

Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan Kulit

Dedianto Hidajat¹, Febyr Gilang Tilana², I Gusti Bagus Surya Ari Kusuma²

¹ Bagian Dermatologi dan Venereologi, Fakultas Kedokteran Universitas Mataram, Indonesia.

² Program Studi Profesi Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Mataram, Indonesia.

DOI: 10.29303/jku.v12i4.1021

Article Info

Received : November 6, 2023

Revised : December 1, 2023

Accepted : December 1, 2023

Abstract: The ever-increasing levels of air pollution around the world are causing great concern regarding health issues. Repeated and frequent exposure to high levels of pollutants may have adverse effects on the skin. The study aimed to determine the negative impact of air pollution on skin health. This research is a literature review that searches, collects, and synthesizes the current findings of specific topics. Therefore, in this review, the researcher analyzes skin health problems due to air pollution. Changes in microflora, oxidative stress, and activation of the Aryl Hydrocarbon Receptor (AHR) lead to the induction of an inflammatory cascade in the skin. Several types of air pollutants have been identified that can cause damage to the skin, including pollutant gases (carbon monoxide, nitrogen dioxide, ozone, sulfur dioxide), heavy metals (lead, nickel, particulate matter), and Volatile Organic Compounds (VOC). Exposure to each type of pollutant has its mechanism and impact on the skin. In general, air pollutants can be associated with aging, inflammation, or allergic skin conditions.

Keywords: Air Pollution, Pollutant, Skin Health

Citation: Example: Hidajat, D., Tilana, F. G., and Kusuma, I. G. B. S. A. (2023). Dampak Polusi Udara Terhadap Kesehatan Kulit. *Jurnal Kedokteran Unram*

Pendahuluan

Polusi didefinisikan sebagai kontaminasi lingkungan dengan bahan-bahan yang mengganggu kesehatan manusia, kualitas hidup, atau fungsi alami ekosistem. Terdapat berbagai hal yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran, dan salah satu yang menjadi sorotan dalam beberapa dekade terakhir adalah polusi udara. *World Health Organization* (WHO) mendefinisikan polusi udara sebagai kontaminasi lingkungan dalam dan luar ruangan oleh agen kimia, fisika, atau biologis apapun yang mengubah karakteristik alami atmosfer. Lebih dari 91% penduduk dunia tinggal di daerah dengan udara tidak sehat, yang tingkat polusi udara yang melebihi standar yang dianjurkan oleh WHO. Laporan *State of Global Air 2019* dari *Health Effects Institute* (HEI) menyatakan bahwa, polusi udara, termasuk *Particulate Matter* (PM), ozon, dan polusi udara di dalam rumah, adalah salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia, menduduki peringkat kelima. Pada tahun 2017, polusi udara diperkirakan telah menyebabkan hampir 5 juta

kematian di seluruh dunia. (Dijkhoff *et al.*, 2020) Pada kawasan Asia Timur dan Pasifik, Indonesia berada pada peringkat kedua kematian akibat polusi udara rumah tangga yang disebabkan oleh pembakaran bahan bakar padat. (Dijkhoff *et al.*, 2020)

Tingkat polutan udara yang terus meningkat di seluruh dunia menyebabkan kekhawatiran besar pada masalah kesehatan. Sejumlah penelitian klinis dan epidemiologi telah menyoroti dampak buruk polutan lingkungan terhadap kesehatan. Efek jangka panjang dari polusi udara terhadap paru-paru dan sistem jantung telah banyak diteliti. Meskipun banyak penelitian lebih berfokus pada dampak polusi udara pada sistem pernapasan dan jantung, ada bukti bahwa organ lain seperti usus, hati, dan ginjal termasuk kulit juga dapat terpengaruh setelah paparan berulang. (Ngoc *et al.*, 2017) Kulit yang merupakan organ terluas dalam tubuh manusia dan menjadi lapisan pertahanan pertama seringkali terkena polutan secara langsung. Paparan berulang dan sering terhadap polutan tingkat tinggi mungkin mempunyai efek buruk pada kulit,

yang mencakup hubungan dengan atau menyebabkan penuaan dini, *photodamage*, lentigo solaris, melasma, dan peningkatan insiden dermatitis atopik, psoriasis, kanker kulit, dan jerawat. (Ngoc *et al.*, 2017; Araviiskaia *et al.*, 2019; Roberts, 2021)

Terdapat berbagai jenis polutan yang dapat menyebabkan terjadinya polusi udara, baik pada luar ruangan maupun dalam ruangan. Polutan utama dalam polusi udara luar ruangan, seperti yang didefinisikan oleh *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), berasal dari gas-gas seperti nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan karbon monoksida (CO), PM dan logam berat. (Ngoc *et al.*, 2017; Dijkhoff *et al.*, 2020) Tingkat senyawa organik mudah menguap atau yang dikatakan sebagai VOC dan *Semivolatile Organic Compound* (SVOC) lebih tinggi di dalam rumah dibandingkan di luar rumah. Meskipun belum banyak publikasi dan penelitian ilmiah yang menjelaskan dampak polusi udara terhadap kesehatan kulit, polutan-polutan ini diduga memiliki mekanisme yang berbeda-beda dalam menyebabkan kerusakan pada kulit. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk membahas lebih dalam tentang mekanisme polutan udara dalam menyebabkan kerusakan kulit, sehingga harapannya tinjauan ini dapat menjadi salah satu dasar untuk penyusunan strategi dalam pencegahan kerusakan kulit akibat polusi udara.

Metode

Tinjauan ini merupakan *literature review* yang merupakan metode penelitian yang secara sistematis eksplisit dan reproduibel untuk melakukan pencarian, pengumpulan, identifikasi, evaluasi dan sintesis terhadap data yang didapatkan dari berbagai penelitian tentang dampak polusi udara dan kesehatan kulit. Sumber referensi yang digunakan dalam tinjauan ini meliputi penelitian yang terkait isu polusi udara dan kesehatan kulit yang terpublikasi dalam 10 tahun terakhir (2013-2023). Adapun database yang digunakan berupa jurnal yang dipublikasikan melalui PubMed dan Google Scholar.

Definisi Polusi Udara

Pencemaran udara, atau yang sering disebut polusi udara, terjadi ketika ada bahan-bahan fisik, kimia, atau biologis yang masuk ke dalam atmosfer dalam jumlah yang bisa membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, merusak estetika dan kenyamanan, atau merusak properti. Pencemaran udara adalah ketika manusia memasukkan zat atau energi dari berbagai sumber ke dalam udara yang dihirup, sehingga kualitas udara menurun sampai pada

tingkat tertentu yang membuatnya tidak lagi bisa menjalankan fungsinya dengan baik. (Kim *et al.*, 2021)

Pencemaran udara dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pencemaran udara primer dan pencemaran udara sekunder. Pencemaran udara primer adalah bahan pencemar yang langsung berasal dari sumber pencemaran udara itu sendiri. Sebagai contoh, CO adalah pencemar udara primer karena timbul langsung dari proses pembakaran. Sementara pencemaran udara sekunder adalah bahan pencemar yang terbentuk ketika pencemar-pencemar primer bereaksi di atmosfer. Pembentukan ozon dalam smog fotokimia adalah contoh pencemaran udara sekunder. Smog fotokimia merupakan kabut abu-abu kecoklatan yang disebabkan oleh aksi radiasi ultraviolet matahari pada atmosfer yang tercemar VOC dan oksida nitrogen. (Antipova, 2020; Kim *et al.*, 2021)

Jenis Polusi Udara

Sumber polusi udara dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, yaitu yang disebabkan oleh manusia dan bersumber dari alam. Polusi udara yang disebabkan oleh manusia (antropogenik), terutama melalui pembakaran berbagai jenis bahan bakar. Ini termasuk sumber yang tetap seperti pabrik, pembangkit listrik, dan pemanas, serta sumber yang bergerak seperti kendaraan, kapal, dan pesawat. Selain itu, bahan kimia seperti cat, semprotan, dan produk aerosol juga termasuk didalamnya. Sampah yang terkubur di tempat pembuangan sampah juga menghasilkan metana, yang bisa menjadi bahaya karena mudah terbakar dan menggantikan oksigen di ruangan tertutup. Selain itu, aktivitas militer seperti senjata nuklir, gas beracun, dan perang biologis juga menyebabkan polusi udara. Selain itu, polusi udara yang bersumber dari alam, seperti debu dari daerah tanah gersang, metana dari pencernaan hewan seperti sapi, gas radioaktif yang berasal dari dalam bumi, dan asap serta karbon monoksida dari kebakaran alami seperti hutan dan gunung berapi. Jenis dan contoh lebih rinci dari setiap polutan terdapat pada tabel 1. (Ngoc *et al.*, 2017; Araviiskaia *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2021)

Table 1. Jenis dan contoh polutan

Jenis Polutan	Nama Polutan	Contoh jenis polutan
Gas	Karbon monoksida, nitrogen dioksida, ozon, sulfur dioksida	Hasil pembakaran bahan fosil, emisi kendaraan, hasil pembakaran kayu, utilitas listrik dan gunung berapi
	Logam berat	Timbal, nikel, Baterai, manufaktur televisi, mineral

Jenis Polutan	Nama Polutan	Contoh jenis polutan
<i>Particulate Matter</i> (PM)	cadmium, arsenik	Debu jalanan, hasil kebakaran hutan, degradasi limbah, limbah elektronik
	PM10; PM2,5; PM0,1	
<i>Semivolatile Organic Compounds</i> (SVOCs) dan <i>Volatile Organic Compounds</i> (VOCs)	Butylated hydroxytoluene, diethyl phthalate, geranyl acetone, nicotine,	Pelarut, wewangian, bakterisida, asetalhida, emisi pesawat terbang.
	butylated hydroxytoluene, diethyl phthalate, geranyl acetone, nicotine, acetaldehyd e, dimethylformamide, formaldehyd e, hexane, styrene, toluene, xylene	

Mekanisme Kerusakan Kulit Akibat Polusi Udara

Kulit berinteraksi dengan atmosfer. Riset menunjukkan bahwa polutan masuk ke kulit melalui akumulasi langsung di permukaan kulit, penyerapan melalui folikel rambut, inhalasi, konsumsi makanan, dan sirkulasi polutan dalam plasma yang berdifusi ke jaringan dermal yang lebih dalam. Secara umum, terdapat dua cara polusi menembus kulit, yaitu transepidermal, penyerapan melalui folikel rambut dan saluran keringat. Rute transepidermal dapat dibagi menjadi rute antar sel yang lebih pendek, transeuler dan yang lebih panjang untuk penetrasi senyawa hidrofilik dan lipofilik. Penyerapan melalui folikel rambut dan saluran keringat merupakan jalur terpendek. Meskipun struktur adneksa kulit berjumlah 0,1% dari total luas permukaan kulit 18.000 cm², struktur tersebut menjadi jalur utama penetrasi perkutan. (Koohgoli *et al.*, 2017) Penyerapan melalui kulit bergantung pada pengendapan zat berbahaya pada permukaan kulit, komposisi dan sifat fisik lipid epidermis, serta difusi melalui epidermis ke pembuluh darah. Penyerapan polusi melalui inhalasi bergantung pada dua faktor yaitu konsentrasi agen inhalasi di

alveolar serta difusi dan kelarutan, yang disebut koefisien partisi gas darah. (Roberts, 2021)]

Dampak negatif kerusakan sel kulit akibat polusi dapat diamati pada permukaan kulit, yaitu pada stratum korneum, yang biasanya dipenuhi sisa mikroorganisme. Adanya polutan pada kulit menjadikan kondisi yang menguntungkan bagi bakteri patogen. Selain itu, kontaminasi lingkungan meningkatkan produksi ROS, yang menghilangkan kandungan antioksidan di kulit. Hal ini menyebabkan gangguan keseimbangan redoks sehingga menyebabkan stres pada sel. Beberapa polutan juga cenderung meresap melalui stratum korneum ke lapisan kulit yang lebih dalam. Perubahan mikroflora, stres oksidatif, dan aktivasi AHR menyebabkan induksi kaskade inflamasi pada kulit. Peningkatan produksi sitokin pro-inflamasi, seperti interleukin1β atau interleukin 8, sangat berdampak pada fungsi biologis sel, mengakibatkan lesi kulit dan penurunan penampilan kulit. (Ngoc *et al.*, 2017)

Implikasi Pada Mikrofilaria Kulit

Kulit merupakan tempat kolonisasi berbagai jenis mikrobiota, yang membentuk residu mikrobioma kulit. Komposisinya sedikit berbeda antar individu dan bagian tubuh, tergantung pada usia, pola makan, gaya hidup, dan lingkungan. Diketahui bahwa ekosistem kulit berhubungan dengan sistem kekebalan tubuh manusia, mendukung fungsi pelindung kulit, dan mempengaruhi kesehatan manusia secara keseluruhan. Polutan udara berdampak negatif pada mikroflora kulit. Telah ditemukan bahwa terjadi penurunan residu mikroflora kulit sekitar 50% dengan adanya ozon. Perubahan ini dapat menyebabkan kolonisasi stratum korneum dengan galur bakteri patogen, seperti galur *Staphylococcus spp.* dan *Streptococcus spp.*, yang diduga menyebabkan masalah kulit yang serius. Hubungan antara polusi udara sekitar dan jerawat juga telah dikonfirmasi. Partikel polusi menempel di kulit, menyumbat pori-pori sehingga menciptakan lingkungan anaerobik, dimana kondisi ideal untuk pertumbuhan *Propionibacterium acnes*, galur bakteri utama yang menyebabkan jerawat. Selain itu, polusi meningkatkan laju sekresi sebum, menurunkan kandungan vitamin E pada kulit, dan meningkatkan peradangan, sehingga memperburuk kondisi kulit. (Krutmann *et al.*, 2017; Ngoc *et al.*, 2017)

Produksi Reactive Oxygen Species (ROS)

Polusi udara menyebabkan timbulnya stres oksidatif. Polutan udara masuk ke kulit melalui nanopartikel dan menghasilkan kuinon, yaitu bahan kimia daur redoks yang menghasilkan ROS. Peningkatan jumlah ROS dan radikal bebas di

dalam sel dan mitokondrianya merusak pertahanan antioksidan bawaan kulit, termasuk deplesi dari enzimatis (glutathione peroksidase, glutathione reduktase, superoksida dismutase, dan katalase) dan non enzimatis (vitamin E, vitamin C, dan glutathione) kapasitas antioksidan. ROS dan radikal bebas berinteraksi dengan membran plasma kaya lipid, memulai reaksi peroksidasi lipid yang melepaskan aktivitas proteolitik, dan menyebabkan kerusakan jaringan lebih lanjut. Kemudian, kaskade ini akan memicu peningkatan metaloproteinase.

Reactive oxygen species (ROS) juga merangsang pelepasan mediator proinflamasi, yang berimplikasi pada akumulasi neutrofil dan sel fagositik lainnya dan selanjutnya menghasilkan radikal bebas, sehingga mengakibatkan lingkaran setan peradangan dan gangguan metabolisme. Stres oksidatif memulai proses biologis kompleks yang mengakibatkan kerusakan genetik, aktivasi faktor transkripsi seperti protein aktivator 1 dan *nuclear factor- κ B* dan jalur persinyalan seperti kinase yang diatur sinyal ekstraseluler, *c-Jun N-terminal kinases*, dan *p38 mitogen-activated kinases*, yang terlibat dalam pertumbuhan dan diferensiasi sel dan dalam degradasi jaringan ikat dermis. Efek-efek ini dapat semakin diperburuk akibat adanya interaksi antara polusi dan sinar matahari. Paparan berulang dan sering terhadap polutan-polutan tingkat tinggi ini mungkin mempunyai efek buruk pada kulit, yang mencakup hubungan dengan atau menyebabkan penuaan dini, kerusakan akibat cahaya, solar lentigines, melasma, dan peningkatan insiden dermatitis atopik, psoriasis, kanker kulit, dan jerawat. (Puri *et al.*, 2017)

Aktivasi Aryl Hydrocarbon Receptor (AHR)

Studi terbaru saat ini, telah dilakukan penelitian terkait peran AHR sebagai dampak polusi yang menyebabkan pada kerusakan kulit. (Vogel *et al.*, 2020) AHR adalah faktor transkripsi teraktivasi ligan yang mengatur ekspresi gen. Ketika sel-sel kulit terpapar salah satu polutan seperti ozon (O₃), akan terjadi pengaktifan AHR yang kemudian mengakibatkan ekspresi beberapa gen sitokrom P450, termasuk *Cytochrome P450 Family 1 Subfamily A Member 1* (CYP1A1), yang merupakan enzim penting dalam metabolisme xenobiotik. Aktivasi AHR dan peningkatan ekspresi CYP1A1 juga terjadi setelah PM 2.5. AHR diaktifkan setelah mengikat PAH, polutan organik yang persisten, dan bahan kimia lingkungan untuk memediasi efek biologis dan toksiknya. Selain itu, beberapa senyawa endogen dan alami dapat berikatan dengan AHR, sehingga memodulasi berbagai proses fisiologis. Dalam beberapa tahun terakhir, PM ambien yang terkait dengan polusi udara akibat lalu lintas ditemukan mengandung PAH dalam jumlah

besar. PM yang mengandung PAH semakin menjadi perhatian sebagai kelas agonis, yang dapat mengaktifkan AHR. Aktivasi jalur AHR dalam jumlah yang besar pada sel kulit normal manusia berkaitan dengan peningkatan molekul yang memicu peradangan seperti interleukin-8 dan siklooksigenase-2. Hal ini terjadi melalui produksi ROS yang juga berperan pada stres oksidatif. (Ngoc *et al.*, 2017; Araviiskaia *et al.*, 2019)

Induksi Kaskade Inflamasi

Paparan sel kulit terhadap polusi akan menyebabkan peradangan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa garis sel kulit yang dibudidayakan secara *in vitro* dan yang terjadi akibat polutan memiliki perbedaan, ditandai dengan peningkatan produksi senyawa pro-inflamasi. Sel HaCaT (*cultured human keratinocyte*) dengan adanya materi partikulat melepaskan peningkatan jumlah *Tumor Necrosing Factor* (TNF)- α dan interleukin (IL-1 α dan IL-8), yang mengakibatkan akumulasi sel inflamasi sehingga menyebabkan respon inflamasi. Hasil serupa diperoleh untuk *Normal Human Epidermal Keratinocytes* (NHEKs) yang diolah dengan campuran polusi yang terdiri dari logam berat, materi partikulat, dan ozon. Di sini, terjadi kelebihan produksi dua penanda inflamasi, IL-1 α dan prostaglandin E₂ (PGE₂), yang diamati. Peningkatan jumlah IL-8 dan, dalam keratinosit manusia selama kondisi *in vitro*, setelah penerapan benzo(a)pyrene, terdeteksi adanya senyawa dalam asap rokok. Telah diamati bahwa benzo(a)pyrene berikatan dengan AHR di keratinosit dan meningkatkan ekspresi CYP1A1, yang merupakan penanda stres oksidatif. Perubahan seluler ini diikuti dengan pelepasan IL-8. Produksi berlebih TNF α , IL-1 α , IL-6, IL-8, dan faktor proinflamasi lainnya berhubungan dengan penyakit inflamasi kulit, penuaan kulit, dan kanker kulit. (Ngoc *et al.*, 2017)

Dampak Polutan Terhadap Kulit Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) menghambat kemampuan darah untuk mengangkut dan mendistribusikan oksigen. Karbon monoksida memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk berikatan dengan hemoglobin daripada oksigen, yang mengakibatkan kurangnya oksigen yang disalurkan ke seluruh tubuh. Selain itu, CO dapat mengganggu fungsi pernapasan sel dengan mengikat protein di dalam sel, menyebabkan gangguan pada pernapasan seluler. Gas ini juga dapat memicu stres oksidatif dan merusak sistem saraf dan kardiovaskular. Dalam kasus keracunan CO yang serius, berbagai tanda pada kulit mungkin timbul, seperti bintik, gelembung, dan bercak

merah. Namun, ciri khas keracunan CO, yaitu warna merah ceri pada kulit dan membran mukosa, biasanya hanya timbul setelah seseorang meninggal dan bukanlah indikator diagnostik. Warna merah ceri adalah salah satu indikator keracunan CO yang berasal dari tingginya kadar karboksihemoglobin dalam darah. Oleh karena itu, perubahan pada kulit harus dilihat bersamaan dengan gejala lain dan pemeriksaan diagnostik untuk konfirmasi efek dari polutan CO. (Mehta, Das and Singh, 2017).

Lebih detail mekanisme CO pada kulit, mekanisme CO terhadap kulit dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu dengan mengurangi suplai oksigen, stres oksidatif dan inflamasi. Karbon monoksida memiliki afinitas yang lebih tinggi untuk berikatan dengan hemoglobin pada darah menghasilkan carboxyhemoglobin. Kandungan inilah yang menurunkan kadar oksigen karena oksigenlah yang seharusnya berikatan dengan hemoglobin dan menghantarkannya ke jaringan tubuh. Oleh karena hal ini, menyebabkan jaringan mengalami hipoksia. Hipoksia yang terjadi akan memicu terjadinya stres oksidatif karena ketidakseimbangan antara produksi ROS dan antioksidan sebagai mekanisme perlawanan. Hal ini mengarah pada pembentukan ROS yang berdampak pada *oxidative damage* untuk sel kulit. Selain ROS yang meningkat, hipoksia yang terjadi sebelumnya menyebabkan tubuh mengeluarkan sitokin dan kemokin pro-inflamasi yang menarik sel imun untuk melakukan fungsinya, sehingga dampak inflamasi terjadi pada area kulit tersebut. (Mehta, Das and Singh, 2017)

Nitrogen Dioksida

Paparan NO₂ diketahui berdampak negatif pada kulit, meskipun mekanismenya belum sepenuhnya jelas. Beberapa teori telah diajukan untuk menjelaskannya. Pertama, NO₂ dapat mengganggu fungsi pelindung kulit yang mengakibatkan hilangnya kelembapan kulit di lapisan epidermal. Hal ini bisa mengganggu respons imun kulit. Respons imun kulit yang menurun akibat proses ini membuatnya lebih mudah meningkatkan stres oksidatif. Kedua, NO₂ diduga memperparah kondisi kulit dengan cara menyebabkan iritasi atau stres oksidatif. Ada dugaan bahwa NO₂ dapat memicu iritasi atau stres oksidatif dengan mengaktifkan AHR. Aktivasi AHR yang kemudian mengakibatkan ekspresi beberapa gen sitokrom P450, termasuk CYP1A1 akan memediasi sel sel peradangan seperti interleukin-8 dan siklooksigenase-2 sehingga aktivasi ROS pun terjadi pada kulit. Selanjutnya, NO₂ juga mampu menyebabkan stres oksidatif dengan cara yang berbeda, yaitu dengan menghasilkan *Reactive Nitrogen*

Specie (RNS), ini menyebabkan ketidak seimbangan homeostasis redoks di tingkat seluler yang berdampak pada proksidasi lipid, karbonilasi protein, dan kerusakan pada *Deoxyribo Nucleic Acid* (DNA) serta mitokondria. Meskipun demikian, masih diperlukan studi lebih lanjut untuk memahami sepenuhnya bagaimana NO₂ mempengaruhi kulit. (Chao *et al.*, 2021)

Ozon

Ozon, gas oksidan yang terdapat di stratosfer dan troposfer, memiliki dampak negatif terhadap kulit. Ozon menghasilkan peroksida, aldehida, dan produk lain dari ozonasi lipid. Kulit yang terpapar dengan ozon akan mengalami stres oksidatif yang diinduksi dari pembentukan ROS dan RNS. Pembentukan keduanya mampu mengarah pada ketidakseimbangan *cellular redox homeostasis*. Hasilnya, stres oksidatif menyebabkan lipid peroksidase, karbonilasi protein dan mengganggu serta menghancurkan DNA dan mitokondria. Selain itu, ozon menurunkan konsentrasi antioksidan seperti vitamin E dan C di kulit yang berperan sebagai antioksidatif, melemahkan fungsi pelindung kulit, dan menghambat aktivitas matriks metaloproteinase. (Dijkhoff *et al.*, 2020)

Sulfur Dioksida

SO₂ merupakan polutan udara yang dapat merugikan kulit. SO₂ mampu memproduksi radikal bebas, memicu reaksi inflamasi pada kulit, mengaktifkan proses yang terkait dengan AHR, dan mengubah keseimbangan mikroflora kulit. Paparan berkepanjangan terhadap SO₂, ditambah dengan polutan lain, dapat mengakibatkan kerusakan oksidatif berkelanjutan pada lapisan terluar kulit, menghabiskan cadangan antioksidan, dan membuat kondisi yang mendukung inflamasi pada kulit. Sama halnya dengan prinsip polutan lainnya, SO₂ juga berperan dalam stres oksidatif yang mengganggu integritas lipid, protein dan DNA serta mampu menyebabkan inflamasi yang dimediasi oleh sel pro-inflamasi seperti sitokin dan kemokin. Integritas lipid pada kulit yang terganggu menyebabkan peningkatan *transepidermal water loss* (TEWL) dan mengurangi hidrasi kulit. Akibatnya, kulit menjadi kering dan iritasi. Meskipun demikian, mekanisme tepat dan sejauh mana SO₂ mempengaruhi kesehatan kulit masih perlu diteliti lebih lanjut.

Timbal

Toksisitas timbal dapat berdampak buruk pada kulit karena kemampuannya untuk menembus lapisan kulit dan mempengaruhi berbagai aktivitas sel. Beberapa mekanisme terlibat dalam patogenesis efek toksik timbal pada kulit. Pembentukan ROS terjadi ketika timbal kontak dengan sel kulit, yang

menyebabkan stres oksidatif. Hal ini dapat merusak berbagai elemen sel, seperti lipid, protein, dan DNA, yang mengakibatkan gangguan pada sel kulit dan reaksi inflamasi. Timbal dapat menghambat enzim yang berperan dalam proses-proses seluler kulit atau disebut juga dengan enzim inhibitor. Ketidakseimbangan aktivitas enzim ini dapat mengganggu reaksi kimia penting, seperti katalase, *Glutathione Peroxidase (GPx)*, *Superoxide Dismutase (SOD)*, dan *Glucose-6-124 Phosphate Dehydrogenase (G6PD)* yang mengakibatkan kerusakan sel dan jaringan. Kerusakan sel terjadi melalui kerusakan DNA, protein, maupun lipid sehingga akan berakhir pada terjadinya nekrosis atau kematian sel (Dijkhoff *et al.*, 2020; Denisow-Pietrzyk, 2021; Nitika Singh *et al.*, 2018)

Nikel

Ketika kulit terkena nikel, dapat terjadi reaksi alergi yang dikenal sebagai hipersensitivitas tipe lambat. Proses ini dimulai dengan masuknya nikel ke dalam kulit, yang menyebabkan pelepasan berbagai molekul seperti sitokin proinflamasi, kemokin, dan *Thyamic Stromal Lymphoprotein (TSLP)*. Molekul-molekul ini memicu *Antigen Presenting Cells (APC)* untuk beraktivasi dan bergerak ke kelenjar getah bening. Di sana, peptida yang terikat dengan hapten akan timbul, memicu sel T untuk berkembang biak, beraktivasi, dan berdiferensiasi. Jika kulit kembali terpapar nikel, reaksi alergi akan timbul di area yang terpapar, menghasilkan tanda-tanda kulit khas. Nikel dapat merangsang *Toll-Like Receptor 4 (TLR4)* yang ada pada *Dendritic Cells (DC)*, yang berperan penting dalam reaksi alergi kontak terhadap nikel. Ketika TLR4 diaktifkan oleh nikel, jalur seperti *Nuclear Factor (NF)-κB* dan p38 juga diaktifkan, menghasilkan sitokin yang memicu peradangan. Reaksi peradangan ini menyebabkan reaksi alergi di kulit, yang berujung pada timbulnya lesi kulit. Namun, bagaimana sel epitel dan sel imun berinteraksi pada alergi nikel pada level molekuler masih perlu diteliti lebih lanjut. (Filatova and Cherpak, 2020)

Partikel Halus (*Particulate Matter*)

Particulate Matter (PM) diklasifikasikan menjadi tiga kategori berbeda yaitu materi partikulat, materi partikulat halus, dan partikel ultra-halus. Ukuran PM yang kurang dari 10 μm disebut PM10 dan sebagian besar dapat dihirup. Partikel halus ditemukan pada tahun 1990 dan berukuran sekitar 2,5 μm. Saat ini, PM halus meningkat pesat dan terdiri dari berbagai senyawa nitrat, sulfat, dan karbon hitam organik. Baru-baru ini ditemukan kategori PM ketiga, yang dikenal

sebagai partikel ultra-halus berukuran kurang dari 100 nm. Menurut WHO, partikel ultra halus juga bersifat karsinogen. Sumber utamanya mencakup di dalam dan di luar ruangan, yaitu asap dari memasak, asap dari mesin, partikel knalpot industri dan diesel. Ketika kulit terkena rangsangan yang berbeda seperti racun, PM dan kontaminan, mikroflora normal akan terganggu menyebabkan toksisitas pada kulit. (Arooj and Koh., 2019).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa konsentrasi PM10 dan PM2,5 yang tinggi berhubungan dengan perkembangan dan eksaserbasi berbagai penyakit kulit. PM2,5, dengan ukurannya yang lebih kecil dan jumlah komponen logam yang lebih banyak, dapat dengan mudah menembus jauh ke dalam sel kulit dibandingkan PM10 sehingga PM2,5. Oleh karena itu, PM2,5 mungkin lebih erat kaitannya dengan penyakit kulit yang disebabkan oleh PM. (Ngoc *et al.*, 2017) Mekanisme yang telah ditemukan terkait PM dalam mekanisme kerusakan kulit, yaitu menyebabkan gangguan pada fungsi sawar epidermis kulit dan merangsang pembentukan ROS melalui proses yang langsung maupun tidak langsung. Ini mengakibatkan kondisi stres oksidatif dan memulai reaksi inflamasi pada kulit. Partikel halus udara juga mampu menginduksi disfungsi sawar kulit, sehingga permeabilitas dan kerentanan terhadap iritan luar meningkat. Sama halnya dengan polutan lainnya, PM memiliki diameter yang sangat kecil memungkinkan untuk mampu menembus hingga dermis melalui sirkulasi darah. Induksi dari partikel halus ini mampu menyebabkan lipit peroksidase, ROS, kerusakan DNA, apoptosis dan kerusakan pada matriks ekstraseluler. Partikel akan berikatan dengan AHR dan menyebabkan sinyal intranuklear aktif. Aktifnya signal ini mengarah pada pembentukan ROS kembali dan ekspresi dari gen pro inflamasi. (Kim *et al.*, 2021)

Dampak Volatile Organik Compound (VOC) Terhadap Kulit

Senyawa organik yang mudah menguap dapat mempengaruhi kulit dengan berbagai cara. Paparan berkelanjutan terhadap VOC dapat memicu reaksi peradangan pada kulit, yang menimbulkan gejala seperti iritasi di kulit kepala, kemerahan, rasa gatal, produksi sebum yang berlebihan, timbulnya ketombe, rasa sakit di akar rambut, serta kerontokan rambut. VOC juga dapat memicu terjadinya kulit kepala yang sensitif, yang gejalanya bisa mirip atau bersamaan dengan alopecia androgenik. Beberapa bahan kimia, seperti monobenzil eter hidroquinon yang ditemukan dalam sarung tangan, telah diketahui sebagai penyebab vitiligo. Selain itu, paparan VOC di lingkungan kerja juga berhubungan dengan timbulnya sklerosis

sistemik.(Ogbodo *et al.*, 2022)

Available at:
<https://doi.org/10.4167/JBV.2019.49.2.89>.

Kesimpulan

Polusi udara di luar dan di dalam ruangan, baik perkotaan maupun pedesaan dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui berbagai sistem pertahanan tubuh, salah satunya kulit. Polusi ini dapat memengaruhi kulit dengan mengaktifkan jalur inflamasi, menyebabkan stres oksidatif, dan mempengaruhi kadar antioksidan kulit. Terdapat beberapa polutan yang dapat menyebabkan kerusakan pada kulit diantaranya polutan gas seperti karbon monoksida, nitrogen dioksida, ozon dan sulfur dioksida. Selain itu, terdapat juga polutan logam berat seperti timbal, nikel, partikel halus (*particulate matter*) yang dapat menyebabkan kerusakan pada kulit. Tinggal di lingkungan yang tercemar juga dapat membuat kulit menjadi lebih kering, meningkatkan produksi sebum, dan bahkan memperburuk gejala penyakit kulit kronis pada anak-anak dan orang dewasa. Faktor-faktor seperti tempat tinggal, pekerjaan, dan pola makan dapat memengaruhi tingkat paparan polusi terhadap manusia dan hal ini dapat memiliki konsekuensi klinis yang dapat terakumulasi. Penting untuk mempertimbangkan baik faktor internal maupun eksternal ketika mengambil langkah-langkah perlindungan dari dampak polusi udara terhadap kesehatan kulit dan ini memerlukan pengembangan metode standar untuk mengevaluasinya.

Daftar Pustaka

- Antipova, A. (Angela) (2020) 'Analysis of exposure to ambient air pollution: Case study of the link between environmental exposure and children's school performance in Memphis, TN', *Spatiotemporal Analysis of Air Pollution and Its Application in Public Health*, pp. 217-275. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815822-7.00011-X>.
- Araviiskaia, E. *et al.* (2019) 'The impact of airborne pollution on skin', *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology: JEADV*, 33(8), pp. 1496-1505. Available at: <https://doi.org/10.1111/JDV.15583>.
- Arooj, M. and Koh, Y.S. (2019) 'Role of Particulate Matter in Skin Inflammation', *Journal of Bacteriology and Virology*, 49(2), pp. 89-92.
- Chao, L. *et al.* (2021) 'Short-term effect of NO₂ on outpatient visits for dermatologic diseases in Xinxiang, China: a time-series study', *Environmental Geochemistry and Health*, 43(9), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.1007/S10653-021-00831-3>.
- Denisow-Pietrzyk, M. (2021) 'Human skin reflects air pollution - a review of the mechanisms and clinical manifestations of environment-derived skin pathologies', *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(4), pp. 3433-3444. Available at: <https://doi.org/10.15244/pjoes/130525>.
- Dijkhoff, I.M. *et al.* (2020) 'Impact of airborne particulate matter on skin: a systematic review from epidemiology to in vitro studies', *Particle and fibre toxicology*, 17(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/S12989-020-00366-Y>.
- Drakaki, E., Dessinioti, C. and Antoniou, C. V. (2014) 'Air pollution and the skin', *Frontiers in Environmental Science*, 2(MAY), pp. 1-6. Available at: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00011>.
- Kim, B.E. *et al.* (2021) 'Particulate matter causes skin barrier dysfunction', *JCI insight*, 6(5). Available at: <https://doi.org/10.1172/JCI.INSIGHT.145185>.
- Koohgoli, R. *et al.* (2017) 'Bad air gets under your skin', *Experimental dermatology*, 26(5), pp. 384-387. Available at: <https://doi.org/10.1111/EXD.13257>.
- Krutmann, J. *et al.* (2017) 'Pollution and acne: is there a link?', *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 10, p. 199. Available at: <https://doi.org/10.2147/CCID.S131323>.

- Mehta, S.R., Das, S. and Singh, S.K. (2017) 'Carbon monoxide poisoning', *Medical Journal Armed Forces India*, 63(4), pp. 362-365. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(07\)80017-7](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(07)80017-7). <https://doi.org/10.1016/J.REDOX.2020.101530>.
- Ngoc, L.T.N. *et al.* (2017) 'Systematic Review and Meta-Analysis of Human Skin Diseases Due to Particulate Matter', *International journal of environmental research and public health*, 14(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/IJERPH14121458>.
- Ogbodo, J.O. *et al.* (2022) 'Volatile organic compounds: A proinflammatory activator in autoimmune diseases', *Frontiers in Immunology*, 13, p. 928379. Available at: <https://doi.org/10.3389/FIMMU.2022.928379/BIBTEX>.
- Puri, P. *et al.* (2017) 'Effects of air pollution on the skin: A review', *Indian Journal of Dermatology, Venereology and Leprology*, 83(4), pp. 415-423. Available at: <https://doi.org/10.4103/0378-6323.199579>.
- Roberts, W. (2021) 'Air pollution and skin disorders', *International Journal of Women's Dermatology*, 7(1), p. 91. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.IJWD.2020.11.001>.
- Singh, N. *et al.* (2018) 'Biochemical and Molecular Bases of Lead-Induced Toxicity in Mammalian Systems and Possible Mitigations', *Chemical Research in Toxicology*, 31(10), pp. 1009-1021. Available at: https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMRES_TOX.8B00193/ASSET/IMAGES/MEDIUM/TX-2018-00193E_0007.GIF.
- Vogel, C.F.A. *et al.* (2020) 'The aryl hydrocarbon receptor as a target of environmental stressors - Implications for pollution mediated stress and inflammatory responses', *Redox biology*, 34. Available at: