transportasi, kegiatan ekonomi, sistem kelembagaan, dan banyak lagi. Semua subsistem ini saling berinteraksi dan saling mempengaruhi, membentuk identitas dan karakteristik unik dari setiap kota.

Menurut Lynch dalam bukunya yang berjudul "The Image of the City" (Lynch, 1964), kota bukanlah sekedar sekumpulan bangunan dan jalan-jalan, tetapi memiliki karakteristik dan identitas unik yang mempengaruhi cara kita memahami, mengalami, dan mengingat kota tersebut. Setiap kota memiliki ciri khas unik yang membedakannya dari kota lainnya. Ciri khas ini dapat terlihat dari bentuk bangunan, tata letak jalan, pola ruang terbuka, dan elemen-elemen visual lainnya. Ciri khas ini membantu dalam menciptakan identitas kota dan memberikan pengalaman yang khas bagi penduduk dan pengunjung. Kota yang baik adalah kota yang memiliki "*imageability*" yang tinggi, yaitu kemampuan kota untuk membentuk gambaran visual yang jelas dan kuat dalam pikiran individu. Kota yang memiliki *imageability* yang tinggi akan lebih mudah diingat dan dinavigasi karena memiliki landmark yang khas, jaringan jalan yang jelas, dan struktur ruang yang terorganisir dengan baik.

(Firdaus, Febby Asteriani, 2018), membagi karakteristik perkotaan berupa *urban sprawl* menjadi tiga tipologi besar yaitu yang pertama adalah *Single-Use Zoning*, merupakan tipe perkotaan di mana pada wilayah tersebut zoning kawasan komersial, perumahan dan area industri saling terpisah antara satu dengan yang lain. Tipologi kedua yaitu *LowDensity Zoning*, *Sprawl* merupakan ciri tipologi yang

menunjukkan pertumbuhan di wilayah yang memiliki tingkat kepadatan penduduk yang rendah. Tipologi terakhir, yaitu *Car-Dependent Communities*, merupakan tipologi perkotaan yang dapat diketahui berdasarkan tingkat penggunaan mobil sebagai alat transportasi, kondisi wilayah dengan tipologi ini biasa disebut dengan *automobile dependency*. Sebagian besar seluruh kegiatan aktivitas membutuhkan transportasi *motorized* sebagai dampak dari terpisahnya zona kawasan perumahan dengan kawasan industri dan kawasan komersial.

Tipologi kota berdasarkan fungsi dan peran. Tipologi kota ini mengklasifikasikan kota berdasarkan fungsi dan peran utamanya dalam sistem perkotaan. Terdapat kota pusat (*central city*) yang merupakan pusat administrasi dan kegiatan ekonomi, kota satelit yang berkembang di sekitar kota pusat dan berfungsi sebagai pusat kegiatan tertentu (misalnya industri atau perdagangan), serta kota-kota pinggiran yang lebih didominasi oleh pemukiman dan berfungsi sebagai tempat tinggal penduduk.

D. Tantangan dan Upaya Kesehatan di Perkotaan

Di perkotaan, kesehatan menjadi salah satu isu utama yang perlu diperhatikan. Meskipun perkotaan menawarkan akses yang lebih baik ke fasilitas kesehatan, masyarakat perkotaan juga menghadapi masalah kesehatan yang berbeda. Tingkat polusi udara yang tinggi merupakan masalah utama. Polusi udara perkotaan, terutama yang disebabkan oleh emisi industri dan kendaraan bermotor, dapat menyebabkan masalah pernapasan, iritasi mata, dan masalah kesehatan lainnya (Ismiyati, Ismiyati, Devi Marlita, 2014). Akses air bersih juga menjadi masalah besar di perkotaan. Infrastruktur yang terbatas dan populasi yang padat sering kali menyebabkan akses terbatas terhadap sumber air yang aman dan berkualitas, yang meningkatkan risiko penyakit terkait air seperti diare dan infeksi saluran pernapasan.

Untuk menghadapi tantangan tersebut, upaya-upaya kesehatan yang komprehensif perlu dilakukan di perkotaan. Pengendalian polusi udara harus menjadi prioritas pertama. Pengembangan ruang terbuka

hijau, pengaturan transportasi umum yang efisien, dan penggunaan teknologi yang ramah lingkungan dapat membantu mengurangi emisi polutan dan meningkatkan kualitas udara di wilayah perkotaan. Selain itu, akses terhadap air bersih harus ditingkatkan melalui investasi dalam infrastruktur air, pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, dan peningkatan kesadaran masyarakat akan penggunaan air yang berkelanjutan. Pendidikan kesehatan pada masyarakat perkotaan dalam praktik kebersihan, sanitasi, dan pola hidup sehat juga sangat penting dalam pencegahan penyakit dan meningkatkan kesehatan secara keseluruhan di perkotaan.

E. Menghadapi Polusi dan Dampaknya pada Perkotaan

Polusi udara menjadi salah satu masalah serius yang dihadapi oleh perkotaan. Polusi udara di perkotaan biasanya disebabkan oleh aktivitas industri, transportasi, dan pembakaran bahan bakar fosil (Mukono, 2011). Dalam hal ini, polusi udara didefinisikan sebagai keberadaan bahan kimia, partikel padat, atau gas beracun dalam atmosfer yang melampaui ambang batas yang ditetapkan dan dapat membahayakan kesehatan manusia dan merusak lingkungan.

Dampak polusi udara terhadap kesehatan masyarakat sangat signifikan. Masalah pernapasan seperti asma, bronkitis, dan penyakit kardiovaskular dapat meningkat sebagai akibat dari paparan jangka panjang terhadap polusi udara. Selain itu, partikel halus yang ditemukan di udara dapat memengaruhi sistem kekebalan tubuh, menyebabkan iritasi pada mata dan meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan. Selain itu, polusi udara juga merusak tanaman, menurunkan kualitas air, dan perubahan iklim.

Pemerintah telah menerapkan regulasi dan kebijakan lingkungan yang ketat untuk mengendalikan emisi polutan, meliputi pengaturan standar emisi kendaraan bermotor dan industri, pengendalian pembakaran limbah, serta pengelolaan bahan kimia berbahaya. Namun perlu adanya upaya dalam meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak polusi udara dan pentingnya menjaga kualitas udara. Program pendidikan dan kampanye kesadaran

masyarakat perlu dilakukan untuk mengubah perilaku dan mendorong partisipasi aktif dalam mengurangi polusi udara.

Mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dan peningkatan transportasi umum yang efisien, fasilitas bersepeda, dan pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan dapat mengurangi jumlah kendaraan di jalan raya.

F. Penciptaan Ruang Hidup Berkualitas di Lingkungan Perkotaan

Dengan laju urbanisasi yang pesat, tantangan terbesar yang dihadapi oleh perkotaan adalah menyediakan ruang hidup yang berkualitas bagi penduduknya. Seiring dengan kemajuan sosial dan teknologi, pemerintah, ahli lingkungan, dan masyarakat luas telah menjadi fokus utama untuk meningkatkan kualitas hidup di lingkungan perkotaan. Tingginya pertumbuhan perkotaan sering kali mengakibatkan kerusakan pada lingkungannya. Perkotaan menghadapi ancaman dari pembangunan gedung-gedung tinggi, penggundulan hutan, dan peningkatan limbah (Joga, 2013).

Masalah pengelolaan limbah di perkotaan menjadi tantangan serius dalam menciptakan ruang hidup yang berkualitas. Limbah yang tidak terkelola dengan baik dapat mencemari lingkungan, membahayakan kesehatan manusia, dan merusak ekosistem lokal. Tingginya tingkat polusi udara akibat aktivitas industri, kendaraan bermotor, dan pembakaran limbah dapat berdampak negatif terhadap kesehatan penduduk perkotaan. Di lingkungan perkotaan, masih banyak penduduk yang tidak memiliki akses yang memadai terhadap sumber air bersih dan sanitasi yang layak.

Ruang terbuka hijau seperti taman kota, taman rekreasi, dan area hijau perkotaan lainnya memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas hidup di lingkungan perkotaan. Studi menunjukkan bahwa memiliki akses yang baik ke ruang hijau dapat meningkatkan kesehatan fisik dan mental orang yang tinggal di perkotaan. Oleh karena itu, ruang terbuka hijau harus dibangun dan dipelihara dengan baik sebagai bagian penting dari perencanaan perkotaan. Salah satunya adalah menciptakan taman kota yang ramah

lingkungan, jalan setapak yang aman, dan area publik yang nyaman untuk beraktivitas di luar.

Penataan ruang yang berkelanjutan sangat penting untuk menciptakan ruang hidup yang baik di lingkungan perkotaan. Penggunaan lahan yang efisien, pembangunan kawasan hunian yang terintegrasi, dan pengurangan kepadatan populasi di wilayah yang rentan terhadap bencana alam adalah semua elemen yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan perkotaan yang baik.

Daftar Pustaka

- Asdak, C. 2006. 'Daya Dukung Sumber daya Air Sebagai Pertimbangan Penataan Ruang', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 7(1).
- Enni Lindia Mayona. 2021. 'Pergeseran Makna Kota Berdasarkan Perspektif Lingkungan', *REKALOKA Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 1(1), p. 33.
- Firdaus, Febby Asteriani, A.R. 2018. 'Karakteristik, Tipologi, Urban Sprawl', *Jurnal Saintis*, 18(2).
- Hapsari, Aprinita Dwisna, and B.U.A. 2019. 'Tipologi wilayah peri urban Kabupaten Sidoarjo berdasarkan aspek fisik, sosial, dan ekonomi', *Jurnal Teknik ITS*, 7(2).
- Ismiyati, Ismiyati, Devi Marlita, and D.S. 2014. 'Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor', *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*, 1(3).
- Joga, N. 2013. *Gerakan Kota Hijau*. Gramedia pustaka umum.
- Lynch, K. 1964. *The Image Of The City*. MIT Press.
- Mahi, I.A.K. 2016. *Pengembangan Wilayah: Terori & Aplikasi*. Kencana.
- Mukono, H.J. 2011. *Aspek Kesehatan Pencemaran Udara*. University Press.
- Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/badan Pertanahan Nasional. 2022 'Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang/badan Pertanahan Nasional Nomor 14 Tahun 2022'.
- Priyana, Y. 2023. 'Studi Kausalitas antara Polusi Udara dan Kejadian Penyakit Saluran Pernapasan pada Penduduk Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia', *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(6), pp. 462-472.
- Suhaeni, H. 2010. 'Tipologi Kawasan Perumahan Dengan Kepadatan Penduduk Tinggi Dan Penanganannya', *Jurnal Permukiman*, 5(3).

Supriyatin, R.A.E.P.D.O.P. 2020. 'Pemetaan Karakteristik Wilayah Urban Dan Rural Di Wilayah Bandung Raya dengan Metode Spatial Clustering', *Jurnal Geografi*, 12(02).

Zahnd, M. 1999. *Perencanaan Kota Terpadu*. Yogyakarta: Kanisius.

AKTIVASI DALAM WILAYAH DAN KOTA

Ardiansyah Mahlia

A. Pendahuluan

Aktivasi dalam wilayah dan kota memiliki peran yang krusial dalam memajukan pembangunan dan meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat. Aktivasi ini melibatkan serangkaian upaya untuk mengoptimalkan potensi yang ada, mendorong pertumbuhan ekonomi, meningkatkan kualitas infrastruktur, memperkuat komunitas lokal dan melestarikan warisan budaya. Tujuan utama dari aktivasi dalam wilayah dan kota adalah untuk mencapai perkembangan yang berkelanjutan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Melalui aktivasi, wilayah dan kota dapat mencapai beberapa manfaat penting, seperti peningkatan ekonomi melalui pembangunan sektor bisnis dan industri, peningkatan aksesibilitas dan mobilitas melalui pengembangan infrastruktur transportasi yang efisien, peningkatan kualitas lingkungan hidup melalui pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan dan peningkatan kualitas hidup masyarakat melalui penyediaan layanan publik yang baik dan pemberdayaan komunitas lokal.

B. Definisi dan Konsep Dasar

1. Pengertian Aktivasi dalam Wilayah dan Kota

Aktivasi wilayah dan kota merujuk pada upaya untuk memanfaatkan potensi dan sumber daya yang ada di dalamnya dengan menggunakan teknologi dan inovasi untuk menciptakan kehidupan yang lebih berkelanjutan, inklusif, dan berhubungan di wilayah dan kota tersebut. Aktivasi ini melibatkan penggunaan teknologi digital, konektivitas dan partisipasi masyarakat dalam membangun dan mengelola kota yang cerdas (*smart cities*) (Townsend, 2013).

Aktivasi wilayah dan kota adalah proses untuk meningkatkan keberlanjutan dan kehidupan yang berkualitas di wilayah perkotaan dengan fokus pada tiga dimensi penting, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Aktivasi ini melibatkan tindakan kolaboratif antara pemerintah, bisnis dan masyarakat untuk mengembangkan kebijakan, program, dan proyek yang meningkatkan kualitas hidup dan daya saing wilayah perkotaan (Newman & Jennings, 2008).

2. Komponen-komponen Penting Aktivasi dalam Wilayah dan Kota

Aktivasi dalam wilayah dan kota melibatkan beberapa komponen penting. Komponen-komponen utama aktivasi meliputi:

a. Infrastruktur fisik

Meliputi pengembangan dan peningkatan infrastruktur fisik seperti jaringan transportasi, sistem jalan, air bersih, sanitasi, energi serta fasilitas publik seperti taman dan ruang terbuka.

b. Pengembangan ekonomi

Mencakup upaya untuk meningkatkan sektor ekonomi di wilayah dan kota tersebut, seperti pengembangan industri, pariwisata, perdagangan, serta peningkatan keterampilan dan pelatihan tenaga kerja.

c. Pemberdayaan sosial

Melibatkan partisipasi masyarakat dalam perencanaan dan pelaksanaan aktivasi, peningkatan akses ke pendidikan, kesehatan, perumahan layak serta penguatan kapasitas masyarakat untuk berperan aktif dalam pembangunan wilayah dan kota.

d. Pelestarian lingkungan

Menekankan pentingnya pengelolaan lingkungan secara berkelanjutan, pelestarian sumber daya alam dan upaya mitigasi perubahan iklim dalam aktivasi wilayah dan kota. (Setyono & Indraprastha, 2016).

3. Peran dan Tanggung Jawab Pihak Terkait dalam Aktivasi

Dalam aktivasi wilayah dan kota, berbagai pihak terkait memiliki peran dan tanggung jawab yang berbeda. Peran dan tanggung jawab pihak terkait meliputi:

a. Pemerintah

Memiliki peran penting dalam menyusun kebijakan, perencanaan, dan pengaturan aktivasi. Tanggung jawab pemerintah meliputi memberikan arahan strategis, alokasi sumber daya, serta pelaksanaan dan pengawasan program aktivasi. Pemerintah juga bertanggung jawab dalam memfasilitasi partisipasi masyarakat dalam pengambilan keputusan terkait aktivasi.

b. Masyarakat

Masyarakat memiliki peran aktif dalam aktivasi wilayah mereka. Partisipasi masyarakat dalam perencanaan, implementasi, dan evaluasi aktivasi sangat penting untuk memastikan keberlanjutan dan keberhasilan program. Masyarakat juga memiliki tanggung jawab untuk menjaga keberlanjutan lingkungan, melestarikan budaya lokal, serta terlibat dalam pengelolaan sumber daya alam dan kegiatan ekonomi yang berkelanjutan.

c. Organisasi non-pemerintah (LSM)

LSM dapat berperan sebagai mitra pemerintah dalam mendukung dan memfasilitasi partisipasi masyarakat dalam aktivasi. Mereka dapat memberikan dukungan teknis, sosial, dan kelembagaan kepada masyarakat serta berperan dalam advokasi dan pemantauan kebijakan dan program aktivasi.

d. Sektor swasta

Perusahaan swasta memiliki tanggung jawab dalam melakukan investasi yang berkelanjutan dan berorientasi pada pembangunan wilayah. Mereka dapat berperan dalam pengembangan ekonomi, pembangunan infrastruktur serta penciptaan lapangan kerja yang berkelanjutan. Perusahaan swasta juga harus memperhatikan dampak sosial dan lingkungan dari kegiatan mereka. (Wuryandari & Bambang, 2017).

C. Konteks Wilayah dan Kota

1. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Aktivasi

Aktivasi dalam wilayah dan kota dipengaruhi oleh sejumlah faktor yang kompleks. Faktor-faktor ini meliputi:

a. Faktor Geografis

Faktor geografis mencakup karakteristik fisik suatu wilayah atau kota, seperti lokasi, iklim, topografi dan sumber daya alam.

- 1) Lokasi yang strategis dapat meningkatkan aksesibilitas dan konektivitas suatu wilayah atau kota, yang pada gilirannya dapat mendorong aktivitas ekonomi dan pertumbuhan.
- 2) Iklim yang kondusif dapat mempengaruhi sektor-sektor tertentu seperti pariwisata, pertanian atau energi terbarukan.
- 3) Topografi yang rumit atau sulit dapat mempengaruhi infrastruktur dan mobilitas di wilayah atau kota tersebut (Boyle, *et al.*, 2018).

b. Faktor Demografis

Faktor demografis mencakup karakteristik penduduk suatu wilayah atau kota, seperti jumlah penduduk, komposisi usia, tingkat migrasi, dan kepadatan penduduk.

- 1) Jumlah penduduk yang besar dapat menciptakan pasar yang potensial dan mendorong pertumbuhan ekonomi.
- 2) Struktur usia yang berbeda-beda dapat mempengaruhi kebutuhan dan preferensi konsumen serta tenaga kerja yang tersedia.
- 3) Tingkat migrasi yang tinggi dapat membawa pengaruh budaya baru, keanekaragaman dan perubahan sosial di wilayah atau kota tersebut (Boyle, *et al.*, 2018).

c. Faktor Ekonomi

Faktor ekonomi mencakup kondisi ekonomi suatu wilayah atau kota, termasuk tingkat pertumbuhan ekonomi, sektor ekonomi dominan, lapangan pekerjaan, investasi, dan kebijakan ekonomi.

- 1) Pertumbuhan ekonomi yang tinggi dapat menciptakan peluang investasi dan aktivitas bisnis yang lebih besar.
- 2) Dominasi sektor ekonomi tertentu seperti industri, pariwisata atau jasa dapat mempengaruhi jenis aktivitas yang dominan di wilayah atau kota tersebut.
- 3) Kebijakan pemerintah terkait perpajakan, regulasi, dan insentif dapat mempengaruhi iklim bisnis dan investasi di wilayah atau kota tersebut (McCann & Ortega-Argilés, 2017).

d. Faktor Politik

Faktor politik mencakup kebijakan pemerintah, stabilitas politik, tata kelola, dan hubungan antara pemerintah dan sektor swasta.

- 1) Kebijakan pemerintah terkait pembangunan infrastruktur, pengembangan wilayah atau insentif bisnis dapat

mempengaruhi tingkat aktivitas di wilayah atau kota tersebut.

- 2) Stabilitas politik yang tinggi cenderung menciptakan lingkungan yang kondusif untuk bisnis dan investasi.
- 3) Kualitas tata kelola pemerintahan, tingkat korupsi dan efisiensi administrasi dapat mempengaruhi daya tarik wilayah atau kota tersebut bagi investor dan pengusaha (McCann & Ortega-Argilés, 2017).

2. Tantangan dan Peluang dalam Mengaktifkan Wilayah dan Kota

Mengaktifkan wilayah dan kota melibatkan tantangan dan peluang yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan implementasi. Berikut adalah beberapa tantangan dan peluang yang sering dihadapi:

Tantangan dalam Mengaktifkan Wilayah dan Kota

a. Keterbatasan Sumber Daya

Tantangan utama adalah keterbatasan sumber daya finansial, tenaga kerja, dan infrastruktur yang dapat membatasi kemampuan untuk mengaktifkan wilayah dan kota dengan cara yang efektif.

b. Kepentingan Beragam

Stakeholder dengan kepentingan yang berbeda-beda seperti pemerintah, pengembang, masyarakat, dan sektor swasta dapat memiliki tujuan yang berbeda dan mempengaruhi pengambilan keputusan yang kompleks.

c. Pembangunan yang Tidak Berkelanjutan

Beberapa wilayah dan kota menghadapi tantangan lingkungan seperti urbanisasi yang cepat, perubahan iklim, kepadatan penduduk yang tinggi dan degradasi lingkungan yang dapat mempengaruhi keberlanjutan jangka panjang.

d. Ketimpangan Regional

Beberapa wilayah dan kota menghadapi ketimpangan pembangunan regional, di mana sebagian wilayah mengalami

pertumbuhan dan aktivitas ekonomi yang tinggi, sementara wilayah lain tertinggal.

e. Pengelolaan Pertumbuhan

Pertumbuhan yang tidak terkendali dapat menyebabkan masalah seperti kemacetan lalu lintas, peningkatan tekanan pada infrastruktur dan layanan dan kehilangan ruang terbuka hijau.

Peluang dalam Mengaktifkan Wilayah dan Kota

a. Peningkatan Ekonomi

Mengaktifkan wilayah dan kota dapat menciptakan lapangan kerja baru, peluang usaha dan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

b. Inovasi Teknologi

Kemajuan teknologi informasi dan komunikasi memberikan peluang untuk memanfaatkan solusi pintar (*smart solutions*) dalam pengelolaan infrastruktur, pelayanan publik dan pengembangan kota yang efisien dan berkelanjutan.

c. Pemanfaatan Potensi Lokal

Setiap wilayah dan kota memiliki keunikan dan potensi yang dapat diperkuat, seperti kekayaan budaya, warisan sejarah, keanekaragaman alam, dan industri kreatif yang dapat menjadi basis untuk pengembangan ekonomi lokal.

d. Partisipasi Masyarakat

Melibatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan dan pelaksanaan proyek dapat memperkuat ikatan sosial, meningkatkan kepemilikan, dan menciptakan keberlanjutan jangka panjang.

e. Keberlanjutan Lingkungan

Mengaktifkan wilayah dan kota dengan pendekatan berkelanjutan dapat meningkatkan kualitas lingkungan, mengurangi emisi gas rumah kaca, memanfaatkan energi terbarukan, dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan.

Pemahaman akan tantangan dan peluang ini penting dalam merancang strategi dan tindakan yang tepat untuk mengaktifkan wilayah dan kota dengan cara yang berkelanjutan dan inklusif (Moeliono & Kasmono, 2017).

3. Perbedaan Aktivasi dalam Konteks Wilayah dan Kota

Meskipun aktivasi wilayah dan kota memiliki tujuan umum untuk memajukan pembangunan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat, terdapat perbedaan dalam konteks wilayah dan kota yang perlu diperhatikan. Dalam konteks wilayah yang lebih luas, fokus aktivasi mungkin lebih mengarah pada pengembangan ekonomi sektor primer, seperti pertanian dan pertambangan, serta pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan. Di sisi lain, dalam konteks kota yang lebih padat penduduknya, aktivasi mungkin lebih terkait dengan pengembangan infrastruktur perkotaan, pengelolaan transportasi yang efisien, pembangunan sektor jasa serta peningkatan kualitas hidup bagi penduduk perkotaan (Setyono & Indraprastha, 2016).

D. Perencanaan Aktivasi

1. Langkah-langkah Perencanaan Aktivasi

Perencanaan aktivasi dalam wilayah dan kota melibatkan serangkaian langkah yang sistematis. Langkah-langkah ini meliputi:

a. Analisis dan Evaluasi Wilayah/Kota

Melakukan analisis mendalam tentang kondisi wilayah/kota yang meliputi aspek demografi, ekonomi, sosial, budaya dan lingkungan. Evaluasi ini akan membantu dalam memahami potensi dan tantangan yang ada di wilayah/kota tersebut.

b. Identifikasi Tujuan dan Visi

Menetapkan tujuan jangka panjang dan visi yang ingin dicapai melalui aktivasi dalam wilayah/kota. Tujuan dan visi ini harus mencerminkan kebutuhan dan aspirasi masyarakat setempat.

c. Pengumpulan Data dan Analisis

Mengumpulkan data yang relevan, seperti data demografi, ekonomi, sosial dan lingkungan. Data ini kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi peluang dan tantangan yang dapat membantu dalam merumuskan strategi aktivasi.

d. Penyusunan Strategi dan Rencana Tindakan

Berdasarkan analisis data, merumuskan strategi dan rencana tindakan yang spesifik dan terukur untuk mencapai tujuan dan visi aktivasi. Strategi ini harus mencakup upaya pengembangan infrastruktur, pengembangan ekonomi, pemberdayaan masyarakat dan pelestarian lingkungan. (Serageldin & Abaza, 2017).

2. Faktor-faktor yang Perlu Dipertimbangkan dalam Perencanaan Aktivasi

Dalam perencanaan aktivasi, terdapat sejumlah faktor yang perlu dipertimbangkan, antara lain:

a. Keterlibatan Masyarakat

Memastikan partisipasi aktif masyarakat dalam perencanaan dan pelaksanaan aktivasi. Ini termasuk mengidentifikasi kebutuhan masyarakat, memperhitungkan aspirasi mereka, dan melibatkan mereka dalam pengambilan keputusan.

b. Keberlanjutan

Memperhatikan aspek keberlanjutan dalam perencanaan aktivasi, termasuk keberlanjutan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Upaya harus dilakukan untuk memastikan bahwa aktivasi dapat memberikan manfaat jangka panjang dan berkelanjutan bagi wilayah/kota tersebut. (Arifin & Handayani, 2019).

3. Studi Kasus Perencanaan Aktivasi

Salah satu studi kasus perencanaan aktivasi yang berhasil adalah "Revitalisasi Kawasan Kota Tua Jakarta" yang dilakukan oleh

Pemerintah DKI Jakarta. Melalui perencanaan yang komprehensif, termasuk pengembangan infrastruktur, pemulihan bangunan bersejarah, pemberdayaan masyarakat lokal, dan pengembangan sektor pariwisata. Dampak yang ditimbulkan dari Revitalisasi Kawasan Kota Tua Jakarta, yaitu

- a. Peningkatan wisatawan, revitalisasi Kota Tua Jakarta telah menarik minat wisatawan lokal dan internasional, meningkatkan kunjungan dan menghidupkan kembali aktivitas ekonomi di kawasan tersebut.
- b. Pelestarian sejarah dan budaya, konservasi bangunan bersejarah dan pengembangan fasilitas publik telah meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap nilai sejarah dan budaya kawasan Kota Tua.
- c. Melibatkan masyarakat setempat dalam proses revitalisasi untuk memastikan partisipasi aktif dan pemeliharaan keberlanjutan Kawasan (Budihardjo, 2012).

Daftar Pustaka

- Arifin, H. S., & Handayani, W. 2019. Community Participation in Urban Revitalization: The Case of Malang City, Indonesia. *Journal of Regional and City Planning*, 30(1), 22-34.
- Boyle, P., Halfacree, K., & Robinson, V. 2018. *Exploring human geography: A reader*. London: Routledge.
- Budihardjo, E. 2012. Urban regeneration and the making of heritage tourism: The case of Jakarta's Old Town. *Indonesia and the Malay World*, 40(117), 275-298.
- McCann, P., & Ortega-Argilés, R. 2017. Smart specialization, regional growth and applications to European Union regional policy. *Regional Studies*, 51(1), 194-196.
- Moeliono, M., & Kasmono, H. D. 2017. *Pembangunan Perkotaan Berkelanjutan: Sebuah Pengantar*. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Newman, P., & Jennings, I. 2008. *Cities as Sustainable Ecosystems: Principles and Practices*. Washington DC: Island Press.
- Serageldin, I., & Abaza, H. 2017. Rejuvenating Cities: The Role of Strategic Planning. *Journal of Urban Regeneration and Renewal*, 10(1), 40-55.
- Setyono, P., & Indraprastha, A. 2016. *Aktivasi Wilayah dan Kota: Konsep, Teori, dan Praktik*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Townsend, A. 2013. *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*. New York: W. W. Norton & Company.
- Wuryandari, V., & Bambang, A. N. 2017. Partisipasi Masyarakat dalam Aktivasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. *Jurnal Riset Geografi*, 1(2), 163-176.

03.

PERMASALAHAN DALAM WILAYAH DAN KOTA

Rizal Yahya Luthfian P.

A. Pendahuluan

Dalam suatu wilayah pasti akan muncul konflik atau masalah. Terdapat banyak masalah yang timbul dalam suatu wilayah, misalnya masalah individu, konflik kepentingan, lingkungan, konflik antarkelompok, dan lainnya. Masalah ini juga timbul karena faktor-faktor tertentu. Oleh karena itu, tulisan ini akan memaparkan permasalahan yang terjadi dalam suatu wilayah, khususnya pada perkotaan.

Wilayah merupakan suatu daerah dengan batasan tertentu yang dapat meliputi negara, provinsi, kabupaten, atau kota, dan memiliki ciri khas fisik, sosial, ekonomi, dan politik yang berbeda. Wilayah tersebut dapat terbagi menjadi sub-wilayah yang lebih kecil, seperti kota atau desa. Sedangkan, kota merupakan sebuah area geografis yang memiliki jumlah penduduk yang signifikan dan memiliki organisasi administratif yang teratur. Secara umum, kota memiliki pusat perkotaan yang menjadi pusat aktivitas ekonomi, sosial, dan

politik. Infrastruktur di kota juga biasanya lebih kompleks dibandingkan dengan wilayah pedesaan, termasuk sistem transportasi yang baik, fasilitas pendidikan dan kesehatan yang lengkap, serta beragam tempat hiburan dan rekreasi.

Sebelum menguraikan permasalahan apa saja yang dapat terjadi di wilayah dan kota, perlu dijelaskan terlebih dahulu mengenai bagaimana konsep wilayah dan kota yang ideal. Menurut Mattila & Heinilä (2022), Model ideal kota-wilayah adalah model yang mendorong tata kelola yang efektif, pembangunan berkelanjutan, dan distribusi sumber daya dan peluang yang adil. Model ini seharusnya memiliki karakteristik: 1) Melakukan perencanaan terpadu, 2) pengambilan keputusan kolaboratif, 3) konektivitas fungsional, 4) integritas ekonomi, 5) mengedepankan inklusi sosial dan kesetaraan, 6) keberlanjutan lingkungan.

Tentunya model ideal tersebut belum sepenuhnya dapat diterapkan. Belum tercapainya salah satu model itulah yang dapat menyebabkan timbulnya masalah wilayah dan kota.

B. Jenis Permasalahan Wilayah dan Kota

Permasalahan wilayah dan kota memiliki banyak contohnya. Secara umum, permasalahan wilayah dan kota seputar konflik sosial, ekonomi, dan lingkungan. Selain itu, masalah lain bisa jadi mengenai tata ruang dan kepadatan penduduk. Menurut Copus, *et al.*, (2022) secara umum permasalahan wilayah dan kota yang dapat terjadi adalah 1) ketimpangan pembangunan spasial, 2) penurunan populasi di pedesaan, 3) ketidakseimbangan investasi R&D, 4) fokus kebijakan perkotaan, 5) ketidaksesuaian kebijakan perkotaan dengan wilayah pedesaan.

1. Kemacetan Lalu Lintas

Kemacetan lalu lintas adalah situasi di mana terjadi hambatan atau kecepatan yang rendah dalam aliran kendaraan di jalan raya. Hal ini terjadi ketika volume kendaraan melebihi kapasitas jalan atau karena adanya gangguan seperti kecelakaan

atau pekerjaan konstruksi di jalan. Masalah ini merupakan masalah yang umum terjadi pada wilayah dan kota. Penelitian mengenai kebijakan masalah kemacetan pada wilayah dan kota di China yang dilakukan oleh Wei, *et al.*, (2022), memaparkan hasil bahwa faktor yang mempengaruhi kemacetan lalu lintas yaitu sebagai berikut:

- a. Kepadatan populasi: Semakin banyak orang yang tinggal di suatu kota atau wilayah, semakin banyak kendaraan yang melintasi jalan, yang dapat menyebabkan kemacetan lalu lintas.
- b. Jumlah kendaraan: Kemungkinan kemacetan lalu lintas lebih besar jika ada lebih banyak kendaraan di jalan.
- c. Cuaca: Cuaca buruk, seperti hujan atau salju, dapat memengaruhi lalu lintas dan menyebabkan kemacetan.
- d. Infrastruktur jalan yang tidak memadai: Jalan yang sempit, rusak, atau tidak memadai dapat menyebabkan kemacetan dan memperlambat laju kendaraan.
- e. Kebijakan transportasi yang tidak efektif: Kebijakan seperti kurangnya jalur bus atau sepeda dapat mengganggu kinerja lalu lintas dan menyebabkan kemacetan.
- f. Kebijakan parkir yang tidak efektif: Hal-hal seperti tempat parkir yang tidak cukup atau biaya parkir yang terlalu murah dapat mengganggu lalu lintas dan menyebabkan kemacetan.

Kemacetan lalu lintas ini memang sudah menjadi isu bagi setiap wilayah dan kota, di mana solusinya bergantung pada kebijakan dari masing-masing pemerintah/pihak yang berwajib dari wilayah dan kota tersebut. Secara umum, ada beberapa hal yang perlu dilakukan dan dipertimbangkan sebagai solusi bagi kemacetan lalu lintas. *Pertama*, mengalokasikan fasilitas publik secara rasional dengan tujuan untuk mengurangi tekanan lalu lintas di area tertentu Pemerintah kota dapat mengatur lokasi fasilitas publik seperti sekolah dan rumah sakit secara rasional. *Kedua*, memelihara infrastruktur jalan secara teratur dapat mencegah penutupan jalan sementara dan memastikan kelancaran lalu lintas pada infrastruktur tersebut.

Ketiga, pemerintah kota memiliki kemampuan untuk membatasi jumlah kendaraan pribadi yang dimiliki oleh individu dan mengurangi frekuensi penggunaan kendaraan pribadi melalui penerapan sistem harga jalan. *Keempat*, peningkatan infrastruktur transportasi publik. Pemerintah kota dapat membangun infrastruktur transportasi publik yang lebih baik melalui undang-undang seperti tarif jalan. *Kelima*, peningkatan sistem transportasi multi-dimensi. Untuk meningkatkan konektivitas kota, pemerintah kota dapat meningkatkan sistem transportasi multi-dimensi, termasuk infrastruktur transportasi bawah tanah. *Keenam*, peningkatan pengaturan lalu lintas. Dengan mengatur lalu lintas dan mendorong penggunaan transportasi publik, pemerintah kota dapat memperbaiki pengaturan lalu lintas dan mengurangi kemacetan pada jam sibuk. *Ketujuh*, perbaikan pola penggunaan lahan. Untuk mengurangi beban lalu lintas di pusat kota, pemerintah kota dapat memperbaiki pola penggunaan lahan dengan menerapkan pola polisentris dan padat.

2. Kurangnya Ruang Hijau



Gambar 3.1. Ilustrasi Ruang Hijau pada Wilayah dan Kota
Sumber: Internet

Ruang hijau di wilayah dan kota sangat penting untuk menjaga kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Terkadang karena banyaknya populasi penduduk di suatu wilayah menyebabkan lahan kosong minim ada, sehingga berdampak pada kurangnya alokasi lahan untuk ruang hijau pada wilayah dan kota. Akibatnya muncul dampak-dampak lingkungan dan kesehatan yang dirasakan. Menurut Rodríguez-Gómez, *et al.*, (2022). Kurangnya lahan hijau di wilayah dan kota dapat menyebabkan peningkatan suhu dan dampak negatif lainnya pada kesehatan manusia dan lingkungan. Efek pulau panas perkotaan (*Urban Heat Island Effect*) diperburuk oleh peningkatan suhu di kota, terutama selama gelombang panas. Kurangnya lahan hijau juga dapat mempengaruhi kualitas udara, kualitas air, dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan peningkatan lahan hijau di wilayah dan kota.

Urbanisasi dan pertumbuhan populasi di kota-kota menyebabkan kurangnya ruang hijau di wilayah dan kota. Selain itu, beberapa faktor lain seperti ketersediaan lahan, penggunaan lahan, atau konstruksi yang sudah ada juga dapat mempengaruhi kurangnya ruang hijau di wilayah dan kota. Menciptakan sabuk hijau (*green belt*) di sekitar kota dapat mengurangi kekurangan ruang hijau di wilayah dan kota. Selain itu, disarankan untuk mempertimbangkan penggunaan lahan yang berkelanjutan, ketersediaan lahan, atau konstruksi yang sudah ada saat menentukan wilayah yang membutuhkan lebih banyak ruang hijau. Selain itu, mempertimbangkan kualitas udara dan air dalam perencanaan kota.

3. Krisis Perumahan

Krisis perumahan sering menjadi permasalahan yang terjadi di berbagai negara. Beberapa alasan yang menyebabkan krisis perumahan antara lain adalah:

- a. Terbatasnya lahan di wilayah perkotaan menyebabkan harga tanah dan perumahan menjadi sangat tinggi, sehingga membuat

- orang dengan penghasilan rendah kesulitan untuk memiliki rumah sendiri.
- b. Kenaikan harga bahan bangunan juga berkontribusi dalam krisis perumahan karena biaya pembangunan rumah menjadi semakin mahal.
 - c. Orang dengan penghasilan rendah sulit membeli rumah karena harga rumah yang tinggi, akibatnya mereka terpaksa mengontrak atau tinggal di rumah susun.
 - d. Saat terjadi krisis ekonomi, banyak masyarakat yang tidak memiliki cukup uang untuk membeli rumah atau membayar sewa rumah, yang kemudian memperburuk krisis perumahan.
 - e. Ketidakmampuan pemerintah dalam menyediakan perumahan yang cukup juga menjadi faktor yang berkontribusi dalam terjadinya krisis perumahan.

Beberapa langkah yang dapat diambil untuk mengatasi krisis perumahan pada wilayah dan kota antara lain:

- a. Pengembangan perumahan yang ekonomis: Upaya pemerintah dalam mengembangkan perumahan yang dapat dijangkau oleh masyarakat dengan pendapatan rendah.
- b. Peningkatan akses ke kredit perumahan: Pemerintah harus memastikan akses masyarakat ke kredit perumahan dengan suku bunga yang terjangkau.
- c. Pembangunan rumah susun: Salah satu solusi untuk mengatasi krisis perumahan adalah dengan membangun rumah susun, yang memungkinkan tempat tinggal bagi banyak orang dengan biaya yang lebih terjangkau.
- d. Pengembangan kawasan hunian vertikal: Langkah ini mencakup pembangunan apartemen dan kondominium untuk memberikan alternatif perumahan yang dapat mengakomodasi kepadatan penduduk di wilayah perkotaan.
- e. Pengembangan kawasan perumahan di luar kota: Salah satu solusi adalah dengan mengembangkan kawasan perumahan di

luar kota, yang seringkali menawarkan harga tanah dan perumahan yang lebih terjangkau.

Dalam menangani krisis perumahan di wilayah dan kota, penting untuk menerapkan solusi yang tepat dan efektif guna memastikan akses masyarakat terhadap perumahan yang layak dan terjangkau (Safitri, *et al.*, 2022).

4. Polusi Lingkungan

Berbagai faktor menyebabkan polusi udara, termasuk emisi dari kendaraan bermotor, industri, pembakaran biomassa, pembangkit listrik, dan kegiatan manusia lainnya. Faktor alam seperti erupsi gunung berapi dan debu dari gurun pasir juga dapat menjadi penyebab polusi udara. Komponen utama polutan udara meliputi partikel halus (PM_{2.5}), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), dan ozon (O₃) (Shao & Chou, 2023).

Di perkotaan, emisi dari kendaraan bermotor merupakan salah satu penyebab utama polusi udara. Penggunaan bahan bakar fosil oleh kendaraan menghasilkan emisi gas buang yang mengandung partikel halus dan zat kimia berbahaya. Selain itu, industri juga berperan penting sebagai sumber polusi udara, terutama dari pabrik-pabrik yang menggunakan bahan bakar fosil dan proses produksi yang mengeluarkan emisi beracun. Sementara itu, di daerah pedesaan, pembakaran biomassa, seperti pembakaran kayu bakar dan sampah, juga dapat menyebabkan polusi udara.

Polusi udara di daerah dan kota dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Beberapa solusi yang ditemukan dari hasil pencarian adalah:

- a. Menggunakan kendaraan pribadi yang ramah lingkungan: Orang-orang saat ini lebih suka menggunakan kendaraan pribadi daripada kendaraan umum. Hal ini menyebabkan kemacetan di jalan dan polusi udara dari asap kendaraan

beracun. Motor tenaga surya yang ramah lingkungan diciptakan untuk mengurangi polusi dan pencemaran udara.

- b. Pengolahan limbah: Sebelum limbah dibuang ke media lingkungan, proses pengolahan limbah diperlukan untuk menghilangkan atau setidaknya meminimalkan dampak limbah industri terhadap ekosistem sekitar. Sisa produksi industri dapat menyebabkan pencemaran dan pencemaran yang signifikan. Teknologi yang ramah lingkungan dapat digunakan untuk mengolah limbah.
- c. Kampanye Sosial: Kampanye sosial dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan dan mengurangi polusi udara. Kampanye sosial dapat dilakukan dengan memberikan informasi tentang apa yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh polusi.
- d. Penggunaan teknologi: Teknologi dapat digunakan untuk memantau kualitas udara di wilayah dan kota. Badan Lingkungan Hidup dapat menggunakan sistem pemetaan tingkat polusi udara berbasis Android untuk memantau kualitas udara di Kota Surabaya dan memberikan informasi kepada masyarakat melalui peta digital. Teknologi air filtration juga dapat digunakan untuk mengurangi polusi udara di kawasan industri.
- e. Pengawasan: Pemerintah dan masyarakat dapat melakukan pengawasan pengelolaan limbah di industri dan memastikan bahwa peraturan perundang-undangan dipatuhi.

Untuk mengatasi polusi udara di wilayah dan kota, pemerintah, masyarakat, dan industri harus bekerja sama untuk menjaga lingkungan dan mengurangi efek negatifnya.

5. Ketimpangan Sosial dan Ekonomi

Ketimpangan ekonomi dan sosial merujuk pada distribusi sumber daya, kesempatan, dan imbalan yang tidak merata di antara individu atau kelompok dalam masyarakat. Beberapa contoh

ketimpangan sosial termasuk ketimpangan pendapatan, ketimpangan kekayaan, ketimpangan pendidikan, dan ketimpangan kesehatan. Di sisi lain, ketimpangan ekonomi secara khusus mengacu pada distribusi sumber daya ekonomi, seperti pendapatan, kekayaan, dan pendidikan (Mostagir & Siderius, 2022).

Studi telah menunjukkan bahwa banyak faktor dapat menyebabkan ketidaksetaraan sosial dan ekonomi, termasuk faktor ekonomi seperti pertumbuhan ekonomi yang tidak merata, kemiskinan, dan ketimpangan dalam penggunaan dan kepemilikan lahan. Faktor lain termasuk ketimpangan dalam akses ke infrastruktur sosial seperti layanan kesehatan dan pendidikan, perbedaan geografis dalam distribusi dan cakupan populasi, dan faktor politik seperti distribusi yang tidak merata dari kebijakan pembangunan ekonomi dan infrastruktur (Ali & Caranti, 2021).

Ketimpangan sosial dan ekonomi adalah isu umum yang dihadapi oleh banyak negara, termasuk Indonesia. Hasil penelitian mengidentifikasi beberapa faktor yang dapat menyebabkan ketimpangan sosial dan ekonomi di berbagai wilayah dan kota di Indonesia:

- a. Faktor ekonomi: Salah satu penyebab ketimpangan sosial dan ekonomi adalah faktor ekonomi, seperti distribusi pendapatan yang tidak merata, tingkat kemiskinan, dan ketimpangan dalam pertumbuhan ekonomi.
- b. Faktor lahan: Ketidakmerataan dalam kepemilikan lahan dan jumlah buruh tani juga dapat menyebabkan ketimpangan sosial dan ekonomi.
- c. Faktor infrastruktur: Ketimpangan dalam akses terhadap infrastruktur sosial, seperti layanan kesehatan dan pendidikan, juga berkontribusi pada ketimpangan sosial dan ekonomi.
- d. Faktor geografis: Perbedaan geografis antara wilayah, seperti penyebaran penduduk yang tidak merata dan luasnya wilayah, juga berperan dalam menciptakan ketimpangan sosial dan ekonomi.

- e. Faktor politik: Kebijakan pemerintah yang tidak merata terkait pembangunan ekonomi dan infrastruktur juga dapat menjadi faktor penyebab ketimpangan sosial dan ekonomi.

Untuk mengatasi ketimpangan sosial dan ekonomi, diperlukan pendekatan komprehensif yang melibatkan berbagai sektor dan strategi, termasuk pengembangan infrastruktur dan program sosial ekonomi. Selain itu, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk memahami dampak ketimpangan sosial dan ekonomi pada berbagai aspek kehidupan masyarakat, termasuk sistem pertahanan dan keamanan nasional (Suryani, *et al.*, 2023).

6. Kekurangan Infrastruktur

Kekurangan infrastruktur dapat berdampak signifikan pada berbagai aspek masyarakat, termasuk pembangunan ekonomi, pendidikan, dan perdagangan. Di bawah ini beberapa contoh bagaimana kekurangan infrastruktur dapat mempengaruhi bidang-bidang tersebut:

- a. Pembangunan Ekonomi: Ketidacukupan infrastruktur dapat menyebabkan tingkat standar hidup yang rendah, defisit ekonomi, dan meningkatnya kemiskinan. Di beberapa wilayah, seperti Benadir dan Hir-shabelle di Somalia, ketidacukupan infrastruktur telah diidentifikasi sebagai hambatan utama bagi pembangunan ekonomi (Gaal & Afrah, 2017).
- b. Pendidikan: Kurangnya infrastruktur Teknologi Informasi (TI) dapat menghambat efektivitas sistem pendidikan online, karena implementasi yang tepat dari infrastruktur TI diperlukan untuk meningkatkan akses terhadap teknologi dan meningkatkan efisiensi sistem pendidikan online (Gupta & M, 2022). Di Indonesia, masalah fasilitas dan infrastruktur yang tidak memadai di sekolah-sekolah telah diidentifikasi sebagai penghambat kesuksesan proses belajar mengajar (Permana, *et al.*, 2023).

- c. Perdagangan: Ketidakcukupan infrastruktur, terutama di sektor transportasi dan elemen terkait perdagangan, dapat menjadi hambatan signifikan dalam pengembangan rantai nilai regional dan integrasi produktif di Amerika Selatan (Oliveira, 2015). Di beberapa negara di Afrika, korupsi di sektor publik dapat menyulitkan pengelolaan keuangan publik dan investasi dalam infrastruktur dasar, yang diperlukan untuk pertumbuhan ekonomi dan pembangunan berkelanjutan (Mbaku, 2013).

Penting untuk mengatasi ketidakcukupan infrastruktur di berbagai bidang guna mendorong pembangunan ekonomi, pendidikan, dan perdagangan.

7. Bencana Alam

Bencana alam di wilayah dan kota merujuk pada kejadian alam yang menyebabkan kerusakan dan gangguan di lingkungan perkotaan dan wilayah tertentu. Bencana alam ini meliputi berbagai fenomena alam yang dapat menimbulkan kerugian fisik, ekonomi, dan sosial bagi warga dan infrastruktur di wilayah tersebut.

Beberapa contoh bencana alam di wilayah dan kota meliputi:

- a. Gempa Bumi: Getaran dan guncangan akibat aktivitas seismik di bawah permukaan bumi dapat merusak bangunan dan infrastruktur perkotaan, serta menyebabkan korban jiwa dan luka-luka.
- b. Banjir: Banjir dapat terjadi karena curah hujan yang tinggi, luapan sungai, atau gelombang pasang laut. Banjir dapat menyebabkan wilayah perkotaan terendam, merusak bangunan, jalan, dan fasilitas publik, serta mengganggu kehidupan masyarakat.
- c. Tsunami: Gempa bumi di bawah laut dapat menyebabkan tsunami, yaitu gelombang laut besar dan destruktif. Tsunami dapat menghantam wilayah pesisir, menyebabkan kerusakan luas dan korban jiwa yang tinggi.

- d. Badai dan Topan: Badai tropis seperti topan, angin topan, atau siklon tropis dapat menyebabkan kerusakan serius di wilayah dan kota yang terkena dampaknya. Angin kencang dan hujan deras dapat merusak bangunan dan infrastruktur, serta menyebabkan banjir dan longsor.
- e. Kebakaran Hutan: Kebakaran hutan dapat mengancam wilayah dan kota yang berdekatan dengan hutan atau lahan gambut. Asap tebal dan panas dari kebakaran dapat mengganggu kualitas udara dan kesehatan masyarakat.
- f. Longsor: Tanah longsor dapat terjadi karena curah hujan yang berlebihan atau aktivitas manusia yang tidak tepat dalam penggunaan lahan. Longsor dapat merusak pemukiman dan infrastruktur di lereng atau area yang rawan longsor.
- g. Kekeringan: Kekeringan terjadi karena kurangnya curah hujan dalam jangka waktu yang lama. Kekeringan dapat menyebabkan krisis air, gagal panen, dan dampak negatif pada sektor pertanian dan sumber daya air di wilayah dan kota.

Penting untuk melakukan upaya pencegahan, mitigasi, dan penanganan bencana alam di wilayah dan kota guna mengurangi kerugian dan risiko yang dapat timbul, serta meningkatkan ketahanan dan kesiapsiagaan masyarakat menghadapinya.

Daftar Pustaka

- Ali, N., & Caranti, L. 2021. How much economic inequality is fair in liberal democracies? The approach of proportional justice. *Philosophy & Social Criticism*, 47(7), 769–788. <https://doi.org/10.1177/0191453720987865>
- Copus, A., Kahila, P., & Fritsch, M. 2022. City region thinking, a zombie idea in regional and rural development? Scotland and Finland compared. *Journal of Rural Studies*, 89, 348–356. <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2021.11.019>
- Gaal, H. O., & Afrah, N. A. 2017. Lack of Infrastructure: The Impact on Economic Development as a case of Benadir region and Hirshabelle, Somalia. *Developing Country Studies*.
- Gupta, Dr. S. K., & M, H. 2022. Lack of it Infrastructure for ICT Based Education as an Emerging Issue in Online Education. *Technoarete Transactions on Application of Information and Communication Technology(ICT) in Education*, 1(3). <https://doi.org/10.36647/TTAICTE/01.03.A004>
- Mattila, H., & Heinilä, A. 2022. Soft spaces, soft planning, soft law: Examining the institutionalisation of city-regional planning in Finland. *Land Use Policy*, 119, 106156. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2022.106156>
- Mbaku, J. M. 2013. *Building Opportunities : Addressing Africa's Lack of Infrastructure*.
- Mostagir, M., & Siderius, J. 2022. Social Inequality and the Spread of Misinformation. *Management Science*, 69(2), 968–995. <https://doi.org/10.1287/MNSC.2022.4380>
- Oliveira, I. 2015. *THE LACK OF INFRASTRUCTURE AS AN OBSTACLE TO TRADE AND PRODUCTIVE INTEGRATION IN SOUTH AMERICA*1.

- Permana, B. S., Insani, G. N., Reygita, H., & Rustini, T. 2023. Lack of Educational Facilities and Infrastructure in Indonesia. *AURELIA: Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 2(2), 1076–1080. <https://doi.org/10.57235/AURELIA.V2I2.646>
- Rodríguez-Gómez, F., Fernández-Cañero, R., Pérez, G., del Campo-Ávila, J., López-Rodríguez, D., & Pérez-Urrestarazu, L. 2022. Detection of unfavourable urban areas with higher temperatures and lack of green spaces using satellite imagery in sixteen Spanish cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 78, 127783. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2022.127783>
- Safitri, R. A., Fadhillah, A., & Karista, A. J. 2022. Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau pada Koridor Kyai Tapa, Grogol, Jakarta Barat. *Sinektika: Jurnal Arsitektur*, 19(1), 107–111. <https://doi.org/10.23917/SINEKTIKA.V19I1.15880>
- Shao, W. C., & Chou, L. C. 2023. Political influence and air pollution: Evidence from Chinese cities. *Heliyon*, 9(7), e17781. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E17781>
- Suryani, Reski Putri Utami, A., & Angrasari, D. 2023. KESENJANGAN SOSIAL PADA MASYARAKAT DESA SAOTENGNGA KECAMATAN SINJAI TENGAH. *Social Landscape Journal*, 4(1), 52–64. <https://doi.org/10.56680/SLJ.V4I1.44715>
- Wei, X., Ren, Y., Shen, L., & Shu, T. 2022. Exploring the spatiotemporal pattern of traffic congestion performance of large cities in China: A real-time data based investigation. *Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106808. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2022.106808>

PENCEMARAN LINGKUNGAN UDARA

Tatan Sukwika

A. Pendahuluan

Pencemaran lingkungan udara tetap menjadi masalah serius di banyak bagian dunia dan memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Berikut adalah beberapa gambaran umum tentang pencemaran udara saat ini:

1. Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca: Emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan nitrous oksida (N_2O), terus meningkat akibat pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan aktivitas manusia lainnya. Peningkatan emisi ini berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim.
2. Pencemaran Udara di Daerah Urban: Kota-kota dan daerah perkotaan sering menghadapi tingkat pencemaran udara yang lebih tinggi karena adanya kendaraan bermotor, industri, pembangkit listrik, dan aktivitas manusia lainnya. Partikulat, oksida nitrogen, dan ozon adalah beberapa pencemar yang umum di daerah perkotaan.

3. Polusi Udara dalam Ruangan: Pencemaran udara dalam ruangan juga merupakan masalah serius, terutama di wilayah dengan akses yang terbatas terhadap sirkulasi udara segar. Polutan seperti asap rokok, bahan kimia rumah tangga, serbuk sari, dan gas buang dari peralatan memasak dapat mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan dan menyebabkan masalah kesehatan.
4. Pencemaran Udara Regional: Polutan udara dapat terbawa oleh angin dan mencemari daerah yang luas, bahkan melintasi batas negara. Pencemaran udara regional terutama terkait dengan emisi dari pembakaran biomassa, industri berat, dan pembangkit listrik. Hal ini dapat berdampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan manusia di wilayah yang terpengaruh.
5. Dampak pada Kesehatan: Pencemaran udara berkontribusi pada berbagai masalah kesehatan, termasuk penyakit pernapasan, alergi, iritasi mata, masalah kardiovaskular, dan bahkan kematian. Partikulat dan gas beracun seperti sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen dioksida (NO_2) dapat memiliki dampak kesehatan yang serius.

Perlu dicatat bahwa kondisi pencemaran udara dapat berbeda-beda di setiap wilayah, tergantung pada faktor-faktor seperti kebijakan lingkungan, tingkat industrialisasi, dan pola konsumsi energi. *monitoring* dan pengendalian pencemaran udara tetap menjadi prioritas untuk menjaga kualitas udara yang lebih baik dan melindungi kesehatan manusia serta lingkungan.

1. Apa itu Pencemaran Udara?

Pencemaran lingkungan udara adalah penambahan bahan atau substansi yang tidak diinginkan ke atmosfer, yang mengakibatkan perubahan kondisi udara yang dapat berdampak negatif pada lingkungan, kesehatan manusia, hewan, dan ekosistem secara keseluruhan. Ada beberapa jenis pencemaran udara yang umum, termasuk:

- a. Pencemaran Udara oleh Partikulat (*Particulate Matter*): Partikulat adalah partikel-partikel kecil yang terdiri dari debu, asap, jelaga, dan zat-zat lain yang terdispersi di udara. Partikulat berbahaya karena dapat dengan mudah masuk ke dalam sistem pernapasan manusia dan hewan, menyebabkan masalah pernapasan, alergi, dan gangguan kesehatan lainnya.
- b. Pencemaran Udara oleh Gas Beracun: Beberapa gas beracun, seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), dan ozon (O₃), dapat dilepaskan ke atmosfer oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, industri, dan kendaraan bermotor. Paparan jangka panjang terhadap gas-gas ini dapat menyebabkan masalah pernapasan, penyakit jantung, dan bahkan kematian.
- c. Pencemaran Udara oleh Gas Rumah Kaca: Peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous oksida (N₂O) dalam atmosfer menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Penambahan gas-gas ini secara berlebihan akibat aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan industri, berdampak buruk pada lingkungan dan kehidupan di Bumi.
- d. Pencemaran Udara oleh Zat Kimia Berbahaya: Pabrik, industri, dan penggunaan bahan kimia tertentu dapat menyebabkan pelepasan zat-zat berbahaya ke udara. Contoh zat kimia berbahaya termasuk logam berat seperti merkuri dan timbal, bahan kimia industri seperti asam sulfat, dan pestisida. Paparan jangka panjang terhadap zat-zat ini dapat memiliki efek berbahaya pada kesehatan manusia dan ekosistem.



Gambar 4.1. Sumber-Sumber Pencemaran Udara (EPA, 2019)

Pencemaran udara sering kali disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, industri, pertanian, dan transportasi. Untuk mengurangi pencemaran udara, diperlukan tindakan kolektif seperti mengadopsi teknologi bersih, meningkatkan efisiensi energi, mempromosikan transportasi berkelanjutan, dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

2. Fenomena Pencemaran Udara

Pencemaran lingkungan udara adalah fenomena yang merujuk pada peningkatan jumlah polutan atau bahan pencemar di udara yang dapat mengganggu kualitas udara secara negatif.

Beberapa fenomena yang terkait dengan pencemaran udara meliputi:

- a. *Smog*: *Smog* adalah campuran antara kabut dan asap yang terbentuk ketika polutan seperti oksida nitrogen dan senyawa organik terbawa oleh angin dan bereaksi dengan sinar matahari. *Smog* dapat mengganggu visibilitas, menyebabkan iritasi mata dan saluran pernapasan, serta meningkatkan risiko penyakit pernapasan.
- b. Polusi Kabut: Polusi kabut terjadi ketika partikel-partikel kecil, seperti debu dan jelaga, tercampur dengan kabut alami atau buatan. Polusi kabut dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata, dan masalah kesehatan lainnya.
- c. Inversi Termal: Inversi termal terjadi ketika lapisan udara hangat terjebak di atas lapisan udara dingin. Hal ini menyebabkan polutan terperangkap di lapisan bawah, karena udara dingin di bawahnya tidak dapat naik dan mengalir keluar. Inversi termal dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi polutan dan memperburuk kualitas udara di daerah tersebut.
- d. Efek Rumah Kaca: Efek rumah kaca adalah fenomena alamiah di mana gas-gas tertentu di atmosfer, seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4), menyerap dan memancarkan kembali panas ke Bumi, sehingga menjaga suhu yang hangat. Namun, aktivitas manusia yang meningkatkan emisi gas rumah kaca, seperti pembakaran bahan bakar fosil, telah menyebabkan pemanasan global yang berdampak pada perubahan iklim dan kualitas udara.
- e. Debu dan Asap Industri: Aktivitas industri, termasuk pembakaran bahan bakar fosil, proses produksi, dan emisi limbah, dapat menghasilkan partikel-partikel debu dan asap yang mencemari udara. Debu dan asap industri mengandung zat-zat beracun dan partikel-partikel halus yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia dan ekosistem.

Pencemaran udara merupakan masalah global yang mempengaruhi kualitas udara di berbagai wilayah. Untuk mengatasi fenomena pencemaran udara, langkah-langkah seperti penggunaan teknologi bersih, pengurangan emisi polutan, perlindungan lingkungan, dan kebijakan yang berfokus pada pengurangan polusi udara diperlukan.

B. Dampak Pencemaran Udara

Pencemaran lingkungan udara memiliki dampak yang merugikan pada berbagai sektor kehidupan dan lingkungan. Berikut adalah beberapa dampak pencemaran udara pada beberapa sektor:

1. **Kesehatan:** Pencemaran udara dapat menyebabkan masalah kesehatan serius pada manusia. Partikulat dan gas beracun yang terhirup dapat menyebabkan gangguan pernapasan, seperti asma, bronkitis, dan infeksi saluran pernapasan. Pencemaran udara juga dikaitkan dengan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular, stroke, kanker paru-paru, dan bahkan kematian prematur.
2. **Lingkungan Hidup:** Pencemaran udara dapat merusak ekosistem dan organisme hidup. Partikulat yang terdeposit di tanah dan perairan dapat mencemari sumber daya alam dan mengganggu kehidupan mikroba, tanaman, dan hewan. Polutan yang terlarut dalam udara juga dapat mencemari air hujan dan mengakibatkan penurunan kualitas air serta keasaman yang merusak ekosistem air.
3. **Pertanian dan Tanaman:** Pencemaran udara dapat berdampak negatif pada pertanian dan tanaman. Partikulat dan polutan yang terlarut dalam udara dapat mengendap pada tanaman dan mengganggu proses fotosintesis serta pertumbuhan tanaman. Ini dapat mengurangi produktivitas tanaman, kualitas hasil panen, dan keanekaragaman hayati.
4. **Ekonomi:** Pencemaran udara dapat memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Biaya kesehatan yang tinggi untuk perawatan penyakit terkait polusi udara, absensi kerja, dan penurunan produktivitas tenaga kerja dapat membebani sistem kesehatan dan ekonomi negara. Selain itu, pencemaran udara juga dapat merusak daya

tarik wisata, mengganggu sektor pariwisata, dan mempengaruhi aktivitas ekonomi lainnya.

5. **Infrastruktur dan Bangunan:** Pencemaran udara dapat merusak infrastruktur dan bangunan. Partikulat dan polutan yang terbawa oleh udara dapat mengendap pada bangunan, merusak permukaan, dan mengurangi umur bangunan. Selain itu, polutan seperti sulfur dioksida dan nitrogen dioksida juga dapat merusak bahan bangunan dan infrastruktur.
6. **Iklim dan Perubahan Iklim:** Pencemaran udara juga berkontribusi pada perubahan iklim global. Emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dan aktivitas manusia lainnya menyebabkan pemanasan global. Perubahan iklim berdampak pada lingkungan fisik, pola cuaca yang tidak stabil, kenaikan permukaan air laut, dan perubahan ekosistem.

Tabel 4.1. Tahapan Pengurangan Emisi Pencemar Udara dan GRK (co-benefits)

Langkah Pengurangan Emisi	Efek
Beralih dari batu bara ke gas alam untuk pembangkitan listrik.	Mengurangi emisi CO ₂ per kiloWatt listrik yang diproduksi. Emisi SO ₂ and NO _x juga berkurang.
Peningkatan efisiensi peralatan listrik di rumah tangga dan efisiensi proses industri.	Mengurangi emisi pencemar udara dan CO ₂ , namun langkah efisiensi kadang dapat mendorong meningkatnya kebutuhan.
Konservasi energi (menggunakan energi lebih sedikit)	Mengurangi emisi pencemar udara dan GRK
Menggunakan teknologi baru kendaraan bermotor, misal: (a) Mobil hibrid; (b) Mobil berbahan bakar hidrogen dari gas alam atau sumber energi terbarukan; (c) Kendaraan bensin dengan sistem pembakaran yang membakar lebih sedikit bensin dengan menggunakan penangkap NO _x .	Mengurangi emisi CO ₂ per kilometer tempuh dan juga emisi NO _x dan PM. Harus diperhatikan pula emisi yang terkait dengan produksi hidrogen agar secara keseluruhan tidak menambah emisi.
Manajemen kebutuhan/perubahan perilaku: peningkatan transportasi umum disertai dengan disinsentif bagi penggunaan mobil pribadi.	Mengurangi emisi pencemar udara dan GRK.
Perbedaan antara inventarisasi emisi GRK dan inventarisasi pencemar udara terletak pada jenis zat-zat atau gas-gas yang diinventarisir dan sumber emisinya serta bahwa perhitungan emisi GRK tidak mempertimbangkan efisiensi pengendalian emisi. Sumber emisi (serapan) GRK dan sumber emisi pencemar udara ada yang beririsan, seperti sumber pembakaran (kendaraan bermotor, industri, pembangkit listrik, dan lain-lain), proses industri, dan penggunaan produk (pelarut); kecuali sumber-sumber berikut ini: Konsumsi listrik¹, limbah padat, limbah cair, tata guna lahan, dan perubahan lahan. Jenis-jenis GRK sbb: Karbon dioksida (CO₂), Metana (CH₄), Nitrous oxide (N₂O), Hydrofluorocarbons (HFCs), Perfluorocarbons (PFCs), Sulphur hexafluoride (SF₆), Nitrogen trifluoride (NF₃), Trifluoromethyl sulphur pentafluoride (SF₅CF₃), Halogenated ethers, Halocarbons lainnya (seperti: CF₃I, CH₂Br₂, CHCl₃, CH₃Cl, CH₂Cl₂). CO₂, CH₄ dan N₂O adalah GRK yang paling utama karena emisinya yang besar, sehingga pada umumnya gas-gas tersebut lah yang diinventarisir dalam inventarisasi emisi GRK. Sedangkan GRK yang diatur dalam Kyoto Protocol² adalah CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, dan SF₆. Gas-gas lain yang berfungsi sebagai prekursor GRK sbb: NO_x, Amoniak (NH₃), NMVOC, CO, SO₂.	
[1] Listrik yang dikonsumsi di wilayah inventarisasi, termasuk transmisi dan kehilangan listrik. Terlepas apakah terdapat pembangkit listrik di wilayah inventarisasi atau tidak, perhitungan emisi GRK dari pembangkitan listrik dihitung dari konsumsi listrik di wilayah inventarisasi dan sumber suplai listrik, bukan dari pengoperasian pembangkit listrik tersebut di wilayah inventarisasi. [2] Kyoto Protocol adalah sebuah persetujuan sah dimana negara-negara perindustrian akan mengurangi emisi GRK mereka secara kolektif sebesar 5,2% dibandingkan dengan tahun 1990 (namun yang perlu diperhatikan adalah, jika dibandingkan dengan perkiraan jumlah emisi pada tahun 2010 tanpa Protokol, target ini berarti pengurangan sebesar 29%). Tujuannya adalah untuk mengurangi emisi dari 6 gas rumah kaca (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, dan SF₆) yang dihitung sebagai rata-rata selama masa 5 tahun antara 2008-2012.	

Dalam rangka melindungi sektor-sektor ini dari dampak pencemaran lingkungan udara, tindakan pencegahan dan pengurangan emisi polutan sangat penting. Upaya pengendalian pencemaran udara dan beralih ke sumber energi bersih akan membantu melindungi kesehatan manusia dan lingkungan ekosistem secara keseluruhan.

1. Pencemaran Udara terhadap Aspek Kesehatan dan Lingkungan

a. Aspek Kesehatan

Pencemaran lingkungan udara memiliki dampak serius pada kesehatan manusia. Paparan jangka panjang terhadap polutan udara dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan yang meliputi:

- 1) Gangguan Saluran Pernapasan: Partikulat dan polutan udara lainnya dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, menyebabkan batuk, sakit tenggorokan, dan sulit bernapas. Pencemaran udara dapat memperburuk gejala pada individu yang menderita asma, bronkitis, atau Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK).
- 2) Penyakit Paru-paru: Paparan jangka panjang terhadap pencemaran udara dapat meningkatkan risiko terjadinya infeksi saluran pernapasan, pneumonia, dan penyakit paru-paru kronis. Polutan seperti ozon dan nitrogen dioksida dapat merusak jaringan paru-paru dan menyebabkan peradangan.
- 3) Masalah Kardiovaskular: Pencemaran udara terkait dengan peningkatan risiko penyakit kardiovaskular, termasuk penyakit jantung koroner, serangan jantung, dan stroke. Partikulat udara kecil dapat masuk ke dalam aliran darah dan memicu peradangan, pembekuan darah, dan kerusakan pembuluh darah.
- 4) Gangguan Perkembangan Anak: Paparan pencemaran udara selama masa perkembangan anak dapat memiliki dampak yang berbahaya pada pertumbuhan dan perkembangan

sistem pernapasan mereka. Hal ini dapat menyebabkan masalah kesehatan jangka panjang, seperti gangguan fungsi paru-paru dan penurunan fungsi paru-paru sepanjang hidup.

- 5) Kanker Paru-paru: Beberapa polutan udara, seperti bahan kimia berbahaya dan partikulat yang sangat halus, dikaitkan dengan peningkatan risiko kanker paru-paru. Paparan jangka panjang terhadap polutan ini dapat menyebabkan kerusakan DNA (*Deoxyribose Nucleic Acid*) dan perkembangan sel kanker.
- 6) Efek pada Kesehatan Mental: Penelitian juga menunjukkan adanya hubungan antara pencemaran udara dan masalah kesehatan mental. Paparan jangka panjang terhadap polutan udara dapat berkontribusi pada peningkatan risiko gangguan kecemasan, depresi, dan gangguan neurologis pada individu yang rentan.

Mengurangi paparan polutan udara dan meningkatkan kualitas udara adalah langkah penting untuk melindungi kesehatan manusia. Ini dapat dilakukan melalui pengendalian emisi polutan, penggunaan teknologi bersih, promosi transportasi berkelanjutan, dan perlindungan lingkungan secara menyeluruh.

b. Aspek Lingkungan

Pencemaran lingkungan udara memiliki dampak yang merugikan pada lingkungan. Berikut adalah beberapa aspek lingkungan yang terpengaruh oleh pencemaran udara:

- 1) Kualitas Udara: Pencemaran udara mengurangi kualitas udara secara keseluruhan. Partikulat, gas beracun, dan zat kimia berbahaya yang terdapat dalam udara dapat merusak komposisi udara dan mengganggu keseimbangan ekosistem udara. Hal ini berdampak pada organisme hidup, termasuk tumbuhan, hewan, dan mikroba.

- 2) Ekosistem Darat: Polutan udara dapat mengendap pada permukaan tanah dan mempengaruhi ekosistem darat. Partikulat dan zat kimia beracun yang terlarut dalam udara dapat mencemari tanah dan merusak kesuburan tanah. Ini dapat menghambat pertumbuhan tanaman, mengurangi keanekaragaman hayati, dan mempengaruhi rantai makanan di ekosistem darat.
- 3) Ekosistem Air: Pencemaran udara dapat mencemari sumber air, termasuk sungai, danau, dan lautan. Partikulat dan polutan yang terbawa oleh udara dapat mengendap di perairan dan mengganggu ekosistem air. Ini dapat merusak kehidupan akuatik, mengurangi kualitas air, dan mengganggu keseimbangan ekologi dalam ekosistem air.
- 4) Keanekaragaman Hayati: Pencemaran udara dapat mempengaruhi keanekaragaman hayati secara keseluruhan. Organisme hidup, termasuk tanaman, hewan, dan mikroba, dapat terpapar dan terpengaruh oleh partikulat, zat kimia berbahaya, dan gas polutan yang terkandung dalam udara. Ini dapat mengganggu siklus hidup, reproduksi, dan interaksi ekologis antar spesies.
- 5) Pemanasan Global dan Perubahan Iklim: Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh pencemaran udara berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim. Gas seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) dapat mempertahankan panas di atmosfer dan menyebabkan peningkatan suhu global. Perubahan iklim berdampak pada sistem iklim yang kompleks, termasuk pola cuaca yang tidak stabil, peningkatan suhu global, dan perubahan dalam ekosistem alami.
- 6) Kerusakan Lapisan Ozon: Beberapa polutan udara, seperti klorofluorokarbon (CFC), dapat merusak lapisan ozon di stratosfer. Penipisan lapisan ozon meningkatkan penetrasi radiasi ultraviolet (UV) berbahaya ke permukaan bumi, yang dapat menyebabkan peningkatan risiko kanker kulit,

gangguan pada sistem kekebalan tubuh, dan kerusakan ekosistem akuatik dan darat.

Melindungi lingkungan dari pencemaran lingkungan udara melibatkan upaya untuk mengurangi emisi polutan, mengadopsi teknologi bersih, mengatur penggunaan sumber energi, dan mempromosikan praktik berkelanjutan dalam berbagai sektor. Keberlanjutan lingkungan dan pelestarian ekosistem menjadi penting untuk menjaga keseimbangan alam dan melindungi keanekaragaman hayati bumi.

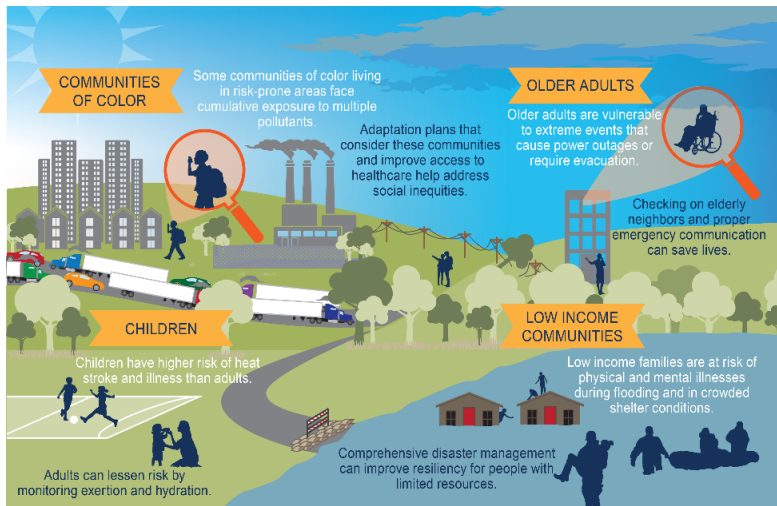
2. Upaya Menanggulangi Pencemaran Udara

Menanggulangi pencemaran lingkungan udara membutuhkan upaya yang terpadu dari berbagai sektor dan tingkatan, baik pada tingkat pemerintah, industri, maupun individu. Berikut adalah beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk menanggulangi pencemaran udara:

- a. Penggunaan Sumber Energi Bersih: Mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan beralih ke sumber energi terbarukan, seperti energi surya, angin, dan hidro, dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya yang menyebabkan pencemaran udara.
- b. Pengendalian Emisi Industri: Menerapkan teknologi pengendalian polusi di industri-industri besar untuk mengurangi emisi gas dan partikulat berbahaya. Ini dapat melibatkan penggunaan teknologi pencemaran udara, seperti filter partikulat dan sistem penyaringan gas, serta mengadopsi praktik produksi yang ramah lingkungan.
- c. Transportasi Berkelanjutan: Mendorong penggunaan transportasi berkelanjutan, seperti penggunaan kendaraan listrik atau transportasi umum, berbagi perjalanan, dan bersepeda, dapat mengurangi emisi kendaraan bermotor yang merupakan sumber utama pencemaran udara di daerah perkotaan.

- d. Kebijakan dan Peraturan Lingkungan: Menerapkan kebijakan dan peraturan yang ketat terkait emisi kendaraan, industri, dan pembangkit listrik untuk membatasi jumlah polutan yang dilepaskan ke udara. Penegakan hukum yang efektif juga penting untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan tersebut.
- e. Penghijauan dan Pelestarian Lingkungan: Menanam lebih banyak pohon dan menjaga kelestarian hutan dapat membantu menyaring udara, mengurangi polusi, dan menghasilkan oksigen. Pelestarian lingkungan alami juga penting untuk melindungi kualitas udara dan keanekaragaman hayati.
- f. Pendidikan dan Kesadaran Masyarakat: Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak pencemaran udara dan pentingnya tindakan yang berkelanjutan adalah langkah penting. Kampanye pendidikan, program kesadaran lingkungan, dan pengajaran tentang polusi udara dapat membantu mengubah perilaku dan mempromosikan tindakan yang ramah lingkungan.
- g. Teknologi Bersih dan Inovasi: Mengembangkan dan menerapkan teknologi bersih yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk mengurangi emisi polutan adalah bagian penting dari penanggulangan pencemaran udara. Ini termasuk pengembangan kendaraan ramah lingkungan, sumber energi terbarukan, dan teknologi pengendalian polusi.

Upaya kolektif dari pemerintah, industri, dan masyarakat umum diperlukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan udara dan menjaga kualitas udara yang sehat bagi generasi mendatang.



Contoh populasi yang berisiko lebih tinggi terpapar ancaman kesehatan terkait iklim yang merugikan ditampilkan bersama dengan langkah-langkah adaptasi yang dapat membantu mengatasi dampak yang tidak proporsional. Ketika mempertimbangkan berbagai ancaman dari perubahan iklim serta paparan lingkungan lainnya, kelompok ini termasuk yang paling terpapar, paling sensitif, dan memiliki sumber daya individu dan komunitas paling sedikit untuk mempersiapkan dan menanggapi ancaman kesehatan. Teks putih menunjukkan risiko yang dihadapi oleh komunitas tersebut, sedangkan teks gelap menunjukkan tindakan yang dapat diambil untuk mengurangi risiko tersebut (EPA, 2020; Sukwika, 2023a; 2023b).

Gambar 4.2. Pencemaran Udara Pemicu Perubahan Iklim Global dan Dampaknya Pada Kesehatan dan Lingkungan

Kelompok yang paling rentan, termasuk anak-anak, orang lanjut usia, orang dengan kondisi kesehatan yang sudah ada sebelumnya, pekerja luar ruangan, orang kulit berwarna, dan orang dengan pendapatan rendah, berada pada risiko yang lebih tinggi karena faktor peracikan dari perubahan iklim. Tetapi kelompok kesehatan masyarakat dapat bekerja dengan komunitas lokal untuk membantu orang memahami dan membangun ketahanan terhadap

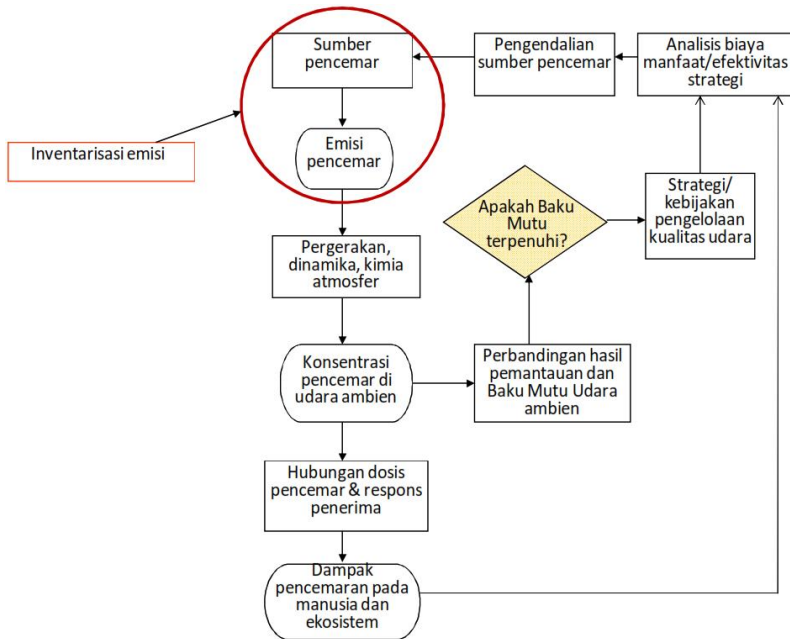
dampak kesehatan perubahan iklim. Pada Gambar 4.2. mengilustrasikan dampak perubahan iklim global pada komunitas dan lingkungan.



Gambar 4.3. Strategi Pengelolaan Kualitas Udara

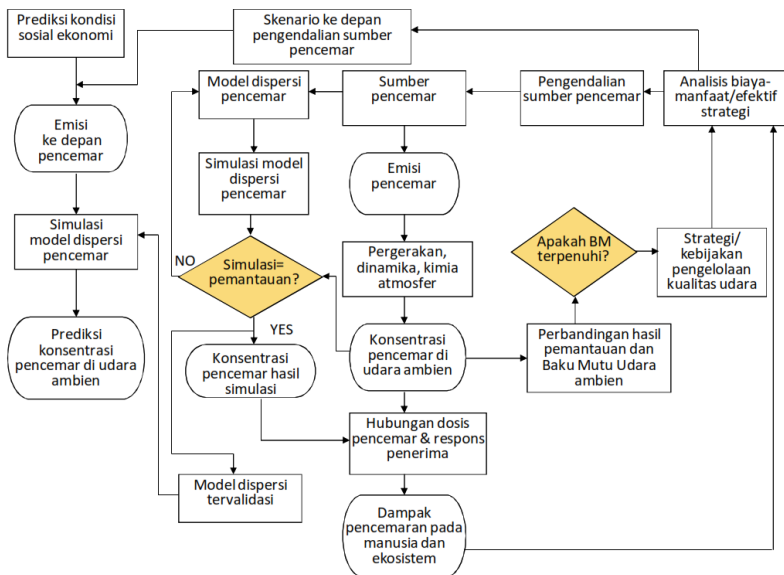
Strategi pengelolaan kualitas udara atau *Air Quality Management Strategy* (AQMS) merupakan sebuah rencana aksi terhadap kebijakan dan peraturan perundangan terkait manajemen kualitas udara. Berikut Gambar 4.3. menunjukkan elemen-elemen dalam AQMS yaitu (Guttikunda, *et al.*, 2014; Suhadi & Febrina, 2018): Inventarisasi emisi, Pemantauan kualitas udara ambien, Prediksi konsentrasi pencemar udara (dengan pemodelan dispersi pencemar udara), Evaluasi dampak pencemaran udara terhadap manusia dan ekosistem, Analisis biaya-manfaat dan efektivitas langkah-langkah pengendalian, dan Implementasi langkah-langkah pengendalian.

Elemen-elemen AQMS dan hubungan antar-elemen-elemen tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Kedudukan Inventarisasi Emisi dalam Strategi Pengelolaan Kualitas Udara

Lebih rinci, kedudukan inventarisasi emisi dalam AQMS dan hubungan antar-elemen-elemen AQMS termasuk prediksi konsentrasi pencemar dan simulasi skenario pengendalian pencemaran udara ke depan ditunjukkan pada Gambar 4.4. dan Gambar 4.5. Fungsi inventarisasi emisi sangat penting karena menentukan langkah-langkah selanjutnya dalam pengelolaan kualitas udara.



BM = Baku Mutu

Gambar 4.5. Diagram Rinci Pengelolaan Kualitas Udara

Menurut Harshadeep, *et al.*, (2012); dan Sukwika (2023a), secara umum pengelompokan kategori pengendalian pencemaran udara dapat didasarkan pada pendekatan kebijakan, insentif ekonomi, teknologi, dan institusi/penegakan hukum (Tabel 4.2).

Tabel 42. Kategori Pengendalian Pencemaran Udara

Kebijakan	Ekonomi
1. Pemantauan	1. Pajak
2. Zonasi industri, kawasan perumahan	2. Subsidi
3. Pengelolaan lalu lintas	3. Harga
4. Angkutan umum	4. Denda
5. Kendaraan tidak bermotor	5. Lisensi
6. Tata ruang dan wilayah	
Institusi/penegakan hukum	Teknologi
1. Baku mutu emisi	1. Bahan bakar lebih bersih
2. Efisiensi energi	2. Teknologi bersih
3. Standar kualitas bahan bakar	3. Peralatan pengendali emisi
4. Pembatasan pengoperasian	4. Produksi bersih
5. Pemeriksaan dan perawatan	
6. Penaatan industri	
7. Pembangunan kapasitas	
8. Peningkatan kesadaran masyarakat	

3. Teknologi dan Manajemen Pengendalian Pencemaran Lingkungan Udara

Teknologi dan manajemen pengendalian pencemaran lingkungan udara memainkan peran kunci dalam mengurangi emisi polutan dan memperbaiki kualitas udara. Berikut adalah beberapa teknologi dan pendekatan manajemen yang digunakan untuk mengendalikan pencemaran lingkungan udara:

- a. **Filterisasi dan Penyaringan Udara:** Penggunaan sistem penyaringan dan filter udara pada sumber emisi, seperti cerobong industri dan kendaraan, dapat mengurangi partikulat dan zat berbahaya sebelum dilepaskan ke atmosfer. Teknologi ini termasuk filter partikulat, filter elektrostatis, dan perangkat pengendapan elektrostatis.
- b. **Pengendalian Emisi Kendaraan:** Teknologi pengendalian emisi kendaraan, seperti sistem pengendalian emisi mobil (*catalytic converter*) dan penggunaan kendaraan ramah lingkungan seperti kendaraan listrik atau *hybrid*, membantu mengurangi emisi gas buang yang berbahaya.
- c. **Pengendalian Emisi Industri:** Berbagai teknologi pengendalian polusi telah dikembangkan untuk industri besar, termasuk penggunaan alat pengendali polusi udara (*air pollution control devices*) seperti elektrostatis *precipitator*, *scrubber*, dan *thermal oxidizer*. Teknologi-teknologi ini membantu mengurangi emisi polutan dari proses industri.
- d. **Pemantauan dan Pengendalian Emisi:** Penggunaan sistem pemantauan emisi dan manajemen emisi yang efektif membantu mengidentifikasi sumber-sumber polusi udara dan mengelola emisi secara tepat. Ini melibatkan pemantauan terus-menerus terhadap emisi, pemantauan kualitas udara, dan penerapan tindakan perbaikan yang diperlukan.
- e. **Penggunaan Teknologi Bersih:** Pengembangan dan penggunaan teknologi bersih, seperti penggunaan sumber energi terbarukan dan efisiensi energi, membantu mengurangi emisi polutan secara signifikan. Contohnya termasuk penggunaan energi

surya, angin, hidro, dan bioenergi sebagai alternatif yang lebih bersih untuk pembangkit listrik dan pemanas.

- f. Penegakan Peraturan dan Kebijakan Lingkungan: Kebijakan dan peraturan yang ketat mengenai emisi polutan udara sangat penting dalam pengendalian pencemaran udara. Penegakan hukum yang kuat dan sistem sanksi yang efektif diperlukan untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan tersebut.
- g. Kesadaran dan Pendidikan Masyarakat: Pendidikan masyarakat tentang dampak buruk pencemaran udara dan pentingnya pengendalian polusi udara memainkan peran penting dalam mengubah perilaku dan mempromosikan kesadaran lingkungan. Kampanye pendidikan, program kesadaran masyarakat, dan informasi yang mudah diakses membantu mendorong tindakan individu dan kolektif.

Kombinasi teknologi dan manajemen pengendalian pencemaran udara yang holistik dan terpadu menjadi kunci dalam mencapai udara bersih dan lingkungan yang sehat.

4. Pengendalian Kering dan Basah Pencemaran Udara

Pengendalian kering dan basah adalah dua pendekatan yang umum digunakan dalam upaya pengendalian pencemaran udara. Berikut ini penjelasan singkat tentang keduanya:

- a. Pengendalian Kering (*Dry Control*): Pengendalian kering mencakup teknik dan metode yang bertujuan untuk mengurangi emisi polutan udara sebelum polutan tersebut masuk ke dalam udara. Beberapa metode pengendalian kering yang umum meliputi:
 - 1) Penangkapan Partikulat: Menggunakan perangkat penangkap partikulat seperti penyaring atau perangkat elektrostatis untuk menangkap partikel-partikel polutan sebelum dilepaskan ke udara.
 - 2) Pengendapan Gravitasi: Menggunakan gravitasi untuk memisahkan partikel-partikel besar yang terdapat dalam

aliran gas polutan sehingga partikel-partikel tersebut dapat terpisah dan dikumpulkan.

- 3) Pengendapan Elektrostatis: Menggunakan medan listrik untuk menarik partikel-partikel bermuatan dalam aliran gas polutan dan mengumpulkannya di permukaan elektroda.
- 4) Pengendalian Suhu Tinggi: Memanfaatkan suhu tinggi untuk memecah atau menghilangkan polutan udara yang tidak diinginkan.

b. Pengendalian Basah (*Wet Control*): Pengendalian basah melibatkan penggunaan proses kimia atau fisika yang melibatkan cairan (biasanya air) untuk menghilangkan atau mengurangi polutan udara. Beberapa metode pengendalian basah yang umum meliputi:

- 1) Absorpsi: Proses di mana polutan diabsorpsi oleh larutan cairan. Polutan yang larut dalam cairan kemudian dihapus dari aliran gas.
- 2) *Scrubbing*: Proses di mana gas polutan melewati larutan kimia yang mengandung zat yang dapat bereaksi dengan polutan dan mengubahnya menjadi senyawa yang tidak berbahaya.
- 3) Precipitasi: Menggunakan proses pengendapan atau penggumpalan untuk menghilangkan partikel-partikel polutan dari aliran gas dengan cara memadatkan partikel menjadi ukuran yang lebih besar dan kemudian mengumpulkannya.

Pengendalian kering dan basah sering kali digunakan secara kombinasi dalam sistem pengendalian pencemaran udara yang lebih kompleks. Pendekatan pengendalian yang tepat akan tergantung pada sifat polutan, jenis industri atau kegiatan yang menghasilkan emisi, dan kondisi lingkungan yang spesifik.

Pengendalian pencemaran lingkungan udara memiliki peran yang penting dalam menjaga kualitas udara yang baik dan melindungi kesehatan manusia serta lingkungan.

C. Peraturan Standar dan Pengukuran Pencemaran Udara

1. Peraturan Standar Pencemaran Udara

Peraturan standar pencemaran udara disusun oleh pemerintah untuk mengatur batas maksimum emisi polutan udara yang dapat diterima dalam suatu wilayah. Tujuan peraturan ini adalah melindungi kesehatan manusia, meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, dan mempromosikan udara bersih. Berikut adalah contoh beberapa peraturan standar pencemaran udara yang umum diterapkan di banyak negara:

- a. **Baku Mutu Udara Ambien:** Baku mutu udara ambien menetapkan batas maksimum konsentrasi polutan yang diizinkan di udara luar ruangan. Baku mutu ini mencakup polutan seperti partikulat, sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), ozon (O_3), dan timbal (Pb). Setiap negara memiliki standar baku mutu yang berbeda sesuai dengan kondisi lokal dan tingkat kepekaan kesehatan masyarakat.
- b. **Emisi Kendaraan Bermotor:** Peraturan emisi kendaraan bermotor mengatur batas emisi polutan yang dihasilkan oleh kendaraan, seperti gas buang yang mengandung nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan partikulat. Hal ini mencakup standar emisi untuk kendaraan baru serta persyaratan pengujian emisi berkala untuk memastikan kendaraan tetap memenuhi standar saat beroperasi.
- c. **Standar Emisi Industri:** Peraturan emisi industri menetapkan batas emisi polutan yang diizinkan dari berbagai sektor industri. Setiap industri diberikan batasan emisi sesuai dengan jenis polutan yang dihasilkan, seperti sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), partikulat, gas rumah kaca, dan bahan kimia

- berbahaya lainnya. Industri juga dapat dikenakan persyaratan untuk menginstal peralatan pengendalian polusi yang sesuai.
- d. Perizinan dan Pengawasan Industri: Pemerintah mengatur perizinan dan pengawasan terhadap industri untuk memastikan kepatuhan terhadap peraturan pencemaran udara. Industri harus mematuhi standar emisi yang ditetapkan dan melaporkan data emisi secara berkala. Pemerintah juga melakukan inspeksi dan pengawasan rutin untuk memastikan industri beroperasi sesuai dengan peraturan.
 - e. Pengendalian Limbah Udara: Peraturan pengendalian limbah udara mengatur penanganan dan pengolahan limbah udara dari berbagai sumber seperti industri, pembangkit listrik, dan fasilitas pengolahan limbah. Hal ini meliputi persyaratan penggunaan teknologi pengendalian polusi, pemantauan emisi, dan tindakan pengurangan polutan sebelum limbah udara dilepaskan ke atmosfer.
 - f. Penggunaan Bahan Bakar dan Energi Bersih: Beberapa negara mengadopsi kebijakan dan regulasi untuk mempromosikan penggunaan bahan bakar dan energi bersih. Ini termasuk penggunaan energi terbarukan, pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan penggunaan teknologi yang lebih efisien untuk mengurangi emisi polutan.

Peraturan standar pencemaran lingkungan udara berperan penting dalam mengendalikan emisi polutan dan menjaga kualitas udara yang baik. Penerapan dan kepatuhan terhadap peraturan ini membutuhkan kerjasama antara pemerintah, industri, dan masyarakat untuk mencapai udara bersih dan lingkungan yang sehat.

2. Pengukuran Pencemaran Udara

Pengukuran pencemaran lingkungan udara dilakukan untuk menentukan tingkat konsentrasi polutan udara di suatu wilayah atau lokasi tertentu. Pengukuran ini penting dalam mengevaluasi

kualitas udara, memantau kepatuhan terhadap standar pencemaran udara, dan mengidentifikasi sumber-sumber polusi. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan untuk mengukur pencemaran udara:

- a. Pengukuran Langsung (*In-situ Monitoring*): Metode ini melibatkan pengukuran langsung konsentrasi polutan di lokasi yang dituju. Instrumen pengukuran seperti monitor partikulat, monitor gas, atau sensor kualitas udara ditempatkan di tempat-tempat strategis untuk mengukur polutan secara real-time. Pengukuran ini memberikan informasi segera tentang tingkat pencemaran udara.
- b. Pengambilan Sampel Udara: Metode ini melibatkan pengambilan sampel udara di lokasi yang dituju menggunakan perangkat pengambil sampel khusus, seperti alat pengambil sampel partikulat atau pengambil sampel gas. Sampel udara kemudian dianalisis di laboratorium untuk menentukan konsentrasi polutan yang ada. Pengambilan sampel udara sering dilakukan dalam jangka waktu tertentu untuk mendapatkan gambaran kualitas udara dalam jangka waktu yang lebih lama.
- c. Jaringan Pemantauan Udara: Jaringan pemantauan udara terdiri dari serangkaian stasiun pemantau yang ditempatkan di berbagai lokasi di suatu wilayah. Stasiun-stasiun ini dilengkapi dengan instrumen pengukuran yang mencakup berbagai parameter pencemaran udara, seperti partikulat, gas-gas beracun, dan parameter meteorologi. Data yang dikumpulkan dari jaringan ini digunakan untuk memantau tren pencemaran udara dan mengevaluasi tingkat kepatuhan terhadap standar pencemaran udara.
- d. Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*): Penginderaan jauh menggunakan satelit atau pesawat udara untuk mengumpulkan data tentang kualitas udara dan pola polutan di suatu wilayah yang luas. Teknik ini memungkinkan pemantauan polutan secara global dan memperoleh informasi spasial yang luas.

Penginderaan jauh dapat digunakan untuk memantau polutan seperti ozon, partikulat, dan gas-gas beracun di atmosfer.

- e. Model Pencemaran Udara: Model pencemaran udara adalah metode simulasi matematika yang digunakan untuk memprediksi penyebaran polutan dalam atmosfer. Model ini menggunakan data meteorologi dan karakteristik emisi polutan untuk menghasilkan perkiraan konsentrasi polutan di suatu wilayah. Model pencemaran udara membantu dalam pemodelan pola dan tren pencemaran udara serta dalam mengidentifikasi kontribusi dari berbagai sumber polusi.

Pengukuran pencemaran lingkungan udara sangat penting untuk pemantauan dan pengendalian polusi udara. Data yang diperoleh dari pengukuran ini digunakan untuk mengambil kebijakan lingkungan yang efektif dan mengimplementasikan tindakan mitigasi yang sesuai guna menjaga kualitas udara yang baik dan melindungi kesehatan manusia serta lingkungan.

3. Pemantau dan Pemantauan Pencemaran Udara

a. Pemantau Pencemaran Lingkungan Udara

Pemantau pencemaran lingkungan udara melibatkan berbagai pihak yang bertanggung jawab dalam mengumpulkan data tentang kualitas udara dan memantau tingkat pencemaran udara. Berikut adalah beberapa pemantau pencemaran udara yang umum:

- 1) Badan Lingkungan atau Badan Pengendalian Pencemaran Udara: Pemerintah biasanya memiliki badan lingkungan atau badan pengendalian pencemaran udara yang bertanggung jawab dalam pemantauan dan pengendalian pencemaran udara. Mereka mengoperasikan jaringan stasiun pemantau udara di berbagai lokasi strategis, mengumpulkan data, dan mengeluarkan laporan tentang kualitas udara. Badan ini juga bertanggung jawab untuk mengembangkan kebijakan dan peraturan terkait pencemaran udara.

- 2) **Institusi Riset dan Perguruan Tinggi:** Institusi riset dan perguruan tinggi sering terlibat dalam pemantauan pencemaran udara. Mereka melakukan penelitian, pengembangan, dan pemantauan mandiri terhadap kualitas udara. Data yang dikumpulkan digunakan untuk studi ilmiah, pemodelan polusi udara, dan memberikan saran kebijakan.
- 3) **Perusahaan dan Industri:** Beberapa perusahaan atau industri yang memiliki potensi emisi polutan udara yang signifikan, seperti industri kimia atau pembangkit listrik, juga dapat melakukan pemantauan pencemaran udara. Mereka menggunakan peralatan pemantauan di dalam fasilitas mereka sendiri untuk memantau dan mengukur emisi polutan yang dihasilkan oleh kegiatan operasional mereka.
- 4) **Organisasi Non-Pemerintah:** Organisasi non-pemerintah yang berfokus pada lingkungan juga dapat terlibat dalam pemantauan pencemaran udara. Mereka dapat menjalankan program pemantauan independen, menggunakan teknologi pemantauan yang inovatif, dan melaporkan temuan mereka kepada masyarakat umum serta pihak berwenang.
- 5) **Masyarakat Umum:** Masyarakat umum juga dapat berperan sebagai pemantau pencemaran udara. Dengan mengamati perubahan kualitas udara di sekitar mereka, melaporkan aktivitas atau peristiwa yang dapat menyebabkan pencemaran udara, atau menggunakan perangkat pemantauan kualitas udara pribadi, mereka dapat memberikan kontribusi dalam memantau dan melaporkan pencemaran udara di wilayah mereka.

Pemantau pencemaran lingkungan udara melibatkan kerja sama antara berbagai pihak untuk mengumpulkan data yang akurat dan dapat diandalkan tentang kualitas udara. Data yang dikumpulkan melalui pemantauan ini digunakan untuk mengidentifikasi masalah pencemaran udara, mengembangkan

strategi mitigasi, dan membuat keputusan berdasarkan informasi yang faktual.

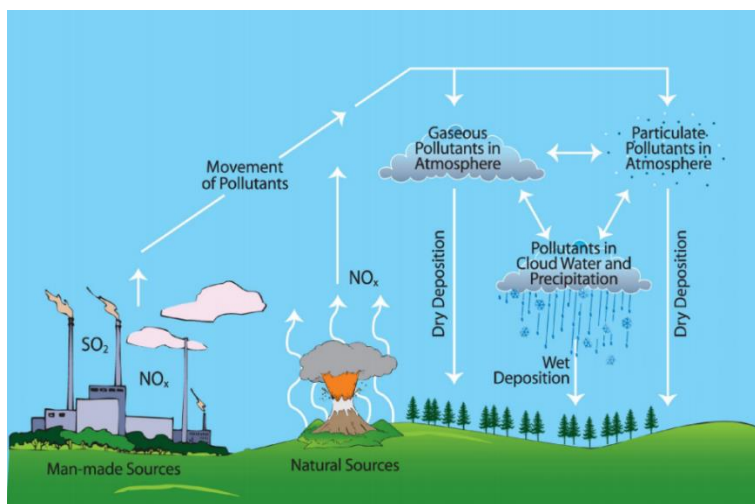
b. Pemantauan Pencemaran Udara

Pemantauan pencemaran lingkungan udara adalah proses pengumpulan data tentang kualitas udara di suatu wilayah. Pemantauan ini penting untuk memantau tingkat pencemaran udara, mengidentifikasi polutan yang ada, dan mengevaluasi kepatuhan terhadap standar pencemaran udara. Berikut adalah beberapa metode umum yang digunakan dalam pemantauan pencemaran lingkungan udara:

- 1) Jaringan Pemantauan Udara: Jaringan pemantauan udara terdiri dari sejumlah stasiun pemantau yang ditempatkan di lokasi strategis di suatu wilayah. Stasiun-stasiun ini dilengkapi dengan instrumen pengukuran seperti monitor partikulat, monitor gas, dan sensor kualitas udara lainnya. Mereka secara terus-menerus atau secara berkala mengukur konsentrasi polutan udara, suhu udara, kelembaban, dan parameter meteorologi lainnya. Data yang dikumpulkan dari jaringan ini digunakan untuk memantau kualitas udara, mengidentifikasi tren, dan mengevaluasi kepatuhan terhadap standar pencemaran udara.
- 2) Pengambilan Sampel Udara: Pengambilan sampel udara melibatkan pengumpulan sampel udara di lokasi yang dituju menggunakan perangkat pengambil sampel khusus, seperti alat pengambil sampel partikulat atau pengambil sampel gas. Sampel udara ini kemudian dianalisis di laboratorium untuk menentukan konsentrasi polutan yang ada. Pengambilan sampel udara dilakukan dalam jangka waktu tertentu untuk memperoleh gambaran kualitas udara dalam jangka waktu yang lebih lama.
- 3) Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*): Penginderaan jauh menggunakan teknologi satelit atau pesawat udara untuk mengumpulkan data tentang kualitas udara dalam skala yang

luas. Teknik ini dapat memberikan informasi tentang pola polutan udara di suatu wilayah, termasuk partikulat, ozon, dan gas-gas beracun. Data yang diperoleh dari penginderaan jauh dapat digunakan untuk pemantauan polusi udara secara global dan pemodelan pola pencemaran udara.

- 4) Model Pencemaran Udara: Model pencemaran udara adalah metode simulasi matematika yang digunakan untuk memprediksi penyebaran polutan dalam atmosfer. Model ini menggunakan data meteorologi, emisi polutan, dan faktor-faktor lainnya untuk memperkirakan konsentrasi polutan di suatu wilayah. Model pencemaran udara dapat membantu dalam pemodelan pola dan tren pencemaran udara serta dalam mengidentifikasi kontribusi dari berbagai sumber polusi.



Gambar 4.6. Pemantauan Tingkat Pencemaran Udara dan Pengaruh Deposisi Asam terhadap Lingkungan

Pemantauan pencemaran lingkungan udara dilakukan oleh berbagai pihak, termasuk badan lingkungan, institusi riset, industri, dan organisasi non-pemerintah. Data yang dikumpulkan melalui pemantauan ini digunakan untuk

menginformasikan kebijakan lingkungan, pengendalian polusi udara, dan langkah-langkah mitigasi yang diperlukan untuk menjaga kualitas udara yang baik dan melindungi kesehatan manusia serta lingkungan.

4. Alat Ukur dan Aplikasi Pencemaran Udara

a. Alat Ukur Pencemaran Udara

Terdapat berbagai macam alat ukur pencemaran lingkungan udara yang tersedia untuk mengukur kualitas udara dan mengidentifikasi polutan yang ada. Berikut adalah beberapa contoh alat ukur pencemaran udara yang umum digunakan:

- 1) Monitor Partikulat: Alat ini digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel udara yang terdapat di udara. Monitor partikulat dapat memonitor partikel-partikel kecil ($PM_{2.5}$) dan partikel-partikel besar (PM_{10}). Mereka menggunakan teknologi seperti sensor laser atau teknologi penghisapan untuk mengukur partikel-partikel tersebut.
- 2) Monitor Gas: Monitor gas digunakan untuk mengukur konsentrasi gas polutan udara. Beberapa monitor gas umum meliputi sensor untuk mengukur gas seperti nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), ozon (O_3), sulfur dioksida (SO_2), dan gas-gas lainnya yang dapat menyebabkan pencemaran udara. Monitor gas sering digunakan di sektor industri dan dalam pengukuran kualitas udara dalam ruangan.
- 3) Sampler Udara: Sampler udara adalah alat yang digunakan untuk mengambil sampel udara dari suatu lokasi atau wilayah tertentu. Sampel udara kemudian dianalisis di laboratorium untuk mengidentifikasi dan mengukur konsentrasi polutan udara. Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran partikulat dan gas.
- 4) Spektrometer Massa: Spektrometer massa adalah alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia dari sampel udara. Alat ini dapat mengidentifikasi berbagai senyawa

kimia yang ada dalam udara dan mengukur konsentrasinya. Spektrometer massa sering digunakan dalam penelitian dan pemantauan pencemaran udara yang lebih mendalam.

- 5) **Penginderaan Jauh:** Teknologi penginderaan jauh menggunakan satelit atau pesawat udara untuk mengumpulkan data tentang kualitas udara secara luas. Data ini dapat mencakup pengukuran polutan udara seperti partikulat, ozon, dan gas-gas beracun di suatu wilayah yang luas. Teknologi penginderaan jauh memungkinkan pemantauan pencemaran udara secara global dan pemodelan pola pencemaran udara.
- 6) **Perangkat Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan:** Alat ini dirancang khusus untuk mengukur kualitas udara dalam ruangan, termasuk parameter seperti suhu, kelembaban, konsentrasi partikel udara, konsentrasi karbon dioksida (CO_2), dan senyawa organik volatil (VOCs). Perangkat ini membantu dalam memantau dan mengendalikan kualitas udara di dalam ruangan seperti kantor, rumah, atau lingkungan tempat tinggal.

Pemilihan alat ukur pencemaran lingkungan udara yang tepat tergantung pada kebutuhan pengukuran yang spesifik, jenis polutan yang ingin diukur, dan lingkungan di mana pengukuran akan dilakukan. Penting untuk menggunakan alat yang akurat dan kalibrasi secara teratur untuk mendapatkan data yang valid dan dapat diandalkan.

b. Aplikasi Pencemaran Udara

Terdapat berbagai aplikasi pengukur pencemaran lingkungan udara yang tersedia saat ini, baik dalam bentuk perangkat keras maupun perangkat lunak. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi pengukur pencemaran lingkungan udara yang umum digunakan:

- 1) Sensor Pencemaran Udara Portabel: Sensor pencemaran udara portabel adalah perangkat kecil dan ringan yang dapat digunakan untuk mengukur kualitas udara secara *real-time*. Mereka sering dilengkapi dengan sensor yang dapat mendeteksi berbagai polutan udara seperti partikulat, gas seperti nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), dan ozon (O₃). Beberapa sensor portabel memiliki konektivitas Bluetooth atau Wi-Fi yang memungkinkan pengguna untuk menghubungkannya ke smartphone atau perangkat lain untuk melihat dan memantau data yang dikumpulkan.
- 2) Perangkat Pengukuran Kualitas Udara dalam Ruangan: Perangkat pengukuran kualitas udara dalam ruangan digunakan untuk mengukur parameter kualitas udara di dalam ruangan seperti suhu, kelembaban, konsentrasi partikel udara, konsentrasi karbon dioksida (CO₂), dan VOCs (senyawa organik volatil). Mereka membantu pengguna untuk memantau kualitas udara dalam ruangan dan mengambil langkah-langkah untuk meningkatkan kualitas udara yang dihirup.
- 3) Aplikasi Pemantauan Pencemaran Udara: Terdapat berbagai aplikasi mobile yang tersedia untuk pemantauan pencemaran udara. Aplikasi ini menggunakan data dari jaringan pemantauan udara dan sensor-sensor yang terpasang pada perangkat pintar untuk memberikan informasi tentang kualitas udara di suatu wilayah atau lokasi tertentu. Mereka sering menyajikan data dalam bentuk grafik atau peta yang mudah dipahami dan memberikan pembaruan *real-time* tentang tingkat pencemaran udara.
- 4) Sistem Pemantauan Udara Berbasis Web: Sistem pemantauan udara berbasis web adalah platform online yang memungkinkan pengguna untuk mengakses dan memantau data kualitas udara secara *real-time*. Mereka biasanya dikembangkan oleh lembaga pemerintah atau badan

lingkungan dan menyajikan informasi tentang tingkat pencemaran udara, termasuk konsentrasi polutan udara dan indeks kualitas udara. Data ini dapat diakses oleh masyarakat umum untuk membuat keputusan berdasarkan kualitas udara yang ada.

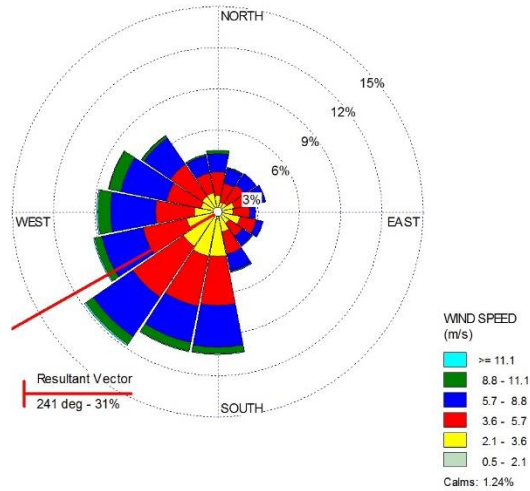
Pengukur pencemaran lingkungan udara ini memberikan pengguna informasi yang berguna tentang kualitas udara di sekitarnya dan membantu dalam mengambil langkah-langkah untuk melindungi kesehatan manusia serta lingkungan dari dampak pencemaran udara. Penting untuk menggunakan perangkat yang akurat dan dapat diandalkan untuk mendapatkan data yang valid.

Salah satu alat analisis pencemaran lingkungan udara dapat menggunakan aplikasi Bunga Angin (*Wind Rose*). Alat analisis bunga angin, juga dikenal sebagai wind rose, digunakan untuk menganalisis dan memvisualisasikan pola arah dan kecepatan angin di suatu lokasi atau wilayah. Alat ini membantu dalam pemahaman tentang karakteristik angin, yang penting dalam berbagai aplikasi seperti perencanaan pembangunan, desain bangunan, penyebaran polutan udara, dan energi terbarukan. Berikut ini adalah penjelasan singkat tentang alat analisis bunga angin:

- 1) Diagram Bunga Angin (*Wind Rose Chart*): Diagram bunga angin adalah metode yang umum digunakan untuk memvisualisasikan pola arah dan kecepatan angin dalam bentuk diagram lingkaran. Diagram ini terdiri dari sejumlah sektor yang mewakili arah angin yang berbeda (misalnya, utara, timur laut, barat daya) dan panjang sektor yang mencerminkan kecepatan angin yang teramati. Kecepatan angin biasanya diwakili dalam bentuk bin (kelompok) atau kategori.
- 2) Alat Pengukuran Angin: Untuk mendapatkan data yang akurat untuk analisis bunga angin, digunakan alat

pengukuran angin seperti *anemometer* dan *wind vane*. Anemometer mengukur kecepatan angin, sementara *wind vane* atau *wind sock* digunakan untuk menentukan arah angin. Data yang dikumpulkan dari alat-alat ini digunakan untuk membangun diagram bunga angin.

- 3) Perangkat Lunak Komputer: Dalam beberapa kasus, analisis bunga angin dilakukan dengan bantuan perangkat lunak komputer khusus. Perangkat lunak tersebut memungkinkan pemrosesan data angin yang lengkap dan pembuatan diagram bunga angin yang interaktif. Pemrosesan ini dapat mencakup statistik angin, termasuk frekuensi, kecepatan maksimum, kecepatan rata-rata, dan lainnya.
- 4) Interpretasi Data: Analisis bunga angin membantu dalam memahami pola arah dan kecepatan angin di suatu lokasi. Data dari diagram bunga angin dapat memberikan informasi tentang prevalensi arah angin tertentu, dominasi kecepatan angin tertentu, serta perubahan musiman dalam pola angin. Informasi ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti pemilihan lokasi, penentuan kebutuhan perlindungan angin, desain bangunan yang efisien energi, dan penilaian penyebaran polutan udara.



Gambar 4.7. Bunga Mawar Angin (*Wind Rose*)

Gambar 4.7. menunjukkan bahwa vektor yang dihasilkan menggabungkan frekuensi angin di setiap arah untuk mendapatkan arah angin "rata-rata". Alat analisis bunga angin membantu dalam mengumpulkan, menganalisis, dan memvisualisasikan data angin yang penting dalam berbagai aplikasi. Melalui pemahaman yang lebih baik tentang pola angin, keputusan yang lebih baik dapat diambil dalam perencanaan dan pengelolaan lingkungan dan infrastruktur.

c. Indeks Standar Pencemar Udara

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur dan menggambarkan tingkat pencemaran udara dalam suatu wilayah atau lokasi tertentu. ISPU umumnya digunakan oleh pemerintah atau lembaga lingkungan untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang kualitas udara dan tingkat pencemaran yang ada.

Tabel 4.3. Indeks Standar Pencemaran Udara untuk
Setiap Parameter Pencemaran

Kategori	Rentang (PPM)	CO	NO ₂	Ozon (O ₃)	SO ₂	Partikel
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ (selama 4 jam)	Luka pada beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₃ (selama 4 jam)	Tidak ada efek
Sedang	51-100	Perubahan kimia darah, tetapi tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Luka pada beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	101-199	Peningkatan pada kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung	Bau dan kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunan kemampuan pada atlet yang berlatih keras	Bau, meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana
Sangat tidak sehat	200-299	Meningkatnya kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpenyakit jantung dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronkhitis	Olahraga ringan mengakibatkan pengaruh pernapasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronkhitis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronkhitis
Bahaya	300-lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

ISPU menggabungkan data pengukuran konsentrasi berbagai polutan udara seperti partikulat (PM₁₀ dan PM_{2.5}), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon (O₃), dan senyawa-senyawa lain yang dapat menyebabkan pencemaran udara. Data ini diukur dari stasiun pemantauan udara yang terletak di berbagai lokasi strategis dalam suatu wilayah.

Setiap polutan diberikan bobot tertentu berdasarkan potensinya untuk menyebabkan dampak kesehatan yang berbeda. Nilai konsentrasi polutan kemudian dikonversi menjadi skala indeks numerik yang mewakili tingkat pencemaran udara. Nilai indeks ini biasanya terbagi menjadi beberapa kategori (misalnya, baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat) untuk memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang tingkat pencemaran.

Dengan menggunakan ISPU, masyarakat dapat dengan mudah memahami tingkat pencemaran udara yang ada dan mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan. Pemerintah

dan lembaga lingkungan juga dapat menggunakan ISPU untuk mengambil keputusan kebijakan yang berkaitan dengan kualitas udara dan upaya pengendalian pencemaran udara.

Perlu dicatat bahwa setiap negara atau wilayah dapat memiliki indeks standar pencemar udara yang sedikit berbeda, tergantung pada kondisi lingkungan dan regulasi yang berlaku. Oleh karena itu, penting untuk merujuk pada indeks yang berlaku di wilayah Anda untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang kualitas udara dan tingkat pencemaran.

D. Penutup

Mengakhiri ulasan pada bab ini, ditutup dengan sebuah alasan pentingnya pencemaran lingkungan udara perlu dikendalikan untuk menjaga keberlangsungan kesehatan dan lingkungan.

Pencemaran udara lingkungan perlu dikendalikan karena memiliki dampak yang serius terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Berikut adalah beberapa alasan mengapa pengendalian pencemaran udara penting:

1. Kesehatan Manusia: Pencemaran udara dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk gangguan pernapasan, iritasi mata dan tenggorokan, alergi, infeksi saluran pernapasan, dan bahkan penyakit jangka panjang seperti Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK), asma, dan kanker paru-paru. Partikel-partikel dan bahan kimia berbahaya yang terkandung dalam udara dapat masuk ke dalam sistem pernapasan manusia dan merusak jaringan paru-paru serta sistem kekebalan tubuh.
2. Kerusakan Lingkungan: Pencemaran udara juga memiliki dampak negatif pada ekosistem dan lingkungan alam. Polutan udara dapat mencemari tanah, air, dan tumbuhan, mengurangi kualitas dan kesuburan tanah, merusak keanekaragaman hayati, dan mengganggu siklus ekologi. Dalam jangka panjang, pencemaran udara dapat merusak ekosistem alami dan mengancam kelangsungan hidup spesies yang bergantung pada udara bersih.

3. Efek Rumah Kaca dan Perubahan Iklim: Pencemaran udara juga berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4) yang dilepaskan oleh aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, menyebabkan peningkatan suhu di atmosfer. Hal ini menyebabkan perubahan cuaca ekstrem, peningkatan suhu global, pencairan es di kutub, dan ancaman terhadap keberlanjutan lingkungan dan kehidupan di bumi.
4. Gangguan Sosial dan Ekonomi: Pencemaran udara dapat memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Biaya kesehatan yang tinggi akibat perawatan medis dan kehilangan produktivitas akibat sakit dapat membebani sistem kesehatan dan ekonomi. Selain itu, pencemaran udara dapat mempengaruhi sektor pariwisata dan pertanian, merusak tanaman dan mengurangi hasil pertanian, serta mengganggu kualitas udara dalam ruangan di tempat kerja dan rumah.

Pengendalian pencemaran udara lingkungan menjadi penting untuk melindungi kesehatan manusia, menjaga kelestarian lingkungan alam, dan mengurangi kontribusi terhadap perubahan iklim global. Upaya pengendalian termasuk penggunaan teknologi ramah lingkungan, kebijakan regulasi yang ketat, pengembangan energi terbarukan, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan kesadaran masyarakat yang tinggi terhadap pentingnya udara bersih dan sehat.

Daftar Pustaka

- [DEFRA] Department for Environment Food Rural Affairs. 2017. *Air Pollution*. <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/>
- [EPA] Environment Protection Authority. 2019. Air Pollution Sources. Url: <https://www.epa.nsw.gov.au/your-environment/air/air-nsw-overview/about-air-pollution>
- [EPA] Environmental Protection Agency. 2020. *Climate Change Science: Future of Climate Change*. Url: <https://climatechange.chicago.gov/climate-change-science/future-climate-change>
- Guttikunda, S. K., Goel, R., & Pant, P. 2014. Nature of air pollution, emission sources, and management in the Indian cities. *Atmospheric environment*, 95, 501-510.
- Harshadeep, P. K., Paul, T., Pilapitiya, S., Ramachandran, E., Rasuli, A., Sharmin, N., ... & Khaliquzzaman, M. 2012. *South Asia from Impact-Centered to Policy Approaches*. New York: Strategic Environmental Assessment in the World Bank.
- Suhadi, D. R., & Febrina, A. S. 2018. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara Di Perkotaan*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Sukwika, T. 2023a. Perubahan Iklim Global. *Ilmu Lingkungan*, 1, 147-174.
- Sukwika, T. 2023b. Pengendalian Risiko Lingkungan. *Manajemen Risiko*, 1, 92-123.

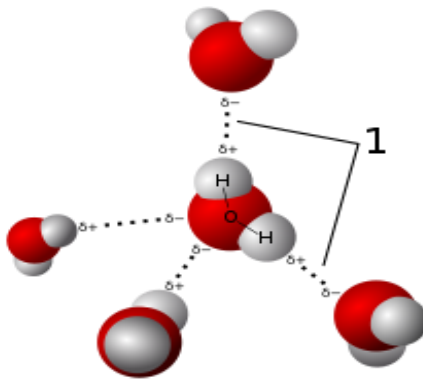
05.

PENCEMARAN LINGKUNGAN AIR

Shintawati Dyah Purwaningrum

A. Pendahuluan

1. Sifat Air



Gambar 5.1. Model Ikatan Hidrogen (google)

Mahluk hidup tidak dapat dipisahkan dari air untuk kehidupan sehari-hari. Air merupakan hal kebutuhan dasar untuk

hidup, hampir semua aktivitas makhluk hidup membutuhkan air. Struktur molekul air berupa unsur H dan O, lebih dari 50% penyusun tubuh manusia berupa air. Air merupakan cairan yang tidak memiliki rasa, tidak memiliki bau pada suhu dan tekanan lingkungan.

Tabel 5.1. Sifat Fisik Air

Sifat	
Rumus Kimia	H ₂ O
Nama	Air, dihidrogen monoksida, aqua
Massa molar	18.01528(33) gr/mol
Bau	Tidak berbau
Densitas	Cair: 0.9998396 gr/mL pada 0 °C 0.961893 gr/mL pada 95 °C 0.9970474 gr/mL pada 25 °C Padat: 0.9167 gr/ml pada 0 °C
Titik	0 °C (273.15 K) (T=32 °F)
Titik didih	100 °C (373.15 K) (T=212 °F)
Kalor jenis	lebur 4184 J/(kg K) (cairan pada 20 °C)
Viskositas	0.890 mPa·s

(Wayan Budiarsa Suyasa, 2015)

Menurut Miller (1992), sifat dan karakteristik air sebagai berikut:

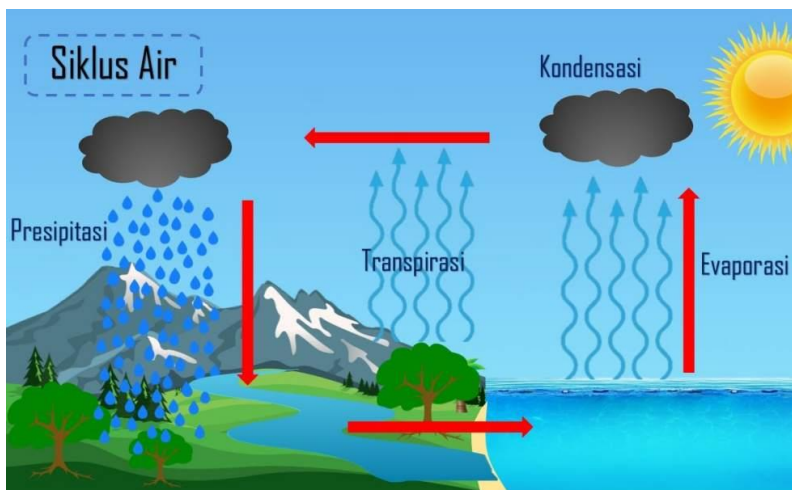
- Titik beku air (*freezing point*) pada suhu 0°C, dan suhu 100°C merupakan titik didih pada air (*boiling point*). Air berbentuk cair pada kisaran 0°C hingga 100°C.
- Perubahan suhu pada air berjalan lambat menyebabkan air mempunyai sifat penyimpanan panas yang baik.
- Pada proses penguapan air membutuhkan panas yang tinggi, proses tersebut membutuhkan energi panas dengan jumlah besar.

- d. Air memiliki kemampuan melarutkan senyawa kimia, menyebabkan air sebagai pelarut yang baik.
- e. Air merupakan senyawa yang meregang saat membeku, menyebabkan kandungan densitas lebih rendah dari air. Sifat tersebut menyebabkan danau di iklim dingin membeku pada permukaan dan kehidupan makhluk hidup di dalamnya tetap berlangsung.

Air disebut sebagai pelarut universal, air dapat melarutkan beberapa zat kimia. Bawah suhu dan tekanan standar air dalam kesetimbangan yang dinamis di antara fase cair dan padat. Air juga dideskripsikan sebuah ion (H^+) hidrogen yang berikatan dengan sebuah ion (OH^-) hidroksida. Zat yang dapat larut baik dengan air disebut zat-zat hidrofilik contohnya garam, zat yang sukar larut dalam air disebut hidrofobik contohnya minyak dan lemak. Air memiliki sifat polar memiliki muatan positif (+) pada atom hidrogen dan muatan negatif (-) pada atom oksigen. Sehingga air mampu melarutkan zat polar seperti gula, garam, dan asam.

2. Siklus Air

Siklus air atau siklus hidrologi berjalan secara *continue*, diawali dari permukaan air laut menguap yang disebut dengan evaporasi (Oktafiani, 2007). Menurut Halim Hasmar (2011) siklus air merupakan proses yang berawal dari evaporasi atau penguapan setelah itu kondensasi dari awan hasil evaporasi, selanjutnya awan terproses hingga terjadi hujan atau salju yang jatuh ke permukaan tanah. Air yang meresap ke tanah hingga lapisan kedap air disebut dengan air tanah.



Gambar 5.2. Siklus Air (sumber google)

3. Komposisi Air

Air merupakan sebuah larutan mengandung zat yang terlarut dalam berbagai konsentrasi. Air tawar mengandung sekitar 1000 ppm padatan terlarut. Air laut mengandung ± 35.000 ppm padatan terlarut. Air payau memiliki padatan yang terlarut di antara air tawar dan air laut.

Menurut Wicaksono, dkk., karakteristik air bersih, yaitu jernih, tidak berwarna dan tidak berbau, bersuhu tidak panas, bebas unsur kimia berbahaya (Fe, Zn, Hg dan Mn) dan tidak mengandung mikrobiologi membahayakan (seperti bakteri e-coli).

B. Pencemaran Air

1. Komponen Pencemar Air

Fardiaz (1992) menyatakan komponen pencemaran terbagi menjadi beberapa kelompok, yaitu

a. Bahan Buangan Padatan

Bahan ini merupakan bahan buangan yang berbentuk padatan, berbagai ukuran dari halus hingga kasar. Bahan ini dapat tersuspensi, menimbulkan pelarutan dan terendap. Jika buangan tersebut terlarut maka kepekatan atau berat jenis

airnya akan naik, terjadi perubahan warna. Warna gelap di perairan akan mempengaruhi cahaya matahari dalam air, sehingga terganggu proses fotosintesis tanaman air.

b. Bahan Buangan Organik dan Sisa Olahan Makanan

Bahan ini dapat membusuk dan terdegradasi, meningkatkan jumlah mikroorganisme dalam air. Hal tersebut menjadikan BOD naik, dapat meningkatnya bakteri patogen. Menimbulkan bau menyengat karena adanya proses degradasi.

c. Bahan Buangan Anorganik

Perairan yang tercemar bahan anorganik contohnya yaitu garam, asam, bahan berbahaya dari logam berat seperti Pb, Hg, dan lainnya dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup di dalamnya, dan dapat merusak peralatan rumah tangga (*Iriani, et al., 2017*).

d. Bahan Buangan Cairan Minyak

Bahan buangan ini sukar larut dalam air, sehingga akan menutupi permukaan perairan. Lapisan minyak tersebut menghalangi cahaya matahari untuk masuk ke perairan sehingga proses fotosintesis terhambat, dan dapat menurunkan kadar DO.

e. Bahan Buangan Zat Kimia

Bahan tersebut yang masuk dalam perairan contohnya sabun atau detergent, insektisida, zat warna.

Bahan buangan berupa sabun, sampo dan pembersih lainnya yang berlebihan di perairan akan menimbulkan banyak buih di permukaan perairan. Bahan tersebut akan menaikkan pH sehingga mengganggu kehidupan di perairan.

Bahan buangan berupa insektisida (pemberantas hama) bersifat racun berbahaya jika masuk dalam perairan. Bahan buangan berupa zat warna bersifat racun, apabila masuk dalam tubuh dapat bersifat karsinogen. Oleh karena itu pembuangan zat warna di air berbahaya.

f. Bahan Buangan Zat Radioaktif

Ada kemungkinan zat radioaktif ikut masuk kedalam lingkungan perairan. Zat radioaktif dapat menimbulkan kerusakan biologis pada biota perairan.

2. Indikator Pencemaran Air

Pencemaran air menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001, yaitu masuknya makhluk hidup, energi, zat atau komponen-komponen lain dalam air akibat dari kegiatan manusia yang menyebabkan penurunan kualitas air hingga tingkatan tertentu dan mengakibatkan air tidak berfungsi sesuai peruntukannya (Peraturan Pemerintah, 2001).

Indikator air telah tercemar adanya suatu perubahan yang dapat diamati. Pengamatan pada pencemaran air dapat dikategorikan dalam pengamatan secara fisis, secara kimiawi dan secara biologis. Pengamatan secara fisis merupakan pengamatan yang dilakukan pada perubahan fisis yang ada, seperti perubahan warna air, adanya bau, rasa, kejernihan. Pengamatan secara biologi dilakukan berdasarkan adanya mikroorganisme dalam air, terutama keberadaan bakteri berbahaya atau patogen. Pengamatan kimiawi yaitu adanya perubahan pH dan zat kimia terlarut.

Indikator yang digunakan pada pengamatan pencemaran air yaitu pH, oksigen terlarut yang disebut (Dissolved Oxygen), kebutuhan oksigen kimia, COD (Chemical Oxygen Demand) dan kebutuhan oksigen biokimia, BOD (Biocgemical Oxygen Demand) ((Dewata & Tarmizi, 2015).

a. pH

Derajat keasaman merupakan tingkatan basa atau asam suatu larutan diukur dengan skala 1-14. Kandungan mineral dalam air mempengaruhi tinggi rendahnya pH air. pH air yang tercemar berbeda-beda nilai pH nya tergantung bahan buangan yang ada. Air dengan nilai pH di bawah 7 disebut asam dan di atas 7 disebut basa. Peraturan Menteri Kesehatan Republik

Indonesia No.492/MENKES/PER/IV/2010, menyatakan air dapat dikatakan bersih jika memiliki kandungan pH= 6,5 - 8,5.

Penurunan pH akan menghambat proses nitrifikasi. pH 6 mempengaruhi keanekaragaman plankton, pH dibawah 5 akan menurunkan populasi zooplankton dan meningkatkan alga hijau, pH 4 beberapa tumbuhan hijau akan mati (Wayan Budiarsa Suyasa, 2015).

b. Suhu

Suhu dalam air menentukan jenis mikroorganisme yang hidup di dalamnya. Parameter suhu ditampilkan dalam satuan ($^{\circ}\text{C}$) derajat celsius. Batasan suhu air $\pm 3\text{ C}$ dari suhu normal air. Perubahan suhu akibat fenomena alam, dan buangan air reaktor dari industri dapat menyebabkan kematian biota air.

c. Kekeruhan (Kandungan Lumpur dan Suspensi)

Penetapan kadar lumpur dalam mengevaluasi tingkat cemaran menggunakan kerucut *imhoff* dilakukan dalam ruangan. Kekeruhan dinyatakan dalam satuan Mg/L.

d. Kadar Oksigen Terlarut

Kadar oksigen yang terlarut dalam air sebesar $\pm 5\text{--}7$ bpj (1 ml O_2 yang larut dalam 1 liter air dikatakan memiliki kadar O_2 1 bpj). Penurunan kadar O_2 terlarut dapat disebabkan oleh:

- 1) Proses oksidasi bahan buangan organik.
- 2) Proses reduksi zat yang dihasilkan oleh bakteri anaerob.
- 3) Proses respirasi mikroorganisme.

Tabel 5.2. Kadar Oksigen dan Organisme Akuatik

Kadar Oksigen Terlarut (mg/ltr)	Pengaruh Kelangsungan Hidup Organisme
< 0,3	Beberapa ikan dapat bertahan pada masa pemaparan relatif singkat
0,3 – 1,0	Pemaparan lama dapat mengakibatkan kematian paada ikan
1,0-5,0	Ikan dapat bertahan hidup, tetapi pertumbuhannya akan terganggu
> 5,0	Kadar normal unutk biota air hidup

(Wayan Budiarsa Suyasa, 2015)

e. BOD

Perairan memiliki Kandungan BOD_5 5,0-7,0 mg/ltr merupakan perairan yang masih alami belum tercemar, perairan memiliki kandungan $BOD_5 > 10$ mg/ltr dapat disebut telah mengalami pencemaran. Perairan pada industri pangan kandungan BOD_5 500-4000 mg/ltr.

f. COD

Kadar COD tinggi yang dimiliki perairan, tidak berfungsi baik untuk kepentingan perikanan maupun pertanian. Perairan yang belum tercemar memiliki kandungan COD biasanya berkisar >20 mg/ltr. Perairan yang telah tercemar kandungan COD < 200 mg/ltr dan pada limbah industri kandungan COD mencapai 60.000 mg/ltr (Effendi, 2003).

C. Dampak Pencemaran Air

Dampak akibat pencemaran air dapat terbagi dalam 4 (empat) kategori, yaitu dampak terhadap kehidupan biota air, dampak terhadap kesehatan, dampak terhadap kualitas air tanah dan dampak terhadap estetika lingkungan (Wayan Budiarsa Suyasa, 2015).

1. Dampak terhadap Kehidupan Biota Air

Diketahui bersama bahwa oksigen dibutuhkan oleh biota air untuk kelangsungan hidup. Kadar oksigen di dalam air akan menjadi turun akibat dari zat pencemar air. Zat beracun yang

mencemari air dapat menimbulkan kematian pada biota air seperti ikan, tanaman air, alga dan lainnya.

Eutrofikasi oleh air limbah memerlukan oksigen yang dapat mengakibatkan peningkatan BOD karena tingginya populasi bakteri aerob yang menyebabkan penurunan DO perairan, hal ini menyebabkan populasi biota air menurun.

2. Dampak terhadap Kesehatan

Kualitas air memberikan dampak terhadap kesehatan. Air dapat berperan dalam penyebaran penyakit karena air dapat sebagai tempat hidup bakteri patogen. Salah satu kategori penyakit di Indonesia adalah *waterborn diseases* atau penyakit yang disebarkan oleh air. Pencemaran air menyebabkan air terdapat mikroba yang dapat terikut untuk digunakan sehari-hari. Jenis mikroba yang menyebar lewat air contohnya bakteri, virus dan protozoa (Dewata & Tarmizi, 2015).

3. Dampak terhadap Kualitas Air Tanah

Pencemaran air akan meresap ke dalam tanah melalui pori tanah dapat mengakibatkan penurunan kualitas air tanah. Air tanah akan berwarna dan berbau. Naslilmuna, dkk., pada penelitiannya tahun 2018 mengungkapkan air tanah yang tercemar memiliki tingkat TDS tinggi, dan terdapat bakteri e-coli.

4. Dampak terhadap Estetika Lingkungan

Pencemaran air berdampak pada estetika lingkungan yang berupa bau tidak enak, penumpukan sampah di sungai, penumpukan busa akibat limbah sabun dan detergen di sungai.

D. Penanggulangan Pencemaran Air

Pengendalian pencemaran air di Indonesia telah diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Upaya serius yang

digalakkan pemerintah dalam penanggulangan pencemaran air antara lain:

1. Program kali bersih (prokasih), pada program ini menurunkan limbah cair dari rumah tangga, industri kecil, menengah dan besar. Prokasih juga berfungsi menata pemukiman di bantaran sungai dengan melibatkan masyarakat sekitar.
2. Pengurangan sampah dengan mendaur ulang dan pakai kembali.
3. Memberi perhatian lebih pada masalah lingkungan saat pemberian izin lokasi industri, pemantauan pencemaran air, proses AMDAL, kampanye air bersih (K, 2018).
4. Penetralan limbah industri sebelum dibuang ke sungai.
5. Pelarangan dan pemberian sanksi tegas untuk masyarakat yang membuang sampah di sungai.
6. Pengurangan penggunaan pestisida beralih ke pupuk organik.
7. Industri wajib memiliki tempat pengolahan limbah minyak, baik tempat penampungan, penyedot minyak jika ada minyak yang tumpah diperairan (Dawud, *et al.*, 2016).

Daftar Pustaka

- Dawud, M., Namara, I., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. 2016. Analisis Sistem Pengendalian Pencemaran Air Sungai Cisadane Kota Tangerang Berbasis Masyarakat. *Semnastek*, 6(November), 1–8. <https://media.neliti.com/media/publications/173218-ID-analisis-sistem-pengendalian-pencemaran.pdf>
- Departemen Kesehatan RI. 2000. Keputusan Menteri Kesehatan RI NO: 492/MENKES/PER/IV/2010. Jakarta: Departemen Kesehatan
- Dewata, I., & Tarmizi. 2015. *Kimia Lingkungan Full 2020* (pp. 12–13).
- Dickerson, C. A., Thibodeau, R., Aronson, E., & Miller, D. 1992. Using cognitive dissonance to encourage water conservation 1. *Journal of applied social psychology*, 22(11), 841–854.
- Fardiaz, S. 1992. *Polusi udara dan air*. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.
- Halim Hasmar. 2011. *Drainase Terapan*. Universitas Islam Indonesia Press. Yogyakarta.
- Iriani, R., Herlina, A., Irhasyuarna, Y., & Sanjaya, R. E. 2017. *Kimia Lingkungan Lahan Basah Pencemaran Air*. 1–37.
- K, B. 2018. Filosofi Cemar Air. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.
- Pratiwi, Oktafiani Catur. 2007. *Banjir Kolektif Pengelolaan Bumi*. *Jurnal Ilmu Sosial dan Ilmu Politik*, Volume 11, Nomor 2. Hal 249
- Sulistyanto, E dan H. W. Swarnam. 2003. *Tecno Limbah*. Majalah Pusat Pengembangan Teknologi Limbah Cair, Volume 7 tahun 2003, Penerbit Pusat Pengembangan Teknologi Limbah Cair, Yogyakarta.

- Wayan Budiarsa Suyasa. 2015. Pencemaran Air & Pengolahan Air Limbah. *Udayana University Press*, 1-153.
<http://penerbit.unud.ac.id>
- Wicaksono, B., Iduwin, T., Mayasari, D., Putri, P. S., & Yuhanah, T. 2019. *Edukasi Alat Penjernih Air Sederhana Sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih*. Terang, 2(1), 43-52.

PENCEMARAN LINGKUNGAN TANAH

Rizka Efi Mawli

A. Pencemaran Tanah

Tanah merupakan lapisan paling atas dari kerak bumi yang mengandung banyak zat padat, cair dan gas serta tempat berlangsungnya kehidupan bagi berbagai macam organisme hidup. Diperlukan waktu hingga ribuan tahun untuk membentuk satu inci dari setiap lapisan tanah. Telah banyak penelitian yang melaporkan bahwa tanah sangat kaya akan nutrisi dan bahan-bahan organik bermanfaat. Namun, seiring dengan kemajuan industri pencemaran tanah juga kian meningkat.

Pencemaran tanah dapat diartikan sebagai adanya bahan kimia maupun zat yang tidak pada tempatnya dan ditemukan dalam konsentrasi yang lebih dari normal. Kehadiran polutan tertentu dapat menghasilkan ketidakseimbangan nutrisi dan pengasaman tanah sehingga mengganggu ekosistem dan organisme sekitarnya bahkan dapat menyebabkan penyakit terhadap manusia.

Tidak semua polutan yang berada di tanah memiliki asal antropogenik, beberapa kontaminan dapat terjadi secara alami di

tanah seperti komponen mineral dapat menjadi racun ketika konsentrasinya sangat tinggi. Keragaman kontaminan terus berkembang seiring dengan kegiatan masyarakat dan perkembangan industri.

B. Pencemaran Tanah yang Terjadi Secara Alami

Eugenio seorang peneliti dari FAO memaparkan bahwa tingkat pencemaran suatu lingkungan tidak bisa diukur dengan batas intervensi yang sama untuk semua wilayah. Hal tersebut karena adanya latar belakang kandungan alami geogenik yang bervariasi pada setiap tempat. Kandungan ataupun komposisi lingkungan tanah di suatu wilayah memiliki keterkaitan yang kuat dengan fraksi pedo-geokimia dan dinamika lingkungan dalam proses pembentukan tanah. Secara sederhana, penggunaan nilai interval global untuk sebuah ukuran “pencemaran” tidak sesuai jika digunakan untuk semua wilayah sehingga muncullah penggolongan pencemaran secara alamiah yaitu terjadi secara spontan tanpa ada campur tangan manusia.

Misalnya, suatu wilayah memiliki kandungan logam berat dalam tanah yang bisa lebih tinggi hingga dua kali lipat dari nilai normalnya karena disebabkan terdapat logam dalam jenis batuan induk di tanah tersebut. Maka dalam hal ini, logam berat di tanah tersebut dapat disebut “terjadi pencemaran secara alami”.

Pencemaran karena Bencana Alam

Peristiwa alam dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya pencemaran di lingkungan tanah. Hal tersebut disebabkan oleh peristiwa alam ikut berperan penting dalam masuknya komponen kimia dan zat yang tidak seharusnya ada di tanah. Sebagai contoh, letusan gunung berapi dan kebakaran hutan akan membuat lingkungan menjadi tercemar.

Pada kebakaran hutan akan melepaskan senyawa mirip dioksin dan polisiklik hidrokarbon aromatik (PAH) yang beracun. Sedangkan letusan gunung berapi akan membawa banyak logam berat seperti merkuri (Hg), kromium (Cr), tembaga (Cu), nikel (Ni) dan seng (Zn).

Kejadian ditemukannya nikel (Ni) dan kromium (Cr) pernah dilaporkan terjadi di tanah Indonesia yang berhubungan dengan pedogeokimia.

Faktor resiko dari pencemaran yang terjadi secara alamiah ini dinilai tidak memiliki masalah lingkungan yang parah dikarenakan adanya kemampuan regeneratif dan kapasitas adaptasi dari lingkungan sekitarnya. Namun, masalah dapat tetap muncul ketika ada faktor lain yang mengganggu hingga ekosistem menjadi tidak seimbang, ketahanan dan kemampuan respon menurun.

C. Pencemaran Tanah oleh Kegiatan Pertanian

Pencemaran tanah oleh kegiatan pertanian berkaitan dengan permintaan hasil pertanian yang semakin meningkat dengan lahan yang terbatas. Fakta tersebutlah yang akhirnya membuat para petani menggunakan pestisida dan pupuk kimia sintetis lebih banyak dari sebelumnya. Pestisida dan pupuk dapat meresap ke dalam tanah setelah bercampur dengan air dan kemudian menumpuk hingga menyebabkan tanah menjadi toksik dan kesuburannya berkurang.

Pestisida adalah zat atau campuran zat yang dimaksudkan untuk mencegah, menghancurkan atau mengendalikan hama yang menyebabkan kerusakan atau mengganggu produksi, pengolahan, penyimpanan, pengangkutan atau pemasaran makanan, komoditas pertanian, kayu dan produk kayu. Penggunaan pestisida yang berlebihan dapat berdampak negatif efek pada kesehatan manusia dan lingkungan.

Begitu pula dengan penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan salinitas tanah, akumulasi logam berat, eutrofikasi air dan akumulasi nitrat, yang dapat menjadi sumber pencemaran lingkungan tetapi juga mengancam kesehatan manusia. Industri pupuk juga dianggap sebagai sumber logam berat seperti Hg, Cd, As, Pb, Cu, Ni dan Cu, serta radionuklida alam seperti uranium.

Bahan kimia lainnya juga dapat merusak tanah seperti komposisi tanah yang berubah sehingga menyebabkan tanah lebih mudah terkisis oleh air dan udara. agrokimia seperti penggunaan

pupuk dan kompos akan menghasilkan logam berat seperti Cu, Cd, Pb dan Hg menjadi polutan yang paling sering ditemui.

Terlepas dari manfaat potensial bahan-bahan untuk pertanian, ada cukup bukti ilmiah tentang peningkatan kandungan logam berat, patogen, dan residu antibiotik hewan, yang dapat menyebabkan proliferasi bakteri resisten antimikroba di tanah yang diubah dengan ternak pupuk hingga menjadi ancaman kesehatan untuk manusia yang menyebabkan usia harapan hidup menurun.

Sumber polusi pertanian lainnya termasuk polusi arsenik karena terkonsentrasi operasi pemberian makan hewan (CAFO), residu plastik dari mulsa plastik, penggunaan terkontaminasi air tanah untuk irigasi, dan banyak lagi. Melihat pencemaran tanah yang disebabkan oleh unggas dan ternak, dan keduanya ditemukan tingkat signifikan logam berat yang berasal dari peternakan dan unggas operasi.

D. Pencemaran Tanah oleh Kegiatan Urbanisasi

Kegiatan urbanisasi menghasilkan limbah dalam jumlah yang sangat besar. Limbah yang dihasilkan sangat bervariasi seperti beberapa bahan Biodegradable contohnya sayuran, limbah hewan, kertas, potongan kayu, bangkai, ranting tanaman, daun dan bahan non-biodegradable seperti kantong plastik, botol plastik, sampah plastik, botol kaca, potongan kaca, potongan batu/semen dan lainnya.

Bisa dikatakan limbah yang berasal dari kegiatan urbanisasi ini adalah salah satu penyebab pencemaran lingkungan terbesar. Ditambah lagi dengan gaya hidup modern baik masyarakat yang tinggal di perkotaan maupun di pedesaan akan menghasilkan limbah dalam jumlah besar dan kurangnya prosedur pengelolaan limbah menambah masalah pencemaran tanah.

Pada kegiatan urbanisasi secara spesifik limbah yang terbanyak berupa limbah padat. Secara umum, limbah padat termasuk sampah rumah tangga dan bahan padat yang dibuang ke lingkungan begitu saja tanpa pengolahan apapun. Sejumlah besar limbah padat perkotaan cenderung berupa limbah kertas dan makanan, sebagian besar dapat didaur ulang atau dapat terurai secara hayati di tempat pembuangan

sampah. Demikian pula, limbah cair seperti oli, minyak dan deterjen adalah yang harus kita perhatikan secara khusus karena dalam jangka panjang dapat tetap berada di tanah dan berpotensi mencemari daerah sekitarnya hingga mencemari sumber air.

E. Pencemaran Tanah oleh Kegiatan Industri

Kemajuan teknologi di era saat ini sudah tidak dapat dihindari lagi. Meskipun membawa banyak manfaat namun kemajuan teknologi yang selaras dengan kemajuan bidang industri tetap memiliki dampak yang kurang baik khususnya bagi lingkungan apabila kegiatan tersebut tidak diikuti oleh analisis masalah dalam lingkungan (AMDAL). Kisaran bahan kimia yang digunakan dalam kegiatan industri sangat luas, begitu pula dampaknya terhadap lingkungan. Setiap kegiatan dalam bidang industri berpeluang melepaskan polutan baik polutan terhadap atmosfer, air dan tanah.

Pelepasan polutan tersebut dapat menyebar dan dapat berakhir pada pencemaran tanah. Sebagai contoh, polutan gas dan radionuklida yang dilepaskan ke udara akan menjadi polutan atmosfer dan juga masuk ke dalam tanah melalui perantara hujan asam ataupun pengendapan atmosfer.

Kegiatan industri yang sangat banyak dan bervariasi berpeluang untuk menyumbang pencemaran lingkungan. Sejumlah besar Industri yang muncul sejak awal era industri tanpa sistem pengelolaan limbah yang tepat merupakan penyumbang terbesar pencemaran tanah.

Pencemaran karena Kegiatan Tambang

Kegiatan penambangan menjadi salah satu penyebab utama dari pencemaran tanah. Telah banyak penelitian dan laporan di seluruh dunia bahwa tanah menjadi sangat terkontaminasi akibat aktivitas pertambangan. Tidak hanya pencemaran tanah, aktivitas pertambangan juga mengganggu air dan biota sejak zaman dahulu.

Fasilitas pertambangan dan peleburan dari bahan-bahan yang digunakan dapat melepaskan sejumlah besar logam berat dan elemen beracun lainnya ke lingkungan dan dapat bertahan lama walaupun

kegiatan tersebut sudah berakhir. Biasanya limbah hasil tambang dengan konsentrasi logam yang tinggi disimpan di tailing berbentuk partikel halus, namun partikel-partikel tersebut tetap dapat menyebar melalui angin dan erosi air hingga mencapai tanah. Seperti yang dilaporkan oleh peneliti, bahwa konsentrasi kromium, nikel dan asbestos selain mengganggu tanah pertanian juga dapat mengakibatkan resiko tinggi bagi kesehatan manusia dan ternak.

Polusi tanah sumber yang signifikan terjadi dari ekstraksi minyak dan gas karena tumpahan minyak mentah dan air asin. Air asin memiliki tingkat salinitas yang tinggi dan juga dapat mengandung elemen jejak beracun dan bahan radioaktif alami. Tumpahan minyak mentah dari lokasi sumur dan dari saluran pipa juga merupakan sumber utama pencemaran tanah di daerah penghasil minyak.

F. Dampak Pencemaran Tanah

Dampak pencemaran tanah tidak terbatas pada tanah dan biota di dalamnya tetapi terbawa ke setiap aspek lingkungan dan mempengaruhi setiap organisme mulai dari organisme yang ada di tanah hingga manusia. Beberapa dampak buruknya adalah sebagai berikut:

1. Kesehatan Manusia

Manusia dapat dikatakan sangat bergantung pada tanah dikarenakan lingkungan tanah sebagai salah satu wadah sumber makanan untuk manusia. Sehingga ketika terjadi pencemaran pada lingkungan tanah juga secara langsung menyebabkan dampak negatif pada manusia seperti keracunan kronis, dan menyebabkan berbagai penyakit. Paparan polutan dalam jangka panjang di lingkungan tanah dapat memengaruhi susunan genetik tubuh, menyebabkan penyakit bawaan dan masalah kesehatan kronis yang tidak dapat disembuhkan dengan mudah. Beberapa penyakit yang dapat menyebabkan penyakit seperti gangguan reproduksi, cacat lahir dan perkembangan, efek neurologis, malnutrisi, dan mutasi pada sel-sel tubuh yang menyebabkan kanker.

2. Tanaman

Gangguan pertumbuhan tanaman disebabkan karena tumbuhan sangat susah beradaptasi terhadap perubahan yang mendadak di lingkungan tanah. Lingkungan tanah yang telah tercemar dapat merubah kimiawi tanah sehingga mikroorganisme seperti jamur dan bakteri tidak mampu mengikat unsur hara atau komponen lain untuk di *supply* ke tumbuhan. Perubahan kimia tanah juga dapat menyebabkan erosi, tandus bahkan mengubah zat bermanfaat menjadi racun sehingga tidak mampu mendukung kehidupan apapun di atasnya.

Keseimbangan ekologis dari sistem apa pun akan terpengaruh karena pencemaran tanah berpotensi untuk meluas. Sebagian besar tanaman tidak dapat beradaptasi ketika kimia tanah berubah secara radikal dalam waktu singkat. Bahan kimia beracun yang ada di dalam tanah dapat menurunkan kesuburan tanah dan karenanya menurunkan hasil tanah. Tanah yang terkontaminasi kemudian digunakan untuk menghasilkan buah-buahan dan sayuran akan menyebabkan menurunnya kualitas dan mungkin mengandung beberapa zat beracun yang menyebabkan masalah kesehatan yang serius pada orang yang mengkonsumsinya.

Perubahan kimia tanah juga menyebabkan kematian banyak organisme tanah (misalnya cacing tanah, serangga dan mikroba) sehingga dapat menyebabkan perubahan struktur tanah. Selain itu, hal itu juga bisa memaksa predator mereka untuk pindah ke tempat lain untuk mencari makan.

3. Pencemaran Udara

Pencemaran udara karena lingkungan tanah yang tercemar dapat dijelaskan dengan naik/terbangnya debu-debu beracun yang berasal dari tempat pembuangan sampah bersama dengan bau busuk. Tumpukan sampah dan yang dibuang terbuka serta berserakan di suatu area dapat merusak permukaan tanah. Emisi gas beracun dan bau busuk dari tempat pembuangan sampah mencemari lingkungan dan menyebabkan dampak serius pada

kesehatan seperti gangguan pernafasan. Begitu pula dengan Bau yang tidak sedap menyebabkan ketidaknyamanan bagi orang lain.

4. Pencemaran Air

Terjadinya kontaminasi air karena lingkungan tanah yang tercemar dapat terjadi ketika hujan, terjadi kebocoran tempat pembuangan sampah dan sampah yang masuk secara langsung ke lingkungan perairan. Saat hujan, limpasan permukaan membawa tanah yang terkontaminasi ke sumber air yang menyebabkan pencemaran air. Polutan juga dapat masuk ke dalam tanah untuk mencemari air tanah. Air yang terkontaminasi dengan demikian tidak layak untuk konsumsi hewan dan manusia. Ini juga akan mempengaruhi kehidupan akuatik karena organisme yang hidup di badan air ini akan menemukan habitatnya dapat dihuni.

5. Ekosistem dan Biodiversitas

Tanah merupakan habitat penting bagi organisme maupun mikroorganisme. Pencemaran tanah dapat menyebabkan kurangnya keanekaragaman hayati dalam suatu ekosistem. Kehidupan segala organisme hidup dapat berpengaruh ketika lingkungan tanah tercemar.

Daftar Pustaka

- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W., Brussaard, L. 2018. Soil quality-A critical review. *Soil BiologyBiochem.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Gallego, J.L.R., Antonia, M., Antón, L., Martínez, D., Rosa, D., Valdés, E.R., González, N.G., Rodríguez, E., Rosa, M., Tarazona, M. 2019. Assessment of mercury pollution sources in beach sand and coastal soil by speciation analysis. *Environ. Sci. Eur.* <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0264-3>
- G. Li, G.-X. Sun, Y. Ren, X.-S. Luo, Y.-G. Zhu. 2018. Urban soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science* <https://doi.org/10.1111/ejss.12518>
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. and Pennock, D. 2018. *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome:FAO.
- Shaddick, G., Ranzi, A., Thomas, M.L., Aguirre-Perez, R., Dunbar, M.B.N., Parmagnani, F., Martuzzi, M., 2018. Towards an assessment of the health impact of industrially contaminated sites: Waste landfills in Europe. *Epidemiol. Prev.* 42, 69-75. <https://doi.org/10.19191/EP18.5-6.S1.P069.089>

PENCEMARAN DI LINGKUNGAN BIOSFER

Pratika Desy Anggraeni

A. Pendahuluan

Sebagian besar aktivitas manusia menyumbang penurunan kualitas lingkungan yang disebut pencemaran (Ukaogo, Ewuzie *and* Onwuka, 2020). Aktivitas seperti membuang sampah di sungai atau hal kecil seperti membuang bungkus permen sembarangan ini akan menyebabkan pencemaran. Seiring berjalannya waktu, apabila aktivitas-aktivitas tersebut terjadi secara terus-menerus akan membahayakan kehidupan manusia di Bumi (Border, 2017).

Pencemaran lingkungan akan berdampak pada kesehatan makhluk hidup di sekitarnya, bahkan kematian. Berdasarkan data yang diperoleh World Health Organization (WHO), tahun 2019 di Afrika polusi udara berhasil membunuh 4,5 juta jiwa. Perbandingan ini meningkat dari tahun 2015, yang mana 4,2 juta jiwa meninggal karena polusi udara, dan pada tahun 2000 sebanyak 2,9 juta jiwa meninggal (Fuller, *et al.*, 2022). Berdasarkan hal tersebut, maka perlu kita ketahui terkait pengertian, jenis, penyebab, dan dampak dari pencemaran di Bumi, tempat tinggal kita ini.

B. Pengertian Pencemaran

Menurut Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pencemaran adalah komponen hidup maupun tak hidup yang dimasukkan atau masuk ke dalam lingkungan akibat aktivitas manusia sehingga mempengaruhi baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan (UUD RI, 2009). National Geographic mendeskripsikan pencemaran yakni masuknya bahan berbahaya ke dalam lingkungan. Bahan berbahaya tersebut dikenal sebagai polutan (National Geographic, 2023). Menurut (Manisalidis, *et al.*, 2020) pencemaran diartikan sebagai masuknya komponen berbahaya bagi manusia dan organisme hidup lainnya ke dalam lingkungan. Oleh karenanya, dapat disimpulkan bahwa pencemaran merupakan masuknya komponen yang bersifat racun ke dalam lingkungan, sehingga membahayakan komponen hidup di dalamnya.

Penyebab pencemaran lingkungan di antaranya aktivitas industrialisasi, adanya wilayah perkotaan, pertumbuhan populasi, eksplorasi, dan pertambangan. Selain itu, pencemaran juga disebabkan karena pergerakan lintas batas polutan dari negara maju ke negara berkembang dan sebaliknya (Ukaogo, Ewuzie *and* Onwuka, 2020). Oleh karena penyebab pencemaran merupakan komponen-komponen beracun, jelaslah akan menyebabkan gangguan kesehatan hingga kematian bagi makhluk hidup di lingkungan tersebut.

C. Pencemaran di Lingkungan Biosfer

Terdapat berbagai jenis pencemaran yang merusak lingkungan biosfer, utamanya antara lain pencemaran udara, pencemaran air, pencemaran tanah (Ukaogo, Ewuzie *and* Onwuka, 2020).

1. Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan lepasnya komponen kimia yang bersifat racun ke atmosfer serta berada pada konsentrasi yang dapat membahayakan komponen lain di dalamnya. Jenis pencemaran ini menyebabkan penurunan kualitas kehidupan di bumi

melalui pemanasan global dan penipisan lapisan ozon. Gas-gas polutan yang berperan dalam pencemaran udara di antaranya SO_2 , NO, NO_2 , VOCs, dan CO. Sumber polutan tersebut berasal dari limbah rumah tangga, industri, dan transportasi (Ukaogo, Ewuzie and Onwuka, 2020).



Gambar 7.1. Sumber Pencemaran Udara
(Sumber : www.health.harvard.edu)

Berdasarkan data dari World Health Organization (2023), setiap tahun terdapat 3.2 juta orang yang meninggal secara premature akibat pencemaran udara dari limbah rumah tangga. Paparan polutan dalam jangka waktu berkepanjangan dapat mengakibatkan infeksi saluran napas, memperburuk asthma, bronchitis, penurunan fungsi paru-paru kronis, penyakit jantung iskemik, stroke, kanker paru-paru, dan kematian secara premature (World Health Organization, 2019). Selain berdampak pada kesehatan, pencemaran udara juga berimbas pada lingkungan sendiri. Polutan SO_2 dan NO_x dapat menyebabkan hujan asam. Hujan asam dikarenakan emisi SO_2 dan NO_x larut dalam air yang terdapat di atmosfer serta memproduksi asam pada air hujan (Sivaramanan, 2015). Hujan asam akan menurunkan kualitas tanah

juga pencucian nutrisi dari lapisan tanah bagian atas, tengah, dan bawah. Hujan asam juga menyebabkan penyakit, seperti gangguan pernapasan, sakit kepala, kerusakan otak, dan kerusakan ginjal (Sonwani, *et al.*, 2020).

Cara meminimalisir polusi udara menurut Sofia, *et al.*, (2020) dapat dilakukan melalui hal-hal berikut:

- a. Mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dan beralih ke transportasi umum serta penggunaan sepeda dan berjalan kaki jika bepergian jarak dekat.
- b. Menggunakan energi ramah lingkungan. Pemanfaatan *green roof technologies* dapat membantu mengurangi temperature luar ruangan dan meningkatkan rasa dingin pada ruangan.
- c. Ammonia (NH_3) yang merupakan limbah pertanian dapat ditanggulangi melalui peningkatan efisiensi budidaya ternak, pengoptimalan pengelolaan pupuk, pengurangan penggunaan bahan bakar fosil, dan mengurangi produksi dan konsumsi makanan hewani.
- d. Penanaman vegetasi pinggir jalan. Vegetasi perkotaan berimbas positif bagi ekosistem, karena membantu menyaring bahan partikulat udara serta menyediakan lahan public yang permai serta mengurangi konsekuensi banjir.

2. Pencemaran Air

Pencemaran air diakibatkan faktor manusia dan faktor alamiah. Sumber air bawah tanah memungkinkan memiliki bijih alami yang mengandung logam beracun. Logam beracun ini akan larut ke badan air sehingga menyebabkan pencemaran. Formasi geologi dari lokasi yang berbeda secara besar berkontribusi pada komposisi elemen badan air, dan hal ini dapat meningkatkan konsentrasi unsur-unsur penyebab pencemaran air (Ukaogo, Ewuzie and Onwuka, 2020).



Gambar 7.2. Pencemaran Air
(Sumber: www.youtube.com)

Selain karena faktor alam, polusi udara juga dihasilkan dari pembuangan padatan bahan organik yang mengonsumsi oksigen. Utamanya dari selokan perkotaan yang tidak terawat dan perairan industri, yang mana polutan tersebut akan menyebar. Polutan tersebut meliputi bahan kimia berbahaya dan logam seperti merkuri, seng, timah, dan kadmium (Al-Taai, 2021).

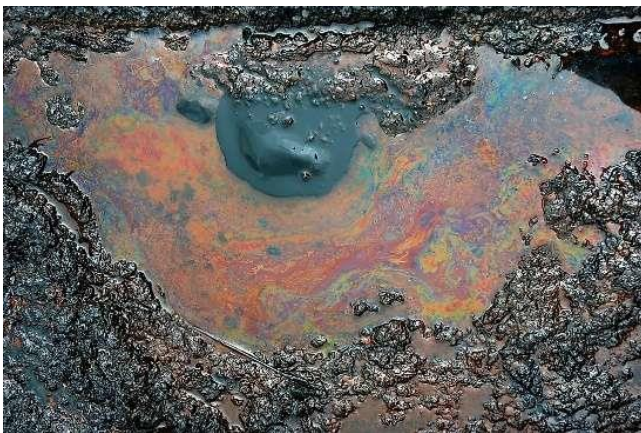
Polutan-polutan tersebut masuk ke badan air melalui berbagai perantara, namun dominan karena faktor manusia. Hal ini menjadi titik fokus terbesar pada lingkungan, karena berbagai kerusakan akan ditimbulkan pada lingkungan. Logam berat sebagai salah satu polutan air akan menyebabkan kerusakan membrane sel pada tumbuhan, mengurangi tingkat fotosintesis dan mempengaruhi reproduksi tanaman melalui pengurangan serbuk sari dan viabilitas biji. Pada manusia dan hewan menyebabkan iritasi mata dan kulit, pusing sampai disfungsi organ seperti sirosis, nekrosis, tekanan darah rendah, hipertensi, dan gangguan pencernaan (Adejumoke, *et al.*, 2018).

Pencemaran air dapat diminimalisir dengan mengaplikasikan langkah 3R (*Reuse, Reduce, Recycle*) mengaktifkan filter lumpur bio aktif, mengaktifkan lahan basah (dapat pula digunakan pada

limpasan perkotaan), pengolahan air limbah industri seperti penyaringan ultra, *bio filter*, flotasi udara terlarut (DAF), pengolahan karbon aktif bubuk, system pemulihan uap, dan fitoremediasi (Owa, 2013). Cara lain menangani pencemaran air melalui “prinsip membayar bagi pencemar” atau denda. Artinya, siapapun yang menyebabkan pencemaran harus membayar untuk membersihkannya. Pencemar yang membayar dapat melakukan melalui berbagai cara. Contohnya, jika membuang tumpahan minyak ke lingkungan akuatik, maka pemilik tangka harus mengambil asuransi untuk menanggung biaya pembersihan tumpahan minyak (Woodford, 2022).

3. Pencemaran Tanah

Perubahan kimia dan fisik pada komposisi tanah disebabkan oleh masuknya benda asing (Al-taai, 2021), yang disebut sebagai polutan tanah. Pencemaran tanah merupakan proses degradasi kimia yang menyita kesuburan tanah, yang mana hal ini akan berimplikasi pada keamanan pangan global dan kesehatan manusia (UNEP, 2021). Oleh karena itu, pencemaran tanah menjadi hal yang semakin dipandang prihatin oleh masyarakat (Balseiro-romero and Baveye, 2018).



Gambar 7.3. Pencemaran Tanah Akibat Tumpahan Minyak
(Sumber: www.worldatlas.com)

Sumber pencemaran tanah yakni lokasi pertanian yang berupa: 1) Pestisida; 2) pupuk kimia; 3) pupuk organik (kotoran ternak dan lumpur limbah); 4) air limbah untuk irigasi; 5) bahan plastik seperti film untuk *greenhouse* dan system irigasi tetes; dan 6) limbah perkampungan (UNEP, 2021). Sumber lain berasal dari limbah industri. Limbah industri dibedakan menjadi dua jenis, yakni *biodegradable* dan *non-biodegradable*. Limbah industri *biodegradable* dapat dikonversikan ke dalam substansi tidak beracun melalui bantuan mikroba tertentu. Jenis limbah ini tidak membahayakan alam, dan tidak butuh perhatian ekstra. Limbah *non-biodegradable* merupakan limbah industri yang tidak dapat didegradasi dalam kimia non-toksik. Polutan jenis ini bersifat berbahaya bagi organisme hidup dan lingkungan. Logam berat pencemar tanah akan mengganggu rantai makanan dan berdampak negative pada kesehatan manusia (Grover, 2023).

Cara meminimalisir pencemaran tanah dapat dilakukan melalui 3R (*Reduce, Reuse, dan Recycle*), *recovery* perlu dilakukan pada instalasi pengelolaan limbah (Grover, 2023). Hal lain yang dapat dilakukan ialah melalui bioremediasi. Bioremediasi merupakan salah satu teknologi yang efektif memperbaiki tanah yang tercemar pestisida. Pemilihan bioremediasi ini juga dipilih karena murah (Susanto, 2001).

Daftar Pustaka

- Adejumoke, I.A. *et al.* 2018. 'Water Pollution: Effects, Prevention, and Climatic Impact', in *Water Challenges of an Urbanizing World*. England: INTECH OPEN SCIENCE, pp. 35–36. Available at: <https://doi.org/10.5772/intechopen.72018>.
- Al-taai, S.H.H. 2021. 'Soil Pollution - Causes and Effects', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/790/1/012009>.
- Al-Taai, S.H.H. 2021. 'Water pollution Its causes and effects', *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 790. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/790/1/012026>.
- Balseiro-romero, M. and Baveye, P.C. 2018. 'Book Review : Soil Pollution : A Hidden Danger Beneath our Feet', *Frontiers in Environmental Science*, 6, pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00130>.
- Border, R. 2017. *Pollution*. English: Oxford University Press.
- Fuller, R. *et al.* 2022. 'Pollution and health: a progress update', *The Lancet Planetary Health*, 6(6), pp. e535–e547. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0).
- Grover, N. 2023. *Industrial Wastes*. Available at: <https://prepp.in/news/e-492-industrial-wastes-sources-of-soil-pollution-environment-notes>.
- Manisalidis, I. *et al.* 2020. 'Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review', *Frontiers in Public Health*, 8, pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>.
- National Geographic. 2023. *Pollution*. Available at: <https://education.nationalgeographic.org/resource/pollution/> (Accessed: 30 June 2023).
- Owa, F.D. 2013. 'Water Pollution : Sources , Effects , Control and Management', *Medierranean Journal of Social Sciences*, 4(8), pp. 65–68. Available at: <https://doi.org/10.5901/mjss.2013.v4n8p65>.

- Sivaramanan, S. 2015. 'ACID RAIN , CAUSES , EFFECTS AND CONTROL STRATEGIES', *Central Environmental Authority*, pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1321.4240/1>.
- Sofia, D. *et al.* 2020. 'Mitigation strategies for reducing air pollution', *Environmental Science and Pollution Research*, 27, pp. 19226–19235.
- Sonwani, S. *et al.* 2020. 'ACID RAIN AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS : A REVIEW', *Environmental Challenges, Policies and Green Technology*, pp. 37–48.
- Susanto, R. 2001. 'Pencemaran Tanah dan Air Tanah Oleh Pestisida dan Cara Menanggulangnya', *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 7(1), pp. 9–15.
- Ukaogo, P.O., Ewuzie, U. and Onwuka, C. V. 2020. *Environmental pollution: Causes, effects, and the remedies, Microorganisms for Sustainable Environment and Health*. INC. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>.
- UNEP. 2021. *Global Assessment of Soil Pollution*. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/global-assessment-soil-pollution>.
- UUD RI. 2009. *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Undang-Undang Republik Indonesia*. Available at: <http://downloads.esri.com/archydro/archydro/Doc/Overview of Arc Hydro terrain preprocessing workflows.pdf> <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.003> <http://sites.tufts.edu/gis/files/2013/11/Watershed-and-Drainage-Delineation-by-Pour-Point.pdf>.
- Woodford, C. 2022. *Water Pollution, EXPLAINTHATSTUFF!* Available at: <https://www.explainthatstuff.com/waterpollution.html> (Accessed: 13 July 2023).
- World Health Organization. 2019. *What is Air Pollution?*
- World Health Organization. 2023. *Air Quality and Health*. Available at: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants> (Accessed: 12 July 2023).

DAMPAK TEMPERATURE TERHADAP KESEHATAN

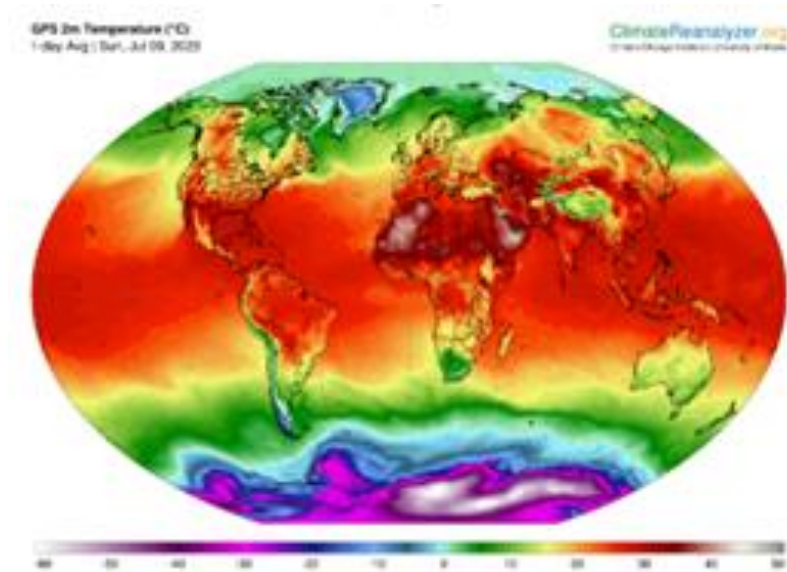
Krisdianto

A. Pendahuluan

Sengatan panas (*heat stroke*), memahami bahwa kondisi ini dapat sangat mempengaruhi kesehatan manusia karena suhu tinggi, sengatan panas adalah kondisi medis yang terjadi akibat paparan suhu tinggi dalam waktu lama, sehingga tubuh tidak dapat mengontrol panas secara efektif mengatur suhu tubuh. Sengatan panas dapat menyebabkan kerusakan organ dan dapat mengancam jiwa. Dalam beberapa tahun terakhir, peningkatan prevalensi sengatan panas terkait dengan perubahan iklim global dan peningkatan aktivitas fisik di lingkungan yang panas (Epstein, Yanovich, & Moran, 2015). Oleh karena itu, penelitian tentang patofisiologi, pencegahan dan pengobatan sengatan panas menjadi semakin penting, yang didukung oleh tuntutan situasi perubahan iklim global.

Artikel ini memberikan pemahaman yang komprehensif tentang sengatan panas, termasuk definisi, faktor risiko, gejala, perbedaan dari *heat exhaustion*, tingkat keparahan, patofisiologi, pencegahan, penatalaksanaan, dan pengobatan. Dengan pemahaman yang benar

tentang sengatan panas, diharapkan dapat mengedukasi masyarakat, petugas kesehatan dan individu untuk mengenali, mencegah dan menangani kondisi ini dengan tepat, terutama di saat perubahan iklim global, yang ditandai dengan peningkatan suhu udara di permukaan bumi terus meningkat, seperti terlihat pada gambar berikut ini:



Gambar 8.1. Distribusi Suhu Udara di Permukaan Bumi (Climate Reanalyzer, University of Myne, 2023)

Pembahasan ini merangkum beberapa aspek yang terkait dengan sengatan panas, mulai dari faktor risiko yang dapat meningkatkan kerentanan seseorang terhadap sengatan panas, gejala yang mungkin terjadi, perbedaannya dibandingkan dengan *heat exhaustion* (kelelahan ekstrim karena terdedah suhu tinggi), tingkat keparahan yang dapat mempengaruhi prognosis, dan patofisiologi yang melibatkan kondisi tubuh, mekanisme respon terhadap suhu dan efeknya pada sistem saraf dan organ. Selain itu, artikel ini juga akan membahas strategi pencegahan terkait suhu lingkungan, peran individu dalam menjaga kesehatan saat terpapar suhu tinggi,

mengedukasi masyarakat tentang heatstroke, paparan sinar matahari, pentingnya hidrasi dan pemulihan suhu tubuh, serta peran pakaian dan perlindungan termal. Terakhir, artikel ini akan membahas pengobatan dan langkah penanganan yang harus dilakukan jika terjadi sengatan panas, serta pentingnya tindak lanjut pasca pengobatan.

Metode penelitian ini adalah studi kepustakaan yang mencakup pencarian referensi yang relevan dan ilmiah. Penulis menggunakan database akademik, jurnal medis dan lingkungan, serta publikasi terkait untuk mengumpulkan informasi akurat dan terpercaya tentang serangan panas. Referensi yang dipilih adalah artikel yang diterbitkan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir agar naskah ini selalu *update*.

Sengatan panas adalah kondisi serius yang terjadi ketika suhu tubuh seseorang meningkat secara tiba-tiba dan mereka tidak dapat lagi mengatur suhu tubuhnya secara efektif. Menurut American College of Sports Medicine (ACSM), sengatan panas adalah keadaan darurat medis yang terjadi ketika suhu tubuh seseorang mencapai 40 derajat Celcius atau lebih tinggi, yang dapat menyebabkan kerusakan organ penting yang serius. Heatstroke sering disebabkan oleh paparan suhu lingkungan yang ekstrim dalam waktu lama dan dikombinasikan dengan kelelahan atau dehidrasi (Bouchama, Knochel dan Roberts, 2002).

Argumen ilmiah yang kuat untuk mendefinisikan heatstroke didasarkan pada berbagai temuan penelitian dan pendapat ahli. Penelitian oleh Casa, *et al.*, (2015) menemukan bahwa *heat stroke* adalah bentuk sengatan panas yang paling parah dan dapat menjadi penyebab utama kematian yang dapat dicegah, dapat terjadi selama aktivitas fisik yang intens dan cuaca panas. Definisi ini juga didukung oleh National Institutes of Occupational Safety and Health (NIOSH) yang menjelaskan bahwa sengatan panas terjadi ketika suhu tubuh seseorang meningkat secara tiba-tiba.

Ada sejumlah faktor risiko yang dapat meningkatkan kemungkinan seseorang terkena sengatan panas. Salah satu faktor risiko utama adalah paparan suhu lingkungan yang ekstrem. Penelitian

Bouchama dan Knochel (2002) menunjukkan bahwa suhu lingkungan yang tinggi, terutama di atas 40 derajat Celcius, dapat mengganggu termoregulasi tubuh manusia sehingga meningkatkan risiko *heatstroke*.

Selain itu, faktor risiko lain termasuk kelelahan fisik, aktivitas fisik yang intens, kurang olahraga rutin, dehidrasi, memiliki kondisi kronis seperti diabetes atau penyakit jantung, penggunaan obat-obatan tertentu mempengaruhi kemampuan tubuh untuk mengatur suhu dan faktor individu seperti ketergantungan, usia lanjut, kondisi medis, atau kondisi medis tertentu.

Contoh konkrit yang memperkuat argumen ini adalah studi Armstrong, *et al.*, (2007) telah menunjukkan bahwa orang yang melakukan aktivitas fisik yang intens dalam cuaca panas tanpa istirahat dan hidrasi yang cukup memiliki risiko *heatstroke* yang lebih tinggi. Studi ini juga menyoroti pentingnya faktor-faktor risiko ini dalam mempengaruhi kejadian *heatstroke* pada populasi yang rentan.

Menurut Epstein, Yanovich & Heled (2016), gejala *heatstroke* dapat bervariasi, namun gejala umum yang sering muncul antara lain peningkatan suhu tubuh yang signifikan, ketidakmampuan tubuh untuk mengeluarkan keringat secara efisien, perubahan perilaku seperti kebingungan, kelelahan, pusing, mual atau muntah, kulit memerah dan panas, detak jantung cepat dan berdebar, kesadaran menurun atau hilang.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan korelasi yang kuat antara gejala ini dan sengatan panas. Misalnya, sebuah studi oleh Armstrong, *et al.*, (2019) menemukan bahwa peningkatan suhu tubuh yang signifikan dan ketidakmampuan untuk berkeringat secara efektif merupakan tanda awal *heatstroke* yang dapat mendukung diagnosis dini. Studi lain oleh Bouchama dan Knochel (2015) juga mencatat perubahan perilaku, seperti kebingungan dan kelelahan ekstrim, yang sering terjadi pada penderita *heatstroke*. Penting untuk dicatat bahwa gejala sengatan panas dapat bervariasi tergantung pada tingkat keparahan penyakitnya. Pada tingkat yang lebih rendah, seseorang mungkin mengalami kelelahan akibat panas, yang ditandai dengan

gejala seperti lemas, pusing, kulit lembab, dan mual. Namun, pada tingkat yang lebih parah, sengatan panas dapat terjadi dengan berbagai gejala yang berbahaya dan mengancam jiwa.

Menurut Kielblock, & Beutler, A. I. (2017), pendidikan dan kesadaran masyarakat tentang sengatan panas berperan penting dalam pencegahan. Melalui pendidikan dan kampanye kesadaran masyarakat, masyarakat dapat mempelajari lebih lanjut tentang tanda dan gejala sengatan panas, serta tindakan pencegahan yang harus dilakukan. Program seperti penjangkauan tempat kerja, sekolah dan masyarakat dapat memberikan informasi penting tentang pencegahan dan tanggapan yang tepat terhadap situasi suhu tinggi.

B. Perbedaan antara Sengatan Panas dan Kelelahan Akibat Panas

Penting untuk memahami perbedaan antara *heatstroke* dan *heat exhaustion* karena penanganan dan tindakan yang diperlukan bisa berbeda-beda. Kelelahan karena panas adalah kondisi yang tidak terlalu serius dibandingkan sengatan panas, tetapi jika tidak ditangani dengan benar, dapat berkembang menjadi sengatan panas.

Kelelahan panas ditandai dengan gejala seperti kelelahan, lemas, pusing, mual, muntah, kulit lembab, dan detak jantung yang cepat. Sedangkan *heat stroke* ditandai dengan gejala seperti peningkatan suhu tubuh yang signifikan, hilangnya kemampuan tubuh untuk berkeringat secara efektif, perubahan perilaku seperti kebingungan, kulit kemerahan dan panas, penurunan atau hilangnya kesadaran.

Argumen ilmiah yang mendukung perbedaan antara sengatan panas dan *heat exhaustion* didasarkan pada temuan penelitian dan pendapat ahli. Sebagai contoh, sebuah studi oleh Casa, *et al.*, (2015) mengemukakan bahwa *heat exhaustion* merupakan tahap awal dari *heat stroke* dan dapat diatasi dengan cepat dengan tindakan manajemen yang tepat. Studi ini juga menyoroti bahwa serangan panas adalah kondisi yang lebih serius dan dapat mengancam jiwa jika tidak segera ditangani.

C. Tingkat Keparahan Sengatan Panas

Heatstroke dapat terjadi dalam berbagai tingkat keparahan, yang dapat memengaruhi prognosis dan kebutuhan akan intervensi medis yang mendesak. Ada tiga tingkat keparahan *heatstroke* yang umum diketahui, yaitu ringan, sedang, dan berat.

Dalam kasus sengatan panas ringan, seseorang mungkin mengalami gejala seperti kebingungan ringan, kelelahan, pusing, kulit memerah dan panas. Pada level ini, intervensi seperti pindah ke lokasi yang lebih dingin, mengganti cairan tubuh yang hilang, dan istirahat yang cukup mungkin cukup untuk pemulihan.

Pada sengatan panas sedang, gejala memburuk saat suhu tubuh meningkat secara signifikan, dan perubahan perilaku lebih terasa, seperti kebingungan yang lebih parah, mual dan muntah yang terus-menerus. Sejauh ini, tindakan medis segera mungkin diperlukan, seperti menurunkan suhu tubuh melalui pendinginan eksternal dan cairan infus (Gaudio & Grissom, 2016).

Dengan sengatan panas yang parah, penyakitnya menjadi sangat serius dan mengancam jiwa. Gejalanya meliputi peningkatan suhu tubuh, pingsan atau kehilangan kesadaran, detak jantung tidak teratur, dan gangguan organ sistemik yang serius. Perawatan medis yang mendesak, termasuk unit perawatan intensif (ICU), penilaian fungsi organ, dan tindakan perawatan yang lebih agresif, diperlukan untuk menyelamatkan nyawa pasien.

Menurut hasil studi Bouchama, Knochel dan Robert (2015), tingkat keparahan heat stroke ditentukan oleh suhu inti tubuh dan banyak parameter klinis lainnya, seperti kondisi mental, gangguan kardiovaskular bingung, dan urgensi sistemik. Studi ini menyoroti perlunya pengenalan cepat dan penilaian keparahan serangan panas untuk memastikan intervensi yang tepat diterapkan berdasarkan kondisi pasien.

Pada artikel kali ini, kami akan membahas pengertian heat shock berdasarkan argumentasi ilmiah dan temuan penelitian terbaru. Faktor risiko sengatan panas telah dideskripsikan melalui konsultasi dengan pakar dan studi terkait. Gejala sengatan panas telah dijelaskan

dengan penekanan pada temuan penelitian dan pendapat ahli untuk pemahaman yang komprehensif tentang kondisi tersebut. Perbedaan antara sengatan panas dan heat exhaustion telah dijelaskan dengan dukungan argumentasi ilmiah. Selain itu, tingkat keparahan sengatan panas telah dijelaskan dengan penelitian dan pendapat ahli yang membantu memahami klasifikasi dan pengobatan yang tepat.

Dengan pemahaman yang mendalam tentang definisi, faktor risiko, gejala, perbedaan dan tingkat keparahan *heatstroke*, kami berharap dapat meningkatkan kesadaran akan bahaya *heatstroke* dan memiliki tindakan yang tepat untuk mencegah dan mengobati kondisi ini secara efektif (Grundstein, *et al.*, 2020)

D. Definisi Sengatan Panas

Heatstroke adalah kondisi serius dan mengancam jiwa, dan dapat terjadi ketika suhu tubuh seseorang meningkat secara signifikan di atas normal, biasanya di atas 40 derajat Celcius, akibat paparan suhu lingkungan yang sangat tinggi atau akumulasi panas yang berlebihan di dalam tubuh. *Heatstroke* terjadi ketika mekanisme pengatur suhu tubuh gagal dan tubuh tidak lagi mampu membuang panas secara efektif. Ini dapat menyebabkan kerusakan organ yang serius dan gangguan sistemik.

E. Faktor Risiko Sengatan Panas

Beberapa faktor risiko yang dapat meningkatkan kemungkinan seseorang terkena sengatan panas adalah paparan suhu tinggi, aktivitas fisik yang berat, kelelahan dan dehidrasi, penyakit kronis, usia lanjut dan anak-anak, serta penggunaan obat-obatan tertentu. Paparan suhu lingkungan yang tinggi, terutama dalam jangka waktu yang lama, meningkatkan risiko sengatan panas. Aktivitas fisik atau aktivitas fisik yang berat dalam cuaca panas meningkatkan risiko sengatan panas. Kelelahan yang berlebihan dan dehidrasi dapat mengganggu kemampuan tubuh untuk mengatur suhu dan meningkatkan risiko sengatan panas. Orang dengan kondisi medis kronis, seperti penyakit jantung, penyakit paru-paru, diabetes, atau obesitas, berisiko lebih

tinggi terkena sengatan panas. Bayi, anak-anak, dan orang lanjut usia lebih rentan terkena sengatan panas karena sistem pengatur suhu tubuh belum sepenuhnya berkembang atau terganggu. Penggunaan obat-obatan tertentu, seperti diuretik, antihistamin, atau beta blocker, dapat meningkatkan risiko *heatstroke* dengan mengganggu mekanisme pengaturan suhu tubuh (Sêgala, 2018).

F. Gejala Sengatan Panas

Sangat penting untuk segera mengobati sengatan panas karena kondisinya dapat mengancam jiwa. Perawatan medis darurat meliputi perawatan untuk segera menurunkan suhu tubuh, seperti penggunaan pendingin tubuh, ventilasi mekanis, dan cairan infus untuk mengatasi dehidrasi.

Gejala umum yang harus diwaspadai antara lain suhu tubuh sangat tinggi (di atas 40 derajat Celsius), kulit memerah, panas dan kering, sakit kepala, pingsan atau kebingungan, detak jantung cepat dan keras, pernapasan cepat dan dangkal, mual dan muntah, kelelahan dan kelemahan yang parah, kejang atau gangguan kesadaran, ketidakmampuan berkeringat meskipun suhu tinggi. Heatstroke dapat memiliki gejala serius dan memerlukan perhatian dan tindakan medis segera.

G. Perbedaan antara Sengatan Panas dan Heat Exhaustion

Perbedaan *heatstroke* dan *heat exhaustion* terletak pada tingkat keparahan kondisinya. Kelelahan panas adalah kondisi yang kurang serius dibandingkan sengatan panas. Selama *heat exhaustion*, tubuh masih dapat mengatur suhu tubuh secara efektif, meskipun mengalami kelelahan dan dehidrasi. Gejala kelelahan panas termasuk kulit basah, pucat, pusing, mual, kelelahan, dan detak jantung yang cepat. Kelelahan karena panas dapat berubah menjadi sengatan panas jika tidak ditangani dengan benar. Heatstroke, di sisi lain, adalah kondisi yang lebih serius dan mengancam jiwa. Selama serangan panas, tubuh tidak lagi mampu mengatur suhu tubuh secara efektif, sehingga suhu tubuh naik secara tiba-tiba. Gejala sengatan panas meliputi suhu tubuh

yang sangat tinggi, kulit merah, panas, kering, kebingungan, kejang, dan kehilangan kesadaran. *Heatstroke* membutuhkan perhatian medis segera dan dapat menyebabkan kerusakan organ dan komplikasi serius jika tidak ditangani dengan cepat.

H. Tingkat Keparahan Sengatan Panas

Heatstroke adalah kondisi serius yang dapat diklasifikasikan menjadi tiga tingkat keparahan berdasarkan gejala yang ada dan pengobatan yang dibutuhkan. Pada kasus ringan, pasien mungkin mengalami gejala seperti kelelahan, pusing, dan dehidrasi. Untuk mengatasi kondisi ini, diperlukan istirahat yang cukup, sambil mengonsumsi cairan elektrolit dan pendingin. Namun, rata-rata, gejala yang lebih serius dapat terjadi, termasuk kebingungan, muntah, dan gangguan kesadaran ringan. Sejauh ini, perhatian medis segera diperlukan untuk menurunkan suhu tubuh yang tinggi dan mengatasi dehidrasi yang sedang berlangsung. Perawatan tepat waktu dan tepat penting untuk menghindari kemungkinan komplikasi serius. Yang paling serius adalah sengatan panas yang parah, yang merupakan kondisi darurat dan mengancam jiwa. Pada tingkat ini, orang tersebut mungkin mengalami gejala yang sangat parah seperti kejang-kejang, kehilangan kesadaran, dan detak jantung yang tidak teratur. Perawatan medis segera dan agresif diperlukan untuk menurunkan suhu tubuh dengan cepat dan menstabilkan kondisi pasien.

Ingatlah bahwa sengatan panas harus diperlakukan sebagai keadaan darurat medis yang serius. Pengenalan dini gejala dan pengobatan yang tepat penting untuk mencegah komplikasi serius dan mengurangi risiko kematian. Oleh karena itu, jika Anda atau orang di sekitar Anda melihat atau merasakan ada gejala *heatstroke*, segeralah berikan informasi yang jelas mengenai kondisi tersebut dan cari pertolongan medis.

Mengingat parahnya sengatan panas, pencegahan adalah tindakan terbaik yang dapat diambil. Menghindari paparan langsung terhadap panas dan kelembapan yang tinggi, tetap terhidrasi, mengenakan pakaian yang sesuai, dan cukup istirahat selama aktivitas

fisik di bawah sinar matahari merupakan langkah penting untuk mencegah sengatan panas (Armstrong, *et.al.*, 2020). Menyadari risiko sengatan panas dan mengambil tindakan pencegahan yang tepat dapat membantu kita tetap sehat dan aman dalam kondisi panas ekstrem.

I. Perbedaan antara Sengatan Panas dan Kelelahan Akibat Panas

Perbedaan *heatstroke* dan *heat exhaustion* terletak pada tingkat keparahan kondisinya. Kelelahan panas adalah kondisi yang kurang serius dibandingkan sengatan panas. Selama *heat exhaustion*, tubuh masih dapat mengatur suhu tubuh secara efektif, meskipun mengalami kelelahan dan dehidrasi. Gejala kelelahan panas termasuk kulit basah, pucat, pusing, mual, kelelahan, dan detak jantung yang cepat. Kelelahan akibat panas dapat berubah menjadi sengatan panas jika tidak ditangani dengan benar. *Heatstroke*, di sisi lain, adalah kondisi yang lebih serius dan mengancam jiwa. Selama *heatstroke*, tubuh tidak lagi mampu mengatur suhu tubuh secara efektif, sehingga suhu tubuh naik secara tiba-tiba. Gejala sengatan panas meliputi suhu tubuh yang sangat tinggi, kulit merah, panas, kering, kebingungan, kejang, dan kehilangan kesadaran. *Heatstroke* membutuhkan perhatian medis segera dan dapat menyebabkan kerusakan organ dan komplikasi serius jika tidak ditangani dengan cepat.

J. Tingkat Keparahan Sengatan Panas

Heatstroke adalah kondisi serius yang dapat diklasifikasikan menjadi tiga tingkat keparahan berdasarkan gejala yang ada dan pengobatan yang dibutuhkan. Pada kasus ringan, pasien mungkin mengalami gejala seperti kelelahan, pusing, dan dehidrasi. Untuk memperbaiki kondisi ini, Anda perlu istirahat yang cukup, sekaligus mengonsumsi elektrolit dan cairan pendingin. Namun, rata-rata, gejala yang lebih serius dapat terjadi, termasuk kebingungan, muntah, dan gangguan kesadaran ringan. Hingga saat ini, perhatian medis segera diperlukan untuk menurunkan suhu tubuh yang tinggi dan mengatasi dehidrasi yang sedang berlangsung. Perawatan tepat waktu dan tepat penting

untuk menghindari kemungkinan komplikasi serius. Yang paling serius adalah sengatan panas yang parah, yang merupakan keadaan darurat yang mengancam jiwa. Pada tingkat ini, orang tersebut dapat mengalami gejala yang sangat serius seperti kejang, kehilangan kesadaran dan detak jantung yang tidak teratur. Perawatan medis segera dan agresif diperlukan untuk menurunkan suhu tubuh dengan cepat dan menstabilkan kondisi pasien.

Ingatlah bahwa sengatan panas harus diperlakukan sebagai keadaan darurat medis yang serius. Pengenalan dini gejala dan pengobatan yang tepat penting untuk mencegah komplikasi serius dan mengurangi risiko kematian. Oleh karena itu, segera cari pertolongan medis dan berikan informasi yang jelas mengenai kondisi tersebut jika Anda atau orang di sekitar Anda mengalami gejala *heatstroke*.

Mengingat parahnya sengatan panas, pencegahan adalah tindakan terbaik. Menghindari paparan langsung terhadap suhu tinggi dan kelembapan tinggi, tetap terhidrasi, mengenakan pakaian yang sesuai, dan istirahat yang cukup selama aktivitas fisik di bawah sinar matahari merupakan langkah penting untuk mencegah sengatan panas (Armstrong, *et al.*, 2020). Mengenali risiko sengatan panas dan mengambil tindakan pencegahan yang tepat dapat membantu kita tetap sehat dan aman di cuaca panas ekstrem.

K. Peran Suhu Ambien dalam Pencegahan Kejut Termal

Temperatur sekitar yang tinggi merupakan faktor risiko utama terjadinya sengatan panas. Oleh karena itu, memahami suhu lingkungan dan cara mengelolanya sangat penting dalam mencegah sengatan panas. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa suhu lingkungan yang rendah dan kelembapan yang tinggi dapat membantu mengurangi risiko sengatan panas. Penempatan dan penggunaan peralatan AC, ventilasi yang baik, dan penghindaran sinar matahari langsung dapat membantu menjaga suhu ruangan lebih aman.

L. Strategi untuk Mencegah Sengatan Panas pada Individu

Selain suhu sekitar, ada strategi pencegahan yang dapat diterapkan individu untuk mengurangi risiko sengatan panas. Penting untuk memperhatikan aktivitas fisik saat terpapar suhu tinggi dan menghindari aktivitas intens saat suhu di luar maksimal. Merencanakan aktivitas di pagi atau sore hari, saat suhu cenderung lebih rendah, dapat membantu mengurangi risiko sengatan panas. Selain itu, mengenakan pakaian yang sesuai, seperti pakaian yang ringan dan dapat bernapas, serta helm, dapat membantu menjaga kestabilan suhu tubuh.

M. Pentingnya Rehidrasi dan Pemulihan Suhu Tubuh, Peran Pakaian dan Pelindung Panas

Tetap terhidrasi dan memulihkan suhu tubuh setelah terpapar panas merupakan langkah penting dalam mencegah sengatan panas. Minum cukup cairan, terutama air putih, secara teratur dapat membantu menjaga keseimbangan cairan dalam tubuh dan mencegah dehidrasi. Selain itu, bila terkena suhu tinggi perlu segera mencari tempat berteduh, gunakan tindakan pendinginan seperti mandi air dingin atau kompres dingin, berikan tubuh istirahat agar suhu tubuh pulih dan mengatur suhu bibir sekolah.

Pakaian yang tepat dapat memberikan perlindungan panas yang lebih baik dan membantu mencegah sengatan panas. Pakaian yang ringan, longgar, dan bernapas dapat membantu menjaga sirkulasi udara di sekitar tubuh dan mengurangi penyerapan panas (Proulx & Côté, 2020). Selain itu, penggunaan pelindung matahari, seperti topi atau payung, dapat membantu melindungi kepala dan tubuh dari paparan sinar matahari langsung, sehingga mengurangi risiko sengatan panas.

N. Penanganan dan Penanganan Sengatan Panas

1. Langkah Pertama dalam Penanganan Sengatan Panas

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam pengobatan sengatan panas adalah pengenalan dini dan pengenalan gejala yang

ada. Penting untuk mewaspadaai tanda-tanda sengatan panas, seperti suhu tubuh tinggi, kelelahan ekstrem, pusing, mual, kejang, dan kebingungan. Dengan memahami gejala-gejala ini, kita dapat dengan cepat mengambil tindakan yang tepat untuk menghindari akibat yang serius. Meningkatkan kesadaran tentang sengatan panas melalui pendidikan publik dapat menjadi langkah efektif untuk mencegah kasus yang lebih serius.

Setelah mengenali gejala *heatstroke*, langkah selanjutnya adalah segera memindahkan individu ke tempat yang teduh. Lingkungan yang panas dan terik dapat memperparah sengatan panas. Dengan memindahkan individu ke tempat yang lebih sejuk, seperti ruangan ber-AC atau tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung, kita dapat membantu menurunkan suhu tubuh dan mengurangi resiko cedera, kerusakan organ yang lebih serius. Langkah ini harus segera dilakukan, karena penundaan dapat meningkatkan risiko komplikasi dan memperburuk kondisi pasien.

Sementara itu, suhu ruangan yang nyaman bagi manusia bergantung pada banyak faktor seperti suhu udara, radiasi matahari, kelembapan, kecepatan angin, geografi, dan suasana psikologis mereka. Namun secara umum kenyamanan termal dapat ditinjau dengan temperature efektif sebagai berikut:

Tabel 8.1 Suhu Efektif

No.	Klasifikasi	Suhu efektif (°C)
1	Sejuk Nyaman	20.8 – 22.8
2	Nyaman Optimal	22.8 – 25.8
3	Hangat Nyaman	25.8 – 27.1

(Elbes dan Munawaroh, 2019)

2. Evakuasi dan Pemulihan Pasien Panas

Setelah perawatan awal di tempat, prioritas harus diberikan untuk mengevakuasi korban serangan panas ke fasilitas medis yang sesuai. Evakuasi yang tepat waktu dan tepat memastikan bahwa pasien menerima perawatan tambahan yang diperlukan. Di fasilitas medis, pasien sengatan panas menerima perawatan ekstensif dan

pemantauan intensif. Tim medis yang terlatih memantau dengan cermat kondisi pasien, termasuk suhu tubuh, tekanan darah, detak jantung, dan fungsi organ lain. Pemantauan intensif ini penting untuk mendeteksi perubahan abnormal dan mengobati kemungkinan komplikasi. Menurut O'Connor, *et al.*, (2011), pemulihan sengatan panas adalah proses yang agak memakan waktu yang harus dikelola dengan hati-hati. Setelah fase akut berakhir, periode rehabilitasi penting untuk memungkinkan pasien mendapatkan kembali kekuatan fisik dan kemampuan kognitif yang disebabkan oleh sengatan panas. Fisioterapi memainkan peran sentral dalam rehabilitasi pasien ini. Tujuan dari fisioterapi individu adalah untuk meningkatkan kekuatan otot, mobilitas dan fungsi fisik secara umum. Latihan dan teknik rehabilitasi fisik yang ditargetkan membantu pasien mendapatkan kembali kekuatan dan keseimbangan mereka. Selain fisioterapi, rehabilitasi juga mencakup pemulihan kemampuan kognitif pasien sengatan panas. Terapi ini meliputi latihan kognitif dan terapi wicara untuk meningkatkan daya ingat, pemecahan masalah, keterampilan komunikasi, dan pemahaman bahasa. Pendekatan rehabilitasi yang komprehensif dan terkoordinasi membantu penderita sengatan panas mendapatkan kembali kemampuan kognitif mereka.

Dengan evakuasi yang cepat, perawatan medis yang komprehensif, dan penerapan langkah-langkah rehabilitasi yang tepat, kami dapat memungkinkan pemulihan yang optimal bagi pasien sengatan panas. Kolaborasi antara dokter, pasien dan keluarga sangat penting untuk keberhasilan pemulihan. Dengan pendekatan terpadu yang berfokus pada pemulihan fisik dan kognitif, kami dapat membantu penderita sengatan panas kembali berfungsi optimal dalam kehidupan sehari-hari.

3. Perawatan Medis untuk Serangan Panas

Perawatan medis untuk serangan panas melibatkan berbagai pendekatan untuk merawat kondisi tersebut. Langkah penting adalah mengontrol suhu tubuh pasien menggunakan teknik

pendinginan yang efektif. Teknik ini melibatkan pemberian cairan infus dingin untuk menurunkan suhu tubuh dari dalam dan menggunakan alat pendingin eksternal seperti kompres dingin atau kompres es untuk menurunkan suhu tubuh dari luar. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk menghindari kerusakan organ lebih lanjut dan mempercepat pemulihan pasien.

Dalam pengobatan heatstroke, selain pemeriksaan suhu tubuh, fungsi organ-organ penting juga harus diperiksa. Tanda-tanda vital seperti detak jantung, tekanan darah dan fungsi ginjal harus dipantau secara ketat. Ini penting karena sengatan panas dapat merusak fungsi organ ini secara signifikan. Pemantauan yang cermat membantu mendeteksi perubahan abnormal dan memungkinkan perawatan tepat waktu untuk mencegah kemungkinan komplikasi yang lebih serius.

Selain teknik pendinginan dan pemantauan fungsi organ, pengobatan juga dapat mencakup pemberian obat-obatan. Berbagai obat, seperti obat antiinflamasi nonsteroid dan antioksidan, dapat diberikan untuk mengurangi peradangan akibat serangan panas dan memberikan perlindungan oksidatif. Tujuan pemberian obat ini adalah untuk mengurangi peradangan dan kerusakan sel yang disebabkan oleh penyakit dan mempercepat pemulihan.

Dengan mengombinasikan pendekatan untuk mengontrol suhu tubuh, memantau fungsi organ, dan memberikan pengobatan yang tepat, penatalaksanaan medis sengatan panas dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam memperbaiki kondisi pasien dan mencegah komplikasi yang mengancam jiwa. Perawatan ini harus dilakukan di bawah pengawasan profesional kesehatan yang berpengalaman untuk memastikan keamanan dan efektivitas sengatan panas.

4. Pemantauan Pasien Setelah Sengatan Panas

Tindak lanjut pasien setelah sengatan panas merupakan aspek penting untuk memastikan pemulihan yang optimal dan mencegah potensi komplikasi. Beberapa faktor harus diperhatikan

secara berkala dalam pemantauan ini. Pertama, suhu tubuh pasien harus terus dipantau untuk mendeteksi perubahan suhu yang tidak normal yang dapat mengindikasikan adanya komplikasi atau perburukan kondisi. Selain itu, fungsi organ-organ tubuh terutama jantung, paru-paru, ginjal, dan hati harus diperiksa secara rutin untuk memastikan pemulihan yang optimal dan mendeteksi kemungkinan kerusakan organ.

Selain pemantauan fisik, perkembangan fisik dan kognitif pasien juga harus diperhatikan. Pada tahap awal pemulihan, kemampuan fisik dan kognitif pasien mungkin menurun. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran dan penilaian rutin terhadap keterampilan motorik, kekuatan otot, keseimbangan, dan kemampuan kognitif pasien (Shapiro & Seidman, 2019). Ini membantu mengidentifikasi potensi perubahan dan merencanakan program rehabilitasi yang tepat untuk mengembalikan fungsi fisik dan kognitif pasien secara optimal.

Rehabilitasi menyeluruh juga sangat penting dalam upaya pemulihan jangka panjang. Tujuan fisioterapi, atau terapi fisik, adalah untuk meningkatkan kekuatan otot, mobilitas, dan fungsi tubuh secara keseluruhan. Tujuan terapi okupasi adalah untuk mendukung pasien secara mandiri dalam aktivitas sehari-hari seperti mencuci, berpakaian, atau mengerjakan tugas. Logoterapi, atau terapi wicara, dapat membantu pasien dengan gangguan komunikasi dan memfasilitasi pemulihan dan pemahaman wicara.

Dengan rutin memantau pasien pasca serangan panas dan memberikan rehabilitasi yang komprehensif, diharapkan dapat mencapai pemulihan yang baik dan menjaga kondisi pasien tetap optimal. Ini membantu mencegah kemungkinan komplikasi dan memfasilitasi pasien untuk kembali berfungsi optimal dalam (O'Connor, *et al.*, 2015).

O. Kesimpulan

Berdasarkan naskah ini dapat disimpulkan bahwa sentan panas merupakan penyakit kesehatan yang disebabkan oleh suhu tinggi.

Untuk mencegahnya, kita perlu memahami definisi dan gejalanya, serta faktor risiko yang mempengaruhinya). Penting untuk membedakan antara kelelahan panas dan kelelahan panas dan seberapa seriusnya. Dalam patofisiologi serangan panas, kami mempelajari bagaimana suhu tinggi memengaruhi tubuh dan respons tubuh terhadap suhu tinggi, termasuk efek jangka panjang pada sistem saraf dan organ. Menghindari sengatan panas memerlukan strategi pencegahan yang mencakup suhu lingkungan optimal, strategi individu, pendidikan publik, pentingnya hidrasi dan kehangatan, serta perlindungan melalui pakaian dan penggunaan pelindung panas. Dengan melakukan langkah-langkah ini, kita dapat mengurangi risiko serangan panas dan menciptakan lingkungan yang aman dan nyaman saat suhu tinggi.

Daftar Pustaka

- Armstrong, L. E., Casa, D. J., & Roberts, W. O. 2019. American College of Sports Medicine position stand: exertional heat illness during training and competition. *Current sports medicine reports*, 18(8), 309-331.
- Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. 2007. Exertional heat illness during training and competition. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(3), 556-572.
- Armstrong, L. E., Casa, D. J., Millard-Stafford, M., Moran, D. S., Pyne, S. W., & Roberts, W. O. 2020. Exertional heat illness during training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 38(13-14), 1521-1538.
- Bouchama, A., Knochel, J. P., & Roberts, W. O. 2015. *Sengatan panas*. *New England Journal of Medicine*, 373(19), 1848-1849.
- Casa, D. J., DeMartini, J. K., Bergeron, M. F., Csillan, D., Eichner, E. R., Lopez, R. M., ... & Yeargin, S. W. 2015. National Athletic Trainers' Association position statement: exertional heat illnesses. *Journal of Athletic Training*, 50(9), 986-1000.
- Climate Reanalyzer. 2023. Today-weather. https://climatoreanalyzer.org/wx/todays-weather/?var_id=t2&ortho=1&wt=1. Univeristy of Maine.
- Elbes. R dan Munawaroh, A S. 2019. Penilaian kenyamanan termal pada bangunan perpustakaan Universitas Bandar Lampung. *Jurnal Teknik Arsitek. Jurnal Teknik Arsitektur*, Volume 4, Nomor 1, pISSN 2541-0598; eISSN 2541-1217 85-98 doi: <http://doi.org/10.30822/arteks.v4i1.83>.
- Epstein, Y., & Roberts, W. O. 2011. The pathophysiology of sengatan panas: An integrative view of the final common pathway. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), 742-748.
- Epstein, Y., Yanovich, R., & Heled, Y. 2016. Sengatan panas. *New England Journal of Medicine*, 375(25), 2484-2485.

- Gaudio, F. G., & Grissom, C. K. 2016. Cooling methods in sengatan panas. *Journal of Emergency Medicine*, 50(4), 607-616.
- Godek, S. F., Bartolozzi, A. R., & Godek, J. J. 2012. Heat illness in athletes: the dangerous combination of heat, humidity and exercise. *Sports Medicine*, 42(11), 841-856.
- Grundstein, A., Ramseyer, C., Zhao, F., Qureshi, A., Knox, J. A., & Vanos, J. 2020. Sengatan panas risk for outdoor workers in warm/hot cities of the Eastern USA under climate change. *International Journal of Biometeorology*, 64(6), 1019-1031.
- Kielblock, A. J., & Beutler, A. I. 2017. *Sengatan panas: a comprehensive review*. AACN Advanced Critical Care, 28(4), 329-339.
- Leon, L. R., Bouchama, A., & Helwig, B. G. 2015. Sengatan panas. *Comprehensive Physiology*, 5(2), 611-647.
- O'Connor, F. G., Casa, D. J., Bergeron, M. F., Carter, R., Deuster, P., Heled, Y., ... & McDermott, B. 2011. *American College of Sports Medicine roundtable on exertional sengatan panas—return to duty/return to play: conference proceedings*. Current Sports Medicine Reports, 10(6), 337-343.
- O'Connor, F. G., Casa, D. J., Davis, B. A., & Stieritz, D. 2015. Exertional sengatan panas in the military: a systematic review of epidemiology and clinical characteristics. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), S147-S153.
- Proulx, N., & Côté, S. 2020. Prevention of exertional sengatan panas: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 30(3), 423-439.
- Ségala, C., Poizeau, D., Mesbah, M., & Kamel, S. 2018. Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*, 115, 99-105.
- Shapiro, Y., & Seidman, D. S. 2019. Field and clinical observations of exertional sengatan panas patients. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(11), 2330-2337.
- Yeo, T. P. 2019. *Sengatan panas: A comprehensive review*. AACN advanced critical care, 30(2), 145-152.

EFEK RADIOTERAPI PADA RONGGA MULUT

Nurfianti

A. Pendahuluan

Radioterapi merupakan terapi yang banyak digunakan pada kanker kepala dan leher (Harshita 2017). Terapi ini menggunakan radiasi pengion karena membentuk ion-ion (partikel bermuatan listrik) dan menyimpan energi dalam sel jaringan yang dilaluinya. Radiasi berenergi tinggi ini dapat merusak materi genetik sel dan menghalangi kemampuan sel untuk membelah. Tujuan terapi radiasi adalah untuk memaksimalkan dosis radiasi untuk sel kanker abnormal, dan meminimalkan paparan sel normal yang berdekatan dengan sel kanker atau berada di jalur radiasi. Sel normal yang terkena radiasi biasanya dapat memperbaiki kerusakan dengan lebih cepat dan dapat bertahan, daripada sel kanker. Pada akhirnya radioterapi dapat merusak sel kanker, sehingga menghentikan pertumbuhan dan kematian sel kanker (Harshita 2017) (Baskar 2012).

Terapi radiasi ini tidak hanya mempengaruhi bagian tubuh di mana radiasi diarahkan, tetapi juga jaringan normal yang berdekatan. Pada radioterapi yang di arahkan ke kepala dan leher, dapat

mempengaruhi kondisi rongga mulut, sehingga perlu dilakukan penilaian kesehatan rongga mulut sebelum dimulai terapi (Harshita 2017). Komplikasi oral sangat bervariasi dalam pola, durasi, dan intensitas untuk setiap individu, tergantung pada intensitas dan dosis terapi. Komplikasi oral selama radioterapi menyebabkan ketidaknyamanan pasien, mengurangi tingkat kelangsungan hidup secara keseluruhan. Rasa cemas akan efek samping, dan kekambuhan kanker setelah terapi dapat menurunkan kualitas hidup (Glick, *et al.*, 2021) (Harshita 2017). Komplikasi ini dapat terjadi saat dilakukannya radioterapi dan sesudah dilakukan terapi (Table 9.1). Komplikasi dengan prevalensi tertinggi adalah mukositis oral, sedangkan yang lain berupa disfungsi kelenjar saliva, xerostomia, kandidiasis oral, infeksi virus, *dysgeusia*, trismus, karies gigi dan osteoradionecrosis (Glick, *et al.*, 2021) (Harshita 2017) (Kirita & Omura 2015).

Tabel 9.1. Efek Samping Radioterapi di Rongga Mulut

Selama Radioterapi	Sesudah Radioterapi
Mukositis Oral	Karies
Disfungsi kelenjar saliva	Penyakit periodontal
Gangguan Pengecapan	Disfungsi kelenjar saliva
	Trismus
	Osteoradionekrosis rahang
	Hipoplasia rahang
	Kelainan perkembangan gigi

Sumber: T. Kirita and K. Omura (eds.), Oral Cancer: Diagnosis and Therapy, 345 DOI 10.1007/978-4-431-54938-3_15, © Springer Japan 2015

B. Efek Radioterapi pada Rongga Mulut

1. Mukositis Oral

Salah satu komplikasi paling awal dari terapi radiasi adalah mukositis (Kumar 2011). Mukositis dipicu adanya radiasi dosis tinggi yang persisten dan terkonsentrasi, menimbulkan reaksi toksisitas akut dan kronis (Li 2023). Insiden mukositis oral sebesar 99,0%, hampir semua pasien kanker kepala dan leher pernah

mengalami mukositis oral selama proses radioterapi, dan lebih dari 50% mukositis mulut yang parah (Li 2023).

Pada minggu pertama radioterapi, fase inflamasi mukosa oral berupa eritema ringan selama program konvensional 1,8-2,0 Gy/hari. Pada akhir minggu kedua, eritema pada mukosa membentuk lapisan putih, selanjutnya menjadi fase ulseratif. Ulserasi menimbulkan rasa nyeri tenggorokan dan kesulitan menelan. Rasa sakit yang hebat, menyebabkan pasien kesulitan makan diet seimbang, sehingga terjadinya penurunan berat badan dan malnutrisi (Kumar 2011) (Kirita & Omura 2015) (Glick, *et al.*, 2021). Pasien dengan mukositis, dapat mengalami penurunan sistem imun. Mukositis berat mengharuskan radioterapi ditunda, sampai adanya penyembuhan epitel. Fase penyembuhan biasanya dalam waktu 4 minggu setelah penghentian radioterapi terakhir (Kirita & Omura 2015) (Glick, *et al.*, 2021).

Klasifikasi Mukositis menurut World Health Organization dan National Cancer Institute (NCI) menurut tingkat keparahannya. (Tabel 9.2) Sistem penilaian yang sensitif, objektif, dan dapat diterapkan secara luas sangat dibutuhkan. (Kirita & Omura 2015).

Tabel 9.2. Klasifikasi Mukositis

Sistem Skoring	WHO	NCI-CTC Klinis
Derajat I	Nyeri pada rongga mulut disertai eritema	Eritema
Derajat II	Ulserasi pada rongga mulut, masih dapat makan makanan padat	Bercak ulserasi atau Pseudomembran
Derajat III	Ulserasi pada rongga mulut, hanya mampu makan makanan cair	Ulserasi atau pseudomembran yang bergabung, perdarahan pada trauma minor
Derajat IV	Mukositis yang meluas, pasien tidak dapat makan melalui mulut	Jaringan nekrosis dan perdarahan spontan
Derajat V	-	Kematian

Sumber: T. Kirita and K. Omura (eds.), Oral Cancer: Diagnosis and Therapy, 345 DOI 10.1007/978-4-431-54938-3_15, © Springer Japan 2015

Penatalaksanaan mukositis berdasarkan derajat keparahan mukositis. Pada awalnya obat kumur racikan, disebut “*magic mouthwash*” yang mengandung lidokain, diphenhydramine, dan zat lainnya, sering digunakan pada pasien, tetapi pencampuran beberapa bahan aktif menghasilkan potensi ketidakcocokan produk. Medikasi seperti doxepin, palifermin, benzydamine dan beberapa agen lain yang memiliki efek *coating* telah menunjukkan dapat mengurangi nyeri mukositis. Penggunaan analgesik topikal dapat membantu meredakan nyeri yang lebih lama; namun analgesik sistemik mungkin diperlukan untuk manajemen nyeri yang parah (Srousi 2017) (Glick, *et al.*, 2021).

2. Disfungsi Kelenjar Saliva dan Xerostomia

Radioterapi pada kepala dan leher umumnya merusak kelenjar saliva yang menyebabkan penurunan kecepatan aliran dan mengubah komposisi saliva (Haristhan 2017). Xerostomia (mulut kering) mengubah kemampuan mulut untuk menetralkan asam, membersihkan gigi, serta melindungi mulut dari infeksi. Xerostomia juga terkait risiko karies paska radiasi, akumulasi plak dan kotoran lainnya pada gigi. Gejala termasuk kekeringan, rasa sakit atau terbakar (terutama pada lidah), bibir pecah-pecah, luka atau retakan di sudut-sudut bibir (Glick, *et al.*, 2021).

Xerostomia telah dilaporkan pada pasien dengan hanya dua atau tiga dosis radiasi 2 Gy, meskipun banyak perubahan terjadi. Radiasi lebih 60 Gy bersifat reversibel. Namun, dosis lebih besar dari 30 Gy dapat menyebabkan xerostomia permanen (Kirita & Omura 2015).

Beberapa mekanisme yang adanya disfungsi saliva karena radioterapi, menyebabkan saliva yang diinduksi radioterapi. Perubahan awal terjadi karena kerusakan membran plasma sel asinar atau gangguan pada pensinyalan intraseluler. Kerusakan mungkin disebabkan oleh kurangnya pembaruan sel yang tepat karena kerusakan pada DNA *progenitor cells* dan *stem cells* (Harshitha 2017).

Saliva sangat diperlukan untuk pengecapan, menelan, dan berbicara. Pada xerostomia dikaitkan dengan perkembangan dysgeusia atau ageusia. Xerostomia menyebabkan ketidaknyamanan di rongga mulut, peningkatan risiko karies gigi, kesulitan berbicara, infeksi mulut, disfagia dan memiliki efek yang merugikan pada kualitas hidup pasien. Pemulihan memerlukan waktu bertahun-tahun. *Classic free-radical generation* telah dikaitkan dengan kerusakan yang disebabkan oleh radiasi pada kelenjar saliva (Harshitha 2017).

Penatalaksanaan hipofungsi kelenjar saliva dan xerostomia dengan stimulasi kelenjar saliva atau dengan menggunakan air, kumur lembut, atau pengganti saliva. Penatalaksanaan dengan pemberian antioksidan untuk mengurangi beberapa efek toksik radiasi pada sel sehat. Penggunaan pengganti saliva (obat kumur yang mengandung hyetellose, hyprolose, atau carmellose) dapat meredakan ketidaknyamanan dengan membasahi mukosa mulut untuk sementara waktu. Fungsi mastikasi merupakan rangsangan fisiologis yang normal untuk membantu sekresi saliva. Makanan rendah kalori seperti seledri dan wortel atau permen karet tanpa gula sangat membantu mengatasi keluhan ini. Peningkatkan produksi saliva dari kelenjar parotis dan peningkatan pH dan kapasitas buffer saliva, dapat dibantu dengan sering mengunyah permen karet tanpa gula selama dua minggu (Harshita 2017) (Glick, *et al.*, 2021) (Srousi 2017).

3. Kandidiasis Orofaringeal

Kandidiasis orofaringeal adalah masalah umum yang terkait dengan terapi radiasi kepala dan leher yang menyebabkan rasa sakit, sensasi terbakar, perubahan rasa, dan infeksi sistemik. Ada kesulitan dalam membedakan antara kandidiasis oral dan mukositis oral yang diinduksi radiasi (Chitapanarux 2021). Prevalensi sebesar 37%. Penyebab kandidiasis rongga mulut adalah *Candida albicans*. (Glick, *et al.*, 2021). Nyeri mulut atau ketidaknyamanan selama pengunyahan mengakibatkan malnutrisi. Gambaran klinis

bervariasi ditandai adanya area eritema, putih sebagai pseudomembran, hiperkeratotik, fisura, dan ulserasi pada komisura labial. Gejala sering dikaitkan adanya sensasi mukosa yang terbakar. Kandidiasis pseudomembran adalah manifestasi yang paling umum dengan plak putih yang dapat diseka, sedangkan kandidiasis eritematosa jarang terjadi. (Chitapanarux 2021) (Glick, *et al.*, 2021).

Penatalaksanaan dengan pemberian agen topikal, lebih baik karena lebih rendah risiko efek samping dan interaksi obat. Kepatuhan penggunaan sangat diperlukan untuk keberhasilan perawatan. Pasien yang memakai gigi tiruan sebagian atau lengkap, alat ortodontik harus melakukan desinfeksi peralatan. Bagian akrilik dari peralatan ini memiliki porositas mikroskopis di mana *Candida albicans* (Kirita & Omura 2015).

4. Infeksi Bakteri Mulut

Pasien yang diradiasi untuk kanker kepala dan leher rentan terhadap infeksi bakteri. Infeksi lokal dapat menyebabkan sialadenitis, ulserasi, abses, periodontitis dan perikoronitis. Karies gigi adalah penyakit berisiko tinggi karies. Infeksi bakteri yang melibatkan tulang, seperti infeksi periodontal dan infeksi periapikal, meningkatkan risiko osteoradionekrosis (Glick, *et al.*, 2021).

Pencegahan infeksi bakteri mulut, pengurangan mikroflora, dan karies gigi dengan pemberian tambahan fluoride dosis tinggi. Perawatan dari infeksi bakteri termasuk penggunaan obat kumur peroksida, menyikat gigi dan penggunaan benang gigi (Harshitha 2017) (Glick, *et al.*, 2021).

5. Infeksi Virus Oral dan Perioral

Risiko reaktivasi virus oral dan perioral. Infeksi virus herpes simpleks adalah infeksi virus yang paling umum diikuti oleh Herpes viridae lainnya; misalnya, virus varicella zoster, virus Epstein-Barr, dan cytomegalovirus. Terdapat peningkatan yang signifikan pada

prevalensi jika diobati dengan kombinasi kemoterapi dan terapi radiasi (Glick, *et al.*, 2021).

6. Dysgeusia (Perubahan Rasa)

Dysgeusia sering terjadi dengan terapi radiasi kepala dan leher dan kemoterapi dan dapat muncul sebagai hypogeusia (penurunan sensasi rasa), dysgeusia (sensasi rasa yang terdistorsi; misalnya, pahit, metalik, asam, asin, atau tidak enak) atau hypergeusia (meningkat sensasi rasa) Dysgeusia dapat timbul dalam minggu pertama radiasi kepala dan leher karena akibat kerusakan sel yang terjadi terutama di papila lidah. Rasa manis, dirasakan oleh ujung lidah, dan sisi lateral mengontrol rasa asam. Rasanya pahit diambil oleh papila sirkumvalata, dan berasa asin dapat dideteksi di seluruh lidah. Sel pengecap sangat sensitif terhadap radiasi tetapi biasanya mampu berepopulasi dalam waktu empat bulan setelah pengobatan (Glick, *et al.*, 2021) (Kirita & Omura 2015).

Efek toksik langsung pada sel-sel rasa lebih diperparah oleh hipofungsi kelenjar saliva, infeksi mulut, kebersihan mulut yang terganggu, asupan obat, defisiensi zinc, refluks gastrointestinal, atau sebagai sisa gejala dari operasi kanker dan mungkin tidak sembuh sampai berbulan-bulan setelah pengobatan kanker. Beberapa pasien mungkin mengalami dysgeusia permanen (Glick, *et al.*, 2021). Ketika dosis kumulatif 60 Gy telah tercapai, kerusakan pada pengecap biasanya permanen dengan hilang rasa sensasinya. Xerostomia dan mucositis juga berkontribusi terhadap dysgeusia. (Kirita & Omura 2015).

7. Karies Terkait Radiasi

Komplikasi radiasi pada gigi adalah karies terkait radiasi. Karies radiasi adalah bentuk karies gigi yang sangat merusak yang memiliki onset dan perkembangan yang cepat. Karies ini merupakan efek tidak langsung dari perubahan kelenjar saliva yang mengakibatkan hiposalivasi, perubahan komposisi saliva, viskositas

saliva meningkat, pergeseran flora normal mulut terhadap bakteri kariogenik (*S. mutans*, *Lactobacillus* spesies), dan perubahan pola makan. Pencegahan meminimalkan karies terkait radiasi diarahkan pada terapi yang berhubungan dengan xerostomia, kebersihan mulut yang teliti, perubahan pola makan, kontrol flora kariogenik, dan pencegahan karies dengan aplikasi fluoride. Obat kumur antiseptik, seperti chlorhexidine, jika ditoleransi, sangat membantu dalam menghilangkan kotoran dan mengendalikan flora mikroba (Kirita & Omura 2015) (Harshitha 2017).

8. Osteoradionekrosis (ORN)

Osteoradionekrosis merupakan nekrosis tulang di daerah yang telah menerima radioterapi, merupakan salah satu komplikasi paling serius pasca radioterapi. Sel-sel tulang dan vaskularisasi mungkin bersifat ireversibel dan ketika ORN bersifat progresif, hal itu dapat menyebabkan rasa sakit yang tak tertahankan dan gangguan pada fungsi atau patah tulang (Kirita & Omura 2015).

Insiden ORN bervariasi dari 4% sampai 22%. Risiko ORN spontan tidak dapat diprediksi tetapi terkait dengan dosis radiasi. Pasien yang telah menerima dosis radiasi lebih dari 60 Gy memiliki risiko tertinggi. Paparan tulang biasanya terjadi lebih dari 1 tahun setelah radiasi selesai. Setiap prosedur bedah mulut meningkatkan risiko perkembangan ORN paling sering melibatkan mandibular dibandingkan dengan maksila. Manifestasi klinis meliputi nyeri, gangguan sensorik, infeksi, dan fistula. ORN spontan, bahkan jika dilakukan bertahun-tahun setelah radioterapi terakhir Area tulang yang diradiasi banyak mengalami pembuluh darah yang rusak, kekurangan oksigen dan nutrisi sehingga menjadi iskemik dan akhirnya nekrotik.

Perawatan oksigen hiperbarik (HBO) dapat membantu regenerasi pembuluh darah baru, mengakibatkan peningkatan pasokan oksigen ke tulang yang terkena. Keefektifan yang mungkin adalah menggabungkan HBO dengan operasi dan antibiotik. HBO melibatkan paparan oksigen harian berurutan di bawah tekanan (2

jam setiap hari di ruang hiperbarik pada 2 atmosfer oksigen, 20-30 kali). Perawatan bedah dan antibiotik yang agresif diperlukan untuk debridemen daerah tersebut dan mengatasi infeksi. Sequestrektomi harus dilakukan ketika sekuestrasi berkembang. Potongan-potongan kecil tulang nekrotik dapat diangkat dengan anestesi lokal.

C. Kesimpulan

Pasien kanker kepala dan leher yang akan menerima dan telah menerima perawatan radioterapi dosis perlu dilakukan penjagaan kesehatan gigi dan mulut. Perawatan gigi rutin oleh dokter gigi dapat dilaksanakan secara bijaksana dengan pertimbangan tertentu.

Daftar Pustaka

- Baskar, R., Lee, K. A., Yeo, R., & Yeoh, K. W. 2012. Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. *International journal of medical sciences*, 9(3), 193.
- Chitapanarux, I., Wongsrita, S., Sripan, P., Kongsupapsiri, P., Phakoetsuk, P., Chachvarat, S., & Kittidachanan, K. 2021. An underestimated pitfall of oral candidiasis in head and neck cancer patients undergoing radiotherapy: an observation study. *BMC Oral Health*, 21(1), 1-10.
- Glick M., Greenberg M., Lockhart P., Challacombe S. Burket's Oral Medicine: 13th ed 2021; Chapter 3;35-80
- Harshitha, C., & Laliytha, K. B. 2017. Effect of Radiotherapy on the Oral Cavity. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 9(12), 2332-2334.
- Kumar, D and Rastogi, N. 2011. Oral complications and its management during radiotherapy. *Indian Journal of Dental Sciences*, 50.
- Li, J., Zhu, C., Zhang, Y., Guan, C., Wang, Q., Ding, Y., & Hu, X. 2023. Incidence and Risk Factors for Radiotherapy-Induced Oral Mucositis Among Patients With Nasopharyngeal Carcinoma: A Meta-Analysis. *Asian Nursing Research*, 17(2), 70-82.
- Ozeki, S. 2015. Complication of oral cancer treatment, prevention, and management. *Oral Cancer: Diagnosis and Therapy*, 335-344.
- Sroussi, H. Y., Epstein, J. B., Bensadoun, R. J., Saunders, D. P., Lalla, R. V., Migliorati, C. A., ... & Zumsteg, Z. S. 2017. Common oral complications of head and neck cancer radiation therapy: mucositis, infections, saliva change, fibrosis, sensory dysfunctions, dental caries, periodontal disease, and osteoradionecrosis. *Cancer medicine*, 6(12), 2918-2931.
- T. Kirita and K. Omura (eds.), Oral Cancer: Diagnosis and Therapy, 345 DOI 10.1007/978-4-431-54938-3_15, © Springer Japan 2015

10.

KIMIA ORGANIK

Niyar Candra Agustin

A. Pendahuluan

Ilmu kimia telah menjadi pusat ilmu molekuler untuk energi, lingkungan, material, biologi dan pengobatan. Kimia organik adalah bidang ilmu yang mempelajari tentang struktur, sifat-sifat, perubahan, komposisi, reaksi, dan sintesis senyawa yang mengandung atom karbon tidak hanya senyawa hidrokarbon, tetapi juga senyawa yang mengandung unsur lain seperti hidrogen, nitrogen, oksigen, halogen fosfor, silika dan sulfur. Pada kimia organik pada dasarnya tidak hanya terbatas pada senyawa-senyawa yang dihasilkan oleh makhluk hidup melalui proses metabolisme berupa metabolit primer maupun sekunder, tetapi juga pada senyawa yang sintesis oleh manusia seperti polimer seperti plastik. Kimia organik juga mempelajari hubungan antara struktur-sifat, struktur-aktivitas, dan struktur-fungsi senyawa organik.

B. Klasifikasi Senyawa Organik

Senyawa organik dapat berwujud gas, cairan, atau padatan tetapi biasanya tidak diklasifikasikan berdasarkan wujud fisiknya senyawa

tersebut (gas, cair, atau padat), tetapi berdasarkan sifat kimia dan sifat fisik. Sifat fisik yang biasanya penting senyawa organik yang berfasa gas antara lain: densitas, kelarutan dalam air, warna, suhu kritis, tekanan, dan koefisien difusi. Pada senyawa organik yang berfasa cair, sifat fisik yang penting antara lain: tekanan uap, berat jenis, titik didih, viskositas, warna, dan tegangan permukaan. Sedang untuk senyawa organik berfasa padat, sifat fisik yang penting antara lain: titik leleh, densitas, kelarutan dalam air, kekerasan, distribusi ukuran partikel, porositas, dan koefisien termal.

1. Senyawa Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan senyawa organik yang paling sederhana, yang terdiri dari atom karbon dan hidrogen (Fesenden, 1986). Kompleksitas bahan kimia organik disebabkan oleh atom karbon tetravalensi, dengan empat elektron valensi mampu berikatan dengan empat atom lain. Karbon tidak hanya mampu membentuk ikatan tunggal, dengan sepasang elektron valensi bersama, tetapi juga ikatan rangkap dua (dua pasang elektron bersama) atau bahkan ikatan rangkap tiga (tiga pasang elektron bersama). Sifat khusus lain dari atom karbon adalah kemampuannya untuk membentuk rantai panjang atom karbon yang merupakan rangkaian atom karbon dan atom non-karbon lainnya. Selain itu, karbon membentuk tipikal molekul misalnya, karbon dioksida, CO adalah satu atom karbon dengan dua oksigen atom. Grafit adalah rangkaian lembaran atom karbon yang terikat erat secara heksagonal (bersisi enam), sementara berlian merupakan sebuah molekul besar yang terdiri dari atom karbon disatukan oleh ikatan kovalen.

Karbon bersama dengan unsur-unsur lain, membentuk berjuta-juta senyawa organik. Klasifikasi senyawa organik dikelompokkan ke dalam kelompok-kelompok tertentu. Kelompok terbesar adalah hidrokarbon yaitu senyawa kimia yang molekul yang mengandung karbon dan hidrogen. Setiap molekul dalam hidrokarbon dibangun di atas kerangka yang terdiri dari atom

karbon, baik dalam cincin tertutup atau dalam rantai panjang, baik rantai lurus (linier) atau bercabang (nonlinier).

a. Hidrokarbon Alifatik

Hidrokarbon alifatik merupakan senyawa hidrokarbon dengan rantai terbuka. Hidrokarbon alifatik dibagi menjadi tiga kelompok yaitu berdasarkan keadaan jenuh atau tidak jenuhnya (yaitu, rasio hydrogen dengan karbon. Kelompok ini dapat dibagi menjadi 3, yaitu alkana, alkena, dan alkuna:

- 1) Alkana yaitu hidrokarbon tanpa ikatan rangkap ikatan dua atau tanpa ikatan rangkap tiga
- 2) Alkena, yang mengandung satu atau lebih ikatan rangkap, seperti diolefin yang mengandung butadiene.
- 3) Alkuna yang memiliki satu ikatan rangkap tiga atau lebih.

b. Hidrokarbon Sikloalifatik

Hidrokarbon alifatik merupakan senyawa hidrokarbon dengan rantai terbuka. Sedangkan, hidrokarbon siklik adalah hidrokarbon dengan rantai tertutup. Hidrokarbon sikloalifatik juga disebut sikloalkana, hidrokarbon alisiklik, naphthenes adalah hidrokarbon jenuh yang mengandung satu atau lebih cincin.

c. Senyawa Aromatik

Senyawa hidrokarbon aromatik adalah hidrokarbon yang mengandung satu atau cincin yang lebih aromatik, seperti cincin tunggal benzena dan juga cincin ganda sistem: sistem cincin naftalena, antrasena, dan fenantrena, yang dapat dihubungkan dengan (substitusi) cincin naphthene dan/atau sisi paraffin rantai.

d. Senyawa Heterosiklik

Senyawa heterosiklik atau heterolinkar adalah sejenis senyawa kimia yang mempunyai struktur cincin yang

mengandung atom selain karbon, seperti belerang, oksigen, ataupun nitrogen yang merupakan bagian dari cincin tersebut.

2. Gugus Fungsi

Gugus fungsi adalah bagian dari senyawa organik yang mengandung atom-atom lain selain karbon dan hidrogen, atau yang mengandung ikatan selain karbon-karbon ikatan tunggal dan ikatan karbon-hidrogen. Beberapa gugus fungsi dalam kimia organik adalah: alkena, alkuna, aromatik, nitril, amina, amida, senyawa nitro, alkohol, fenol, eter, aldehida, keton, asam karboksilat, asam klorida, anhidrida asam, ester, alkil halida, tiol, dan tioeter. Jadi, gugus fungsi adalah setiap atom atau kumpulan atom yang mampu atau bereaksi dengan spesies reaktif untuk menghasilkan suatu produk. Gugus fungsi juga mampu mempengaruhi sifat-sifat senyawa.

a. Alkana

Alkana adalah senyawa yang seluruhnya terdiri dari atom karbon dan hidrogen terikat satu sama lain baik ikatan karbon-karbon dan ikatan tunggal karbon-hidrogen. Alkana juga dikenal sebagai hidrokarbon jenuh karena semua ikatan yang tidak digunakan untuk membentuk molekul digunakan sampai ikatan tunggal, yaitu ikatan valensi setiap atom karbon terisi baik dengan ikatan ke atom karbon lain atau ikatan ke atom hidrogen dan molekul digolongkan sebagai jenuh. Hasilnya, rumus untuk sembarang (nonsiklik) alkana adalah C_nH_{2n+2} , di mana n adalah jumlah atom karbon. Alkana tidak bercabang, setiap atom karbon memiliki dua atom hidrogen yang terikat, tetapi dua atom karbon ujung masing-masing memiliki hidrogen lebih.

b. Alkena

Senyawa organik disebut alkena jika senyawa tersebut mengandung karbonkarbon ikatan rangkap dua. Pasangan elektron bersama dari salah satu ikatan adalah ikatan σ (sigma), sedangkan pasangan elektron kedua menempati ruang pada

keduanya sisi ikatan σ , dan pasangan elektron yang digunakan bersama ini membentuk ikatan phi (π). Ikatan π membentuk wilayah kerapatan elektron (δ) yang meningkat karena elektron berpasangan lebih jauh dari inti karbon bermuatan positif daripada pasangan elektron ikatan σ . Meskipun ikatan rangkap karbon-karbon adalah ikatan yang kuat, ikatan π akan menarik atom atau kelompok atom yang ada ke dirinya sendiri kekurangan elektron, sehingga memulai proses pemutusan ikatan yang dapat menyebabkan untuk memutuskan ikatan π dan pembentukan ikatan σ baru selama reaksi.

Penamaan alkena, hidrokarbon yang mengandung satu atau lebih rangkap ikatan per molekul, seperti penamaan alkana, tetapi berakhiran -ena. Demikian juga, alkena memiliki rumus umum: C_nH_{2n} . Baik alkena maupun alkuna merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh. Tidak semuanya atom karbon jenuh dengan mengikat atom hidrogen, dan karbon ini atom di dalamnya bebas untuk membentuk ikatan lain. Senyawa Alkena memiliki lebih dari satu ikatan rangkap dua dapat disebut sebagai diena (dua ikatan rangkap dalam molekul), triena (tiga ikatan rangkap dalam sebuah molekul), atau bahkan tak jenuh ganda di mana ada bisa empat atau lebih ikatan rangkap dalam molekul.

c. Alkuna

Molekul yang mengandung ikatan rangkap tiga antara dua atom karbon adalah dikenal sebagai alkuna. Ikatan rangkap tiga terdiri dari satu ikatan σ dan dua ikatan π . Seperti pada senyawa alkena, ikatan π pada senyawa alkuna merupakan daerah dengan kerapatan elektron yang besar, terletak sejajar dengan sumbu ikatan karbon-karbon. Ikatan rangkap tiga karbon-karbon adalah ikatan yang kuat tetapi masih mampu berpartisipasi dalam reaksi yang memutus π ikatan untuk membentuk ikatan σ yang lebih kuat.

Contoh alkuna yang paling umum adalah asetilena ($\text{CH}\equiv\text{CH}$, juga dikenal sebagai etuna) yang digunakan sebagai bahan bakar dalam aplikasi pengelasan. Alkuna tidak melimpah di alam karena sifat reaktif ikatan rangkap tiga.

d. Hidrokarbon Aromatik

Hidrokarbon aromatik juga disebut arena, tidak harus selalu memiliki aroma (bau) yang khas. Senyawa organik ini dicirikan oleh adanya satu atau lebih cincin benzena dalam molekul.

e. Alkohol

Atom oksigen jauh lebih elektronegatif daripada atom karbon atau hidrogen, jadi ikatan karbon-oksigen dan hidrogen-oksigen bersifat polar. Oksigen atom sedikit bermuatan negatif, dan atom karbon dan hidrogen lebih bermuatan positif. Ikatan polar dari gugus hidroksil bertanggung jawab untuk karakteristik reaksi utama alkohol dan fenol. Secara umum, reaksi ini diawali oleh reaksi gugus yang kekurangan elektron dengan atom oksigen bermuatan negatif atau dengan reaksi gugus kaya elektron dengan atom bermuatan positif yaitu, karbon atau hidrogen terikat oksigen. Alkohol adalah gugus fungsi oksigen-hidrogen ($-\text{OH}$) dalam hidrokarbon molekul. Dua jenis alkohol komersial yang paling penting adalah metanol (CH_3OH , juga disebut metil alkohol dan etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)).

C. Peran Kimia Organik pada Lingkungan

Lingkungan adalah sistem yang sangat kompleks yang mencakup udara yang dihirup, tanah yang ditinggali, air yang diminum, dan iklim di sekitar. Saat ini seluruh dunia berusaha menuju dunia yang lebih baik, dengan memastikan kontribusi kimia terwujud. Ilmu Kimia dapat membantu untuk memahami, memantau, melindungi, dan memperbaiki lingkungan di sekitar kita. Ahli kimia sedang mengembangkan alat dan teknik untuk pengukuran polusi udara dan

air yang menjadi bagian dari upaya untuk memahami dan mengatasi masalah baru yang kita hadapi seperti mikroplastik dan efek potensial dari berbagai bahan kimia yang terpapar pada manusia.

Udara yang lebih bersih juga akan membantu kita melindungi lingkungan dan melestarikan situs warisan budaya. Polutan seperti sulfur dioksida (SO_2) (Mutawakkilah, 2023) dan nitrogen oksida (Dewapandhu, 2023) dapat membentuk hujan asam, yang mencemari tanah dan air serta merusak bangunan bersejarah. Polutan lain, seperti ozon pada permukaan tanah mempengaruhi vegetasi dan mengurangi hasil pertanian.

Polusi udara menjadi perhatian seluruh dunia karena polutan dapat terbawa jarak jauh, bahkan lintas negara. Namun, para ilmuwan di seluruh dunia sedang menangani masalah ini, peran penting ilmu kimia dalam memahami polusi udara dan mengembangkan solusi untuk menguranginya.

Ketika penggunaan bahan kimia organik mengakibatkan pembuangan, dan pencemaran lingkungan, maka menjadi perlu untuk menetapkan standar konsentrasi yang dapat diterima dalam air, udara, tanah, dan biota. Pemantauan konsentrasi ini di lingkungan dan efek biologis yang diakibatkannya, harus dilakukan untuk memastikan bahwa standar yang ditetapkan dalam setiap peraturan adalah realistis dan memberikan perlindungan lingkungan dari semua efek yang merugikan. Selain itu, perhatian yang cukup besar terus difokuskan pada pengaturan penggunaan semua bahan kimia organik dan aspek utama melibatkan prediksi perilaku dan efek bahan kimia, dari sifat-sifatnya. Dengan konsep ini karakteristik molekul mengatur sifat fisikokimia senyawa yang mempengaruhi transformasi dan distribusi di lingkungan dan efek biologis. Hal ini menunjukkan bahwa transformasi dan distribusi di lingkungan serta pengaruh senyawa kimia organik terhadap spesies flora dan fauna dapat diperkirakan dari sifat fisikokimia bahan kimia tersebut. Namun, perkiraan efek biologis adalah yang paling kompleks dari serangkaian tahapan.

D. Peran Kimia Organik pada Penemuan Obat

Pembuatan obat menggunakan bahan-bahan alami dan bahan kimia organik sintetik untuk mendapatkan kandidat senyawa obat untuk pengoptimalan lebih lanjut. Penemuan dan pengembangan obat baru pada umumnya menggunakan metode *trial and error* (Kusumaningrum, 2012). Sehingga diperlukan inovasi dalam pembuatan senyawa dengan cara yang hemat waktu, kualitas, dan biaya yang efisien. Hal tersebut menjadi salah satu tugas kimia organik.

Pada pembuatan obat dilakukan tahap skrining yaitu tahapan untuk mengidentifikasi senyawa yang akan bekerja di target yang akan diobati. Penentuan senyawa ini dapat dilakukan dengan melakukan sintesis ataupun isolasi dari senyawa yang dimaksud. Hasil dari prosedur skrining ini disebut sebagai senyawa utama, yaitu merupakan kandidat utama untuk obat baru (Hairunnisa, 2019).

Senyawa obat dan kandidat obat mewakili sebagian besar senyawa kimia baru yang digunakan atau dipelajari di seluruh dunia. Senyawa-senyawa tersebut tercipta berkat keterampilan dan kecerdikan ahli obat dan ahli kimia yang mensintesis senyawa. Tak terhitung nyawa telah diselamatkan yang merupakan keuntungan tak terkira bagi masyarakat, keluarga dan teman dari orang-orang yang diobati dengan obat-obatan seperti atorvastatin, ledipasvir, imantinib, azidotimidin, dan linezolid. Kompleksitas struktur senyawa obat bervariasi dalam hal stereokimia, gugus fungsi, dan struktur rangka. Hal tersebut berkaitan dengan target untuk setiap senyawa obat. Atorvastatin termasuk kelompok obat statin yang digunakan untuk menangani dislipidemia dan mencegah penyakit jantung koroner (Gozali, 2015). Azidotimidin adalah obat pertama yang berguna dalam pengobatan infeksi HIV, dan imantinib adalah penghambat kinase pertama yang digunakan untuk mengobati leukemia myeloid kronis. Hal tersebut merupakan bukti bahwa penyakit yang sulit diobati dapat diatasi dengan senyawa obat yang disintesis.

Sintesis setiap senyawa baru dilakukan dalam skala kecil di laboratorium, kemudian dengan pengembangan metode yang aman,

efisien, dan terukur untuk menyediakan bahan farmasi aktif (API) yang dimasukkan ke dalam bentuk sediaan untuk diberikan kepada pasien. Tahapan yang sangat penting untuk menunjukkan bahwa langkah awal dalam proses kompleks penemuan obat adalah sintesis molekul yang menguji hipotesis yang dihadapi oleh peneliti. Hal tersebut memerlukan ahli kimia medisinal yang terlatih dan pengalaman kimia organik untuk memahami suatu senyawa dan kemudian menggunakan reaksi yang sesuai untuk mendapatkan target yang diinginkan dan mensintesis sejumlah turunan yang sesuai untuk mengoptimalkan spektrum sifat yang terkait dengan kandidat obat. Kemudian, ahli kimia proses menggunakan keahlian mereka untuk menyusun rute yang aman, praktis, dan ekonomis untuk secara andal mengirimkan API dalam jumlah besar yang dibutuhkan untuk pengembangan klinis dan pembuatan obat yang disetujui. Hal tersebut menunjukkan bahwa kimia organik dan para ilmuwan yang pertama kali membuat obat telah mengubah kehidupan. Kimia organik adalah bidang ilmu yang telah mendukung peningkatan penelitian terapan seperti pengobatan.

Daftar Pustaka

- Dewapandhu, B. A. dan Pribadi, A. 2023. Analisis Penyebaran Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Raya Dramaga-Ciampea Kabupaten Bogor dengan Menggunakan Model Caline-4. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(1), pp. 67–76. doi: 10.29244/jsil.8.1.67-76.
- FESENDEN, R. and FESENDEN, J., 1986. Organic Chemistry, Wadsworth Inc. Belmont, California, p.35.
- Gozali, D., Wardhana, Y, W. & Shofa. 2015. Formulasi dan Evaluasi Tablet Dispersi Padat Kalsium Atorvastatin. *Pharmascience*, 2(2), pp. 63–70.
- Hairunnisa, H. 2019. Sulitnya Menemukan Obat Baru di Indonesia, *Farmasetika.com (Online)*, 4(1), p. 16. doi: 10.24198/farmasetika.v4i1.22517.
- Kusumaningrum, S. *et al.* 2012 ‘Pengembangan Kandidat Senyawa Obat Turunan’, *Prosiding InSINAS 2012*, (KO-36), pp. 35–39.
- Mutawakkilah, Q., Trina, I. & Abadi Kiswandono, A. 2023. Analisis Sulfur Dioksida (SO₂) Sebagai Polutan Udara Di Kabupaten Lampung Barat Dan Way Kanan Pada Tahun 2019-2020. *Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng*, 8(01), p. 35145. Available at: <http://dx.doi.org/10.23960/2Faec.v8i01.2023.p11-20Anal.Environ.Chem>.

KIMIA ANORGANIK

Ricka Prasdiantika

A. Pengertian Kimia Anorganik

Apabila kimia organik didefinisikan sebagai ilmu kimia yang mempelajari senyawa hidrokarbon dan turunannya, maka Kimia Anorganik dapat dideskripsikan secara luas sebagai kimia yang mempelajari senyawa selain hidrokarbon dan turunannya. Hal ini mencakup semua unsur yang tersisa dalam tabel periodik dan beberapa senyawa karbon seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) yang memainkan peran utama dalam banyak senyawa anorganik. Sehingga Kimia Anorganik dapat dikatakan sebagai subkategori kimia yang berkaitan dengan sifat dan reaksi senyawa anorganik, yang mencakup semua senyawa kimia tanpa rantai atau cincin atom karbon yang termasuk dalam subkategori senyawa organik. Beberapa senyawa Kimia Anorganik yang paling banyak ada di bumi antara lain: oksigen, silikon, aluminium, besi, kalsium, natrium, kalium, dan magnesium (Speight, 2017).

Menurut House (2008), kimia Anorganik merupakan kumpulan pengetahuan yang berkembang dengan sangat cepat, dan merupakan dasar untuk mempelajari bidang kimia lainnya. Hal ini dikarenakan

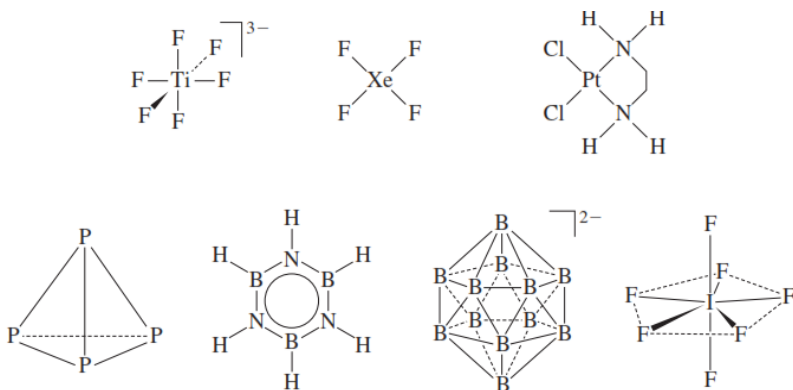
Kimia Anorganik berkaitan dengan struktur dan sifat serta sintesis bahan. Studi Kimia Anorganik memerlukan subkatagori kimia yang lain seperti Kimia Fisik.

Selain berkaitan dengan Kimia Fisik, Kimia Anorganik juga berkaitan dengan cabang kimia lainnya seperti pada kimia organologam, di mana kimia organologam merupakan bidang yang menjembatani antara bidang Kimia Anorganik dan Kimia Organik dengan mempertimbangkan senyawa yang mengandung ikatan logam-karbon langsung, dan termasuk katalisis banyak reaksi organik. Kimia Bioanorganik menjembatani Biokimia dan Kimia Anorganik, dan Kimia Lingkungan mencakup studi tentang senyawa anorganik dan organik (Miessler, dkk., 2014).

B. Penggolongan Kimia Anorganik

Dalam senyawa anorganik, hidrogen sering dijumpai sebagai atom penghubung antara dua atau lebih atom lainnya. Pada senyawa gugus logam, atom hidrogen dapat membentuk jembatan melintasi tepi atau permukaan polihedra atom logam. Gugus alkil juga dapat bertindak sebagai jembatan dalam senyawa anorganik, suatu fungsi yang jarang ditemukan dalam kimia organik kecuali dalam zat antara reaksi.

Beberapa perbedaan yang paling mencolok antara kimia karbon dan banyak unsur lainnya terletak pada bilangan koordinasi dan geometri. Walaupun karbon biasanya terbatas pada bilangan koordinasi maksimum empat (maksimal empat atom yang berikatan pada karbon seperti pada CH_4) banyak senyawa anorganik memiliki atom pusat dengan bilangan koordinasi lima, enam, tujuh, dan lebih tinggi; geometri koordinasi yang paling umum untuk logam transisi adalah susunan oktahedral di sekitar atom pusat seperti yang ditunjukkan untuk $[\text{TiF}_6]^{3-}$ (Gambar 11.1). Kompleks organologam terjadi ketika karbon terikat langsung pada atom atau ion logam (Miessler, dkk., 2014). Kompleks koordinasi terjadi ketika logam berada di tengah, dengan anion atau molekul netral (ligan) terikat pada logam (biasanya melalui N, O, atau S).



Gambar 11.1. Geometri Senyawa Anorganik
(Sumber: Miessler, dkk., 2014)

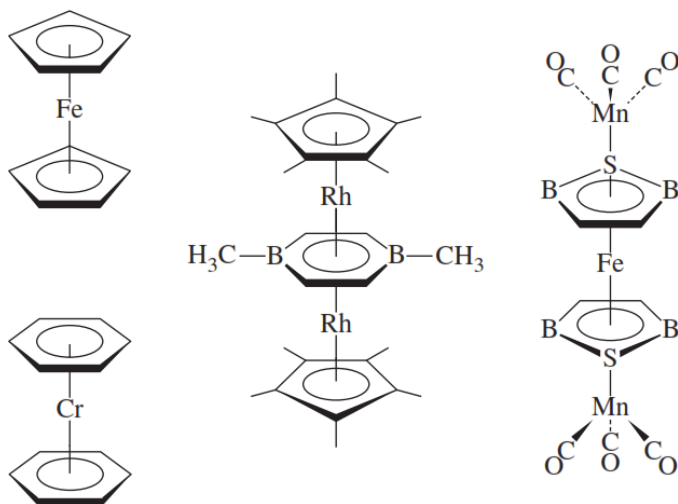
1. Kimia Organologam

Kimia organologam merupakan bidang yang sangat besar dan berkembang pesat yang menjembatani bidang Kimia Organik dan Kimia Anorganik mencakup berbagai macam senyawa kimia dan reaksinya, termasuk senyawa yang mengandung ikatan sigma dan ikatan antara atom logam dan karbon; banyak senyawa kluster mengandung satu atau lebih ikatan logam-logam; dan molekul tipe struktural yang tidak biasa atau tidak dikenal dalam kimia organik, dan mencakup katalisis banyak reaksi kimia yang digunakan dalam dunia industri (Miessler, dkk., 2014).

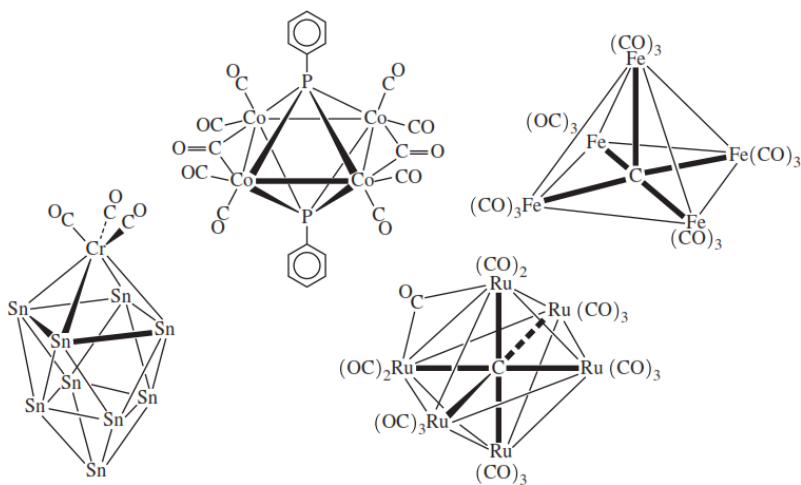
Senyawa organologam mengandung setidaknya satu ikatan antara atom logam dan atom karbon. Senyawa tersebut dinamakan sebagai senyawa koordinasi yang menggunakan sistem nomenklatur aditif. Nama untuk ligan organik yang mengikat melalui satu atom karbon dapat diturunkan baik dengan memperlakukan ligan sebagai anion atau sebagai gugus substituen netral (Speight, 2017).

Beberapa contoh senyawa organologam antara lain $\text{Cr}(\text{CO})_6$ dan $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$, di mana CO dan H_2O adalah ligan donor σ ; dan CO adalah akseptor yang kuat. Contoh senyawa organologam lainnya adalah senyawa *sandwich*, atau senyawa apit di mana pada senyawa *sandwich*, ligan organik siklik yang mengandung sistem pi

terdelokalisasi dapat bergabung dengan atom logam untuk membentuk senyawa *sandwich* (Gambar 11.2).

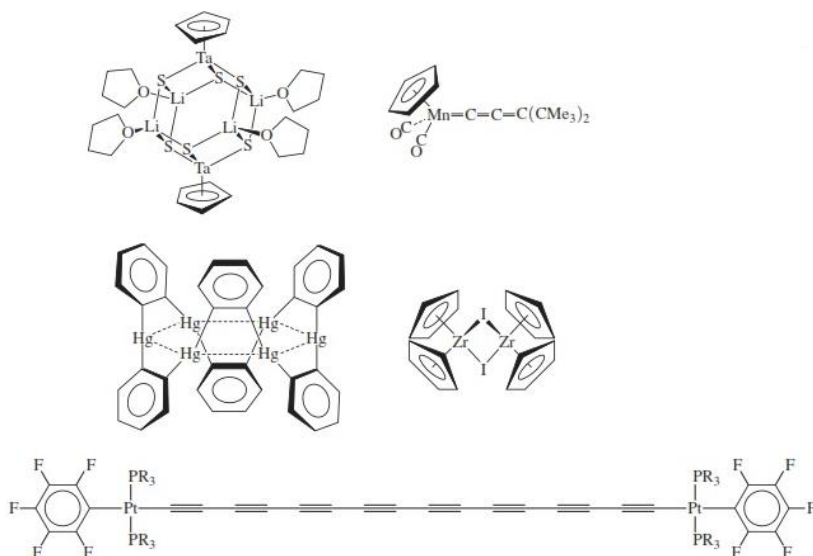


Gambar 11.2. Senyawa Sandwich
(Sumber: Miessler, dkk., 2014)



Gambar 11.3. Senyawa Kluster Logam
(Sumber: Miessler, dkk., 2014)

Contoh senyawa organologam yang berikatan dengan ligan organik terutama CO adalah senyawa kluster logam (Gambar 11.3), di mana senyawa ini sering menunjukkan kemampuan untuk membentuk ikatan kovalen dengan atom logam lain untuk membentuk senyawa gugus. Kluster ini mungkin hanya berisi dua atau tiga atom logam atau lusinan. Senyawa tersebut mengandung ikatan tunggal, rangkap ganda, rangkap tiga, atau empat kali lipat, bahkan molekul yang mungkin memiliki ikatan rangkap lima. Dalam beberapa kasus senyawa kluster memiliki ligan yang menjembatani dua atau lebih atom logam (Miessler, dkk., 2014). Banyak jenis senyawa organologam lainnya memiliki struktur dan sifat kimia yang menarik. Gambar 11.4 menunjukkan contoh lain dari berbagai struktur senyawa organologam.



Gambar 11.4. Contoh Lain Senyawa Organologam
(Sumber: Miessler, dkk., 2014)

2. Unsur Transisi

Unsur-unsur transisi dapat didefinisikan sebagai unsur-unsur yang elektronnya sebagian telah mengisi kulit d atau f, dan

juga unsur-unsur yang sebagian telah mengisi kulit d atau f dalam keadaan oksidasi. Logam mata uang, Cu, Ag dan Au adalah contoh logam transisi. Hal ini dikarenakan Cu^{II} memiliki konfigurasi $3d^9$, Ag^{I} konfigurasi $4d^9$ dan Au^{III} konfigurasi $5d^8$. Saat ini terdapat sekitar 56 unsur transisi (unsur terberat sampai nomor atom 104). Semua unsur transisi ini memiliki sifat umum tertentu yang sama:

- a. Unsur transisi adalah logam.
- b. Unsur transisi hampir semuanya adalah logam keras, kuat, dengan titik leleh tinggi, titik didih tinggi yang menghantarkan panas dan listrik dengan baik.
- c. Unsur transisi membentuk *alloy*/paduan satu sama lain dan dengan unsur logam lainnya.
- d. Banyak dari unsur transisi cukup elektropositif untuk larut dalam asam mineral, meskipun beberapa "logam mulia" memiliki potensial elektroda yang rendah sehingga tidak terpengaruh oleh asam lemah.
- e. Karena orbital terisi sebagian, logam transisi membentuk setidaknya beberapa senyawa paramagnetik.

Sejumlah besar unsur transisi ini dibagi menjadi tiga kelompok utama: 1) Unsur transisi utama atau unsur blok-*d*, 2) unsur lantanida, dan 3) unsur aktinida (Cotton dan Wilkinson, 1972).

3. Kimia Koordinasi

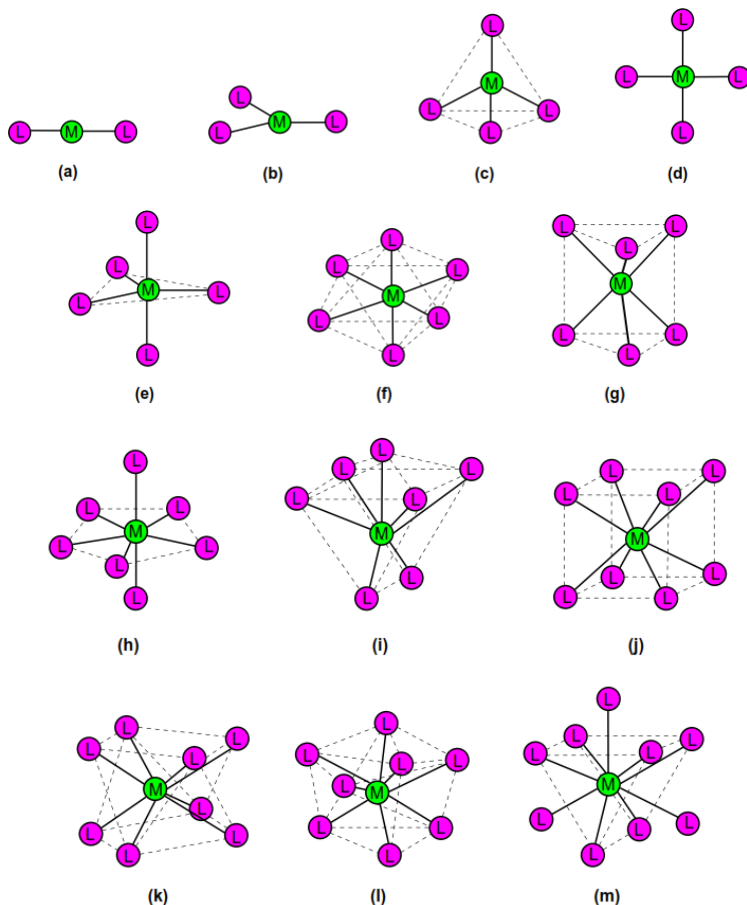
Senyawa koordinasi merupakan istilah yang biasa digunakan dalam kimia anorganik, mencakup senyawa yang terdiri dari atom atau ion logam dan satu atau lebih ligan (atom, ion, atau molekul) yang secara formal menyumbangkan elektron ke logam. Senyawa dengan ikatan logam-karbon yang disebut senyawa organologam. Nama senyawa koordinasi berasal dari ikatan kovalen koordinat, yang terbentuk melalui donasi sepasang elektron dari satu atom ke atom lainnya. Ikatan kovalen koordinat identik dengan ikatan kovalen yang secara formal dibentuk dengan menggabungkan satu

elektron dari setiap atom. Senyawa koordinasi juga merupakan adisi asam-basa yang disebut kompleks atau jika bermuatan disebut sebagai ion kompleks (Miessler, 2014).

a. Struktur Senyawa Koordinasi

Fitur penting dari senyawa koordinasi adalah bahwa senyawa tersebut melibatkan ikatan koordinasi antara asam dan basa Lewis. Atom atau ion logam berfungsi sebagai asam Lewis, dan basa Lewis (donor pasangan elektron) dapat mencakup hampir semua spesi yang memiliki satu atau lebih pasangan elektron yang tidak digunakan bersama. Donor pasangan elektron termasuk molekul netral antara lain yaitu H_2O , NH_3 , CO , fosfin, piridin, N_2 , O_2 , H_2 , dan etilendiamin ($\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$). Sebagian besar anion seperti OH^- , Cl^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, dan H^+ mengandung pasangan elektron bebas yang dapat disumbangkan ke asam Lewis untuk membentuk ikatan koordinat.

Senyawa koordinasi juga dikenal sebagai kompleks koordinasi, senyawa kompleks, atau kompleks sederhana. Terdapat beberapa struktur paling umum untuk senyawa koordinasi (Gambar 11.5): (a) Linear, (b) trigonal planar, (c) tetrahedron, (d) bidang persegi, (e) trigonal bipiramida, (f) oktahedron, (g) prisma trigonal, (h) pentagonal bipiramida, (i) prisma trigonal tutup tunggal, (j) kubik, (k) Archimedes (persegi) anti prisma, (l) dodekahedron, dan (m) prisma trigonal tertutup rangkap tiga.



Gambar 11.5. Struktur Umum Senyawa Koordinasi
(Sumber: House, 2013)

b. Penamaan Senyawa Koordinasi

Penting untuk mengetahui cara yang sistematis untuk nomenklatur atau penamaan senyawa koordinasi karena banyaknya senyawa koordinasi yang telah ditemukan. Bertahun-tahun yang lalu, beberapa kompleks diberi nama sesuai dengan nama penemunya seperti $K[C_2H_4PtCl_3]$ dikenal sebagai garam Zeise, $NH_4[Cr(NCS)_4(NH_3)_2]$ dikenal sebagai garam Reinecke, $[Pt(NH_3)_4][PtCl_4]$ dikenal sebagai garam hijau Magnus, dan $[Pt(NH_3)_3Cl]_2[PtCl_4]$ dikenal sebagai garam merah muda Magnus. Prosedur tersebut kurang efektif apabila sejumlah

besar senyawa harus diberi nama dengan nama penemunya. Saat ini, sistem nomenklatur untuk senyawa anorganik telah dikembangkan oleh International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

Aturan yang harus diikuti dalam penamaan senyawa koordinasi antara lain, yaitu

- 1) Dalam penamaan senyawa koordinasi, kation terlebih dahulu diberi nama kemudian diikuti dengan nama anionnya. Satu atau keduanya dapat berupa ion kompleks.
- 2) Dalam penamaan ion kompleks, ligan diberi nama sesuai urutan abjad. Awalan yang digunakan untuk menunjukkan jumlah ligan tidak dianggap sebagai bagian dari nama ligan. Misalnya, trikloro dinamai sesuai urutan yang ditunjukkan dengan nama *kloro*. Namun, jika ligannya adalah dietilamina ($(C_2H_5)_2NH$, awalan "*di*" adalah bagian dari nama ligan dan digunakan untuk menentukan urutan abjad.
 - a) Nama anion terkoordinasi diakhiri dengan *o*. Misalnya, Cl^- adalah *kloro*, CN^- adalah *siano*, SCN^- adalah *tiosianato*, dll.
 - b) Ligan netral diberi nama dengan menggunakan nama kimianya yang biasa. Misalnya, $H_2NCH_2CH_2NH_2$ adalah etilendiamin, C_5H_5N adalah piridin, dll. Empat pengecualian untuk aturan ini adalah H_2O , yang disebut *aqua*, NH_3 , yang disebut *amina*, CO , yang disebut *karbonil*, dan NO , yang disebut *nitrosil*. Tabel 12.1 menunjukkan nama beberapa ligan umum.
 - c) Setiap kation terkoordinasi diakhiri dengan *ium*. Beberapa kasus jenis ini ditemui, tetapi situasinya dapat muncul dengan ligan seperti hidrazin N_2H_4 (strukturnya adalah NH_2NH_2). Satu ujung bisa menerima proton, sedangkan ujung lainnya bisa berkoordinasi dengan logam. Dalam hal ini, $NH_2NH_3^+$ akan diberi nama sebagai hidrazinium.

- 3) Untuk menunjukkan jumlah ligan dari jenis tertentu, digunakan awalan *di*, *tri*, *tetra*, dll. Jika nama ligan mengandung salah satu awalan ini, jumlah ligan ditunjukkan dengan menggunakan awalan *bis*, *tris*, *tetrakis*, dll. Sebagai contoh dua ligan etilendiamina akan diindikasikan sebagai bis(etilenadiamina) daripada dietilenadiamina.
- 4) Setelah penamaan ligan, selanjutnya diberikan nama logam dengan bilangan oksidasinya yang ditunjukkan dengan angka romawi dalam tanda kurung tanpa spasi antara nama logam dan tanda kurung.
- 5) Jika ion kompleks yang mengandung logam adalah anion, maka nama logamnya diakhiri dengan *ate* (House, 2013).

Tabel 11.1. Nama Beberapa Ligan Umum

Gugus	Formula	Nama
Air	H ₂ O	Aqua
Amonia	NH ₃	Amina
Klorida	Cl ⁻	Kloro
Sianida	CN ⁻	Siano
Hidroksida	OH ⁻	Hidrokso
Tiosianat	SCN ⁻	Tiosianato
Karbonat	CO ₃ ²⁻	Karbonato
Nitrit	NO ²⁻	Nitrito
Oksalat	C ₂ O ₄ ²⁻	Oksalo
Karbon monoksida	CO	Karbonil
Nitrit Oksida	NO	Nitrosil
Etilendiamina	H ₂ NCH ₂ CH ₂ NH ₂	Etilendiamina

Sumber: (House, 2013)

4. Unsur Blok P

Unsur-unsur yang memiliki konfigurasi elektron valensi ns^2-np^{1-6} diklasifikasikan sebagai unsur blok-*p*. Unsur golongan IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA, dan gas mulia (kecuali He) merupakan golongan unsur blok-*p* (Gambar 11.6).

IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	Gas mulia (kec. He)
B	C	N	O	F	Ne
Al	Si	P	S	Cl	Ar
Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

Gambar 11.6. UNSUR BLOK-p
(Sumber: Housecroft dan Sharpe, 2012)

a. Sifat Kelistrikan Unsur Blok-P

Unsur-unsur kimia dapat diklasifikasikan sebagai logam, nonlogam, dan semilogam berdasarkan sifat kelistrikannya. Logam merupakan konduktor listrik yang baik, dan konduksi listriknya berkurang perlahan saat suhu dinaikkan. Nonlogam merupakan isolator listrik. Kemampuan non logam untuk menghantarkan listrik sangat kecil atau tidak terdeteksi. Konduktivitas listrik semi-logam atau metaloid kecil, tetapi dapat diukur dan cenderung meningkat seiring dengan kenaikan suhu.

Gambar 11.6 menunjukkan bahwa unsur logam ada pada bagian kiri tabel periodik dan dipisahkan dari unsur nonlogam oleh pita semilogam diagonal yang membentang dari boron hingga telurium. Penggolongan unsur-unsur yang mendekati golongan semilogam tidak selalu lurus ke depan karena beberapa unsur golongan IVA, VA dan VIA memiliki bentuk alotropi yang berbeda, yang masing-masing memiliki sifat kelistrikan yang berbeda pula. Misalnya, timah fasa- α yang disebut timah abu-abu, memiliki sifat kelistrikan semilogam, sedangkan fasa- β yaitu timah putih adalah konduktor logam.

Sebagai contoh lain, fosfor putih suatu padatan molekul unit P_4 dan fosfor merah, yang memiliki struktur rantai kompleks keduanya merupakan isolator listrik sehingga bersifat nonlogam. Sebaliknya, fosfor hitam alotrop memiliki struktur kristal yang terbuat dari lembaran bergelombang, dan dalam bentuk ini fosfor berperilaku seperti semilogam (Housecroft dan Sharpe, 2012).

b. Titik Leleh dan Titik Didih Unsur Blok-P

Titik leleh dan titik didih unsur blok-p bergantung pada sifat ikatan antar atom dalam kristal dan struktur kristal. Sifat ikatan tergantung pada jumlah elektron valensi yang mengambil bagian dalam pembentukan ikatan. Dari boron ke karbon, titik leleh meningkat dan kemudian menurun dari karbon ke nitrogen. Penurunan tersebut disebabkan oleh perubahan dari struktur raksasa karbon ke kristal molekul lunak nitrogen, yang memiliki gaya van der Waals lemah di antara molekul. Kristal molekuler yang memiliki massa molekul tinggi memiliki titik leleh yang tinggi (Housecroft dan Sharpe, 2012).

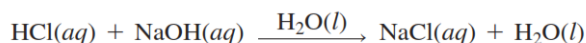
C. Klasifikasi Senyawa Anorganik

Mengklasifikasikan senyawa atau zat sebagai asam dan basa telah dilakukan sejak jaman kuno. Ahli kimia menggunakan indra perasa untuk menentukan zat sebagai asam atau basa, asam terasa masam dan basa terasa pahit seperti sabun. Pemahaman kimiawi yang lebih dalam tentang asam basa dan penerapannya dalam kimia anorganik muncul dari konsep Arrhenius tentang asam sebagai senyawa yang menghasilkan ion hidrogen dalam air. Brønsted dan Lowry yang berfokus pada transfer proton, dan Lewis didasarkan pada interaksi molekul dan ion donor pasangan elektron dan donor pasangan elektron (Atkins, dkk., 2010).

1. Asam-Basa

a. Asam-Basa Arrhenius

Kimia asam-basa pertama kali dijelaskan dalam istilah molekuler setelah Ostwald dan Arrhenius menetapkan keberadaan ion dalam larutan air pada akhir abad ke-19 (Arrhenius menerima Hadiah Nobel Kimia tahun 1903). Asam Arrhenius menghasilkan ion hidrogen dalam larutan berair, sementara Basa Arrhenius menghasilkan ion hidroksida dalam larutan berair. Persamaan netralisasi ion hidrogen dan hidroksida untuk membentuk air, yaitu



Persamaan di atas adalah reaksi asam-basa klasik Arrhenius, dengan garam (dalam hal ini NaCl) dan air sebagai produknya. Konsep Arrhenius hanya dapat digunakan dalam larutan berair, tetapi tidak berlaku untuk banyak reaksi yang terjadi dalam pelarut anorganik, pelarut organik, fase gas, atau keadaan padat (Miessler, dkk., 2014).

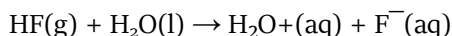
b. Asam-Basa Brønsted-Lowry

Johannes Brønsted di Denmark dan Thomas Lowry di Inggris mengusulkan (pada tahun 1923) bahwa ciri penting dari reaksi asam-basa adalah transfer ion hidrogen (H^+) dari satu spesi ke spesi lainnya. Dalam konteks definisi ini, ion hidrogen disebut sebagai proton. Brønsted-Lowry menyarankan bahwa zat apa pun yang bertindak sebagai donor proton harus diklasifikasikan sebagai asam, dan zat apa pun yang bertindak sebagai akseptor proton harus diklasifikasikan sebagai basa.

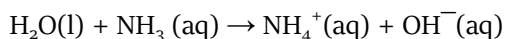
Asam Brønsted adalah donor proton.

Basa Brønsted adalah akseptor proton.

Contoh asam Brønsted adalah hidrogen fluorida (HF) yang dapat menyumbangkan proton ke molekul lain, seperti H₂O ketika larut dalam air:



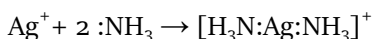
Contoh basa Brønsted adalah amonia (NH₃), yang dapat menerima proton dari donor proton:



Seperti yang ditunjukkan oleh dua contoh di atas, air adalah contoh zat amfiprotik yaitu zat yang dapat bertindak sebagai asam Brønsted dan basa Brønsted (Atkins, dkk., 2010).

c. Asam-Basa Lewis

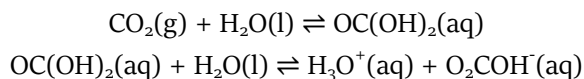
Lewis mendefinisikan basa sebagai donor pasangan elektron dan asam sebagai akseptor pasangan elektron. Kimia anorganik modern banyak menggunakan definisi Asam-Basa Lewis.



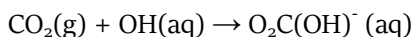
dengan ion perak sebagai asam dan amonia sebagai basa. Ikatan yang menghubungkan asam dan basa Lewis disebut ikatan kovalen atau ikatan dativ; ikatan ini menampilkan pasangan elektron bersama yang berasal dari basa Lewis (Miessler dkk., 2014).

2. Oksida

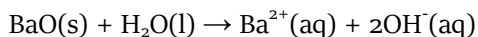
Oksida asam adalah oksida yang ketika larut dalam air, mengikat molekul H₂O dan melepaskan proton ke pelarut sekitarnya:



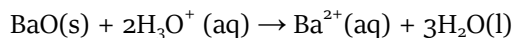
Interpretasi yang setara adalah bahwa oksida asam adalah oksida yang bereaksi dengan basa berair (alkali):



Oksida dasar adalah oksida yang ditransfer proton ketika larut dalam air:



Interpretasi yang setara dalam hal ini adalah bahwa oksida basa adalah oksida yang bereaksi dengan asam:



Karena karakter oksida asam dan basa sering berkorelasi dengan sifat kimia lainnya, berbagai sifat dapat diprediksi dari pengetahuan tentang karakter oksida. Dalam sejumlah kasus, korelasi mengikuti dari oksida basa yang sebagian besar bersifat ionik dan oksida asam yang sebagian besar bersifat kovalen. Misalnya suatu unsur yang membentuk oksida asam cenderung membentuk halida kovalen yang mudah menguap. Sebaliknya, unsur yang membentuk oksida basa cenderung membentuk halida ionik padat. Umumnya, logam membentuk oksida basa dan nonlogam membentuk oksida asam (Atkins, dkk., 2010).

3. Garam

Garam anorganik adalah nutrisi penting bagi manusia, hewan dan tumbuhan. Menurut perbedaan muatan listriknya, garam anorganik dapat dibagi menjadi kation dan anion. Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , dan HPO_4^{2-} adalah garam anorganik utama

karena kandungannya yang besar sedangkan Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^+ , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mn^{4+} , CO^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Br^- , I^- disebut elemen jejak karena jumlah jejaknya di dalam tubuh. Garam-garam anorganik ini memiliki fungsinya masing-masing, misalnya kalsium berfungsi untuk pembangunan dan pemeliharaan tulang serta fungsi normal saraf dan otot. Fosfor adalah konstituen penting adenosin trifosfat (ATP) dan asam nukleat dan juga penting untuk keseimbangan asam-basa, pembentukan tulang dan gigi. Besi merupakan komponen penting dari sitokrom yang berfungsi dalam respirasi seluler. Magnesium, tembaga, selenium, seng, besi, mangan, dan molybdenum adalah faktor pendamping penting yang ditemukan dalam struktur enzim tertentu dan sangat diperlukan dalam berbagai jalur biokimia. Iodium untuk membuat hormon tiroid. Natrium, kalium dan klorin penting dalam pemeliharaan keseimbangan osmotik antara sel dan cairan interstisial. Magnesium adalah komponen penting dari klorofil pada tumbuhan. Interaksi antara nutrisi dan penyakit, nutrisi dan metabolisme obat telah dilaporkan. Garam anorganik biasanya dibutuhkan dalam jumlah kecil dari kurang dari 1 sampai 2500 mg per hari, tergantung mineralnya, sehingga asupan garam harus dikontrol agar tidak berlebihan. Asupan beberapa garam yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan homeostatis dan menyebabkan efek samping toksik (Soetan, dkk., 2010).

D. Aplikasi Kimia Anorganik

Bahan kimia anorganik memiliki aplikasi pada setiap aspek industri kimia termasuk katalis, pigmen, surfaktan, pelapis, obat-obatan, bahan bakar, dan pertanian. Produk proses kimia anorganik digunakan sebagai (i) bahan kimia dasar untuk proses industri, yang meliputi asam, basa, garam, zat pengoksidasi, gas, dan halogen; (ii) bahan tambahan kimia, yang meliputi pigmen, logam alkali, dan pewarna; dan (iii) produk jadi, yang meliputi pupuk, kaca, dan bahan konstruksi. Dari perspektif industri, ada dua kelas utama bahan kimia anorganik: (i) bahan kimia alkali, termasuk soda abu, yang sebagian besar terdiri

dari natrium karbonat (NaCO_3), soda kaustik (NaOH), dan klorin cair (Cl_2) dan (ii) senyawa anorganik dasar seperti aluminium fluorida (AlF_3), kalsium karbida (CaC_2), kalium klorat (KClO_3), dan titanium dioksida (TiO_2). Selain itu, industri klor-alkali merupakan komponen utama ekonomi kimia dunia. Reaksi utama industri adalah reaksi di mana air asin (air asin yang mengandung natrium klorida, NaCl) didekomposisi melalui proses elektrolisis untuk menghasilkan natrium hidroksida (NaOH), gas klor (Cl_2), dan gas hidrogen (H_2) (Speight, 2017).

Daftar Pustaka

- Atkins, P., Overton, T., Rourke, J., Weller, M., Armstrong, F., & Hagerman, M. 2010. *Shriver & Atkins' Inorganic Chemistry* (Fifth). Great Britain by Oxford University Press.
- Cotton, F. A., & Wilkinson, G. 1972. *Advanced Inorganic Chemistry: A Comprehensive Text* (Third). Interscience Publishers.
- House, J. E. 2008. *Inorganic Chemistry* (First). Elsevier Inc.
- House, J. E. 2013. Acid-Base Chemistry. In *Inorganic Chemistry* (pp. 273-312). Elsevier.
- Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. 2012. *Inorganic Chemistry* (Fourth). Pearson Education Limited.
- Miessler, G. L., Fischer, P. J., & Tarr, D. A. 2014. Inorganic Chemistry. In *Journal of Applied Crystallography* (Fifth, Issue 2). Pearson Education.
- Soetan, K. O., Olaiya, C. O., & Oyewole, O. E. 2010. The Importance of Mineral Elements for Humans, Domestic Animals and Plants: A Review. *African Journal of Food Science*, 4(5), 200-222.
- Speight, J. G. 2017. Inorganic Chemistry. In *Environmental Inorganic Chemistry for Engineers* (pp. 51-110). Elsevier Inc.

12.

VIRUS

Erlyta Dian Puspitarini

A. Pendahuluan

Infeksi virus terhadap makhluk hidup di antaranya: tumbuhan, hewan bahkan manusia menimbulkan masalah yang sangat serius. Selain menimbulkan penyakit hingga kematian, dampak yang ditimbulkan juga beraneka ragam. Seperti yang terjadi pada saat ini, wabah covid-19 yang disebabkan oleh infeksi virus SARS-CoV-2 yang merupakan golongan virus RNA menimbulkan dampak yang sangat besar pada berbagai aspek di antaranya: Pendidikan, ekonomi, sosial, pariwisata dan lainnya.

Kemajuan terbaru dalam dunia kesehatan terutama yang berkaitan dengan genomik virus dan bentuk kehidupan seluler, merangsang minat untuk mengetahui asal-usul dan evolusi virus. Virus adalah mikroorganisme *pathogen* yang hanya dapat bereplikasi di dalam sel karena mereka tidak mempunyai perlengkapan seluler yang dibutuhkan untuk melakukan reproduksi (Koonin, *et al.*, 2006). Keberadaan virus, pertama kali ditulis oleh *Dmitri Ivanovsky* yang menjelaskan tentang patogen non bakterial yang menginfeksi tanaman tembakau pada tahun 1892 serta temuan *Martinus Beijerinck* tentang

penyakit mozaik pada tanaman tembakau di tahun 1898 (*Dimmock, et al., 2014*).

Virus merupakan unit biologi parasit obligat intraseluler dan bersifat patogen serta berukuran sangat kecil yang menginfeksi sel organisme biologis dan hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron (*Dimmock, et al., 2014; Suprobawati Oki; Kurniati Lis, 2018*). Virus mengandung asam nukleat DNA atau RNA saja, tetapi tidak kombinasi keduanya, dan mempunyai selubung bahan pelindung terdiri atas protein, lipid, glikoprotein, atau kombinasi ketiganya. Struktur virus terdiri dari kepala, isi tubuh, ekor, kapsid (*Suprobawati Oki; Kurniati Lis, 2018*).

Virus dapat ditemukan pada semua ekosistem dan merupakan entitas biologi terbanyak. Virus pada awalnya ditandai sebagai agen yang dapat disaring dan mampu menyebabkan berbagai penyakit. Sejak saat itu, kemajuan dalam mikroskop dan teknik ilmiah telah menghasilkan klasifikasi virus dan sifat-sifatnya yang lebih baik. Mikroskop elektron telah memungkinkan kita untuk memvisualisasikan virus dengan sangat rinci, sementara pengujian molekuler dan seluler telah memperluas pemahaman kita tentang bagaimana virus berfungsi dan terkait satu sama lain (*Louten, 2016*).

B. Dasar Virologi

1. Definisi

Virus memiliki keunikan tersendiri jika digolongkan ke dalam makhluk hidup. Atas dasar keunikan itulah maka beberapa peneliti atau ahli virologi mencoba melakukan kajian untuk mendefinisikan virus. Berikut adalah beberapa ilmuwan yang sudah mencoba mendefinisikan virus: (*Priastomo Yoga; A'yun Qurrota; Lestari Widya; Rini Ika Agus; et al., 2021*)

a. Bawden (1964)

Virus merupakan unit sub-mikroskopik infeksi yang bereplikasi hanya secara intraseluler dan mempunyai potensi sebagai patogen.

b. Hahon (1964)

Hahon mendefinisikan virus sebagai transmitter atau kendaraan pembawa informasi materi genetik atau dapat dikatakan sebagai potongan- potongan hereditas menular untuk mencari kromosom.

c. Lwoff and Tournier (1966)

Virus hanya memiliki satu jenis asam nukleat, yaitu DNA (asam deoksiribonukleat) atau RNA (asam ribonukleat). Virus melakukan replikasi atau menggandakan diri dengan menggunakan asam nukleat tersebut. Meskipun demikian, virus tidak dapat tumbuh atau mengalami pembelahan biner. Virus memanfaatkan ribosom dari sel inangnya untuk melakukan replikasi. Oleh karena itu virus merupakan organisme parasit.

d. Luria and Darnell (1968)

Virus sebagai unit yang genomnya adalah asam nukleat yaitu DNA atau RNA yang diproduksi di dalam sel makhluk hidup lain (sel inang). Virus menggunakan sistem kompleks sintesis sel inang yang secara langsung mensintesis partikel virus yang mengandung materi genetik virus (genom virus) dan mentransfernya ke dalam sel.

Berdasarkan beberapa definisi tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa virus merupakan unit yang hanya mempunyai satu tipe asam nukleat (DNA atau RNA). Virus hanya dapat bereplikasi di dalam sel makhluk hidup sehingga mereka merupakan organisme parasit obligat.

Pada tahun 1892, Dmitri Iwanowski mampu menunjukkan bahwa agen penyebab penyakit mosaik pada tanaman tembakau, yang bermanifestasi sebagai perubahan warna pada daun, melewati filter tahan bakteri, dan tidak dapat dilihat atau diolah. Iwanowski tidak terkesan dengan penemuannya, tetapi Beijerinck mengulangi eksperimennya pada tahun 1898, dan menjadi yakin bahwa ini

merupakan bentuk baru dari agen menular yang disebutnya *contagium vivum fluidum*, yang sekarang kita kenal sebagai virus (Suprobowati Oki; Kurniati Lis, 2018). Pada tahun yang sama Loeffler dan Frosch sampai pada kesimpulan yang sama mengenai penyebab penyakit mulut dan kuku. Selain itu, karena penyakit kaki-dan-mulut dapat ditularkan dari hewan ke hewan, dengan pengenceran yang tinggi pada setiap bagian, agen penyebab harus bereproduksi dan dengan demikian tidak dapat berupa toksin bakteri. Ellerman dan Bang melaporkan transmisi leukemia ayam tanpa sel pada tahun 1908, dan pada tahun 1911 Rous menemukan bahwa tumor padat ayam dapat ditularkan melalui filtrat bebas sel. Ini adalah indikasi pertama bahwa beberapa virus dapat menyebabkan kanker (Dimmock, *et al.*, 2014).

2. Karakteristik

Istilah virus biasanya merujuk pada partikel-partikel yang menginfeksi sel-sel eukariota (organisme multisel dan banyak jenis organisme sel tunggal) dan istilah bakteriofaga dipakai untuk virus yang menyerang jenis-jenis sel prokariota (bakteri dan organisme lain yang tidak berinti sel). Selama siklus replikasi, dihasilkan banyak sekali salinan asam nukleat dan protein selubung virus. Protein-protein selubung tadi kemudian dirakit untuk membentuk kapsid yang membungkus dan menstabilkan asam nukleat virus terhadap lingkungan ekstra sel serta memfasilitasi perlekatan penetrasi virus saat berkontak dengan sel-sel baru yang rentan. Infeksi virus dapat memiliki efek yang kecil atau bahkan tidak memiliki efek sama sekali pada sel penjamu tetapi dapat pula menyebabkan kerusakan atau kematian sel (Suprobowati Oki; Kurniati Lis, 2018).

Virus bukan seperti mikroorganisme uniseluler pada umumnya yang meliputi bakteri, parasit, protozoa, jamur maupun mikoplasma. Mikroorganisme tersebut memiliki sel dan mengandung DNA sebagai materi genetik dan juga mengandung beberapa tipe RNA serta memiliki sistem kompleks untuk

memproduksi energi dan senyawa makromolekul. Mikroorganisme tersebut tumbuh melalui sintesis senyawa makromolekul seperti asam nukleat, protein, karbohidrat dan lemak. Mikroorganisme tersebut berkembang biak dengan cara pembelahan biner (Priastomo Yoga; A'yun Qurrota; Lestari Widya; Rini Ika Agus; *et al.*, 2021). Virus memiliki karakter yang unik. Virus tidak memiliki organel fungsional seperti mitokondria, golgi, kloroplas dan retikulum endoplasma. Oleh sebab itu virus bergantung kepada sel inang untuk memproduksi energi, melakukan replikasi atau menggandakan diri dan mensintesis makromolekul. Virus mengandung salah satu jenis asam nukleat yaitu DNA atau RNA (tidak mungkin mengandung dua-duanya) dan berbeda dari mikroorganisme lain.

Tabel 12.1. Perbedaan Karakteristik Mikroorganisme Uniselular dengan Virus (Priastomo Yoga; A'yun Qurrota; Lestari Widya; Rini Ika Agus; *et al.*, 2021)

Karakteristik	Virus	Bakteri	Mikoplasma	Clamidia
Ukuran >300nm	Tidak	Ya	Ya	Ya
Tumbuh pada media tak hidup	Tidak	Ya	Ya	Tidak
Pembelahan biner	Tidak	Ya	Ya	Ya
Mengandung materi genetik DNA dan RNA	Tidak	Ya	Ya	Ya
Asam nukleat bersifat infeksi	Banyak	Tidak	Tidak	Tidak
Ribosom	Tidak	Ya	Ya	Ya
Sensitif terhadap antibiotik	Tidak	Ya	Ya	Ya

3. Struktur

Virus adalah parasit obligat intraseluler, yang menurut definisi mengandung genom RNA atau DNA yang dikelilingi oleh selubung protein pelindung berkode virus. Virus dapat dipandang

sebagai elemen genetik bergerak, yang dicirikan oleh evolusi virus dan inang yang lama. Untuk memperbanyak virus bergantung pada sel inang khusus yang memasok mesin metabolisme dan biosintetik kompleks sel eukariotik atau prokariotik. Partikel virus yang lengkap disebut virion. Fungsi utama virion adalah mengantarkan genom DNA atau RNA-nya ke dalam sel inang sehingga genom tersebut dapat diekspresikan (ditranskripsi dan diterjemahkan) oleh sel inang. Genom virus dikemas di dalam kapsid protein simetris. Protein terkait asam nukleat, yang disebut nukleoprotein, bersama dengan genom, membentuk nukleokapsid. Pada virus yang diselubungi, nukleokapsid dikelilingi oleh bilayer lipid yang berasal dari membran sel inang yang dimodifikasi dan dilapisi dengan lapisan luar glikoprotein amplop virus (Gelderblom, 1996)

Terdapat beberapa komponen utama penyusun tubuh virus, yaitu (Suprobawati Oki; Kurniati Lis, 2018)

a. Kepala

Virus memiliki kepala berisi DNA atau RNA yang menjadi bahan genetik kehidupannya. Isi kepala ini dilindungi oleh kapsid, yaitu selubung protein yang tersusun oleh protein. Bentuk kapsid sangat bergantung pada jenis virusnya. Kapsid virus bisa berbentuk bulat, polihedral, heliks, atau bentuk lain yang lebih kompleks. Kapsid tersusun atas banyak kapsomer atau sub-unit protein.

b. Isi Tubuh

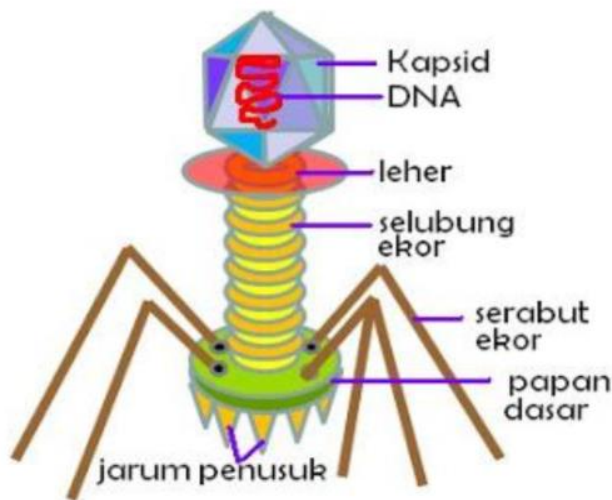
Isi tubuh virus atau biasa disebut virion adalah bahan genetik yang berupa salah satu tipe asam nukleat (DNA atau RNA). Tipe asam nukleat yang dimiliki virus akan mempengaruhi bentuk tubuh virus. Virus dengan isi tubuh berupa RNA biasanya berbentuk menyerupai kubus, bulat, atau polihedral, contohnya pada virus-virus penyebab penyakit polyomyelitis, virus influenza, dan virus radang mulut dan kuku.

c. Ekor

Ekor merupakan bagian dalam struktur tubuh virus yang berfungsi sebagai alat untuk menempelkan diri pada sel inang. Ekor yang melekat di kepala ini umumnya terdiri atas beberapa tabung tersumbat yang berisi benang dan serat halus. Adapun pada virus yang hanya menginfeksi sel eukariotik, bagian tubuh ini umumnya tidak dijumpai.

d. Kapsid

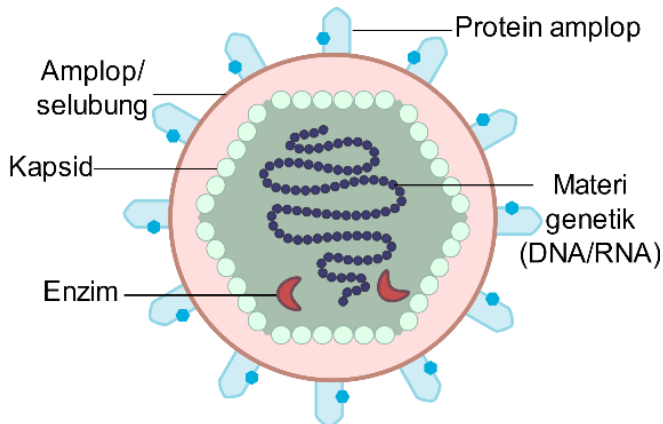
Kapsid adalah lapisan berupa rangkaian kapsomer pada tubuh virus yang berfungsi sebagai pembungkus DNA atau RNA. Fungsi kapsid ini adalah sebagai pembentuk tubuh dan pelindung bagi virus dari kondisi lingkungan luar.



Gambar 12.1. Struktur Virus (Suprobowati Oki; Kurniati Lis, 2018)

Virus menular yang dirakit sepenuhnya disebut **virion**. Virion paling sederhana terdiri dari dua komponen dasar: Asam nukleat (RNA atau DNA beruntai tunggal atau ganda) dan selubung protein, kapsid, yang berfungsi sebagai selubung untuk melindungi genom virus dari nuklease dan melekatkan virion ke

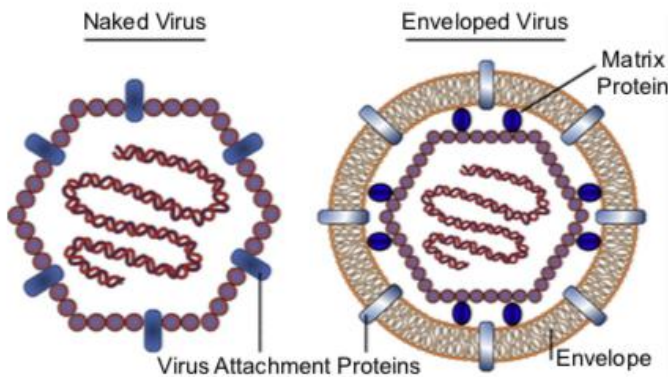
reseptor spesifik yang terpapar pada calon sel inang. Protein kapsid dikodekan oleh genom virus. Kapsid terbentuk sebagai cangkang protein tunggal atau ganda dan hanya terdiri dari satu atau beberapa spesies protein struktural. Oleh karena itu, banyak salinan protein harus berkumpul sendiri untuk membentuk struktur kapsid tiga dimensi yang berkelanjutan. Perakitan sendiri kapsid virus mengikuti dua pola dasar: simetri heliks, di mana subunit protein dan asam nukleat disusun dalam heliks, dan simetri ikosahedral, di mana subunit protein berkumpul menjadi cangkang simetris yang menutupi inti yang mengandung asam nukleat (Louten, 2016).



Gambar 12.2. Skema Dasar Virus (Dimmock, *et al.*, 2014)

Beberapa keluarga virus memiliki penutup tambahan, yang disebut amplop, yang berasal dari membran sel inang yang dimodifikasi. Amplop virus terdiri dari lapisan ganda lipid yang mengelilingi cangkang protein terkait membran yang dikodekan virus. Oleh karena itu, virus yang diselimuti sering menunjukkan pinggir atau tonjolan glikoprotein, juga disebut peplomer. Pada virus yang memperoleh selubungnya dengan bertunas melalui plasma atau membran sel intraseluler lainnya, komposisi lipid selubung virus mencerminkan komposisi

membran inang tertentu. Selain protein selubung yang ditentukan oleh virus, virus pemula juga membawa protein sel inang tertentu sebagai penyusun integral selubung virus. Amplop virus dapat dianggap sebagai lapisan pelindung tambahan (Gelderblom, 1996)

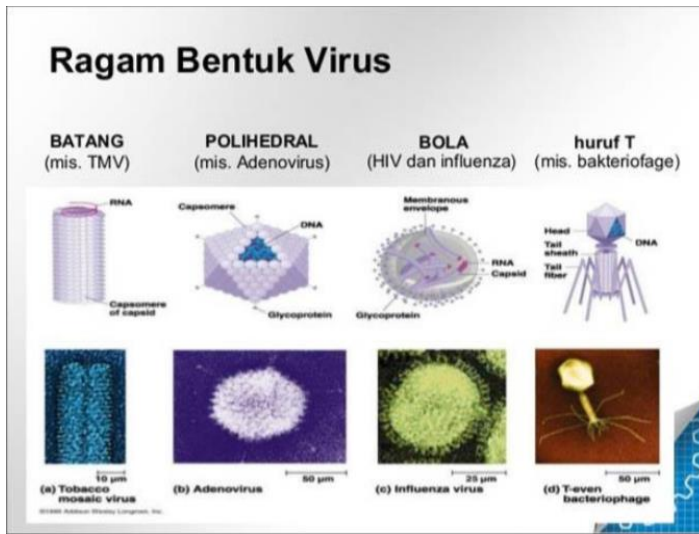


Gambar 12.3. Perbandingan antara *Naked* dan *Enveloped* Virus
(Louten, 2016)(2)

4. Morfologi

Morfologi virus sangatlah beragam baik dari segi bentuk maupun jenisnya. Virus mempunyai bentuk dan ukuran yang berbeda satu sama lain sesuai dengan klasifikasinya.

- Bentuk tubuh bulat dimiliki oleh virus-virus penyebab penyakit AIDS, ebola, dan influenza.
- Bentuk tubuh oval dimiliki oleh virus penyebab penyakit rabies.
- Bentuk tubuh batang dimiliki oleh virus TMV (Tobacco Mosaic Virus).
- Bentuk tubuh polihidris dimiliki oleh virus Adenovirus penyebab demam
- Bentuk tubuh huruf T pada bacteriophage, virus yang menyerang bakteri *E. coli*.



Gambar 12.4. Bentuk Virus (Suprobawati Oki; Kurniati Lis, 2018)

VIRUS RNA

Virus RNA, yang merupakan 70% dari semua jenis virus, sangat bervariasi dalam struktur genom. Karena tingkat kesalahan enzim yang terlibat dalam replikasi RNA, virus ini biasanya menunjukkan tingkat mutasi yang jauh lebih tinggi daripada virus DNA. Tingkat mutasi mengarah pada generasi berkelanjutan dari varian virus yang menunjukkan kemampuan beradaptasi yang baik terhadap inang baru. RNA virus dapat berupa untai tunggal (ss) atau untai ganda (ds), dan genom dapat menempati segmen RNA tunggal atau didistribusikan pada dua atau lebih segmen terpisah (genom tersegmentasi). Selain itu, untai RNA dari genom beruntai tunggal dapat berupa untai induksi (untai plus), yang dapat berfungsi sebagai messenger RNA (mRNA), atau untai antisense (untai minus), yang melengkapi untai induksi dan tidak dapat berfungsi sebagai translasi protein mRNA. Sense viral RNA sendiri dapat bereplikasi jika disuntikkan ke dalam sel, karena dapat berfungsi sebagai mRNA dan memulai translasi protein yang dikodekan oleh virus. RNA antisense, di sisi lain, tidak memiliki fungsi translasi dan tidak dapat menghasilkan komponen virus sendiri (Gelderblom, 1996).

VIRUS DNA

Sebagian besar virus DNA mengandung genom tunggal dsDNA linier. Papovavirus, yang terdiri dari polyoma- dan papillomavirus, bagaimanapun, memiliki genom DNA sirkular, berukuran sekitar 5,1 dan 7,8 kb. DsDNA berfungsi sebagai templat untuk mRNA dan transkripsi sendiri. Tiga atau 2 protein struktural membentuk kapsid papovavirus: Selain itu, 5-6 protein nonstruktural dikodekan yang berfungsi dalam transkripsi virus, replikasi DNA, dan transformasi sel. DNA linier beruntai tunggal, berukuran 4-6 kb, ditemukan bersama anggota keluarga Parvovirus yang terdiri dari parvo-, erythro-, dan dependovirus. Virion mengandung 2-4 spesies protein struktural yang diturunkan secara berbeda dari produk gen yang sama. Adeno-associated virus (AAV, dependovirus) tidak mampu menghasilkan progeny virion kecuali dengan adanya virus pembantu (adenovirus atau virus herpes). Oleh karena itu dikatakan replikasi rusak.

DNA beruntai tunggal melingkar hanya berukuran 1,7 hingga 2,3 kb ditemukan pada anggota keluarga Circovirus yang terdiri dari virus terkecil yang diperbanyak secara mandiri. Kapsid isometrik berukuran 17 nm dan hanya terdiri dari 2 spesies protein (Gelderblom, 1996).

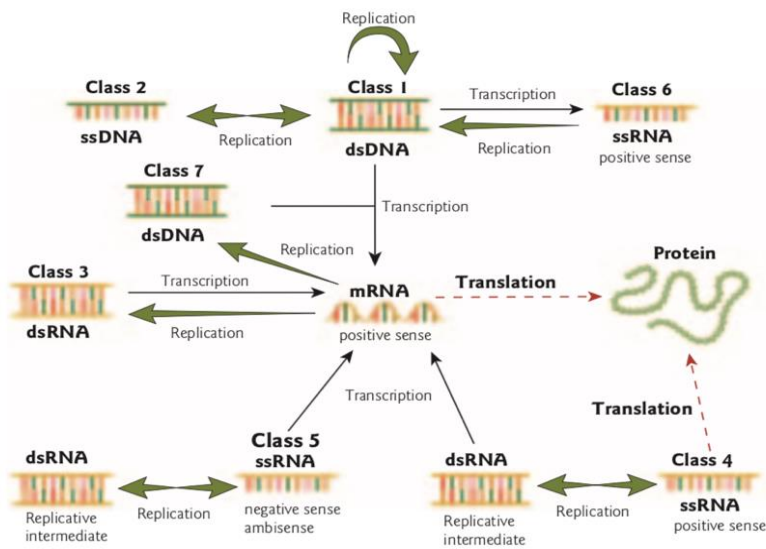
C. Klasifikasi Virus

Banyak jenis pengklasifikasian virus, baik yang berdasar jenis penyakit/patologi yang ditimbulkan, organisme inang, partikel morfologi, taxonomy dan berdasar asam nukleat penyusunnya. Namun mengklasifikasikan virus hanya berdasarkan satu atau bahkan dua parameter ini tidak mengarah pada sistem di mana mempelajari satu virus dalam kelompok tertentu dapat digunakan untuk menarik kesimpulan tentang anggota lain dari kelompok yang sama. Juga, klasifikasi atas dasar ini tidak memberikan dasar yang baik untuk mempersatukan pembahasan proses replikasi virus.

Untuk menghindari masalah ini, peraih Nobel David Baltimore mengusulkan skema klasifikasi yang mencakup semua virus, berdasarkan sifat genomnya, dan cara replikasi serta ekspresi gennya. Sistem ini memberikan peluang untuk membuat kesimpulan dan

prediksi tentang sifat dasar semua virus dalam setiap kelompok yang ditentukan (Dimmock, *et al.*, 2014).

Skema klasifikasi baltimore asli didasarkan pada kepentingan mendasar dari messenger RNA (mRNA) dalam siklus replikasi virus. Virus tidak mengandung molekul yang diperlukan untuk menerjemahkan mRNA dan bergantung pada sel inang untuk menyediakannya. Oleh karena itu mereka harus mensintesis mRNA yang dikenali oleh ribosom sel inang. Dalam skema Baltimore, virus dikelompokkan menurut mekanisme sintesis mRNA yang mereka gunakan. Dengan konvensi, semua mRNA ditetapkan sebagai RNA positif (atau "plus"). Untaian DNA dan RNA virus yang melengkapi mRNA disebut sebagai sense negatif (atau "minus") dan yang memiliki urutan yang sama disebut sense positif. Dengan menggunakan terminologi ini, ditambah dengan beberapa informasi tambahan tentang proses replikasi, skema klasifikasi yang dimodifikasi berdasarkan yang asli yang diusulkan oleh Baltimore mendefinisikan tujuh kelompok virus, dengan masing-masing secara umum dirujuk berdasarkan sifat genom virus yang dicakupnya.



Gambar 12.5. Klasifikasi Baltimore (Dimmock, *et al.*, 2014)

Kelas 1 berisi semua virus yang memiliki genom DNA beruntai ganda (ds). Di kelas ini, penunjukan sense positif dan negatif tidak bermakna karena mRNA dapat berasal dari kedua untai. Transkripsi dapat terjadi menggunakan proses yang mirip dengan yang ditemukan di sel inang.

Kelas 2 berisi virus yang memiliki genom DNA beruntai tunggal (ss). DNA bisa berarti positif atau negatif, tergantung pada virus yang dipelajari. Untuk virus di kelas 2, DNA harus diubah menjadi bentuk beruntai ganda sebelum sintesis mRNA dapat dilanjutkan.

Kelas 3 berisi virus yang memiliki genom dsRNA. Semua virus yang dikenal dari jenis ini memiliki genom tersegmentasi dan mRNA hanya disintesis dari satu untai cetakan dari setiap segmen. Proses transkripsi dari genom dsRNA dapat dibayangkan terjadi menggunakan mekanisme yang mirip dengan transkripsi dari genom dsDNA. Namun, enzim yang diperlukan untuk melakukan proses tersebut tidak ada pada sel normal yang tidak terinfeksi. Konsekuensinya, enzim ini harus dikodekan oleh genom virus dan harus dibawa ke dalam sel oleh virus untuk memulai proses infeksi.

Kelas 4 berisi virus dengan genom ssRNA dengan pengertian (positif) yang sama dengan mRNA dan yang dapat diterjemahkan. Sintesis untai komplementer, menghasilkan perantara dsRNA, mendahului sintesis mRNA. Seperti virus kelas 3, sintesis RNA harus dilakukan dengan menggunakan enzim yang dikodekan oleh virus, meskipun tidak dibawa dalam partikel virus.

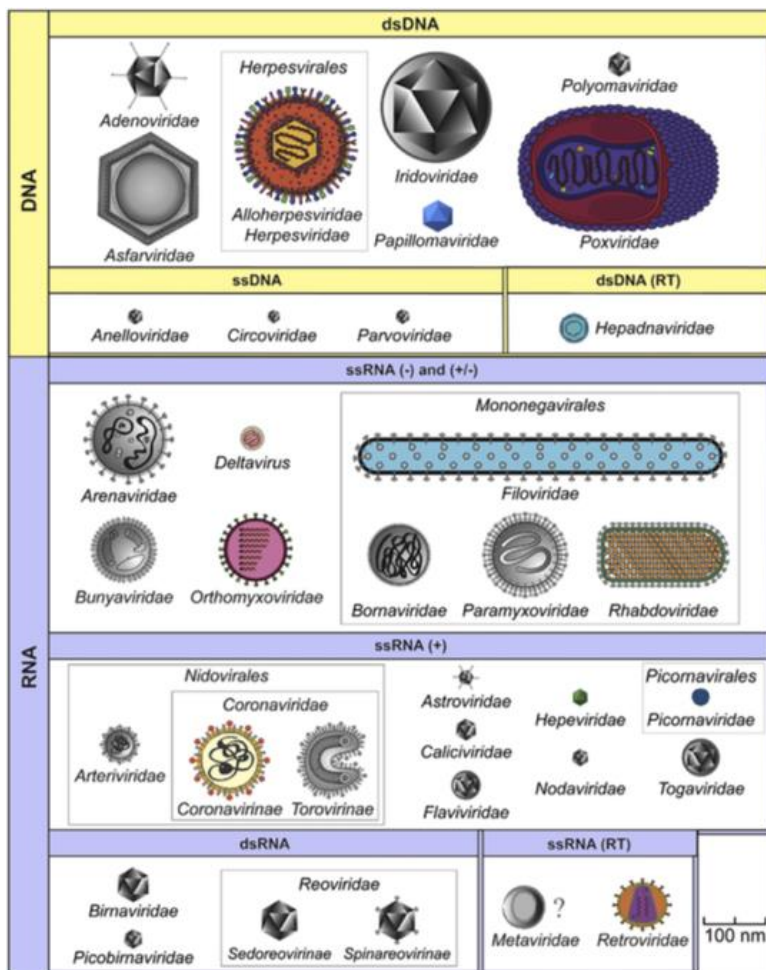
Kelas 5 berisi virus yang memiliki genom ssRNA yang saling melengkapi dalam urutan basa dengan mRNA (virus RNA untai negatif). Sintesis mRNA membutuhkan enzim baru yang dikodekan oleh virus, dan pembuatan genom virus baru memerlukan sintesis perantara dsRNA, untai induksi positif yang digunakan sebagai templat untuk replikasi. Enzim sintesis RNA virus dibawa dalam virion. Beberapa virus kelas 5 menggunakan untai RNA "antigenom" yang baru disintesis sebagai templat untuk produksi mRNA dan disebut sebagai virus "ambisense".

Kelas 6 mengandung virus yang memiliki genom ssRNA dan yang menghasilkan perantara dsDNA sebagai awal replikasi, menggunakan enzim yang dibawa dalam virion.

Kelas 7 Baru-baru ini, telah disarankan bahwa beberapa virus, yang disebut reversivirus, harus dipindahkan dari kelas 1 ke kelas 7 yang baru. Hal ini didasarkan pada replikasi mereka dari dsDNA melalui perantara ssRNA rasa positif kembali ke dsDNA. Ini merupakan kebalikan dari strategi replikasi kelas 6, di mana kelas 7 memiliki banyak kesamaan.

ICTV (International Committee on Taxonomy of Viruses) mengklasifikasikan virus berdasarkan berbagai karakteristik yang berbeda dengan maksud mengkategorikan virus yang paling mirip satu sama lain. Sifat kimia dan fisik virus dipertimbangkan, seperti jenis asam nukleat atau jumlah protein berbeda yang dikodekan oleh virus. Teknologi DNA sekarang memungkinkan kita untuk mengurutkan genom virus dengan relatif cepat dan mudah, memungkinkan para ilmuwan untuk membandingkan urutan asam nukleat dari dua virus untuk menentukan seberapa dekat hubungannya. Sifat virion lainnya juga diperhitungkan, termasuk ukuran virion, bentuk kapsid, dan apakah ada selubung atau tidak (Louten, 2016).

Saat ini, ICTV telah mengkategorikan tujuh urutan virus yang berisi total 103 famili yang diklasifikasikan di dalamnya. Tujuh puluh tujuh keluarga virus, bagaimanapun, belum diklasifikasikan, termasuk virus terkenal seperti retrovirus, papillomavirus, dan poxvirus (Louten, 2016).



Gambar 12.6. Penggolongan Virus Berdasar Asam Nucleat DNA atau RNA (Louten, 2016)

D. Reproduksi Virus

Virus harus melakukan proses replikasi untuk membuat virion baru yang mampu menginfeksi sel lain di dalam tubuh atau inang baru. Setelah memasuki tubuh, virus melakukan kontak fisik dengan sel inang dan melintasi membran plasma sel target. Di dalam sel, virus melepaskan diri dan menggandakan genomnya sambil memfasilitasi pembuatan protein menggunakan ribosom inang. Partikel virus dirakit dari molekul biologis yang baru disintesis dan menjadi virion menular

dan ketika virion dilepaskan dari sel mereka melanjutkan proses infeksi ke inang berikutnya.

Dalam proses replikasi virus terdapat proses-proses yang dilakukan untuk menghasilkan virion baru yang siap menginfeksi inang baru berikutnya. Tahapan tersebut dibagi menjadi tujuh proses dan diuraikan sebagai berikut:

1. Penempelan

Pada fase penempelan, terjadi pengikatan antara protein virus (atau 'antireseptor') ke molekul reseptor seluler sel target. Reseptor virus pada permukaan sel dapat berupa protein (umumnya berupa glikoprotein) atau residu karbohidrat yang menempel pada glikoprotein atau glikolipid. Kebanyakan pada bakteriofag, reseptornya berada di dinding sel bakteri, meskipun pada faga tertentu menggunakan komponen seluler seperti pili, flagela sebagai situs adsorpsi utama.

Terkadang spesifisitas terhadap pengikatan reseptor dapat digagalkan oleh interaksi nonspesifik antara partikel virus dan sel inang. Partikel virus ditelan oleh sel inang melalui pinositosis atau fagositosis. Akan tetapi frekuensi terjadinya sangat rendah tanpa adanya bentuk interaksi fisik yang menahan partikel virus yang berasosiasi erat dengan permukaan sel. Terlebih lagi virus yang diserap ke dalam vakuola melalui endositosis biasanya akan terdegradasi, kecuali dalam kasus di mana virus partikel memasuki sel melalui rute yang lain (Suprobowati Oki; Kurniati Lis, 2018).

2. Penetrasi

Masuknya partikel virus ke dalam sel inang secara normal terjadi beberapa saat setelah penempelan virus ke reseptor selesai. Penetrasi sel umumnya merupakan proses yang bergantung pada energi, yaitu sel harus aktif secara metabolik agar penetrasi dapat terjadi. Tiga mekanisme utama dalam penetrasi, yaitu

- a. Proses translokasi seluruh partikel virus melintasi membran sitoplasma. Proses ini dimediasi oleh protein yang ada di dalam kapsid virus dan reseptor spesifik membran.

- b. Proses endositosis virus ke dalam vakuola intraseluler. Pada tahap ini merupakan mekanisme yang paling umum saat virus masuk ke dalam sel. Tahap ini tidak memerlukan protein virus tertentu akan tetapi bergantung pada pembentukan dan internalisasi lubang yang berlapis pada membran sel. Endositosis yang dimediasi reseptor merupakan proses yang efisien untuk mengambil dan mengumpulkan makromolekul ekstraseluler.
- c. Proses fusi envelope virus (jika virus tersebut memilikinya) dengan membran sel, baik secara langsung pada permukaan sel atau melalui endositosis dalam vesikel sitoplasma. Fusi membutuhkan adanya protein spesifik fusi dalam envelope virus, misalnya hemagglutinin pada virus influenza A atau transmembran glikoprotein dari retrovirus. Protein ini memicu fusi membran sel dan virus yang menghasilkan nukleokapsid dan menuju langsung ke sitoplasma.

3. Uncoating

Uncoating menggambarkan peristiwa yang terjadi setelah virus memasuki sel inang. Kapsid virus terdegradasi sebagian atau seluruhnya dan genom virus terbuka, biasanya masih dalam bentuk kompleks asam nukleat dan protein. Uncoating terjadi bersamaan atau segera mungkin setelah masuk sehingga sulit untuk dipelajari. Pada bakteriofag yang memasukkan genom mereka langsung ke dalam sel inang, proses penetrasi dan uncoating terjadi secara bersamaan. Produk akhir dari uncoating tergantung pada struktur genom virus atau nukleokapsid (Suprobowati Oki; Kurniati Lis, 2018).

4. Replikasi

Strategi replikasi virus sebagian besar tergantung pada struktur dan komposisi genomnya. Virus dengan genom RNA replikasi dan transkripsi genom sering berkaitan erat, dan sering dilakukan oleh enzim yang sama. Oleh karena itu, proses replikasi

dan transkripsi dibahas sesuai dengan kelas virus, yaitu berdasarkan klasifikasi Baltimore (Dimmock, *et al.*, 2014).

5. Perakitan

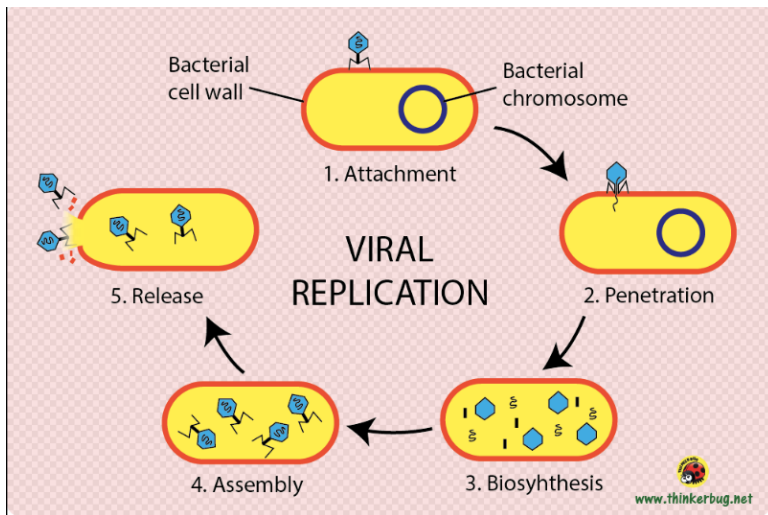
Selama perakitan, struktur dasar partikel virus dibentuk sebagai komponen yang diperlukan untuk pembentukan virion matang dan berkumpul di lokasi tertentu di sel. Lokasi perakitan tergantung pada pola replikasi virus dan mekanisme pelepasan virus dari sel inang, sehingga proses perakitan sangat bervariasi untuk virus yang berbeda.

6. Pematangan

Pematangan adalah salah satu tahap siklus replikasi di mana partikel virus bersifat menular. Proses ini sering melibatkan perubahan struktural pada partikel baru yang dihasilkan dari pembelahan spesifik protein virus untuk membentuk produk matang. Selain itu proses ini juga melibatkan perubahan konformasi protein yang terjadi selama proses perakitan misalnya pada interaksi hidrofobik protein. Perubahan struktur protein sering menyebabkan perubahan struktural substansial dalam kapsid (Dimmock, *et al.*, 2014).

7. Pelepasan

Pada virus yang mengalami siklus litik, pelepasan adalah proses yang sederhana. Sel inang yang terinfeksi pecah dan melepaskan partikel virus-virus baru. Sel yang terinfeksi virus sering kali pecah dan rusak karena replikasi virus dapat mengganggu fungsi normal seluler, misalnya, ekspresi gen-gen esensial. Protein selubung virion diambil selama proses ini dan digunakan sebagai partikel virus sebelum keluar sel. Proses tersebut dikenal dengan istilah budding (pertunasan). Pelepasan partikel virus matang dari sel inangnya dengan budding menimbulkan masalah karena partikel-partikel ini dirancang untuk masuk ke sel inang baru dan bukan untuk meninggalkan sel inang.



Gambar 12.7. Skema Replikasi Virus (Dimmock, *et al.*, 2014)

E. Penyebaran dan Infeksi Virus

1. Penyebaran Virus melalui Interaksi Tatap Muka

Penyebaran virus dapat terjadi ketika berhadapan dengan sumber inokulumnya. Penyebaran virus secara langsung dapat terjadi antara manusia dengan manusia dan hewan dengan manusia. Penyebaran ini terjadi apabila manusia tidak melakukan perlindungan diri waktu sedang sakit, di lingkungan yang ramai dan di tempat-tempat umum. Penularan virus dapat terjadi ketika kita bertemu dengan orang-orang yang sedang bersin, batuk dan flu, penyebaran virus juga dapat terjadi karena gigitan hewan yang sedang sakit, serangan ini juga dapat mengakibatkan penularan penyakit ke orang yang sehat. Selain itu, dapat juga akibat dari kotoran hewan peliharaan. Penularan penyakit akibat virus pada manusia bisa sangat cepat, apalagi jika manusia tersebut memiliki daya tahan tubuh yang lemah.

2. Penyebaran Virus Tanpa Interaksi

Penyebaran virus dapat terjadi tanpa adanya interaksi dengan orang sakit dan orang yang sehat. Hal ini dapat terjadi jika kita melakukan perjalanan menggunakan kendaraan umumnya secara

tidak sengaja kita menyentuh pintu atau tempat yang kita duduki bekas orang yang sedang sakit.

3. Penyebaran Virus oleh Serangga

Serangga-serangga dapat menular penyakit virus kepada manusia, hewan dan tumbuhan. Penyebaran virus melalui nyamuk dapat dipengaruhi oleh 3 faktor yang saling berhubungan antara lain, manusia, vektor sebagai pelantara untuk menularkan penyakit dan virus. Nyamuk-nyamuk yang dapat menularkan penyakit demam berdarah pada manusia yaitu, *Aedes polynesiensis*, *Aedes albopictus* dan *Aedes aegypti*. Akan tetapi masih banyak spesies yang dapat menularkan penyakit dari golongan nyamuk ke manusia, namun tidak memiliki tingkat yang parah dari genus *Aedes*. Nyamuk dapat menularkan virus selama nyamuk tersebut masih hidup.

Prinsip Infeksi Virus

Infeksi virus adalah masuknya virus kedalam tubuh inang (manusia, hewan, tumbuh-tumbuhan termasuk bakteri) melalui siklus lisis dan lisogenik sampai timbul gejala sakit. Virus dapat menginfeksi inangnya dan menyebabkan berbagai akibat bagi inangnya. Ada yang berbahaya, namun juga ada yang dapat ditangani oleh sel imun dalam tubuh sehingga akibat yang dihasilkan tidak terlalu besar. Prinsip-prinsip penting menyangkut infeksi virus adalah sebagai berikut: (1) Banyak infeksi virus bersifat subklinis; (2) infeksi yang sama dapat disebabkan oleh berbagai virus; (3) virus yang sama dapat menyebabkan berbagai infeksi; (4) infeksi yang diakibatkan tidak berhubungan dengan morfologi virus; dan (5) keluaran pada kasus apapun ditentukan oleh faktor virus, pejamu, dan dipengaruhi oleh gen masing-masing.

Daftar Pustaka

- Dimmock, N. J., Easton, A. J., & Leppard, K. N. 2014. Introduction to Modern Virology. In *Igarss 2014* (Issue 1).
- Gelderblom, H. R. 1996. <http://gsbs.utmb.edu/microbook/cho41.htm>.
<http://gsbs.utmb.edu/microbook/cho41.htm>
- Koonin, E. V., Senkevich, T. G., & Dolja, V. V. 2006. The ancient virus world and evolution of cells. *Biology Direct*, 1. <https://doi.org/10.1186/1745-6150-1-29>
- Louten, J. 2016. Virus Structure and Classification. In *Essential Human Virology* (pp. 19–29). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800947-5.00002-8>
- Priastomo Yoga; A'yun Qurrota; Lestari Widya; Rini Ika Agus; et al. 2021. *Virologi: Vol. I* (simarmata Janner, Ed.; first). Yayasan Kita Menulis.
- Suprobowati Oki; Kurniati Lis. 2018. Bahan Ajar Teknologi Laboratorium Medis Virologi. In Kurniawati Heny (Ed.), *Virologi* (first, Vol. 1, pp. 2–6). Kementrian Kesehatan Republik Indonesia.

13.

BAKTERI

Gina Aulia

A. Pendahuluan

Bakteri (tunggal: Bacterium) adalah organisme bersel tunggal (uniseluler) yang relatif sederhana. Karena materi genetik mereka tidak tertutup dalam membran nuklir khusus, bakteri sel disebut prokariot dari kata Yunani yang berarti prenukleus. Prokariot mencakup bakteri dan archaea (Longstaff, 2019).

Bakteri umumnya berkembang biak dengan membelah menjadi dua sel yang sama; proses ini disebut pembelahan biner. Untuk nutrisi, sebagian besar bakteri menggunakan bahan kimia organik, yang di alam dapat berasal dari organisme hidup atau mati. Beberapa bakteri dapat memproduksi makanan mereka sendiri dengan fotosintesis, dan beberapa dapat memperoleh nutrisi dari zat anorganik. Banyak bakteri dapat "berenang" dengan menggunakan pelengkap bergerak yang disebut flagella (Longstaff, 2019).

Sebagian besar bakteri memiliki sel gram positif dinding dengan lapisan peptidoglikan yang tebal, atau gram negatif dinding sel dengan lapisan peptidoglikan tipis dan di atasnya membran luar. Bakteri, seperti *Mycobacterium tuberculosis* memiliki dinding sel yang lebih

kompleks dan yang lainnya tidak memiliki sel ini struktur dinding dan mengimbanginya dengan bertahan hidup hanya di dalam sel inang atau dalam lingkungan hipertonik. Ukurannya (1 hingga 20 μm atau lebih besar), bentuk (bola, batang, dan spiral), dan pengaturan spasial (sel tunggal, rantai, dan cluster) dari sel digunakan untuk klasifikasi awal bakteri dan sifat fenotipik dan genotipik bakteri membentuk dasar untuk klasifikasi definitif (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Kita hidup di dunia mikroba dengan mikroba di udara yang kita hirup, air yang kita minum, dan makanan yang kita makan, banyak yang relatif tidak berbahaya, tetapi beberapa di antaranya mampu menghasilkan penyakit yang mengancam jiwa. Tubuh manusia dihuni oleh ribuan spesies bakteri yang berbeda, dengan beberapa hidup sementara dan yang lain hidup secara permanen hubungan parasit. Populasi mikroba ini berada di usus kita dan di kulit kita dan mukosa lainnya permukaan (disebut "mikrobioma manusia") bertindak hampir sebagai organ tubuh. Masing-masing dari kita memiliki mikrobioma yang unik, yang, mirip dengan sidik jari, memiliki kesamaan tetapi individual perbedaan. Meskipun dipengaruhi oleh genetika kita dan diatur oleh sistem kekebalan tubuh kita, mikrobioma sensitif terhadap lingkungan, pola makan, dan antibiotik serta obat-obatan lain yang kita konsumsi (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

B. Klasifikasi Bakteri

Bakteri dapat diklasifikasikan berdasarkan perbedaan makroskopis dan mikroskopisnya, berdasarkan karakteristik pertumbuhan dan sifat metabolisme, antigenitasnya, dan genetik (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

1. Berdasarkan Perbedaan Makroskopik dan Mikroskopik

Perbedaan awal antara bakteri dapat dilakukan dengan karakteristik pertumbuhan pada nutrisi yang berbeda dan media selektif. Bakteri tumbuh dalam koloni; setiap koloni seperti sebuah

kota sebanyak satu juta atau lebih organisme. Jumlah dari karakteristik mereka memberikan koloni dengan karakteristik pembeda seperti warna, ukuran, bentuk, dan bau. Kemampuan bakteri untuk melawan antibiotik tertentu, memfermentasi spesifik gula (misalnya, laktosa untuk membedakan *E. coli* dari *Salmonella*), melisiskan eritrosit (sifat hemolitik streptokokus), atau untuk menghidrolisis lipid (misalnya, lipase clostridial) dapat ditentukan menggunakan media pertumbuhan yang sesuai (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Penampilan mikroskopis, termasuk ukuran, bentuk, dan konfigurasi organisme (kokus, batang, melengkung, atau spiral), dan kemampuan mereka untuk mempertahankan noda Gram (gram positif atau gram negatif) adalah cara utama untuk membedakan bakteri. Bakteri berbentuk bola seperti *Staphylococcus* adalah kokus, bakteri berbentuk batang seperti *E. coli* adalah basil, dan treponema seperti ular adalah spirillum. Selain itu, Spesies *Nocardia* dan *Actinomyces* memiliki filamen bercabang penampilan yang mirip dengan jamur. Beberapa bentuk bakteri agregat, seperti kelompok *Staphylococcus aureus* yang mirip anggur atau rantai, seperti *Streptococcus pyogenes*, atau diplococcus (dua sel bersama) seperti untuk spesies *S. pneumoniae* dan *Neisseria* (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Pewarnaan Gram adalah tes yang cepat, kuat, dan mudah yang memungkinkan dokter untuk membedakan antara dua kelas utama bakteri, mengembangkan diagnosis awal, dan memulai terapi berdasarkan perbedaan yang melekat pada bakteri. Bakteri adalah dipanaskan atau dikeringkan pada slide; diwarnai dengan kristal violet (Gambar 13.1), yang merupakan noda yang diendapkan dengan yodium; dan kemudian noda yang tidak terikat dan berlebih dihilangkan dengan mencuci dengan penghilang warna berbasis aseton dan air. Pewarna tandingan merah, safranin, ditambahkan untuk menodai sel yang tidak berwarna. Proses ini membutuhkan waktu kurang dari 10 menit (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Untuk bakteri gram positif, yang berubah menjadi ungu, maka noda terperangkap dalam struktur yang tebal, ikatan silang, dan seperti jala (lapisan peptidoglikan) yang mengelilingi sel. Bakteri gram negatif memiliki lapisan peptidoglikan tipis yang tidak mempertahankan noda kristal violet, sehingga sel harus diwarnai dengan safranin dan berubah menjadi merah (Gambar 13.1). Perangkat mnemonik yang dapat membantu adalah "**P-UNGU-POSITIF**". Bakteri yang tidak dapat diklasifikasikan dengan pewarnaan Gram termasuk mikobakteri, yang memiliki kulit luar seperti lilin dan dibedakan dengan pewarnaan asam-cepat, dan mikoplasma, yang tidak memiliki peptidoglikan (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

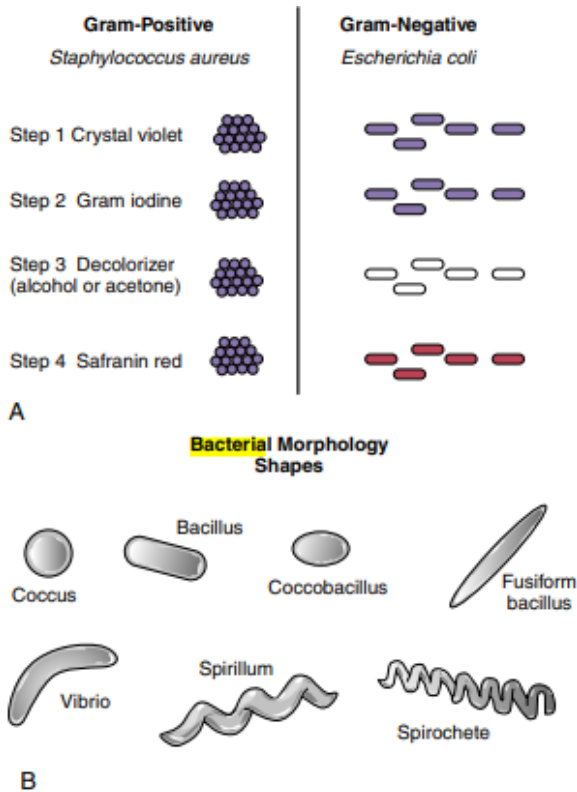
2. Berdasarkan Perbedaan Metabolik, Antigenik dan Genetik

Tingkat klasifikasi berikutnya didasarkan pada struktur dan tanda metabolik bakteri, termasuk kerentanan terhadap detergen (misalnya, asam empedu), persyaratan untuk lingkungan anaerobik atau lingkungan aerobik, persyaratan untuk nutrisi tertentu (misalnya, kemampuan untuk memfermentasi karbohidrat tertentu atau menggunakan senyawa yang berbeda sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan), dan produksi produk metabolisme yang khas (asam, alkohol) dan enzim spesifik (misalnya, katalase stafilokokus). Prosedur otomatis untuk membedakan bakteri enterik dan bakteri lainnya telah dikembangkan, mereka menganalisis pertumbuhan dalam media yang berbeda dan produk mikroba mereka dan memberikan biotipe numerik untuk masing-masing bakteri (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Strain bakteri tertentu dapat dibedakan dengan menggunakan antibodi untuk mendeteksi antigen karakteristik pada bakteri (serotipe). Tes serologis ini juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi organisme yang sulit (misalnya, *Treponema pallidum*, organisme yang bertanggung jawab atas sifilis) atau terlalu berbahaya (misalnya, *Francisella*, organisme yang menyebabkan tularemia), tidak tumbuh di laboratorium, terkait

dengan sindrom penyakit tertentu (misalnya, *E. coli* serotipe O157:H7, yang bertanggung jawab atas kolitis hemoragik), atau perlu diidentifikasi dengan cepat (misalnya, *S. pyogenes*, yang bertanggung jawab atas faringitis streptokokus). Serotipe juga digunakan untuk membagi bakteri di bawah tingkat spesies untuk tujuan epidemiologi (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Metode yang paling tepat untuk mengklasifikasikan bakteri adalah dengan analisis materi genetik atau protein mereka. Spesifik urutan DNA yang khas dapat dideteksi dengan **DNA hibridisasi, reaksi berantai polimerase (PCR) amplifikasi, pengurutan DNA**. Profil protein karakteristik dari bakteri juga dapat dianalisis dengan cepat dengan spektrometri massa (MALDI-TOF). Teknik-teknik ini tidak memerlukan bakteri hidup atau bakteri yang hidup atau tumbuh dan dapat digunakan untuk deteksi cepat dan identifikasi organisme yang tumbuh lambat (misalnya, mikobakteri, jamur) atau analisis sampel patologi bahkan sangat bakteri virulen. Sekuens DNA ribosom dapat ditentukan untuk mengidentifikasi famili atau genus dan membedakan spesies atau subspecies (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).



Gambar 13.1. Morfologi pewarnaan gram bakteri. (A) Kristal violet dari pewarnaan Gram diendapkan oleh yodium Gram dan terperangkap di dalamnya lapisan peptidoglikan yang tebal pada bakteri gram positif. Penghilang warna membubarkan membran luar gram negatif dan mencuci kristal violet dari lapisan tipis peptidoglikan. Bakteri gram negatif divisualisasikan dengan pewarna merah. (B) Morfologi bakteri. (Sumber: (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021))

C. Struktur Bakteri

Sitoplasma bakteri terbungkus oleh membran sitoplasma, yang dikelilingi oleh dinding sel yang terdiri dari peptidoglikan yang tebal untuk bakteri gram positif dan tipis untuk bakteri gram negatif. Ruang periplasma dan membran luar mengelilingi peptidoglikan bakteri gram negatif. Untuk beberapa bakteri, sebuah kapsul mengelilingi seluruh bakteri.

1. Struktur Sitoplasma

Sitoplasma sel bakteri mengandung kromosom DNA, asam ribonukleat pembawa pesan (mRNA), ribosom, protein, dan metabolit. Tidak seperti eukariota, sebagian besar kromosom bakteri adalah lingkaran tunggal beruntai ganda yang tidak terkandung dalam nukleus tetapi dalam daerah terpisah yang dikenal sebagai nukleoid. Beberapa bakteri mungkin memiliki dua atau tiga kromosom melingkar atau bahkan satu kromosom linier. Histon tidak hadir untuk mempertahankan konformasi DNA, dan DNA tidak membentuk nukleosom. Plasmid, yang lebih kecil, berbentuk melingkar, DNA ekstrakromosomal, juga mungkin ada. Plasmid, meskipun biasanya tidak penting untuk kelangsungan hidup sel, seringkali memberikan keuntungan selektif; banyak di antaranya memberikan resistensi terhadap satu atau lebih antibiotik.

Ribosom bakteri terdiri dari subunit 30S + 50S, membentuk ribosom 70S. Ini tidak seperti eukariotik Ribosom 80S (40S + 60S). Protein dan RNA dari ribosom bakteri sangat berbeda dari ribosom eukariotik dan merupakan target utama obat antibakteri.

Membran sitoplasma memiliki struktur lipid bilayer yang mirip dengan struktur membran eukariotik, tetapi tidak mengandung steroid (misalnya, kolesterol); mikoplasma adalah pengecualian untuk aturan ini. Membran sitoplasma bertanggung jawab atas banyak fungsi yang dapat dikaitkan dengan organel dalam eukariot. Tugas-tugas ini termasuk transpor elektron dan produksi energi, yang biasanya dicapai di mitokondria. Selain itu, membran mengandung protein transpor yang memungkinkan penyerapan metabolit dan pelepasan zat lain, pompa ion untuk mempertahankan potensial membran, dan enzim. Bagian dalam membran dilapisi dengan filamen protein mirip aktin yang membantu menentukan bentuk bakteri dan tempat pembentukan septum untuk pembelahan sel. Filamen-filamen ini menentukan bentuk spiral treponemes (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

2. Dinding Sel

Komponen dinding sel juga merupakan unik untuk bakteri, dan strukturnya yang berulang-ulang mengikat reseptor pola patogen pada sel manusia untuk memperoleh bawaan respon protektif. Lapisan peptidoglikan (murein) yang kaku mengelilingi membran sitoplasma sebagian besar prokariota. Pengecualiannya adalah organisme Archaea (yang mengandung pseudoglikan atau pseudomurein yang terkait dengan peptidoglikan) dan mikoplasma (yang tidak memiliki peptidoglikan). Karena peptidoglikan memberikan kekakuan, peptidoglikan juga membantu menentukan bentuk dari sel bakteri tertentu. Protein dan molekul lainnya dapat melekat pada peptidoglikan (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

Bakteri gram positif memiliki dinding sel yang tebal dan berlapis-lapis yang sebagian besar terdiri dari peptidoglikan (150 hingga 500 Å) yang mengelilingi membran sitoplasma. Peptidoglikan adalah eksoskeleton seperti jala yang fungsinya mirip dengan eksoskeleton serangga. Berbeda dengan eksoskeleton serangga, bagaimanapun, peptidoglikan sel cukup berpori untuk memungkinkan difusi metabolit ke membran plasma. Rantai glikan memanjang keluar dari membran plasma seperti bulu yang terhubung silang dengan rantai peptida pendek. Peptidoglikan sangat penting untuk struktur, replikasi, dan kelangsungan hidup dalam kondisi yang biasanya tidak diinginkan di mana bakteri tumbuh.

Bakteri gram negatif mempunyai dinding sel lebih kompleks daripada dinding sel gram positif, baik secara struktural maupun kimiawi. Tepat di luar membran sitoplasma adalah lapisan peptidoglikan tipis yang menyumbang hanya 5% hingga 10% dari dinding sel gram negative berdasarkan berat. Tidak ada asam teikoat atau lipoteikoat di dalam dinding sel gram negatif. Di luar peptidoglikan adalah membran luar, yang unik untuk bakteri gram negatif. Area antara permukaan luar membran sitoplasma dan permukaan internal membran luar disebut sebagai ruang

periplasma. Ruang ini sebenarnya adalah kompartemen yang berisi komponen sistem transportasi untuk zat besi, protein, gula dan metabolit lainnya, dan berbagai enzim hidrolitik yang penting bagi sel untuk memecah makromolekul besar untuk metabolisme. Enzim-enzim ini biasanya meliputi protease, fosfatase, lipase, nuklease, dan enzim pengurai karbohidrat. Dalam kasus spesies gram negatif patogen, banyak faktor virulensi, seperti kolagenase, hialuronidase, protease, dan β -laktamase, berada di ruang periplasma (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).

3. Struktur Eksternal

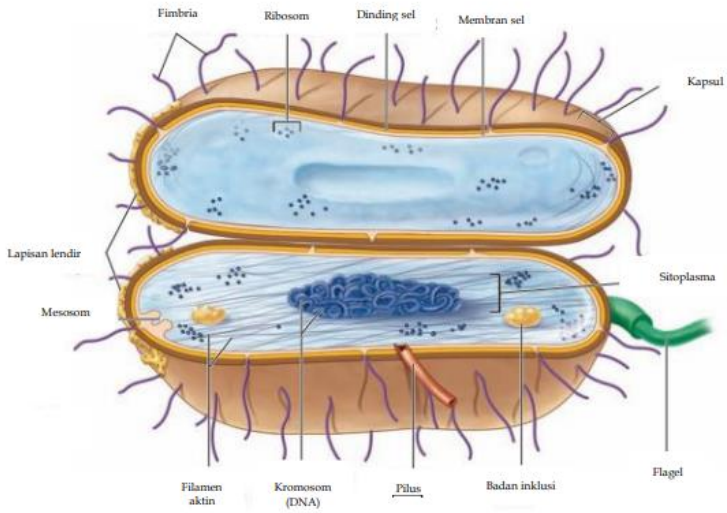
Beberapa bakteri (gram positif atau gram negatif) sangat dekat dikelilingi oleh lapisan polisakarida atau protein longgar yang disebut kapsul yang kadang-kadang disebut sebagai lapisan lendir atau glikokaliks. *Bacillus anthracis*, merupakan pengecualian dari aturan ini, menghasilkan kapsul polipeptida. Kapsul ini sulit dilihat dalam mikroskop, tetapi ruangnya dapat divisualisasikan dengan mengesampingkan partikel tinta India.

Kapsul tidak diperlukan untuk pertumbuhan bakteri, tetapi mereka sangat penting untuk kelangsungan hidup inang. Kapsul antigenik dan antiphagositik yang buruk dan merupakan virulensi utama faktor virulensi utama (misalnya, *S. pneumoniae*). Kapsul juga dapat bertindak sebagai penghalang molekul hidrofobik beracun, seperti detergen, dan dapat meningkatkan kepatuhan terhadap bakteri lain atau permukaan jaringan *host*. Strain bakteri yang tidak memiliki kapsul dapat muncul selama pertumbuhan dalam kondisi laboratorium, jauh dari tekanan selektif *host*; oleh karena itu mereka kurang ganas. Beberapa bakteri (misalnya, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. aureus*) akan menghasilkan biofilm polisakarida ketika cukup jumlah (kuorum) yang cukup dan dalam kondisi itu mendukung pertumbuhan. Biofilm mengandung dan melindungi komunitas bakteri dari antibiotik dan pertahanan *host*.

Flagela adalah baling-baling seperti tali yang terdiri dari heliks subunit protein melingkar (flagellin) yang berlabuh di

membran bakteri melalui pengait dan tubuh basal struktur dan digerakkan oleh potensial membran. Spesies bakteri mungkin memiliki satu atau beberapa flagela di permukaannya, dan mereka mungkin berlabuh di berbagai bagian sel. Potensial membran menggerakkan motor protein, yang memutar baling-baling cambuk. Flagela memberikan motilitas bagi bakteri, memungkinkan sel untuk berenang (kemotaksis) menuju makanan dan menjauhi racun. Bakteri mendekati makanan dengan berenang lurus dan kemudian jatuh ke arah yang baru. Periode berenang menjadi lebih lama karena konsentrasi kemoatraktan meningkat. Arah perputaran flagela menentukan apakah bakteri berenang atau jatuh. Flagela mengekspresikan antigenik dan strain penentu dan merupakan ligan untuk pola patogen reseptor untuk mengaktifkan perlindungan bawaan *host*.

Fimbria (pili) (bahasa Latin untuk "pinggiran") adalah struktur seperti rambut di bagian luar bakteri, dan terdiri dari subunit protein (pilin). Fimbria dapat secara morfologis dibedakan dari flagel karena ukurannya lebih kecil diameter (3 hingga 8 nm berbanding 15 hingga 20 nm) dan biasanya tidak melingkar dalam struktur. Secara umum, beberapa ratus fimbriae tersusun secara peritrik (seragam) di seluruh permukaan sel bakteri. Panjangnya bisa mencapai 15 hingga 20 μm atau berkali-kali lipat dari panjang sel (Murray P, Rosenthal K and Pfaller M, 2021).



Gambar 13.2. Struktur Sel Bakteri
(Sumber: (Talaro and Chess, 2012))

Daftar Pustaka

- Longstaff, A. 2019. *MICROBIOLOGY: An Introduction*. 13th ed. Edited by S. Beauparlant. Boston: Pearson Education, Inc. doi: 10.1201/b17880.
- Murray P, Rosenthal K and Pfaller M. 2021. *Medical Microbiology*. 9th ed. USA: Elsevier Inc. Available at: <http://evolve.elsevier.com/Murray/microbiology/>.
- Talaro, K. P. and Chess, B. 2012. *FOUNDATION IN MICROBIOLOGY*. 8th ed. New York: McGraw-Hill.

JAMUR DAN FUNGSI CACING

Yanang Surya Putra Hardyanto

A. Pendahuluan

Jamur dan cacing sebagai dekomposer (pengurai) dan detritivor memainkan peran penting dalam aliran energi melalui ekosistem. Mereka memecah organisme mati menjadi bahan anorganik sederhana, membuat nutrisi tersedia untuk produsen utama (Martha R. Taylor, *et al.*, 2022). Dengan demikian, mikroorganisme dapat digunakan untuk mendegradasi zat berbahaya dan berbau serta membersihkan lingkungan. Organisme ini memperbaiki nitrogen atmosfer dan memasoknya ke tanaman. Pupuk hayati yang diperoleh dari mikroorganisme sangat baik untuk meningkatkan kualitas dan kesuburan tanah. Mereka juga ramah lingkungan dan tidak menimbulkan efek beracun atau berbahaya. Komunitas mikroba terdiri dari keanekaragaman hayati yang besar termasuk invertebrata seperti cacing dan sebagian besar jamur melakukan peran penting dalam fungsi ekosistem seperti dekomposisi bahan organik, siklus nutrisi biogeokimia, dan degradasi xenobiotik (Gibb, *et al.*, 2022).

Selain itu, baik invertebrata dan mikroba penting dalam dekomposisi serasah. Invertebrata secara langsung bertanggung jawab

atas rata-rata 37% kehilangan sampah dan hingga 20% kehilangan kayu di lantai hutan setiap tahun di seluruh dunia. Serasah daun terurai jauh lebih cepat daripada puing-puing kayu (Gessner, *et al.*, 2010).

Meskipun dekomposisi sering difasilitasi oleh invertebrata, sisa 70-80% dekomposisi tahunan umumnya dilakukan oleh mikrobiota tanah, yang memecah senyawa bandel seperti selulosa dan lignin. Sebagai contoh, jamur dari Agaricomycetes adalah satu-satunya organisme yang menghasilkan enzim yang mampu melakukan degradasi lignin substansial, menjadikannya taksa kunci dalam dekomposisi puing-puing kayu (Floudas, *et al.*, 2012).

Interaksi antar-spesies mempengaruhi laju dekomposisi. Misalnya, efek gabungan kutu kayu (Isopoda) dan cacing tanah (Annelida) lebih kuat daripada jumlah efek spesies tunggal. Berbagai interaksi potensial di antara organisme pengurai berfungsi untuk menyoroti kompleksitas komunitas yang mendorong dekomposisi (McCary and Schmitz, 2021).

B. Jamur

Jamur atau dalam istilah biologi disebut sebagai fungi adalah komponen biosfer yang sangat besar dan penting. Keragaman spesiesnya sangat banyak, sekitar 100.000 spesies telah teridentifikasi. Beberapa merupakan spesies bersel tunggal sementara yang lainnya tersusun atas banyak sel yang kompleks dan dikenal luas sebagai cendawan. Keragaman yang besar ini membuatnya mampu mengkoloni hampir semua habitat terestrial (Martha R. Taylor, *et al.*, 2022).

Selain ragam spesiesnya yang besar, jamur memiliki peranan penting bagi ekosistem terestrial. Jamur memecah materi organik dan mendaur ulang nutrisi di ekosistem. Hal tersebut membuat organisme yang lain dapat mengasimilasi unsur-unsur kimia yang diperlukan. Dengan kata lain, jamur memberikan jasa yang besar bagi manusia, khususnya dalam bidang kehutanan, pertanian dan perkebunan.

1. Macam Jamur dalam Ekosistem Terrestrial

Jamur adalah kelompok beragam organisme yang ditemukan di tanah, dan mereka memainkan berbagai peran penting dalam fungsi ekosistem. Beberapa jenis jamur yang umum di tanah dan fungsinya meliputi:

- a. Jamur saprotrofik adalah pengurai, yang berarti mereka memakan bahan organik mati, termasuk puing-puing tanaman, daun, dan kayu. Mereka memainkan peran penting dalam memecah senyawa organik kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti karbon dioksida, air, dan nutrisi. Proses dekomposisi ini melepaskan nutrisi penting kembali ke tanah, membuatnya tersedia untuk tanaman dan organisme lain (Díaz, 2013).
- b. Jamur mikoriza membentuk hubungan simbiosis dengan akar sebagian besar tanaman, menciptakan asosiasi mikoriza. Jamur ini memperluas hifa halus mereka ke dalam tanah, secara signifikan meningkatkan luas permukaan akar efektif tanaman. Sebagai imbalannya, jamur menerima gula dan senyawa lain dari tanaman. Asosiasi mikoriza meningkatkan penyerapan nutrisi dan air tanaman, terutama untuk unsur-unsur penting seperti fosfor dan nitrogen, yang dapat dibatasi di tanah (Huey, *et al.*, 2020).
 - 1) Jamur Ektomikoriza: Jamur ini membentuk selubung di sekitar ujung akar tanaman dan tumbuh di antara sel-sel akar. Mereka umumnya terkait dengan pohon, semak, dan beberapa tanaman herba, dan mereka memainkan peran penting dalam pertukaran nutrisi dan penyerapan air untuk tanaman inang.
 - 2) Jamur Endomikoriza (*Arbuscular Mycorrhizal Fungi*-AMF): Jamur ini menembus sel-sel akar tanaman, membentuk struktur bercabang yang disebut *arbuscules*. AMF tersebar luas dan membentuk asosiasi dengan berbagai tanaman, termasuk sebagian besar tanaman pertanian. Mereka sangat

efektif dalam meningkatkan penyerapan nutrisi, terutama fosfor, dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.

- c. Beberapa jamur di tanah bersifat patogen, artinya mereka menyebabkan penyakit pada tanaman, hewan, atau jamur lainnya. Jamur patogen ini dapat berdampak negatif terhadap kesehatan tanaman dan produktivitas pertanian. Mereka dapat menyebabkan penyakit seperti busuk akar, layu, dan hawar, yang menyebabkan hilangnya panen dan penurunan kesehatan tanah (Fisher, *et al.*, 2020).
- d. Jamur mutualistik membentuk hubungan simbiosis dengan berbagai organisme, memberikan manfaat bagi kedua belah pihak yang terlibat. Sebagai contoh, beberapa jamur membentuk hubungan mutualistik dengan serangga tertentu, seperti semut dan rayap, di mana mereka menerima makanan dan tempat berlindung dari serangga, dan sebagai imbalannya, mereka membantu serangga mencerna selulosa dan memberikan nutrisi (Martha R. Taylor, *et al.*, 2022).
- e. Selain jamur saprotrofik, ada dekomposer dan detritivor lain di tanah, seperti nematoda pemakan jamur, tungau, dan *springtail*. Organisme ini juga berkontribusi pada dekomposisi bahan organik, membantu mendaur ulang nutrisi dalam tanah (Martha R. Taylor, *et al.*, 2022).
- f. Jamur mikoparasit adalah jamur yang memparasitasi jamur lain, hidup darinya dan menyebabkan penguraianya. Jamur ini membantu menjaga populasi jamur di tanah dengan mengendalikan pertumbuhan jamur patogen tertentu dan menjaga keseimbangan mikroorganisme tanah (Boddy, 2016).

Secara keseluruhan, keanekaragaman jamur di tanah berkontribusi terhadap siklus nutrisi, dekomposisi bahan organik, promosi pertumbuhan tanaman, dan kesehatan dan fungsi ekosistem secara keseluruhan. Memahami peran berbagai jenis jamur dalam ekosistem tanah sangat penting untuk pengelolaan tanah yang berkelanjutan dan menjaga kesehatan tanah.

2. Peranan Jamur dalam Ekosistem

Jamur memainkan peran penting dalam kesehatan tanah dan fungsi ekosistem. Mereka adalah pemain kunci dalam siklus nutrisi, dekomposisi bahan organik, dan pembentukan struktur tanah yang stabil. Berikut adalah beberapa peran penting jamur dalam kesehatan tanah, bersama dengan contoh spesies jamur:

- a. Siklus Nutrisi: Jamur, terutama jamur saprotrofik, adalah pengurai bahan organik yang kuat. Mereka memecah senyawa kompleks dalam bahan tanaman mati dan sisa-sisa hewan, melepaskan nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, dan karbon kembali ke tanah. Proses siklus nutrisi ini membuat elemen-elemen ini tersedia untuk diserap oleh tanaman dan organisme tanah lainnya. Contoh: *Aspergillus* dan *Penicillium* adalah jamur saprotrofik umum yang terlibat dalam dekomposisi bahan organik di tanah (Liu, Li and Kou, 2020).
- b. Asosiasi Mikoriza: Jamur mikoriza membentuk hubungan simbiosis dengan akar tanaman, menciptakan asosiasi mikoriza. Jamur ini memperluas hifa mereka ke dalam tanah, secara signifikan meningkatkan luas permukaan akar efektif tanaman. Sebagai imbalannya, jamur menerima gula dan senyawa lain dari tanaman. Asosiasi mikoriza meningkatkan penyerapan nutrisi, terutama fosfor dan nitrogen, untuk tanaman inang (Lewis, 2016a). Contoh: *Glomus intraradices* adalah jamur mikoriza arbuskular terkenal (AMF) yang membentuk asosiasi dengan berbagai tanaman, termasuk tanaman pertanian.
- c. Agregasi Tanah: Jamur berkontribusi pada agregasi tanah dengan menghasilkan jaringan hifa yang mengikat partikel tanah bersama-sama, membentuk agregat tanah yang stabil. Ini meningkatkan struktur tanah, porositas, dan infiltrasi air, mendukung pertumbuhan dan aerasi akar. Contoh: Jaringan jamur hifa seperti *Agaricus* dan *Pleurotus* terlibat dalam agregasi tanah (Krause, *et al.*, 2022).
- d. Dekomposisi Bahan Organik: Jamur memecah bahan organik kompleks, termasuk lignin dan selulosa, yang sulit terdegradasi.

Dekomposisi ini mengarah pada pembentukan humus, bentuk stabil dari bahan organik yang memperkaya kesuburan tanah dan bertindak sebagai penyerap karbon. Contoh: Basidiomycetes, seperti genus *Trichoderma*, adalah pengurai lignin dan selulosa yang efisien (Cotrufo and Lavallee, 2022).

- e. Penekanan Penyakit: Beberapa jamur menunjukkan sifat biokontrol, membantu menekan patogen yang ditularkan melalui tanah. Jamur menguntungkan ini membentuk hubungan antagonis dengan mikroorganisme berbahaya, mengurangi kejadian penyakit pada tanaman dan menjaga keseimbangan ekosistem tanah. Contoh: *Trichoderma harzianum* adalah jamur biokontrol umum yang membantu menekan berbagai patogen tanaman (Chen, Modi and Picot, 2023).
- f. Penyerapan Karbon: Jamur, termasuk jamur mikoriza, berperan dalam penyerapan karbon. Mereka mengasimilasi karbon dari atmosfer, memasukkannya ke dalam biomassa dan tanah mereka, berkontribusi untuk mengurangi perubahan iklim. Contoh: Berbagai jamur mikoriza berpartisipasi dalam penyerapan karbon, membantu dalam upaya mitigasi perubahan iklim (Emilia Hannula and Morriën, 2022).

C. Cacing

Cacing tanah adalah makhluk yang menarik dan penting yang memainkan peran penting dalam kesehatan dan fungsi ekosistem di seluruh dunia. Makhluk tersegmentasi dan tanpa kaki ini termasuk dalam kelas Oligochaeta dan umumnya ditemukan di berbagai habitat, dari hutan dan padang rumput hingga kebun dan ladang pertanian. Dengan sejarah jutaan tahun yang lalu, cacing tanah telah berevolusi menjadi penghuni tanah yang sangat beradaptasi, memberikan kontribusi signifikan terhadap kesehatan tanah dan lingkungan (Miglani and Bisht, 2020).

Cacing tanah sering disebut "insinyur ekosistem" karena pengaruhnya yang mendalam terhadap lingkungan. Mereka secara aktif menggali melalui tanah, menciptakan terowongan dan saluran

yang meningkatkan struktur tanah dan drainase. Liang ini juga memungkinkan udara dan air menembus lebih dalam ke dalam tanah, menguntungkan akar tanaman dan mendukung komunitas mikro-organisme tanah yang beragam (Gonçalves, *et al.*, 2021).

Cacing tanah adalah organisme luar biasa yang secara signifikan berdampak pada kesehatan tanah, siklus nutrisi, dan fungsi ekosistem secara keseluruhan. Kegiatan mereka sangat penting untuk pertanian berkelanjutan, perbaikan tanah alami, dan daur ulang limbah (Ahmed and Al-Mutairi, 2022). Dengan mengakui dan menghargai peran cacing tanah di lingkungan, kita dapat bekerja untuk membina tanah yang sehat dan menjaga keseimbangan alam untuk generasi yang akan datang.

1. Macam Cacing dalam Ekosistem Terrestrial

Cacing tanah adalah salah satu dari sedikit makhluk di planet ini yang bergantung pada pH tanah, suhu, garam, aerasi, tekstur, dan ketersediaan bahan organik yang membusuk dan/atau mikroba hidup (Bottinelli, *et al.*, 2021). Terdapat tiga jenis cacing tanah-epigeik, endogeik, dan anekik.

Cacing tanah epigeik adalah cacing yang tinggal di permukaan yang hidup di lapisan paling atas tanah, di mana bahan organik seperti serasah daun, kompos, dan vegetasi yang membusuk berlimpah. Mereka tidak membuat liang permanen di tanah dan sangat beradaptasi untuk mengkonsumsi dan memecah bahan organik yang ditemukan di permukaan tanah. Contoh: *Eisenia fetida*, umumnya dikenal sebagai *wiggler* merah atau cacing merah, adalah contoh terkenal dari cacing tanah epigeik. Cacing ini sering digunakan dalam vermikompos karena efisiensinya dalam menguraikan sampah organik (Gilibert, *et al.*, 2022).

Cacing tanah endogeik adalah cacing yang tinggal di tanah yang menciptakan liang horizontal di cakrawala organik dan mineral tanah. Mereka tidak membangun liang vertikal permanen melainkan menggali secara horizontal melalui tanah, memakan partikel tanah halus dan bahan organik di jalurnya. Contoh:

Aporrectodea caliginosa, juga dikenal sebagai cacing abu-abu atau cacing pucat, adalah contoh umum dari cacing tanah endogeik. Cacing ini memainkan peran penting dalam aerasi tanah dan siklus nutrisi (Chatelain, 2023).

Cacing tanah anekik adalah kelompok cacing tanah terbesar dan paling dikenal. Mereka membuat liang vertikal permanen yang dapat meluas jauh ke dalam tanah. Cacing anekik membawa bahan organik, seperti daun, ke liang mereka untuk dikonsumsi. Mereka hidup di lingkungan permukaan dan bawah permukaan. Contoh: *Lumbricus terrestris*, sering disebut sebagai nightcrawler umum atau cacing embun, adalah contoh khas cacing tanah anekik. Cacing tanah besar ini dikenal karena liang vertikalnya, dan mereka berkontribusi pada aerasi tanah dan pencampuran bahan organik dengan tanah mineral (Hoeffner, *et al.*, 2022).

Ketiga jenis cacing tanah ini mewakili kelompok ekologi yang berbeda, masing-masing dengan perannya sendiri dalam kesehatan tanah dan dinamika ekosistem. Kegiatan mereka berkontribusi pada siklus nutrisi, perbaikan struktur tanah, dan kesehatan tanah secara keseluruhan dan kehidupan tanaman di sekitarnya.

2. Peranan Cacing dalam Ekosistem

Cacing tanah memainkan peran penting dalam pertanian dan sering disebut sebagai "insinyur ekosistem" karena dampaknya yang signifikan terhadap kesehatan dan kesuburan tanah. Kegiatan mereka dapat memiliki beberapa efek positif pada ekosistem pertanian:

- a. Aerasi Tanah: Cacing tanah menggali melalui tanah, menciptakan terowongan dan saluran. Ini meningkatkan aerasi tanah, memungkinkan oksigen mencapai akar tanaman dan mikroorganisme tanah yang bermanfaat. Oksigen yang cukup dalam tanah sangat penting untuk respirasi akar dan kesehatan tanaman secara keseluruhan (Adomako, *et al.*, 2021).
- b. Siklus Nutrisi: Cacing tanah mengonsumsi bahan organik seperti bahan tanaman mati dan pupuk kandang, memecahnya

menjadi partikel yang lebih kecil. Selama proses ini, nutrisi dilepaskan dan diubah menjadi bentuk yang lebih mudah tersedia untuk tanaman. Gips kaya nutrisi ini, yang merupakan kotoran cacing tanah, bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman dan bertindak sebagai pupuk alami (Rehman, *et al.*, 2023).

- c. Agregasi Tanah: Aktivitas cacing tanah berkontribusi pada agregasi tanah dengan mencampur bahan organik dengan partikel mineral. Ini menciptakan agregat tanah yang stabil, memperbaiki struktur tanah, infiltrasi air, dan penetrasi akar. Tanah yang teragregasi dengan baik kurang rentan terhadap erosi dan pemadatan (Józefowska, *et al.*, 2021).
- d. Peningkatan Aktivitas Mikroba: Cacing tanah merangsang aktivitas mikroba di tanah. Ketika mereka mengonsumsi bahan organik, ia melewati sistem pencernaan mereka, di mana ia mengalami dekomposisi mikroba. Gips yang disimpan oleh cacing tanah mengandung mikroba tanah yang bermanfaat yang membantu dalam pemecahan bahan organik lebih lanjut dan siklus nutrisi (Medina-Sauza, *et al.*, 2019).
- e. Peraturan pH: Cacing tanah dapat membantu mengatur tingkat pH tanah. Ketika mereka mengonsumsi partikel tanah dan bahan organik, gips mereka sering memiliki pH yang lebih netral, yang dapat menyangga tanah asam atau basa, menciptakan lingkungan yang lebih menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman (Fattore, *et al.*, 2020).
- f. Pengendalian Erosi: Aktivitas menggali cacing tanah membantu menstabilkan tanah dan mengurangi risiko erosi. Erosi merupakan masalah yang signifikan dalam pertanian, karena dapat menyebabkan hilangnya nutrisi, penurunan kesuburan tanah, dan kerusakan lingkungan (Ahmed and Al-Mutairi, 2022).
- g. Peningkatan Produktivitas Tanaman: Peningkatan kesehatan tanah secara keseluruhan karena aktivitas cacing tanah menghasilkan peningkatan ketersediaan nutrisi, retensi air yang lebih baik, dan peningkatan pertumbuhan akar. Faktor-

faktor ini secara kolektif berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan hasil panen (Ahmed and Al-Mutairi, 2022).

Untuk mendorong dan mempromosikan populasi cacing tanah di bidang pertanian, petani dapat mengadopsi praktik yang mendukung kehadiran mereka, seperti mengurangi pengolahan tanah, penanaman penutup, dan penggabungan bahan organik. Dengan menghargai dan melestarikan cacing tanah sebagai organisme tanah yang bermanfaat, pertanian dapat menjadi lebih berkelanjutan, produktif, dan ramah lingkungan. Teknik ini dinamakan *vermicomposting*, proses pengomposan yang memanfaatkan cacing tanah untuk menguraikan bahan organik dan mengubahnya menjadi kompos kaya nutrisi yang dikenal sebagai kascing atau coran cacing. Ini adalah metode daur ulang limbah organik yang ramah lingkungan dan efisien (Rehman, *et al.*, 2023).

D. Interaksi Jamur dan Cacing

Interaksi antara jamur dan cacing tanah memainkan peran penting dalam menjaga kesehatan dan kesuburan tanah. Interaksi ini dikenal sebagai simbiosis mikoriza, dan melibatkan hubungan yang saling menguntungkan antara jamur tertentu dan cacing tanah. Mari kita jelajahi aspek-aspek kunci dari interaksi ini:

1. **Jamur Mikoriza:** Jamur mikoriza adalah jamur tanah khusus yang membentuk hubungan simbiosis dengan akar sebagian besar tanaman. Jamur ini memiliki jaringan benang halus yang disebut hifa yang meluas ke tanah, secara efektif meningkatkan jangkauan sistem akar. Mereka membantu tanaman dengan meningkatkan penyerapan nutrisi dan air, terutama untuk unsur-unsur penting seperti fosfor dan nitrogen, yang dapat dibatasi di tanah (Lewis, 2016b).
2. **Cacing Tanah:** Cacing tanah adalah organisme yang tinggal di tanah yang memainkan peran penting dalam kesehatan tanah melalui aktivitas menggali dan pemecahan bahan organik. Saat cacing tanah bergerak melalui tanah, mereka membuat saluran dan

memperbaiki struktur tanah, memungkinkan aerasi dan infiltrasi air yang lebih baik (D. K. Sharma, 2017).

3. Interaksi Jamur Mikoriza dan Cacing Tanah: Ketika cacing tanah mengkonsumsi bahan tanaman, mereka memprosesnya secara internal, yang mengarah pada produksi gips kaya nutrisi (kotoran). Gips ini mengandung bahan organik yang terurai sebagian dan mikroorganisme yang bermanfaat, termasuk jamur mikoriza (Song, *et al.*, 2020).
4. Menyebarkan Jamur Mikoriza: Ketika cacing tanah bergerak melalui tanah dan menyimpan gips mereka, mereka secara tidak sengaja membubarkan jamur mikoriza, membantu kolonisasi akar tanaman di dekatnya. Distribusi jamur mikoriza di seluruh tanah ini menguntungkan berbagai tanaman di ekosistem (Sefrila, *et al.*, 2023).
5. Manfaat Kesehatan Tanah: Simbiosis mikoriza yang difasilitasi oleh cacing tanah berkontribusi pada peningkatan kesehatan tanah (Meng, *et al.*, 2022) dalam beberapa cara:
 - a. Peningkatan Siklus Nutrisi: Jamur mikoriza membantu melarutkan dan memperoleh nutrisi seperti fosfor dan nitrogen dari tanah, membuatnya lebih mudah diakses oleh tanaman. Sebagai imbalannya, jamur menerima gula dan senyawa organik lainnya dari tanaman.
 - b. Agregasi Tanah: Kegiatan cacing tanah, bersama dengan adanya hifa mikoriza, mempromosikan agregasi tanah, yang meningkatkan struktur dan stabilitas tanah. Tanah yang teragregasi dengan baik memungkinkan penetrasi akar dan pergerakan udara dan air yang lebih baik, yang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman.
 - c. Dekomposisi Bahan Organik: Cacing tanah memecah bahan organik, yang mengarah pada pembentukan humus—bahan organik stabil yang memperkaya kesuburan tanah dan bertindak sebagai penyerap karbon.
 - d. Peningkatan Ketahanan Tanaman: Jamur mikoriza dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stresor lingkungan

seperti kekeringan, patogen, dan polutan, yang selanjutnya meningkatkan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Secara keseluruhan, interaksi antara jamur mikoriza dan cacing tanah di tanah berkontribusi pada ekosistem yang lebih tangguh dan produktif, mendorong pertumbuhan tanaman yang sehat dan meningkatkan kesuburan tanah dari waktu ke waktu.

Daftar Pustaka

- Adomako, M.O. *et al.* 2021. 'Earthworms Modulate Impacts of Soil Heterogeneity on Plant Growth at Different Spatial Scales', *Frontiers in Plant Science*, 12. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.735495>.
- Ahmed, N. and Al-Mutairi, K.A. 2022. 'Earthworms Effect on Microbial Population and Soil Fertility as Well as Their Interaction with Agriculture Practices', *Sustainability*, 14(13), p. 7803. Available at: <https://doi.org/10.3390/su14137803>.
- Boddy, L. 2016. 'Interactions Between Fungi and Other Microbes', in *The Fungi*. Elsevier, pp. 337-360. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382034-1.00010-4>.
- Bottinelli, N. *et al.* 2021. 'Anecic earthworms generate more topsoil than they contribute to erosion – Evidence at catchment scale in northern Vietnam', *CATENA*, 201, p. 105186. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105186>.
- Chatelain, M. 2023. 'Citation: Chatelain, M. Endogeic Earthworms Avoid Soil Mimicking Metal Pollution Levels in Urban Endogeic Earthworms Avoid Soil Mimicking Metal Pollution Levels in Urban Parks'. Available at: <https://doi.org/10.3390/su15151513>.
- Chen, W., Modi, D. and Picot, A. 2023. 'Soil and Phytomicrobiome for Plant Disease Suppression and Management under Climate Change: A Review', *Plants*, 12(14), p. 2736. Available at: <https://doi.org/10.3390/plants12142736>.
- Cotrufo, M.F. and Lavelle, J.M. 2022. 'Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration', in, pp. 1-66. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.11.002>.
- D. K. Sharma, S.T. and D.C. 2017. 'Role of earthworm in improving soil structure and functioning', *Current Science*, 113(6), pp. 1064-1071.

- Díaz, S. 2013. 'Ecosystem Function Measurement, Terrestrial Communities', in *Encyclopedia of Biodiversity*. Elsevier, pp. 72–89. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00042-3>.
- Emilia Hannula, S. and Morriën, E. 2022. 'Will fungi solve the carbon dilemma?', *Geoderma*, 413, p. 115767. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115767>.
- Fattore, S. *et al.* 2020. 'Bioturbation by endogeic earthworms facilitates entomopathogenic nematode movement toward herbivore-damaged maize roots', *Scientific Reports*, 10(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78307-0>.
- Fisher, M.C. *et al.* 2020. 'Threats Posed by the Fungal Kingdom to Humans, Wildlife, and Agriculture'. Available at: <https://doi.org/10.1128/mBio>.
- Floudas, D. *et al.* 2012. 'The paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes', *Science*, 336(6089), pp. 1715–1719. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1221748>.
- Gibb, H. *et al.* 2022. 'The role of decomposer communities in managing surface fuels: a neglected ecosystem service', *International Journal of Wildland Fire*. CSIRO, pp. 350–368. Available at: <https://doi.org/10.1071/WF21112>.
- Gilibert, O. *et al.* 2022. 'Density Effect of Eisenia sp. Epigeic Earthworms on the Hydraulic Conductivity of Sand Filters for Wastewater Treatment', *Water (Switzerland)*, 14(7). Available at: <https://doi.org/10.3390/w14071048>.
- Gonçalves, F. *et al.* 2021. 'Soil Arthropods in the Douro Demarcated Region Vineyards: General Characteristics and Ecosystem Services Provided'. Available at: <https://doi.org/10.3390/su>.
- Hoeffner, K. *et al.* 2022. 'Two distinct ecological behaviours within anecic earthworm species in temperate climates', *European Journal of Soil Biology*, 113, p. 103446. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2022.103446>.

- Huey, C.J. *et al.* 2020. 'Mycorrhiza: a natural resource assists plant growth under varied soil conditions', 3 *Biotech.* Springer. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13205-020-02188-3>.
- Józefowska, A. *et al.* 2021. 'Stability of Aggregates Made by Earthworms in Soils with Organic Additives', *Agronomy*, 11(3), p. 421. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030421>.
- Krause, S.M.B. *et al.* 2022. 'Microbial trait-based approaches for agroecosystems', in, pp. 259-299. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.04.002>.
- Lewis, J.D. 2016a. 'Mycorrhizal Fungi, Evolution and Diversification of', in *Encyclopedia of Evolutionary Biology*. Elsevier, pp. 94-99. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800049-6.00251-1>.
- Lewis, J.D. 2016b. 'Mycorrhizal Fungi, Evolution and Diversification of', in *Encyclopedia of Evolutionary Biology*. Elsevier, pp. 94-99. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800049-6.00251-1>.
- Liu, Y., Li, X. and Kou, Y. 2020. 'Ectomycorrhizal Fungi: Participation in Nutrient Turnover and Community Assembly Pattern in Forest Ecosystems', *Forests*, 11(4), p. 453. Available at: <https://doi.org/10.3390/f11040453>.
- Martha R. Taylor *et al.* 2022. *Campbell Biology: Concepts & Connections*. 10th edn. Essex : Pearson Education Limited .
- McCary, M.A. and Schmitz, O.J. (2021) 'Invertebrate functional traits and terrestrial nutrient cycling: Insights from a global meta-analysis', *Journal of Animal Ecology*, 90(7), pp. 1714-1726. Available at: <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13489>.
- Medina-Sauza, R.M. *et al.* 2019. 'Earthworms Building Up Soil Microbiota, a Review', *Frontiers in Environmental Science*, 7. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00081>.
- Meng, L.-L. *et al.* 2022. 'Earthworm (*Pheretima guillelmi*)-mycorrhizal fungi (*Funneliformis mosseae*) association mediates rhizosphere responses in white clover', *Applied Soil Ecology*, 172, p. 104371. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104371>.

- Miglani, R. and Bisht, S.S. 2020. 'World of earthworms with pesticides and insecticides', *Interdisciplinary Toxicology*, 12(2), pp. 71–82. Available at: <https://doi.org/10.2478/intox-2019-0008>.
- Rehman, S. ur *et al.* 2023. 'Vermicompost: Enhancing Plant Growth and Combating Abiotic and Biotic Stress', *Agronomy*, 13(4), p. 1134. Available at: <https://doi.org/10.3390/agronomy13041134>.
- Sefrila, M. *et al.* 2023. 'Trap Culture and Colonization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi from Corn Roots in Tidal Swamps Using Several Host Plants', *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 38(1), pp. 193–203. Available at: <https://doi.org/10.20961/carakatani.v38i1.70180>.
- Song, K. *et al.* 2020. 'The Effects of Earthworms on Fungal Diversity and Community Structure in Farmland Soil With Returned Straw', *Frontiers in Microbiology*, 11. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.594265>.

PERATURAN DAN PERUNDANG-UNDANGAN

Restu Auliani

A. Pendahuluan

Peraturan perundang-undangan diartikan sebagai peraturan yang memuat norma hukum yang mengikat secara umum dan dibentuk atau ditetapkan oleh lembaga negara atau pejabat berwenang melalui prosedur yang ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan. Dilansir dari buku *Peranan Peraturan Perundang-undangan Dalam Pembinaan Hukum Nasional* (1987) oleh Bagir Manan dikatakan, peraturan perundang-undangan adalah setiap putusan tertulis yang dibuat, ditetapkan, dan dikeluarkan oleh Lembaga dan atau Pejabat Negara yang menjalankan fungsi legislatif sesuai dengan tata cara yang berlaku.

Kesehatan dan lingkungan merupakan dua hal yang tidak dapat dipisahkan menuju kehidupan yang berkualitas bagi masyarakat. Perkembangan teknologi, urbanisasi dan perubahan gaya hidup telah memberikan dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan. Untuk mengatasi tantangan tersebut, pemerintah dan organisasi terkait memainkan peran penting dalam

mengembangkan undang-undang dan peraturan yang berfokus pada aspek kesehatan dan perlindungan lingkungan.

Undang-undang dan peraturan kesehatan dan lingkungan berfungsi sebagai instrumen peraturan yang memberikan kerangka, pedoman, dan standar bagi semua pemangku kepentingan dalam menjaga kesehatan masyarakat dan melindungi lingkungan. Peraturan ini mencakup berbagai bidang, termasuk upaya melawan polusi udara dan air, pengelolaan limbah, pengendalian zat berbahaya, keamanan pangan, dan upaya pencegahan penyakit menular. Pada bab ini, akan dipaparkan berbagai aspek yang berkaitan dengan hukum dan peraturan kesehatan dan lingkungan. Pertama, kami akan membahas urgensi dan pentingnya peraturan ini untuk menjaga kesehatan masyarakat dan kelestarian ekosistem alam. Selanjutnya, kita akan menelusuri sejarah perkembangan regulasi tersebut, termasuk peran internasional dalam mendorong negara-negara untuk bekerja sama dalam upaya melindungi lingkungan global.

B. Urgensi dan Pentingnya Peraturan Perundang-Undangan tentang Kesehatan dan Lingkungan

Indonesia masih mengalami keterlambatan dalam proses realisasi pencapaian Tujuan Pembangunan Millenium (TMP)/Millenium Development Goals (MDG's). Terlihat pada masih tingginya angka kematian ibu melahirkan, masih rendahnya kualitas sanitasi & air bersih, laju penularan HIV/AIDS yang kian sulit dikendalikan, serta meningkatnya beban utang luar negeri yang kian menumpuk. Permasalahan tersebut jelas memberikan pengaruh pada kualitas hidup manusia Indonesia yang termanifestasi pada posisi peringkat Indonesia yang kian menurun pada Human Development Growth Index. Pada tahun 2006 Indonesia menyentuh peringkat 107 dunia, 2008 di 109, hingga tahun 2009 sampai dengan 2010 masih di posisi 111. Posisi Indonesia ternyata selisih 9 peringkat dengan Palestina yang berada di posisi 101 *Progres Report in Asia & The Pacific yang diterbitkan UNESCAP, 2023*).

Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikhidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain. Perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup adalah upaya sistematis dan terpadu yang dilakukan untuk melestarikan fungsi lingkungan hidup dan mencegah terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup yang meliputi perencanaan, pemanfaatan, pengendalian, pemeliharaan, pengawasan, dan penegakan hukum (Arifin, 2014).

1. Perlindungan Kesehatan Masyarakat

Regulasi tentang kesehatan dan lingkungan sangat penting untuk melindungi kesehatan masyarakat dari dampak negatif lingkungan yang dapat menyebabkan berbagai penyakit dan masalah kesehatan. Pencemaran udara, air, dan tanah dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penyakit kardiovaskular, kanker, serta masalah kesehatan lainnya. Dengan mengatur batas emisi dan kualitas air bersih, serta mengendalikan paparan zat berbahaya, regulasi ini membantu memitigasi risiko kesehatan bagi masyarakat.

Peraturan perundang-undangan tentang kesehatan memiliki urgensi dan pentingnya dalam menjaga kesehatan masyarakat serta mencegah penyebaran penyakit dan mengatasi masalah kesehatan yang timbul. Undang-Undang Kesehatan (UU No. 36 Tahun 2009) menjadi landasan hukum utama dalam upaya penyelenggaraan pelayanan kesehatan di Indonesia. Peraturan perundang-undangan ini memberikan dasar hukum bagi pemerintah dan masyarakat untuk melaksanakan tindakan promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitatif dalam bidang kesehatan (Suryaden, 2020). Salah satu contoh urgensi peraturan perundang-undangan tentang kesehatan terlihat dalam upaya penanganan pandemi COVID-19, di mana peraturan tersebut menjadi landasan untuk mengatur langkah-langkah pencegahan, pengendalian, dan penanggulangan penyakit.

2. Pencegahan Penyakit Menular

Perubahan lingkungan dapat mempengaruhi persebaran penyakit menular. Misalnya, perubahan iklim dapat meningkatkan penyebaran vektor penyakit seperti malaria atau demam berdarah. Regulasi tentang lingkungan membantu mencegah dan memitigasi potensi penyebaran penyakit menular dengan mengawasi vektor penyakit, memantau kebersihan lingkungan, dan mengelola sumber daya air bersih.

3. Perlindungan Lingkungan Hidup

Peraturan perundang-undangan tentang lingkungan hidup memiliki urgensi dan pentingnya dalam menjaga keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem serta melindungi lingkungan dari kerusakan dan pencemaran. Undang-Undang tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UU No. 32 Tahun 2009) menjadi landasan hukum utama dalam upaya perlindungan lingkungan hidup di Indonesia. eraturan perundang-undangan ini memberikan dasar hukum bagi pemerintah dan masyarakat untuk melaksanakan tindakan perlindungan lingkungan, seperti pengelolaan limbah, pengendalian polusi, dan pelestarian sumber daya alam. Pentingnya peraturan perundang-undangan tentang lingkungan terlihat dalam upaya menjaga keberlanjutan lingkungan hidup, melindungi keanekaragaman hayati, dan mengurangi dampak perubahan iklim

Regulasi tentang lingkungan juga berfokus pada pelestarian dan pengelolaan keberlanjutan sumber daya alam. Sumber daya alam yang dimanfaatkan secara berlebihan tanpa pengaturan yang baik dapat menyebabkan eksploitasi berlebihan, kehilangan keanekaragaman hayati, dan kerusakan ekosistem alam. Dengan mengatur eksploitasi sumber daya alam, regulasi ini membantu memastikan keberlangsungan ekosistem alam yang penting bagi keseimbangan ekosistem dan kelangsungan hidup manusia.

4. Keterkaitan Kesehatan dan Lingkungan

Kesehatan manusia sangat terkait dengan kondisi lingkungan di sekitarnya. Lingkungan yang sehat akan berdampak positif pada kesehatan masyarakat, sedangkan lingkungan yang tercemar atau rusak dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan. Peraturan perundang-undangan tentang kesehatan dan lingkungan saling terkait dan saling mendukung dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat dan melindungi lingkungan. Misalnya, peraturan perundang-undangan tentang pengelolaan limbah dan polusi udara dapat membantu mencegah terjadinya penyakit akibat pencemaran lingkungan (Widyaningsih, 2020).

Keterkaitan ini menunjukkan bahwa perlindungan kesehatan dan lingkungan harus diperhatikan secara bersama-sama dalam upaya mencapai pembangunan yang berkelanjutan. Dengan adanya peraturan perundang-undangan tentang kesehatan dan lingkungan, pemerintah dan masyarakat dapat bekerja sama dalam menjaga kesehatan masyarakat dan melindungi lingkungan hidup. Peraturan ini memberikan dasar hukum yang jelas dan memberikan panduan dalam melaksanakan tindakan perlindungan lingkungan dan pelayanan kesehatan yang aman, bermutu, dan terjangkau bagi masyarakat. Selain itu, peraturan ini juga mendorong adopsi praktik bisnis yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan, yang dapat meningkatkan reputasi dan daya saing perusahaan di pasar yang semakin peduli terhadap isu lingkungan dan sosial (Arifin, 2014).

a. Kualitas Air dan Air Bersih

Regulasi tentang kesehatan dan lingkungan berperan penting dalam mengawasi dan mengendalikan kualitas udara dan air. Udara dan air yang tercemar dapat mengakibatkan gangguan kesehatan serius, seperti masalah pernapasan, iritasi mata, dan masalah kulit. Dengan mengurangi emisi polutan dan mengawasi kualitas air, regulasi ini membantu menjaga kualitas hidup dan kesehatan masyarakat.

b. Pelestarian Keanekaragaman Hayati

Kehilangan keanekaragaman hayati menjadi masalah global yang serius. Regulasi tentang lingkungan membantu melindungi dan mempertahankan keanekaragaman hayati dengan mengidentifikasi spesies terancam punah dan mengatur penggunaan lahan. Dengan menjaga keseimbangan ekosistem, regulasi ini mendukung kesinambungan kehidupan di Bumi dan juga manfaat ekonomi yang dihasilkan dari keanekaragaman hayati.

c. Menghadapi Perubahan Iklim

Regulasi tentang kesehatan dan lingkungan juga berperan dalam upaya menghadapi perubahan iklim global. Perubahan iklim menyebabkan cuaca ekstrem, naiknya permukaan air laut, dan gangguan pada pertanian dan pasokan pangan. Regulasi ini berfokus pada upaya mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca dan mendorong penggunaan sumber energi terbarukan.

d. Membangun Kesadaran Lingkungan

Regulasi tentang lingkungan juga berperan dalam membentuk kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan. Dengan mengenakan aturan dan standar yang harus dipatuhi oleh individu dan perusahaan, regulasi ini mendorong partisipasi aktif masyarakat dalam upaya pelestarian lingkungan dan kesadaran tentang kesehatan lingkungan.

C. Peraturan yang Berlaku di Indonesia Terkait Kesehatan dan Lingkungan

Peraturan perundang-undangan tentang kesehatan dan lingkungan, menerapkan agar tujuan pada bab sebelumnya dapat tercapai. Peraturan ini memberikan landasan hukum yang jelas dan panduan dalam melaksanakan tindakan perlindungan kesehatan masyarakat, pengelolaan lingkungan, dan keselamatan kerja. Selain itu, peraturan

ini juga mendorong adopsi praktik bisnis yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan, yang dapat meningkatkan reputasi dan daya saing perusahaan di pasar yang semakin peduli terhadap isu lingkungan dan sosial (Tietenberg, 1998).

Berikut adalah beberapa peraturan yang berlaku di Indonesia terkait kesehatan dan lingkungan:

1. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Peraturan ini mengatur tentang pengelolaan kesehatan lingkungan, termasuk pengendalian pencemaran udara, air, dan tanah, pengelolaan limbah, dan pengendalian vektor penyakit. PP ini juga mengatur tentang pemantauan dan evaluasi kualitas lingkungan serta perlindungan kesehatan masyarakat dari dampak lingkungan yang merugikan. Pemerintah bertanggung jawab untuk memantau dan mengevaluasi kualitas lingkungan serta melindungi kesehatan masyarakat dari dampak lingkungan yang merugikan.
2. Undang-Undang (UU) Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. UU ini menjadi landasan hukum utama dalam upaya perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia. UU ini mengatur tentang pengelolaan sumber daya alam, pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan, serta pelestarian keanekaragaman hayati.
3. Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 1 Tahun 2020 tentang Tata Cara Pembentukan Peraturan Perundang-undangan Bidang Kesehatan di Lingkungan Kementerian Kesehatan. UU ini mengatur tentang pengelolaan sumber daya alam, pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan, serta pelestarian keanekaragaman hayati.

Perkembangan peraturan perundang-undangan tentang kesehatan dan lingkungan di Indonesia terus berlanjut seiring dengan perkembangan isu-isu lingkungan dan kebutuhan akan perlindungan kesehatan masyarakat. Peraturan-peraturan ini bertujuan untuk melindungi kesehatan masyarakat, menjaga keberlanjutan lingkungan

hidup, dan mengatur tata cara pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mengatur tentang lingkungan hidup, perizinan, pelayanan publik, dan Cipta Kerja. PP Nomor 22 Tahun 2021 memberikan dasar hukum dan panduan bagi pemerintah, masyarakat, dan pelaku usaha dalam melaksanakan tindakan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Regulasi ini juga mendorong adopsi praktik bisnis yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan, yang dapat meningkatkan reputasi dan daya saing perusahaan di pasar yang semakin peduli terhadap isu lingkungan dan sosial.

PP Nomor 22 Tahun 2021 ini mengatur mengenai:

1. Persetujuan Lingkungan.
2. Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Air.
3. Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Udara.
4. Perlindungan dan Pengelolaan Mutu Laut.
5. Pengendalian Kerusakan Lingkungan Hidup.
6. Pengelolaan Limbah B3 dan Pengelolaan Limbah nonB3.
7. Dana penjaminan untuk pemulihan fungsi Lingkungan Hidup.
8. Sistem Informasi Lingkungan Hidup.
9. Pembinaan dan Pengawasan, dan
10. Pengenaan Sanksi Administratif

Berdasarkan Detail Peraturan yang dipaparkan oleh BPK.go.id, menjelaskan bahwa PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup telah mencabut beberapa peraturan sebelumnya, yakni

1. PP No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
2. PP No. 27 Tahun 2012 tentang Izin Lingkungan.
3. PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air Dan Pengendalian Pencemaran Air.
4. PP No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

5. PP No. 19 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Dan/Atau Perusakan Laut.

Dan mengubah PP No. 46 Tahun 2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup. Peraturan-peraturan ini memberikan dasar hukum dan panduan bagi pemerintah, masyarakat, dan pelaku usaha dalam melaksanakan tindakan perlindungan kesehatan dan lingkungan. Selain itu, terdapat juga peraturan lainnya yang terkait dengan sektor-sektor khusus, seperti peraturan mengenai pengelolaan limbah, pengendalian polusi udara, dan pengelolaan sumber daya alam.

1. Peraturan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit mengatur tentang kesehatan lingkungan di rumah sakit. Beberapa isi dari peraturan ini adalah sebagai berikut:

Lingkup Regulasi:

Peraturan ini mengatur tentang kesehatan lingkungan di rumah sakit, termasuk pengelolaan limbah medis dan non-medis, pengendalian infeksi, pengelolaan air dan sanitasi, serta pengelolaan udara di dalam ruangan.

Tujuan Regulasi:

Tujuan utama dari peraturan ini adalah untuk mewujudkan kualitas kesehatan lingkungan rumah sakit yang memenuhi standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan. Peraturan ini juga bertujuan untuk melindungi kesehatan pasien, pengunjung, dan tenaga kesehatan dari risiko infeksi dan dampak lingkungan yang merugikan.

Isi Regulasi:

Peraturan ini mengatur tentang tata cara pengelolaan limbah medis dan non-medis, termasuk pengumpulan, penyimpanan,

transportasi, dan pengolahan limbah. Regulasi ini juga mengatur tentang tata cara pengendalian infeksi, termasuk pencegahan dan pengendalian infeksi di rumah sakit. Peraturan ini juga mengatur tentang tata cara pengelolaan air dan sanitasi, termasuk pengelolaan air limbah dan pengendalian kualitas air di rumah sakit. Regulasi ini juga mengatur tentang tata cara pengelolaan udara di dalam ruangan, termasuk pengendalian kualitas udara dan ventilasi di rumah sakit.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit memberikan dasar hukum dan panduan bagi rumah sakit dalam melaksanakan tindakan pengelolaan limbah medis dan non-medis, pengendalian infeksi, pengelolaan air dan sanitasi, serta pengelolaan udara di dalam ruangan. Regulasi ini juga mendorong adopsi praktik bisnis yang berkelanjutan dan bertanggung jawab terhadap lingkungan, yang dapat meningkatkan reputasi dan daya saing rumah sakit di pasar yang semakin peduli terhadap isu lingkungan dan sosial.

2. Peraturan tentang Pengelolaan Sampah

Terdapat beberapa peraturan terkait pengelolaan sampah di Indonesia di antaranya sebagai berikut:

- a. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- b. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 27 Tahun 2020 Pengelolaan Sampah Spesifik.
- c. Undang-undang (UU) No. 18 Tahun 2008 Pengelolaan Sampah.
- d. Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 97 Tahun 2017 Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.

- e. Peraturan Presiden (PERPRES) Nomor 35 Tahun 2018 Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan.
- f. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.12/MENLHK/SETJEN/PLB.3/5/2020 tentang Penyimpanan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.
- g. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.75/MENLHK/SETJEN/KUM.1/10/2019 tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah oleh Produsen.
- h. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2021 Pengelolaan Sampah pada Bank Sampah.

3. Peraturan tentang Air dan Limbah Cair

Terdapat beberapa peraturan terkait air dan limbah cair di Indonesia di antaranya sebagai berikut:

- a. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah.
- b. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 5 Tahun 2022 Pengolahan Air Limbah Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pertambangan Dengan Menggunakan Metode Lahan Basah Buatan.
- c. Peraturan menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- d. Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Peraturan ini menggantikan PP No. 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air. Dan pada saat ini Peraturan Pemerintah (PP) No. 82 Tahun 2001 telah dicabut dan digantikan oleh PP No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- e. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.

Daftar Pustaka

- Arifin, Syamsul, Prof, SH. MH. 2014. *Aspek Hukum perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Medan Area University Press. Medan
- Arifin, Syamsul, Prof, SH. MH. 2014. *Hukum Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup di Indonesia*. PT Softmedia Jakarta.
- Peraturan menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/Menkes/Per IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. Klik Untuk baca <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/111721/permenkes-no-7-tahun-2019>.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.68/Menlhk-Setjen/2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik.
- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Klik Untuk Baca <https://peraturan.bpk.go.id/Details/161852/pp-no-22-tahun-2021>.
- Peraturan Perundang-Undangan: Pengertian, Fungsi, dan Asas Pembentuknya, Klik untuk baca: <https://www.kompas.com/skola/read/2020/04/02/170000469/peraturan-perundang-undangan-pengertian-fungsi-dan-asas-pembentuknya>. Penulis : Ari Welianto Editor : Ari Welianto.
- Progres Report in Asia & The Pacific yang diterbitkan UNESCAP. Klik Untuk Baca <https://www.unescap.org/kp/2023/asia-and-pacific-sdg-progress-report-2023>.

- Suryaden, 2020. UU 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Klik untuk baca <https://www.jogloabang.com/pustaka/uu-32-2009-perlindungan-pengelolaan-lingkungan-hidup>.
- Tietenberg, Thomas H. 1998. *Environmental Economic and Policy*. 2nd ed. Wesley Educational Publisher. Inc.
- Widyaningsih, G. A. 2020. *Urgensi Penerapan Pertimbangan Perlindungan Lingkungan Hidup dalam Perencanaan Ketenagalistrikan di Indonesia*. Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia, 6(2), 159-183.

I6.

INSTITUSI PENGELOLA LINGKUNGAN DAN TEKNIS PENGELOLAAN LINGKUNGAN

Nahri Idris

A. Pendahuluan

Lingkungan yang sehat adalah lingkungan yang terjaga kebersihan, kesehatan, kelestarian dan keberlanjutannya. Pengelolaan lingkungan diperlukan untuk menjamin agar pencemaran dan kerusakan lingkungan bisa diminimalkan.

Pada hakekatnya pengelolaan lingkungan merupakan tanggung jawab dari semua warga masyarakat. Hal ini karena lingkungan yang bersih dan sehat dibutuhkan oleh semua orang. Namun demikian, mesti ada pihak dan institusi yang selayaknya memiliki tanggung jawab terhadap pengelolaan lingkungan.

Institusi yang punya tanggung jawab dan punya kekuatan dan wewenang yang besar untuk mengelola lingkungan adalah institusi pemerintah, baik pemerintah pusat maupun pemerintah daerah. Namun demikian masyarakat dan pelaku usaha/industri juga memiliki hak dan kewajiban untuk melakukan pengelolaan lingkungan. Menurut

Effendi (2011), Kesadaran lingkungan masyarakat mengalami eskalasi yang pesat, ditandai dengan beragamnya organisasi masyarakat yang bergerak di bidang lingkungan. Industri juga sudah menganggap bahwa pengelolaan lingkungan merupakan bagian dari tanggung jawab sosial.

B. Institusi Pengelola Lingkungan

Institusi yang berkaitan dengan pengelolaan lingkungan setidaknya terdiri dari tiga bagian besar. Pertama, institusi pemerintah yang bertindak sebagai regulator, pembina, pengawas dan sekaligus sebagai pelaku pengelolaan lingkungan. Kedua pihak industri/perusahaan sebagai penghasil limbah dan pencemar lingkungan yang utama, yang harus melakukan pengelolaan. Ketiga, pihak organisasi masyarakat dan lembaga swadaya masyarakat sebagai pelaku, penerima dampak, dan kontrol sosial.

1. Institusi Pemerintah

Institusi pemerintah yang menjadi *leading sector* dan paling bertanggung jawab terhadap pengelolaan lingkungan adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Namun demikian, beberapa instansi pemerintah juga ikut dalam pengelolaan lingkungan sesuai dengan bidang tugas dan tanggung jawabnya.

Sejarah institusi Kementerian yang mengurus masalah lingkungan diawali dengan lahirnya Kementerian Negara Pengawasan Pembangunan dan Lingkungan Hidup pada tahun 1978. Setelah mengalami beberapa pergantian status dan nomenklatur, maka menjadi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan sejak tahun 2014. Kementerian membawahi 9 Direktorat Jenderal sesuai dengan tugas pokok dan fungsinya masing-masing (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023).

Pada tingkat Provinsi, institusi yang mengelola lingkungan hidup adalah Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi. Sedangkan pada tingkat kabupaten/kota dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup

Daerah (DLHD) Kabupaten/Kota yang mempunyai struktur organisasi yang hampir sama dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Institusi pemerintah yang lain yang juga terlibat dalam pengelolaan lingkungan adalah kementerian sektoral yang terkait dengan sektornya masing-masing. Sebagai contoh untuk industri, maka pengelolaan lingkungan oleh para pelaku industri diarahkan dan diawasi oleh Kementerian Perindustrian. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral mengarahkan dan mengawasi pengelolaan lingkungan dalam bidang energi dan sumber daya mineral, misalnya sub sektor migas dan pertambangan. Kementerian Perkebunan mengarahkan dan mengawasi pengelolaan lingkungan di sektor usaha perkebunan. Begitu juga halnya dengan bidang-bidang terkait lainnya, masing-masing diarahkan dan diawasi pengelolaan lingkungannya oleh kementerian/instansi yang terkait langsung dengan hal tersebut.

Sebagaimana halnya kementerian sektoral yang lain, maka pengelolaan lingkungan usaha di bidang kesehatan diarahkan dan diawasi oleh jajaran Kementerian Kesehatan. Begitu juga pada level provinsi dan kabupaten/kota. Institusi di Kementerian Kesehatan yang secara spesifik melakukan pengelolaan lingkungan yang sehat adalah Direktorat Penyehatan Lingkungan Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit.

Tugas pokok dan fungsi dari kesehatan lingkungan yaitu program pelayanan kesehatan untuk meningkatkan kesehatan lingkungan pemukiman melalui upaya sanitasi dasar, pengawasan mutu lingkungan dan tempat umum termasuk pengendalian pencemaran dengan peningkatan peran serta masyarakat (Kementerian Kesehatan, 2023).

2. Institusi Swasta/Perusahaan

Sumber paling potensial yang mengakibatkan kerusakan dan pencemaran lingkungan berasal dari sektor usaha/industri. Sehubungan dengan hal tersebut maka upaya pencegahan

kerusakan dan pencemaran lingkungan meski di lakukan dengan terarah dan ketat. Agar maksud tersebut dapat tercapai, diperlukan adanya upaya pengelolaan lingkungan. Pengelolaan lingkungan tersebut harus ditangani oleh institusi yang jelas.

Kewajiban bagi pihak pelaku industri adalah memiliki institusi yang mengelola lingkungan. Institusi tersebut lazimnya disebut dengan HSE (*Health, Safety and environment*). Institusi tersebut haruslah dilengkapi dengan tenaga ahli yang tersertifikasi untuk mengelola setiap dampak yang dihasilkan dari kegiatan industri tersebut. Tenaga tersertifikasi yang wajib dimiliki tersebut setidaknya adalah Penanggung jawab pengendalian Pencemaran Udara (PPPU), Penanggung jawab Pengendalian Pencemaran Air (PPPA), dan Penanggung jawab Operasional Pengolahan Air Limbah (POPA). Di samping itu diperlukan juga tenaga tersertifikasi Tenaga ahli teknik lingkungan.

3. Organisasi Kemasyarakatan (Ormas) dan Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM)

Ormas dan LSM sangat berperan dalam edukasi dan promosi lingkungan di tengah masyarakat. Di samping itu Ormas dan LSM juga berfungsi sebagai advokasi dan kontrol sosial dalam pengelolaan lingkungan. Oleh karena itu Ormas dan LSM menjadi mitra strategis bagi pemerintah dan kalangan industri.

Banyak contoh organisasi dan atau lembaga masyarakat, baik lembaga internasional atau nasional yang memiliki perhatian serius terhadap pengelolaan lingkungan. Organisasi tersebut di antaranya Greenpeace Indonesia, Wahana Lingkungan Hidup Indonesia (WALHI), Keanekaragaman Hayati Indonesia (KEHATI), Pusat Informasi Lingkungan Indonesia (PILI), Indonesia Organic Alliance (AOI), dan beberapa organisasi lainnya. Ada juga organisasi-organisasi yang mewadahi para ahli, peneliti, pemerhati dan konsultan di bidang lingkungan hidup, seperti Perhimpunan Cendekiawan Lingkungan Hidup Indonesia (PERWAKU) Perhimpunan Tenaga Ahli Lingkungan Indonesia (Pertalindo),

Ikatan Konsultan dan Ahli Lingkungan Hidup Indonesia (INKALINDO), Perhimpunan Tenaga Ahli Lingkungan (PTALI), dan Himpunan Ahli Kesehatan Lingkungan (HAKLI).

Peguruan tinggi juga memiliki institusi yang memberikan perhatian khusus terhadap pengelolaan lingkungan. Lembaga tersebut lazim dikenal sebagai Pusat Studi Lingkungan Hidup (PSL) atau Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH). Institusi tersebut berfungsi melaksanakan penelitian di bidang lingkungan hidup, memberikan masukan kepada pemerintah tentang kebijakan pengelolaan lingkungan, melakukan pendidikan, latihan, pembinaan dan advokasi kepada masyarakat, serta menjadi mitra konsultan yang berkaitan dengan lingkungan bagi perusahaan/ industri. Lembaga-lembaga di masing-masing perguruan tinggi tersebut kemudian bergabung dalam wadah Badan Koordinasi Pusat Studi Lingkungan Hidup (BKPSL).

C. Teknis Pengelolaan Lingkungan

Sudah banyak peraturan perundang-undangan yang dikeluarkan oleh pemerintah, baik pemerintah pusat maupun pemerintah daerah dalam hal pengelolaan lingkungan. Peraturan perundang-undangan tersebut mengatur juga secara teknis cara pengelolaan lingkungan. Dasar hukum utama pengelolaan lingkungan hidup di Indonesia adalah Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Dari sisi limbah yang dihasilkan dan tanggung jawab pengelolaan, teknis pengelolaan lingkungan bisa dibagi ke dalam tiga bagian besar, yakni pengelolaan lingkungan domestik, pengelolaan lingkungan publik, dan pengelolaan lingkungan industri.

Keuntungan yang diperoleh dari teknis pengelolaan lingkungan di antaranya efisiensi biaya, mengurangi resiko lingkungan, meningkatkan citra, meningkatkan kepekaan terhadap masyarakat, dan memperbaiki proses pengambilan keputusan (Samin, 2006).

Teknis pengelolaan lingkungan terdiri dari tiga bagian besar, yakni pelestarian lingkungan seperti penghijauan, pencegahan

pencemaran (tanah, air dan udara) serta pengelolaan limbah. Pelestarian lingkungan diupayakan dengan tetap terjaganya kawasan hutan dan wilayah yang dilindungi, seperti sempadan sungai, lahan gambut, perlindungan sumber air, serta wilayah rawan bencana. Pencegahan pencemaran dilakukan dengan mengurangi emisi dan limbah yang berasal dari sumber pencemar (khususnya yang berasal dari kegiatan industri) serta memitigasi dampak yang ditimbulkannya terhadap lingkungan.

Prinsip utama dalam pengelolaan limbah adalah prinsip 3 R (*Reduce, Reuse, Recycle*). *Reduce* adalah pengurangan sampah, *reuse* adalah penggunaan kembali, sedangkan *recycle* adalah daur ulang limbah sehingga menjadi produk yang bermanfaat.

1. Pengelolaan Lingkungan Domestik

Khusus untuk kesehatan lingkungan, limbah domestik yang dihasilkan terdiri dari limbah organik, limbah non organik dan limbah bahan berbahaya beracun (B3). Teknis pengelolaan limbah domestik utamanya mengacu UU No 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.

Teknis pengelolaan limbah domestik yang efektif adalah dengan mengaktifkan program pemerintah seperti Bank Sampah dan Rumah Kompos, yang menerapkan prinsip 3 R. Sehingga limbah tidak lagi mendatangkan masalah bagi masyarakat. Namun menjadi tambahan pendapatan rumah tangga, atau dikenal dengan ekonomi sirkular (*circular economy*).

Implementasi dari hal tersebut adalah bahwa penyelesaian masalah persampahan haruslah diawali dari sumbernya, bukan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Upaya melakukan hal tersebut adalah dengan pemilahan sampah rumah tangga. Sampah rumah tangga setidaknya bisa dipilah menjadi empat jenis, yakni sampah organik, sampah non organik, sampah yang tidak bisa digunakan kembali dan tidak bisa didaur ulang sehingga tidak bernilai ekonomis, serta limbah B3. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan memiliki program Gerakan Nasional Pilah Sampah dari rumah.

Hal lain yang wajib mendapatkan perhatian adalah kesehatan lingkungan, yang berupa upaya pemenuhan kebutuhan air bersih, serta pengelolaan sanitasi berbasis lingkungan. Berkaitan dengan pembuangan air limbah domestik, menyangkut dua permasalahan pokok, yakni pembuangan air limbah domestik dari kegiatan rumah tangga yang berasal dari kegiatan kamar mandi dan dapur (*grey water*), serta pembuangan tinja (*black water*). Sudah selayaknya untuk pembuangan air limbah *grey water* bisa dibuang ke badan air atau tanah melalui pengolahan. Sudah saatnya pemerintah memikirkan dan mengupayakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) kolektif untuk kelompok masyarakat. Sedangkan untuk *black water*, untuk mencegah tercemarnya tanah, dan terutama sumber air bersih yang berasal dari air tanah, sudah saatnya diperlukan septik tank komunal, bagi komunitas perumahan. Pemerintah sudah saatnya mewajibkan pengembang untuk membuat septik tank komunal untuk setiap perumahan yang mereka bangun, dan juga *water treatment* bagi *grey water*, sehingga bisa mengurangi konsumsi air bersih yang berasal dari sumber primer.

2. Pengelolaan Lingkungan Publik

Teknis pengelolaan lingkungan publik, mencakup hal-hal yang berhubungan dengan revitalisasi, rehabilitasi dan pengelolaan lingkungan yang memberikan dampak kepada kenyamanan dan kebutuhan hajat hidup masyarakat banyak, khususnya hak masyarakat untuk memperoleh lingkungan yang bersih dan sehat. Lingkungan publik yang dimaksud bisa meliputi hutan, perairan umum, dan fasilitas publik.

Kementerian Lingkungan Hidup sebagai institusi pemerintah yang mengurus persoalan lingkungan memiliki banyak program yang berkaitan dengan pengelolaan lingkungan publik Program tersebut di antaranya: 1) Kalpataru, yakni penghargaan yang diberikan pemerintah untuk perorangan atau lembaga yang telah berperan dalam pelestarian lingkungan, sebagai perintis, penyelamat dan Pembina lingkungan; 2) Adipura, yakni

penghargaan yang diberikan kepada kota terbersih, dengan fokus pada penghijauan, kebersihan dan pengelolaan sampah; 3) Program Kampung Iklim (PROKLIM), yakni peningkatan peran serta masyarakat dalam adaptasi perubahan iklim dan penurunan emisi gas rumah kaca; 4) Adiwiyata, yakni predikat yang diberikan kepada suatu sekolah yang memberikan perhatian serius terhadap lingkungan; 5) Program Kali Bersih (PROKASIH), untuk mencegah kerusakan dan pencemaran sungai; dan 6) Proper, yakni predikat yang diberikan kepada suatu perusahaan sebagai penghargaan kepatuhan dan ketaatan terhadap aturan dan pengelolaan lingkungan.

Ada banyak lagi program yang dilakukan oleh pemerintah untuk penyelamatan, pelestarian dan kesehatan lingkungan. Kesemua program tersebut tentulah dalam rangka meningkatkan kepedulian dan keikutsertaan masyarakat dalam pengelolaan lingkungan publik, sehingga masyarakat akan lebih merasakan lingkungan yang sehat dan bersih.

Pengelolaan kesehatan lingkungan publik pada sektor kesehatan diarahkan untuk membiasakan hidup bersih dan sehat masyarakat di ruang publik. Contoh perilaku untuk hal ini misalnya adalah mengedukasi dan membiasakan masyarakat untuk melakukan penanganan sampah di ruang publik, dengan mengidentifikasi jenis sampah, dan membuangnya di tempat sampah yang sesuai dengan jenis sampah. Hal lain yang masih perlu usaha yang keras adalah larangan kebiasaan merokok di ruang publik. Jumlah ruang publik yang dilarang merokok harus diperluas. Di samping itu, pengetatan dan penjatuhan hukuman terhadap pelanggar mesti dipertegas. Sehingga ruang publik, terutama yang banyak diakses oleh anak-anak menjadi benar benar bebas dari asap rokok.

Kementerian Kesehatan juga melakukan banyak usaha di antaranya dengan pemberian penghargaan di bidang kesehatan lingkungan. Penghargaan itu di antaranya Sanitasi Total Berbasis Masyarakat (STBM) untuk kabupaten/kota yang berhasil

melaksanakan hal tersebut. Penghargaan lain adalah Sentra pangan yang memenuhi syarat higiene sanitasi.

3. Pengelolaan Lingkungan Industri

Instrumen utama pengelolaan lingkungan hidup di sektor industri di Indonesia adalah Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) dan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL) yang merujuk kepada Peraturan Pemerintah No 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. PP ini diikuti dan dilengkapi dengan aturan aturan lain yang mengatur segala sesuatunya tentang hal terkait. Setiap badan, perusahaan, yayasan yang ingin mendirikan suatu usaha/industri, haruslah mendapat izin lingkungan yang dikeluarkan oleh institusi pemerintah yang berkaitan dengan lingkungan hidup sesuai dengan tingkatan dan wewenangnya tergantung dari besaran usaha dan dampak lingkungan yang ditimbulkannya.

Pada tingkat internasional, pengelolaan lingkungan industri berpedoman kepada International Standar Organization (ISO). Sistem pengelolaan lingkungan yang dikembangkan oleh ISO menggunakan model *continual improvement*. Keuntungan yang diperoleh dari teknis pengelolaan lingkungan di antaranya efisiensi biaya, mengurangi resiko lingkungan, meningkatkan citra, meningkatkan kepekaan terhadap masyarakat, dan memperbaiki proses pengambilan keputusan (Samin, 2006).

Teknis pengelolaan lingkungan industri terfokus kepada pencemaran tanah, air dan udara. Semua teknis pengelolaan lingkungan tersebut sudah diatur dalam peraturan perundang-undangan. Banyak peraturan pemerintah, peraturan menteri maupun peraturan daerah yang mengelola tentang pencemaran tanah, pencemaran air, pencemaran udara dan kebisingan.

Khusus lembaga kesehatan, mestilah memperhatikan pengelolaan limbah medis dan limbah obat (limbat) yang dihasilkan dari suatu usaha yang berkaitan dengan jasa kesehatan. Hal ini bisa

menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan dengan resiko utama adalah penyebaran penyakit dan juga berkait dengan higiene. Hal ini juga sudah diatur dalam peraturan tersendiri, yakni Peraturan Menteri Kesehatan tentang Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit. Namun masih perlu perbaikan dalam pengelolaan dan penerapan di lapangan, serta butuh pengawasan yang intensif dan kontinu dari pihak yang berwenang, yakni Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta Kementerian Kesehatan. Bagi Rumah Sakit dan juga Puskesmas, hal ini mungkin bukanlah merupakan masalah, karena institusi ini sudah memiliki prosedur tetap yang ketat dan terawasi. Namun perlu perhatian dan pengawasan yang lebih khusus terhadap klinik-klinik kecil, praktik dokter, apotek dan rumah obat.

Daftar Pustaka

- Effendi, H. 2011. *Senarai Bijak terhadap Alam dan Inspiratif dalam Gagasan*, Bogor: IPB Press.
- Kementerian Kesehatan. 2023. Official Website Kemenkes RI. <https://www.kemkes.go.id/>, diakses 20 Juli 2023
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2023. Official Website Kemen LHK RI. <https://www.menlhk.go.id/>, diakses 20 Juli 2023
- Samin. 2006. *AMDAL: Analisis Mengenai Dampak Lingkungan*, Malang: UMM Press.

ISU KESEHATAN GLOBAL DI INDONESIA

Sulung Alfianto Akbar

A. Pendahuluan

1. Latar Belakang

Tiga bulan terakhir mengenai isu kesehatan global seperti pandemi COVID-19, Penyakit Tidak Menular (PTM), Gizi buruk dan obesitas sangat penting untuk dipahami perkembangan terkini di Indonesia. COVID-19 telah muncul sebagai isu kesehatan global yang mendominasi perhatian selama beberapa tahun terakhir, termasuk tiga bulan terakhir. Sejak awal pandemi, virus corona SARS-CoV-2 telah menyebar ke hampir seluruh belahan dunia, termasuk Indonesia. Selama tiga bulan terakhir, Indonesia terus menghadapi penyebaran virus ini, dengan jumlah kasus yang fluktuatif. Pemerintah Indonesia terus berupaya menahan penyebaran COVID-19 melalui langkah-langkah preventif seperti social distancing, penggunaan masker, dan kampanye vaksinasi massal. Namun, situasi pandemi ini terus berubah dan bergantung pada faktor-faktor seperti varian virus, vaksinasi, dan kepatuhan terhadap praktik kesehatan. Penting untuk mengikuti informasi

terbaru dari sumber terpercaya seperti Kementerian Kesehatan RI atau Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB).

PTM merupakan masalah kesehatan global dengan implikasi kesehatan masyarakat jangka panjang. PTM mencakup kondisi seperti diabetes, penyakit jantung, kanker, penyakit pernapasan kronis, dan penyakit ginjal. Prevalensi PTM di Indonesia dalam tiga bulan terakhir bisa semakin meningkat karena faktor risiko seperti pola makan yang tidak sehat, kurangnya aktivitas fisik, dan kebiasaan merokok.

Pemerintah Indonesia dan institusi kesehatan terus meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pencegahan PTM melalui pendidikan gizi, promosi pola hidup sehat dan pelayanan kesehatan yang memadai. Namun, tantangan seperti terbatasnya akses layanan kesehatan, perubahan gaya hidup modern, dan perubahan kebiasaan makan yang tidak sehat tetap menjadi masalah yang perlu dibenahi.

Masalah gizi buruk dan obesitas juga merupakan masalah kesehatan global yang perlu mendapat perhatian. Meski gizi buruk terus menjadi masalah di banyak daerah di Indonesia, obesitas juga terus meningkat. Dalam tiga bulan terakhir, perubahan pola makan yang tidak sehat, gaya hidup yang kurang aktif, dan ketersediaan makanan bergizi yang terbatas mungkin menjadi penyebab masalah ini.

Pemerintah dan masyarakat Indonesia harus bekerja sama untuk meningkatkan akses terhadap makanan bergizi, meningkatkan kesadaran akan pentingnya diet seimbang, dan mendorong gaya hidup aktif. Upaya juga diperlukan untuk mengedukasi masyarakat tentang pentingnya diet seimbang dan meningkatkan akses ke sumber daya dan layanan gizi. Memahami data latar belakang masalah kesehatan ini memberikan wawasan tentang perubahan dan tantangan terkini yang dihadapi upaya penanggulangan dan pencegahan. Dengan pemahaman tersebut, langkah-langkah yang tepat dapat diambil untuk mengatasi masalah kesehatan global di Indonesia.

Rabies merupakan penyakit menular akut yang disebabkan oleh infeksi virus (kelas rhabdovirus) yang di mana menyerang sistem saraf pusat dan di mana juga dapat menyebabkan kelumpuhan otak serta juga dapat menyebabkan kematian Rabies merupakan penyakit yang telah menyebar luas secara global di seluruh benua kecuali Antartika. Di mana lebih dari 95% kematian pada manusia terjadi di Asia dan Afrika, yang di mana 99% kasus kematian akibat rabies disebabkan oleh gigit. Rabies di Indonesia merupakan suatu tantangan yang besar di Indonesia yang di mana diakibatkan karena dalam tiga tahun terakhir kasus gigitan hewan rabies dalam setahun dapat menyentuh angka lebih dari 80.000 kasus yang di mana kematiannya rata-rata 68 orang, dan juga karena hal ini Kementerian Kesehatan secara besar-besaran mengadakan vaksin untuk manusia yang di distribusikan keseluruh provinsi sebanyak hamper 227.000 vial vaksin.

Telah terjadi kasus baru yaitu antraks di dusun Dukuh Jati, kelurahan Candirejo, kecamatan semanu, kabupaten Gunung Kidul. Diduga terjadi nya penyakit antraks, kerena warga setempat mengonsumsi daging sapi yang mendadak mati dan telah di kubur oleh pemiliknya. Selang beberapa waktu sang pemilik sapi ini menggali lagi lubang tersebut. Dan memotong sapi tersebut lalu dibagikan kepada warga-warga sekitar.

Tak lama kemudian selang beberapa hari, beberapa warga jatuh sakit yang mengakibatkan kematian. Terdapat tiga orang meninggal dunia pada bulan Mei sampai bulan Juni tahun 2023. Dari tiga kasus tersebut (meninggal dunia), para pihak medis telah mengambil sampel dan sudah di diagnosis terjadi antraks.

Sejak kamis, 18 Mei sampai dengan Jum'at, 26 Mei 2023 terjadi juga kematian mendadak pada beberapa hewan ternak yaitu kambing dan sapi milik para warga di desa Dukuh Jati. Hewan-hewan yang telah mati kemudian di potong dan dibagikan ke warga sekitar untuk dijadikan konsumsi.

2. Narasi Mengenai Isu-isu Kesehatan

Selama tiga bulan terakhir, Indonesia terus menghadapi tantangan kesehatan global yang mencakup pandemi COVID-19, penyakit tidak menular (PTM), serta malnutrisi dan obesitas.

Terkait pandemi COVID-19, data menunjukkan bahwa jumlah kasus COVID-19 di Indonesia berfluktuasi. Meski vaksinasi terus berlanjut, penyebaran virus SARS-CoV-2 terus berlanjut. Pemerintah terus menerapkan langkah-langkah pencegahan seperti social distancing, pemakaian masker dan kampanye vaksinasi massal. Namun, situasi pandemi ini terus berubah dan bergantung pada faktor-faktor seperti varian virus, vaksinasi, dan kepatuhan terhadap praktik kesehatan. Penting untuk mengikuti informasi terbaru dari sumber terpercaya seperti Kementerian Kesehatan RI, BNPB dan WHO.

Masalah PTM juga menjadi perhatian utama. Data tiga bulan terakhir menunjukkan penyakit seperti diabetes, penyakit jantung, kanker, penyakit pernapasan kronis, dan penyakit ginjal masih banyak terjadi di Indonesia. Faktor risiko seperti kebiasaan makan yang tidak sehat, kurangnya aktivitas fisik dan kebiasaan merokok berkontribusi terhadap peningkatan PTM ini. Pemerintah dan masyarakat harus bekerja sama untuk meningkatkan kesadaran akan pola hidup sehat dan menerapkan langkah-langkah pencegahan seperti pendidikan gizi, promosi aktivitas fisik dan pemeriksaan rutin. Selain itu, malnutrisi dan obesitas juga menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian. Data menunjukkan bahwa selama tiga bulan terakhir, beberapa daerah di Indonesia masih mengalami kekurangan gizi, sementara angka obesitas terus meningkat di seluruh tanah air. Perubahan kebiasaan makan yang tidak sehat, gaya hidup yang tidak aktif, dan ketersediaan makanan bergizi yang terbatas semuanya berkontribusi terhadap masalah ini. Penting untuk meningkatkan ketersediaan makanan bergizi, meningkatkan kesadaran akan pentingnya pola makan seimbang dan mempromosikan gaya hidup aktif dan sehat.

Untuk mengatasi masalah kesehatan global tersebut, kerjasama antara pemerintah, institusi kesehatan dan masyarakat sangat penting. Pendidikan, kampanye kesadaran kesehatan, implementasi langkah-langkah dukungan dan peningkatan akses ke layanan kesehatan adalah tindakan yang harus diambil. Dengan memahami informasi ini, menggunakan sumber terpercaya seperti Kementerian Kesehatan RI, BNPB, WHO dan BPS akan membantu untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang isu kesehatan global di Indonesia.

Angka kematian akibat penyakit rabies di Indonesia masih cukup tinggi, hal ini menggambarkan rabies adalah ancaman kesehatan masyarakat Indonesia. Masih tingginya kasus rabies di Indonesia dipengaruhi oleh kurangnya pengetahuan dan kesadaran masyarakat, serta terbatasnya akses dan kinerja pelayanan kesehatan.

Indonesia adalah negara yang didominasi oleh perkampungan-perkampungan kecil yang di mana masyarakatnya banyak yang memelihara hewan ataupun hewan liar dari hutan yang dijadikan teman, pajangan, penjaga rumah, dll. Kebanyakan masyarakat percaya bahwa hewan peliharaan tidak akan menyakiti tuan yang telah memeliharanya, memberi makan dan kandang/tempat tinggal, tanpa memperdulikan aspek kesehatan hewan tersebut.

Sebagian juga masih menganggapkan gigitan hewan, menganggapnya sebagai luka ringan karena bermain bersama hewan peliharaan atau akibat dari kenakalan (menggangu hewan). Oleh sebab itu, kebanyakan pasien yang datang berobat sudah dalam kondisi yang parah. Di mana kebanyakan korban yang terinfeksi rabies adalah anak-anak yang masih belum cukup paham merawat diri. Peran orang tua sangat penting dalam mengawasi dan merawat anak, orang tua juga harus cukup waspada anak bermain dengan siapa dan apa yang dilakukannya untuk menghindari hal yang tidak diinginkan.

Pada saat pelaporan, disebutkan bahwa masyarakat di desa tersebut sempat mengonsumsi daging sapi yang mati karena sakit. Sapi yang telah mati itu ternyata disembelih dan dagingnya dibagikan kepada warga. Mengenai hewan ternak, ada enam ekor kambing dan enam ekor sapi yang telah didiagnosa positif antraks, dan hewan-hewan tersebut telah dipastikan mati semuanya.

Saat ini kementerian kesehatan telah menerbitkan surat edaran, agar semua fasilitas kesehatan baik pada tingkat puskesmas ataupun Rumah Sakit di Daerah Istimewa Yogyakarta agar mulai waspada mengenai potensi penularan penyakit antraks setelah ditemukan kasus korban meninggal dunia di kabupaten Gunung Kidul. Beberapa puskesmas dan Rumah Sakit di Sleman sebanyak 55 unit, Kulonprogo sebanyak 31 unit, Gunung Kidul sebanyak 40 unit, Bantul sebanyak 47 unit, dan di kota Yogyakarta sebanyak 44 unit.

B. Isu Kesehatan Antraks

Para tenaga medis juga telah melakukan wawancara pada salah satu warga yang berinisial (WP). Beliau sempat memotong beberapa hewan ternak yang telah mati mendadak itu sempat mengeluhkan terjadinya demam, batuk-batuk, sakit kepala (pusing), terjadi juga pembengkakan kelenjar dan juga perut membengkak. Selanjutnya dinas kesehatan dan dinas peternakan dan kesehatan hewan di Gunung Kidul juga melakukan pengambilan sampel pada tanah yang digunakan (WP) memotong hewan-hewan tersebut untuk dilakukan uji lab.

Hasil yang telah didapat, yaitu pada Kamis, 1 Juni 2023 sudah diketahui bahwa positif spora antraks dari sampel tanah tersebut. Dan pada Sabtu, 3 Juni 2023, (WP). Akhirnya dibawa ke Rumah Sakit Sardjito dan dilakukan pengambilan sampel darah dan hasil uji lab tersebut didiagnosis suspek antraks. Sehari kemudian (WP) dinyatakan meninggal karena antraks. Selain (WP) ada dua orang juga yang meninggal, karena terpapar antraks setelah mengonsumsi daging sapi yang sudah mati akibat antraks. Pada hasil uji lab 87 orang dinyatakan positif antraks, 18 orang dengan gejala, dan 3 meninggal dunia.

Pada tahun-tahun sebelumnya juga sempat terjadi antraks pada Daerah Istimewa Yogyakarta. Pada tahun 2003 di daerah Sleman, lalu pada tahun 2016 di daerah Kulon Progo, pada tahun 2017 di daerah Pleret, Bantul, dan pada tahun 2019 ada di daerah Karangmojo dan Gunung Kidul.

Masa inkubasi penyakit antraks yaitu 1 sampai 7 hari, jika sudah berada di dalam tubuh, bakteri antraks tersebut akan berkembang biak dan menghasilkan racun yang dapat menyebabkan antraks. Cara penularan penyakit ini pada manusia terdapat beberapa cara, bisa dari luka, lalu pada saluran pernapasan, dan juga pada saluran pencernaan. Penularan antraks melalui luka yang terbuka di kulit:

1. Terdapat benjolan-benjolan kemerahan terasa gatal dan juga perih, serta bagian tengah pada benjolan berwarna hitam.
2. Nyeri pada kelenjar getah bening di bagian atau sekitar kulit yang telah terinfeksi.
3. Demam, lemas, nyeri otot, dan mual-mual.

Penularan antraks melalui saluran pernapasan:

1. Demam tinggi, batuk, sesak.
2. Sakit tenggorokan, rasa tidak nyaman pada dada.
3. Nyeri otot, dan nyeri saat menelan.

Penularan antraks melalui saluran pencernaan:

1. Tidak nafsu makan, demam yang tinggi, mual bahkan muntah.
2. Diare yang disertai dengan darah.
3. Nyeri pada tenggorokan, sulit untuk menelan, sakit perut dan juga sakit kepala.

Hewan-hewan ternak bisa saja terinfeksi antraks apabila hewan-hewan tersebut memakan pakan dan minum air yang telah terkontaminasi oleh spora antraks, ternak yang telah menderita antraks bisa saja menularkan penyakit ini pada hewan ternak lainnya dengan melalui cairan yang biasanya keluar dari tubuh ternak. Lalu

cairan-cairan tersebut bisa mencemari tanah di sekelilingnya dan bisa menjadi sumber dari wabah berikutnya.

Ciri-ciri hewan ternak yang telah terindikasi antraks, yaitu

1. Hewan mengalami demam tinggi.
2. Keluar darah.
3. Munculnya gejala kesakitan.
4. Terjadinya perubahan fisik, seperti perut yang kembung.
5. Hewan-hewan yang mati mendadak.
6. Terdapat luka yang melepuh pada kulit hewan.
7. Hewan-hewan ternak terlihat stress.
8. Terdapat luka pada lidah ternak.

Penyakit ini dapat disembuhkan dengan memberikan antibiotik dari kelompok amoksisilin, ciprofloxacin, atau doksisisiklin dan zat antiracun untuk menetralkan racun dari bakteri antraks. Beberapa macam antibiotik ini dikonsumsi selama 60 hari agar tidak mengalami gejala lebih lanjut. Tetapi, meskipun telah diberikan pengobatan, bisa saja terjadi komplikasi fatal karena infeksi nya masih sering terjadi. Maka dari itu, akan lebih baik jika penyakit antraks dapat dicegah, ada juga beberapa cara mencegah terjadinya antraks:

1. Memasak segala jenis daging hingga benar-benar matang dengan sempurna.
2. Melakukan vaksinasi antraks entah itu pada manusia ataupun hewan-hewan ternak. Jika ada hewan ternak yang belum diberikan vaksinasi lebih baik menghindari kontak langsung, terlebih lagi hewan liar.
3. Jika tidak ditangani dengan segera, penyakit antraks ini bisa menyebabkan komplikasi yang berat. Seperti sepsis, meningitis, bahkan hingga kematian. Maka dari itu jika mengalami gejala penyakit ini, maka segera lah periksa ke dokter.

Penyakit antraks merupakan salah satu penyakit yang dapat menular dari hewan-hewan ternak pada manusia, antraks sendiri termasuk penyakit yang langka, tetapi bisa menjadi penyakit yang

mematikan jika penyakit ini tidak di tangani dengan tepat dan segera. Penyakit antraks sendiri merupakan infeksi bakteri yang serius penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Bacillus anthracis*.

Antraks ini paling sering menyerang hewan herbivora, karena spora ada di dalam tanah. Ketika hewan mengkonsumsi pakan yang di ambil dari tanah yang terindikasi spora antraks maka ketika pakan tersebut dikonsumsi oleh hewan ternak, spora tersebut akan aktif dan membelah diri lalu menyebar ke seluruh tubuh hewan. Penyakit ini termasuk dalam penyakit zoonosis yang artinya dapat ditularkan oleh hewan kepada manusia tetapi tidak dapat menularkan pada manusia ke manusia.

Bakteri ini dapat menghasilkan spora yang tidak aktif dan spora ini akan hidup di dalam tanah, tetapi ketika spora ini masuk kedalam tubuh manusia atau pun hewan ternak spora tersebut menjadi aktif. Lalu spora yang telah aktif ini akan mulai membelah diri dan menghasilkan racun. Sehingga dapat menyebar ke seluruh tubuh. Penyakit antraks ini dapat mengenai kulit, paru-paru, saluran pencernaan.

Penyakit antraks ini terdapat beberapa jenis, biasanya dibedakan dengan cara bagaimana cara bakteri ini masuk ke dalam tubuh. Jika tidak ditangani dengan cepat dan tepat maka penyakit antraks ini dapat menyebabkan kematian. Berikut ini merupakan jenis-jenis dari penyakit antraks.

1. Antraks kulit

Penyakit ini terjadi saat spora bakteri *Bacillus anthracis* masuk ke dalam kulit manusia entah itu melalui luka atau goresan. Spora bisa saja masuk ke dalam tubuh manusia saat seseorang memegang hewan yang telah terkontaminasi antraks. Jika di tangani dengan tepat penyakit ini bisa sembuh. Infeksi ini biasanya terjadi selama 1 hingga 7 hari setelah manusia terpapar oleh spora bakteri, jika tidak ditangani dengan segera akan mengakibatkan kematian pada manusia.

2. Antraks Inhalasi

Manusia juga dapat terkena antraks inhalasi jika menghirup spora dari bakteri *Bacillus anthracis*. Bakteri yang di hirup oleh manusia akan menyebar ke dalam tubuh manusia dan dapat menyebabkan masalah pada pernapasan yang parah. Infeksi ini berlangsung dalam satu minggu setelah manusia terpapar oleh antraks, jika penyakit ini tidak di obati biasanya hampir berakhir dengan fatal.

3. Antraks Gastrointestinal

Penyakit ini akan menular jika manusia mengkonsumsi daging yang tidak masak dengan sempurna dari binatang yang telah terinfeksi. setelah dimakan, spora antraks ini bisa menyerang pada saluran pencernaan bagian atas seperti kerongkongan dan tenggorokan, lalu dapat juga menyerang lambung bahkan usus. Masa inkubasi nya biasanya berkembang dari 1 hingga 7 hari setelah manusia yang telah mengkonsumsi daging tersebut terpapar. Jika tidak di tangani dengan segera, pasien yang telah terpapar antraks ini akan meninggal dunia.

4. Antraks Injeksi

Dari tiga jenis antraks di atas, ada satu jenis antraks yang baru saja di temukan di daerah Eropa Utara, yaitu antraks pada pemakaian obat-obat terlarang dengan suntikan. Pada kondisi ini seperti mirip dengan antraks kulit, tetapi antraks injeksi ini akan lebih cepat menyebar ke dalam tubuh manusia dan lebih sulit untuk diobati.

Penyebab dari penyakit antraks, yaitu spora dari bakteri *Bacillus Anthracis* yang telah aktif. Spora bakteri *Bacillus Anthracis* ini dapat bertahan hidup di lingkungan selama bertahun-tahun lamanya. Lalu dapat bertunas dan dapat membelah diri. Penyebaran bakteri *Bacillus Anthracis* ke dalam tubuh manusia yang paling sering terjadi jika

manusia melakukan kontak langsung pada hewan-hewan ternak yang telah terindikasi atau terpapar oleh penyakit antraks.

Meskipun penyakit antraks ini terbilang cukup langka, terdapat beberapa kelompok yang bisa berisiko tertular atau terpapar oleh antraks:

1. Orang-orang yang mengolah produk-produk hewani.
2. Dokter hewan.
3. Peternak hewan yang bekerja dengan binatang yang telah terinfeksi antraks.
4. Pengunjung yang sedang mengunjungi daerah yang terbilang berisiko tinggi.
5. Pekerja laboratorium.
6. Relawan.
7. Orang yang mengonsumsi daging mentah atau mengonsumsi daging yang tidak matang dengan sempurna terlebih jika daging tersebut telah terindikasi oleh antraks.

Saat melakukan pemeriksaan pada pasien yang terpapar oleh penyakit antraks, dokter akan melakukan beberapa pemeriksaan medis, yaitu dengan cara:

1. Pemeriksaan pada kulit.
2. Tes darah.
3. X-ray atau CT-scan dada.
4. Pemeriksaan pada feses manusia.
5. Suntikan spinal.

C. Isu Kesehatan Rabies

Rabies merupakan salah satu penyakit zoonosis, yang di mana penyakit ini merupakan salah satu penyakit hewan yang disebabkan oleh virus, penyakit ini bersifat akut serta menyerang susunan saraf pusat pada hewan berdarah panas dan manusia. Rabies disebabkan oleh virus RNA dari family *Rhabdoviridae* dan genus *lyssavirus*. Hewan yang sudah terinfeksi virus rabies dapat menularkan penyakit tersebut ke manusia dengan melalui gigitan atau kontak langsung dengan luka terbuka

maupun selaput lender hewan tersebut. Hewan yang paling banyak terinfeksi, yaitu anjing, kelelawar, kucing dan kera.

BALI	14.827
NTT	3.437
SULAWESI SELATAN	2.338
KALIMANTAN BARAT	1.188
SUMATRA BARAT	1.171
SULAWESI UTARA	1.104
RIAU	1.019
NTB	739
SULAWESI TENGGARA	588
KALIMATAN TIMUR	562

Pada tahun 2023, kemenkes mengumumkan jumlah kasus rabies yang ada di Indonesia dari bulan Januari sampai bulan April tahun 2023. Pada bulan April tahun 2023 terdapat 31.113 kasus rabies, sedangkan 23,211 itu kasus gigitan hewan yang sudah mendapatkan vaksin antirabies, dan terdapat 11 kasus angka kematian yang di sebabkan oleh rabies.

Dari data kasus yang saya dapatkan mengenai meningkatnya jumlah kasus rabies Di Indonesis. Seperti di Provinsi BALI berada diurutan pertama dengan jumlah kasus 14.827 kasus Rabies, di urutan kedua ada Provinsi NTT dengan jumlah kasus 3.437 kasus rabies, Ketiga ada Sulawesi Selatan dengan jumlah 2.338 kasus rabies, di posisi ke empat ada Provinsi Kalimantan Barat dengan jumlah kasus 1.188 kasus rabies, Kelima ada Provinsi Sumatra Barat dengan jumlah kasus sekitar 1.171 kasus rabies, Provinsi Sulawesi Utara sekitar 1.104 kasus rabies, Provinsi Riau sekitar 1.019 kasus rabies, Provinsi NTB sekitar 739 kasus, Provinsi Sulawesi Tenggara sekitar 588 kasus rabies, dan di Provinsi Kalimantan Timur sekitar 562 kasus rabies.

Rabies merupakan salah satu masalah terbesar di Indonesia karena dalam tiga tahun terakhir kasus gigitan hewan rabies itu rata-

rata dalam satu tahun lebih dari 80.000 kasus dan jumlah kematiannya rata-rata sekitar 68 orang.

Di tahun 2023, Kemenkes gencar mengadakan vaksin untuk manusia yang sudah didistribusikan ke seluruh provinsi sekitar 227.000 vial vaksin. Sementara itu, terdapat 25 provinsi yang kini menjadi endemis rabies, dan ada 8 provinsi lainnya kini dinyatakan bebas dari penyakit rabies. Di antaranya ada Kabupaten Riau, Bangka Belitung, DKI Jakarta, Jawa Tengah, Yogyakarta, Jawa Timur, Papua Barat dan Papua. Kini sekitar 95% kasus rabies pada manusia didapatkan lewat gigitan anjing yang terinfeksi. Dan ada juga berbagai beragam hewan liar yang bertindak sebagai reservoir virus di berbagai benua seperti rubah, rakun, dan kelelawar, tetapi terdapat 95% karena gigitan dari anjing.

Saat ini Indonesia digemparkan dengan berita seorang anak berusia sekitar 4 tahun tertular penyakit rabies di Nusa Tenggara Timur. Kabarnya anak ini meninggal pada hari Senin 9 Mei 2023 pada pukul 11:23 WIB. Setelah digigit anjing pada tanggal 24 April 2023 di area wajar. Diketahui bahwa anjing yang menggigit anak tersebut di temukan mati, 1 hari setelah menggigit anak tersebut. Kemudian tenaga kesehatan mengambil sampel otaknya untuk diperiksa oleh balai besar vateriner Denpasar, dan hasilnya menunjukkan bahwa anjing tersebut positif terkena virus rabies.

1. Ciri-Ciri yang Terkena Rabies

Ada 2 macam ciri-ciri hewan yang sudah terinfeksi rabies, yaitu

a. Tipe Gila

Yang di mana hewan ini mudah terprovokasi, sensitif, waspada, pupil mata membesar, tidak mengenal rasa takut, dan dapat menyerang hewan lain manusia, atau objek yang bergerak. Gejala akan berlanjut menjadi inkoordinasi saraf, lalu mati setelah mengalami paralisis.

b. Tipe Diam

Hewan mengalami kekurangan seperti stroke pada manusia. Biasanya dapat dilihat dari kelakuan rahang bagian bawah, mulut menganga, produk air liur berlebihan dan tidak bisa menelan. Tipe ini, tidak menunjukkan gila atau galak, dan sangat jarang untuk mengigil. Gejala berlanjut ke paralisis seluruh tubuh, koma, dan meninggal beberapa jam kemudian.

2. Faktor Risiko Rabies

Ada beberapa faktor yang meningkatkan resiko terjadinya rabies, yaitu

- a. Bepergian atau tinggal di negara berkembang.
- b. Bersentuh dengan hewan liar yang terinfeksi penyakit rabies.
Yang termasuk kelelawar dalam goa.
- c. Bekerja sebagai dokter hewan.
- d. Bekerja di laboratorium yang rentan berkontak dengan virus.
- e. Memiliki luka terbuka pada kulit.
- f. Menerima transplantasi organ dari orang yang terinfeksi.

3. Pencegahan Penyakit Rabies

Cara mencegah penyakit rabies dengan:

- a. Melakukan vaksinasi, memberikan vaksinasi pada hewan peliharaan seperti anjing, kucing, dan hewan lainnya adalah langka untuk mencegah penyakit rabies.
- b. Menghindari kontak dengan hewan liar merupakan salah satu cara mencegah rabies yang penting bagi manusia.
- c. Jika terkena gigitan oleh hewan, terutama pada hewan liar atau hewan yang tidak diketahui status vaksinasinya, segera bersihkan luka dengan sabun dan air mengalir selama 10-15 menit. Kemudian segera cari perawatan medis untuk menilai lebih lanjut dan tindakan pencegahan yang diperlukan.

4. Gejala Penyakit Rabies

Gejala awal:

- a. Peningkatan suhu tubuh.
- b. Sakit kepala.
- c. Merasa tidak enak badan.
- d. Rasa tidak enak di lokasi gigitan.

Gejala selanjutnya:

- a. Kebingungan atau perilaku agresif.
- b. Melihat atau mendengar sesuatu yang tidak nyata (halusinasi).
- c. Mulut memproduksi banyak air liur.
- d. Kejang otot.
- e. Kesulitan menelan dan bernapas.
- f. Ketidakmampuan untuk bergerak (lumpuh).

5. Cara Pengobatan Rabies

- a. Jika ada pendarahan atau luka terbuka, tekan area luka dengan kain bersih atau kasa steril.
- b. Bersihkan atau cuci luka gigitan atau cakaran hewan dengan air mengalir dan sabun, selama 10-15 menit.
- c. Kemudian, oleskan cairan antiseptic dengan kandungan povidene iodine atau alkohol dengan kadar 70 persen ke area luka.
- d. Segerah ke rumah sakit terdekat untuk mendapatkan pertolongan lebih lanjut.

6. Komplikasi Rabies

Komplikasi rabies yang dapat terjadi adalah:

- a. Distonia yaitu kontraksi otot tanpa terkendali.
- b. Balismus yaitu gerakan tubuh tanpa sadar.
- c. Koreoatetosis yaitu gerakan tidak terkendali berupa hentakan.
- d. Gangguan motoric halus.
- e. Gangguan pola berjalan.
- f. Masalah pada komunikasi verbal dan nonverbal.

g. Perubahan kekuatan motoric pada lengan dan tungkai.

7. Peran Masyarakat dalam Upaya Penanggulangan Rabies

Peran masyarakat dalam melaporlan kejadian kasus anjing liar dan gejala rabies juga sangat penting, masyarakat diharapkan untuk melaporlan kasus-kasus tersebut kepada petugas setempat agar mendapatkan tindakan penanganan yang cepat dan efektif. melalui keterlibatan aktif dan kesadaran masyarakat, penyebaran rabies dapat dikendalikan dan keselamatan masyarakat serta hewan peliharaan dapat terjaga.

Tedapat beberapa tantangan dalam melibatkan masyarakat dan penegakan hukum yang efektif yaitu kurangnya kesadaran masyarakat mengenai peraturan dan hukum terkait pemeliharaan hewan, kurangnya kerjasama dari berbagai pihak, serta kesulitan dalam melakukan pemantauan dan penindakan terhadap pelanggaran. dalam mengatasi tantangan ini, dengan adanya penegakan hukum yang tegas dan stabil terhadap pemilik hewan yang tidak bertanggung jawab, serta peningkatan kesadaran dan pertisipasi aktif masyarakat dalam pencegahan dan penanganan rabies.

Tentang Penulis



Ar. Fendy Faizal Gobel, S.T., M.Sc, IAI.

Dosen Program Studi Arsitektur
Fakultas Teknik Universitas Gorontalo

Penulis lahir di Gorontalo tanggal 17 Agustus 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Arsitektur Universitas Muslim Indonesia pada tahun 2009 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Arsitektur dengan konsentrasi Desain Kawasan Binaan di Program Studi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan berhasil memperoleh gelar Master of Science (M.Sc.) pada tahun 2012. Penulis bekerja di kantor konsultan PT. Jakarta Konsultindo dari tahun 2012 sampai 2014. Pada tahun 2015 menjadi Dosen Tetap Yayasan Pendidikan Duluwo Limo Lo

Pohalaa (YP-DLP) di Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Gorontalo. Mata kuliah yang diampu di antaranya perancangan arsitektur, struktur & konstruksi bangunan dan tata bangunan kawasan. Memperoleh hibah penelitian dosen pemula, Kemdikbudristek tahun 2021 dan 2022 serta hibah pengabdian pada tahun 2023. Sejak tahun 2021 menjadi Tim Profesi Ahli (TPA) di Dinas PUPR Kab. Gorontalo Utara. Penulis memiliki Surat Tanda Registrasi Arsitek (STRA) yang diterbitkan oleh Dewan Arsitek Indonesia (DAI) sehingga sering terlibat menjadi Tenaga Ahli dalam beberapa proyek yang berskala lokal dan nasional. Penulis aktif dalam kepengurusan Ikatan Arsitek Indonesia (IAI) Gorontalo dan saat ini menjabat sebagai ketua bidang Penghargaan, Sayembara dan Pengabdian Profesi.



Ardiansyah Mahlia, S.K.M.

Staf Bidang Pelayanan Kesehatan
Dinas Kesehatan Kabupaten Buton Selatan

Penulis lahir di Baadia tanggal 1 Mei 1996. Penulis adalah Staf Administrasi Bidang Pelayanan Kesehatan Dinas Kesehatan Kabupaten Buton Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Administrasi Kebijakan Kesehatan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Dayanu Ikhsanuddin Kota Baubau, Penulis

menyelesaikan Pendidikan Sarjana tahun 2018. Penulis berkomitmen untuk terus berkontribusi dalam dunia penulisan.



Rizal Yahya Luthfian P., S.IP.

Tim Jurnal PT Samudera Media Nusantara

Penulis lahir di Purbalingga tanggal 17 April 2002. Penulis tergabung dalam tim jurnal dan naskah di PT Samudera Media Nusantara. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu Perpustakaan. Penulis tertarik pada bidang kajian ilmiah dan penelitian pada bidang informasi dan perpustakaan, sosial media, dan teknologi informasi. Penulis juga memiliki ketertarikan pada bidang sosial seperti permasalahan sosial, isu sosial, ekonomi, dan politik. Selain itu, penulis juga memiliki ketertarikan pada bidang desain grafis dan desain ruang.



Tatan Sukwika

Telah menyelesaikan program sarjana Ilmu Agribisnis Universitas Djuanda tahun 1999, program magister Sains Ilmu Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Pedesaan berhasil diselesaikannya pada tahun 2003 di IPB University, dan penulis meraih gelar doktor ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan tahun 2016 dari IPB University.

Profesi karir sebagai dosen tetap pada program studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Sahid Jakarta dan profesi non-karir sebagai auditor lingkungan, asesor nasional Beban Kerja Dosen (BKD), mentor aplikasi lingkungan berkelanjutan, editor jurnal nasional dan reviewer (51 verified peer reviews by Publons, Web of Science) jurnal internasional. Penulis memiliki kepakaran dibidang ilmu lingkungan, planologi dan sosial ekonomi. Dalam mewujudkan karir sebagai konsultan profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan didanai oleh internal perguruan tinggi dan juga beberapa kementerian dan lembaga setingkat pemerintah. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku di IKAPI dan artikel pada jurnal nasional terakreditasi dan internasional bereputasi (h-indeks Scopus= 3 dan h-

indeks Google Scholar= 13). Atas dedikasi dan kerja keras dalam menulis artikel, Universitas Sahid Jakarta memberikan penghargaan sebagai salah satu penulis Karya Ilmiah Terbaik Tahun 2022.



Shintawati Dyah Purwaningrum, S.T., M.T.

Dosen Teknik Kimia

Fakultas Teknik Universitas Pandanaran Semarang

Penulis lahir di Demak tanggal 19 Oktober 1985. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia dan melanjutkan S2 pada jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro. Penulis menekuni bidang penelitian dan fokus pada bidang material maju.



Rizka Efi Mawli, S.Si., M.Si.

Dosen Teknik Laboratorium Medis/Analisis Kesehatan
STIKes Ngudia Husada Madura

Penulis lahir di Bangkalan tanggal 17 Agustus 1995. Alumni Sarjana Biologi Universitas Negeri Surabaya tahun 2018 dan melanjutkan sekolah pascasarjana jurusan Biologi Universitas Airlangga Surabaya, lulus tahun 2021. Penulis menekuni bidang Penelitian Mikrobiologi Medis dan Mikrobiologi Lingkungan. Penulis aktif melakukan penelitian mengenai bakteriologi, mikologi, parasitologi, biodegradasi dan bioremediasi.

Penulis adalah dosen Program Studi Teknik Laboratorium Medis atau dikenal dengan Analisis Kesehatan di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Ngudia Husada Madura sejak tahun 2021 hingga saat ini.



Pratika Desy Anggraeni, M.Pd.

Guru Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) MTs. Muhammadiyah 1 Malang

Penulis lahir di Malang tanggal 31 Januari 1998. Penulis merupakan guru IPA di MTs. Muhammadiyah 1 Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Muhammadiyah Malang pada tahun 2019 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Malang tahun 2022. Penulis memiliki hobi menulis.

Selain aktif menulis karya ilmiah, meskipun tidak berkecimpung di dunia sastra, namun penulis sangat senang menulis puisi dan menulis quotes. Penulis juga memiliki hobi *travelling*. Selain itu juga senang dalam dunia videografi.



Krisdianto

Menyelesaikan studi S1 di Jurusan Biologi ITB, tahun 1987, lalu melanjutkan S2 di Departemen Biological Water Resource Manajement, Napier University of Edinburgh Scotland UK 1993, kemudian menyelesaikan S3 di bidang Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2013. Penulis banyak melakukan penelitian ekologi dan lingkungan di alam terbuka, termasuk peran kanopi vegetasi dalam mengendalikan kenyamanan termal di alam terbuka. Kini penulis masih mengajar di Prodi Biologi Fmipa Universitas Lambung Mangkurat.



Drg. Nurfianti, Sp.PM.

Dosen Ilmu Penyakit Mulut

Fakultas Kedokteran Gigi Universitas YARSI

Penulis lahir di Jakarta tanggal 22 Mei 1973. Penulis adalah Dosen Ilmu Penyakit Mulut Fakultas Kedokteran Gigi Universitas YARSI. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Indonesia dan melanjutkan S2 pada Program Spesialis Penyakit Mulut Universitas Indonesia. Penulis menekuni bidang penelitian mengenai kanker mulut.



Ricka Prasdiantika, S.Pd., M.Sc.

Dosen Program Studi D3 Anafarma
Politeknik Kesehatan Surakarta

Penulis lahir di Sukoharjo pada tanggal 6 Maret. Penulis pernah menjadi dosen tetap di Universitas Pandanaran sejak 2016-2023 dan saat ini menjadi dosen tetap di Politeknik Kesehatan Surakarta. Penulis menyelesaikan Strata-1 pada Pendidikan Kimia, Jurusan PMIPA, FKIP, Universitas Lampung dan Strata-2 pada Ilmu Kimia, Jurusan Kimia, Departemen MIPA, Universitas Gadjah Mada. Penulis mengajar mata kuliah Pedoman Penulisan Ilmiah, Metodologi Penelitian, Statistika, Kimia Dasar, Kimia Terapan, dan K3. Penulis menekuni bidang menulis buku ajar maupun buku referensi yang dipublikasikan secara nasional. Adapun buku yang sudah dipublikasikan bersama tim yaitu Teknologi Nanomaterial untuk Solusi Pencemaran Logam Berat, Elektroda Superkapasitor dari Material Magnetik Pasir Besi, Biodisel Energi Baru Terbarukan, dan Potensi Lempung sebagai Katalis Biodiesel.



Erlyta Dian Puspitarini

Penulis lahir di Ponorogo, 15 Juli 1980. Saat ini merupakan staff di RSU Kota Tarakan Kalimantan Utara. Memperoleh gelar dokter umum dari Universitas HangTuah Surabaya pada tahun 2005 dan gelar Spesialis Radiologi dari Universitas Airlangga Surabaya pada tahun 2019.



Apt. Gina Aulia, M.Farm

Dosen S1 Farmasi Klinik dan Komunitas
STIKes Widya Dharma Husada Tangerang

Penulis lahir di Bandung tanggal 21 Februari 1989

Penulis adalah dosen pada Program Studi S1 Farmasi Klinik dan Komunitas, STIKes Widya Dharma Husada Tangerang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Farmasi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Farmasi Klinis. Penulis menekuni bidang penelitian farmasi klinis, mikrobiologi dan telah dipublikasikan di beberapa jurnal ilmiah, baik jurnal nasional maupun jurnal internasional.



Yanang Surya Putra Hardyanto

Pendidik dan Peneliti Pendidikan Biologi

Penulis lahir di Trenggalek tanggal 22 Februari 1998. Penulis adalah Pendidik dan Peneliti dari Program Studi Pendidikan Biologi, FMIPA Universitas Negeri Malang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Biologi dan melanjutkan S2 pada jurusan yang sama di Universitas Negeri Malang.

Penulis menekuni bidang Penelitian dan Pendidikan di bidang Biologi. Penulis mengikuti berbagai macam pelatihan, seminar, dan lomba di tingkat intra kampus maupun di luar kampus pada tingkat nasional maupun internasional. Keaktifan peneliti mengikuti berbagai macam kegiatan menghasilkan beberapa publikasi yang telah diterbitkan dalam proseding nasional maupun internasional. Peneliti sangat menyukai kegiatan yang berhubungan dengan alam seperti mendaki gunung, mengeksplorasi air terjun, dan hutan untuk sekedar melepas penat maupun mencari spesimen dan spesies liar untuk koleksi pribadi.



Restu Auliani, S.T. M.Si.

Dosen Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Medan
Jurusan Kesehatan Lingkungan

Penulis lahir di Padang tanggal 13 Februari 1988. Penulis adalah dosen pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Medan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas dan melanjutkan S2 pada Pascasarjana Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Universitas Sumatera Utara. Penulis menekuni bidang Penelitian di bidang Pengelolaan Sampah.



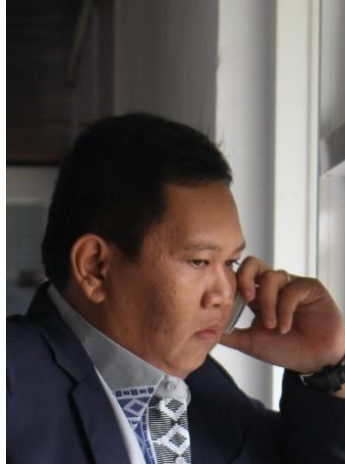
Dr. Ir. Nahri Idris, M.Sc.

Dosen

Fakultas Peternakan Universitas Jambi

Penulis lahir di Jambi tanggal 30 Maret 1967. Penulis adalah dosen pada Program Studi Peternakan Fakultas Peternakan, Universitas Jambi. Penulis menyelesaikan pendidikan S2 pada Program Studi Information Technology for Natural Resources Management dan S3 pada Program Studi Komunikasi Pembangunan Pertanian dan Pedesaan di Institut Pertanian Bogor (IPB).

Penulis banyak berkecimpung dalam bidang lingkungan hidup dan manajemen sumber daya alam. Pengalaman Penulis dalam bidang lingkungan hidup di antaranya menjadi Sekretaris Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) Universitas Jambi dari tahun 2004-2012, kemudian menjadi Ketua PPLH UNJA tahun 2015-2016. Pengalaman lain di bidang lingkungan hidup di antaranya adalah Tim Penilai Adipura Provinsi Jambi, Tim Menuju Indonesia Hijau (MIH) Provinsi Jambi, Tim Teknis Komisi Penilai AMDAL Provinsi Jambi, Kota Jambi dan Kabupaten Batang hari, konsultan dokumen lingkungan hidup bagi dunia usaha/industri, serta aktif sebagai pengurus di beberapa organisasi profesi di bidang lingkungan hidup.



Sulung Alfianto Akbar, S.Kom., M.MSI.

Dosen Kesehatan Masyarakat
Fakultas Kesehatan Masyarakat

Penulis lahir di Samarinda tanggal 18 April 1986. Penulis adalah dosen pada Program Studi Kesehatan Masyarakat Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Widya Gama Mahakam. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu Komputer dan melanjutkan S2 pada Magister Sistem Informasi.

Sebagai seorang ahli informatika kesehatan, Penulis telah berkontribusi dalam pengembangan aplikasi kesehatan berbasis teknologi. Salah satu proyeknya adalah mengembangkan sebuah platform aplikasi seluler yang memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kesehatan mereka, mengakses informasi medis, serta berkonsultasi dengan tenaga medis secara daring. Dia juga berperan dalam mengembangkan sistem manajemen data kesehatan yang aman dan efisien untuk rumah sakit dan lembaga kesehatan lainnya. Dengan demikian, Penulis membantu meningkatkan aksesibilitas data pasien, memastikan koordinasi perawatan yang lebih baik, dan mendorong penggunaan data dalam penelitian medis.