

Bab III

Smog dan Smog Fotokimia

Novita Ambarsari dan Ninong Komala

Smog adalah salah satu fenomena polusi udara yang umumnya terjadi di wilayah perkotaan yang terdiri atas campuran asap dan kabut di udara atau disebut juga sebagai kabut asap. *Fog* atau kabut merupakan aerosol tampak yang tersusun oleh droplet air atau kristal es yang tersuspensi di dalam udara yang terlihat seperti awan tipis dan rendah. Distribusi dan karakteristik dari *smog* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu angin, temperatur, dan sinar matahari (Gaffney et al., 2009).

Smog terbentuk dari reaksi kimia saat polutan kunci di udara seperti *volatile organic compound* (VOC) dan nitrogen oksida (NO_x) pada konsentrasi tinggi berinteraksi dengan oksidan, seperti hidroksil, ozon, dan nitrat. Sumber-sumber partikel dan polutan yang diperlukan untuk pembentukan *smog*, antara lain pembakaran

N. Ambarsari & N. Komala

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: novita.ambarsari@brin.go.id

© 2026 Editor & Penulis

Ambarsari, N. & Komala, N. (2026). Smog dan Smog Fotokimia. Dalam Sumaryati & L. S. Supriatin (Ed.), *Fenomena Polusi Udara dan Dampaknya* (37–54). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1375.c1807 E-ISBN: 978-634-7933-34-8

batu bara, emisi dari lalu lintas, pembakaran lahan, dan erupsi gunung berapi. Aktivitas tersebut dapat secara langsung maupun tidak langsung berkontribusi terhadap produksi dari $PM_{2.5}$ sebagai *precursor* utama dari *smog*. Pembentukan *smog* dilaporkan sering terjadi di kota-kota besar di seluruh dunia, seperti Beijing, Delhi, Lahore, Mexico, Los Angeles, dan Tehran (Gaffney et al., 2009; Rani et al., 2011).

A. Tipe *Smog* Dan Reaksi Kimia Yang Terkait

1. *Smog* Klasik/*Smog* London

Polusi oleh *smog* pertama kali menjadi perhatian dunia digunakan sejak kejadian polusi udara pada awal tahun 1952 di London yang kemudian disebut sebagai “*smog* London”, yaitu suatu kondisi polusi yang cukup parah yang tersuspensi di udara yang lembap. *Smog* London ini disebut juga sebagai *smog* sulfur yang diidentifikasi dari tingginya konsentrasi sulfur dioksida (SO_2) dan partikulat. *Smog* klasik atau *smog* London ini tersusun atas polutan udara yang sifatnya polutan primer yang dihasilkan langsung dari sumber emisinya, khususnya dari proses pembakaran yang dihasilkan oleh aktivitas manusia dan dipengaruhi juga oleh kondisi iklim, dominan terbentuk saat udara dingin pada pagi hari dengan kondisi angin pelan, serta lapisan batas atmosfer yang rendah sehingga polutan terkonsentrasi dalam suatu volume udara yang kecil (Bhartendu., 2013).

Reaksi kimia utama yang terjadi dalam pembentukan *smog* klasik atau *smog* London (Sumber: Raza et al. 2021, Bhartendu., 2013):



Aktivitas seperti pembakaran batu bara di industri, asap kendaraan, pembakaran tanaman, konstruksi, kembang api, dan asap dari tempat pembakaran batu bara merupakan sumber utama yang menambahkan partikel polutan terutama sulfur, nitrogen, dan karbon dioksida dengan konsentrasi tinggi ke atmosfer serta menghasilkan *smog* sehingga disebut juga sebagai *smog* asam.

Pelepasan asap dari pabrik dan kendaraan memegang peran penting dalam pembentukan *smog* yang menyebabkan polusi oleh *smog* makin meningkat (Naureen et al., 2022). Tipe *smog* ini diidentifikasi dengan tingginya konsentrasi aerosol dan sulfur dioksida. *Smog* tipe ini terutama terjadi di kota-kota besar yang masih membakar batu bara, antara lain Beijing, Shanghai, Cina, Kairo, Mesir, Belgrade, Yugoslavia, dan Calcutta. India menjadi contoh wilayah saat ini yang menjadi pusat perkotaan dengan tipe polutan *smog* London (Gaffney et al., 2009).

2. *Smog* Fotokimia

Selain *smog* London, terdapat jenis *smog* yang lainnya, yaitu *smog* fotokimia atau dikenal juga sebagai “*smog* Los Angeles” sebagai lokasi awal diketahuinya pembentukan jenis *smog* tersebut. *Smog* fotokimia ini disebut juga *smog* oksidan yang terbentuk dari reaksi fotokimia antara nitrogen oksida (NO_x) dan senyawa organik yang mudah menguap (VOC) sebagai polutan primer yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, pembangkit listrik, dan lainnya (Manahan, S., 2000).

Smog ini diidentifikasi dari konsentrasi oksidan yang tinggi terutama ozon, serta adanya kabut tipis kecokelatan yang dapat terlihat melayang di atmosfer yang berasal dari reaksi kimia *smog*. Spesi di dalam *smog* ini merupakan hasil reaksi fotokimia di atmosfer sehingga disebut sebagai polutan sekunder yang dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari yang mendukung terbentuknya oksidan sekunder serta aerosol. Oleh karena itu, *smog* fotokimia atau *smog* Los Angeles ini umumnya terbentuk pada saat musim kemarau dan paling sering terlihat di kota-kota berpenduduk padat yang terletak di iklim yang relatif hangat di pagi dan di sore hari setelah polutan

sekunder di udara terbentuk dengan bantuan radiasi matahari. Mexico, Rio de Janeiro, Sao Paolo, Brazil, Houston, Texas, USA, dan Santiago, Chile adalah beberapa kota utama di dunia yang hingga saat ini masih mengalami *smog* fotokimia pada periode tertentu (Manahan, S., 2000).



Sumber: Deziel (2022)

Gambar 3.1 Fenomena Smog

a. Komposisi *Smog* Fotokimia

Nitrat oksida (senyawa nitrogen dengan rumus NO) dan nitrogen dioksida (senyawa nitrogen lain dengan rumus kimia NO_2) sering kali dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Polutan ini juga dilepaskan secara alami akibat peristiwa seperti letusan gunung berapi dan terjadinya kebakaran hutan. Namun, tingginya konsentrasi polutan ini di wilayah yang padat penduduknya merupakan hal yang memprihatinkan. Hal ini karena emisi alam cenderung terus menyebar ke wilayah yang lebih luas. Ketika terkena radiasi ultraviolet, molekul NO_2 diketahui mengalami serangkaian reaksi hidrokarbon yang kompleks untuk menghasilkan komponen kabut fotokimia. Komponen tersebut meliputi campuran ozon, aldehida, asam nitrat,

peroksiasetil nitrat (singkatan: PAN) dan banyak polutan sekunder lainnya ((EPA South Australia, 2004).

Gas-gas yang terbentuk dalam jumlah yang sangat sedikit di dalam smog fotokimia termasuk oksidan sekunder ozon, PAN, serta asam anorganik sulfat dan nitrat. Pembentukan smog fotokimia sangat berkaitan dengan kondisi iklim di wilayah tertentu. Faktor meteorologi lokal yang berpengaruh terhadap pembentukan *smog* fotokimia, antara lain radiasi matahari, tutupan awan, temperatur, dan presipitasi. Faktor lainnya meliputi kecepatan angin, lapisan pencampuran atmosfer, dan topografi yang berperan dalam dispersi ozon di lapisan batas atmosfer (Gaffney et al., 2009).

b. Sumber Utama *Smog* Fotokimia

Meskipun nitrogen oksida dan VOC diproduksi secara biogenik (di alam), terdapat juga emisi antropogenik (buatan manusia) yang besar dari keduanya. Emisi alam cenderung tersebar di wilayah yang luas sehingga mengurangi dampaknya, namun emisi buatan manusia cenderung terkonsentrasi di dekat sumbernya, seperti kota (White, V., 1998).

Di Adelaide pada tahun 2000, diperkirakan 66% nitrogen oksida (NO dan NO_2) berasal dari kendaraan bermotor, dan 20% lainnya berasal dari pembakaran bahan bakar. Kendaraan bermotor menyumbang 44% emisi VOC, dan sumber-sumber area termasuk bensin dan penguapan pelarut menyumbang 33% (White, V., 1998).

c. Lokasi dan Cuaca yang Dapat Berpengaruh pada *Smog* Fotokimia Inversi Termal

Faktor yang dapat memengaruhi terjadinya *smog* fotokimia adalah inversi termal. Fenomena ini terjadi ketika lapisan udara yang lebih hangat dan ringan terjadi di atas lapisan udara yang lebih dingin dan berat, sehingga tidak terjadi pergerakan udara vertikal yang akhirnya membuat polutan terperangkap di lapisan atmosfer yang lebih rendah. Polutan yang harusnya naik ke lapisan udara yang lebih tinggi untuk mengalami proses dispersi dan dilusi menjadi

tetap berada di lapisan bawah dan menyebabkan polutan makin terakumulasi. Terperangkapnya polutan tersebut akan menyebabkan *smog* tetap terperangkap di daerah tersebut dalam jangka waktu yang lama. Jika inversi termal tidak terjadi, *smog* fotokimia di daerah tersebut akan segera hilang dalam jangka waktu dekat (Rani et al., 2011).

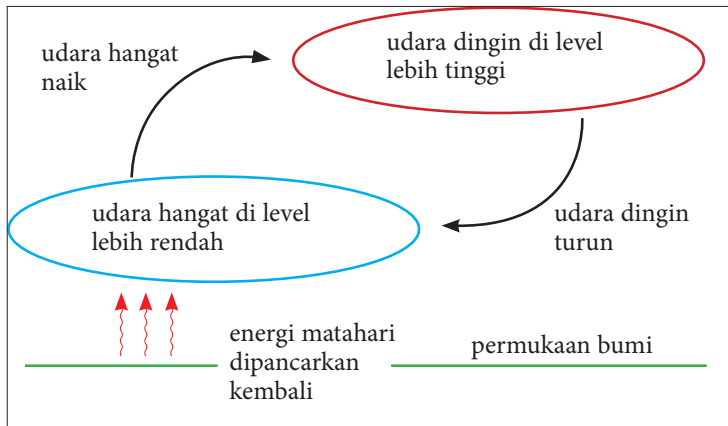
Biasanya, lapisan udara yang paling dekat dengan permukaan Bumi lebih hangat dibandingkan udara yang lebih tinggi di atmosfer, karena permukaan Bumi menyerap panas Matahari dan memancarkannya kembali sebagai panas. Udara dingin pada tingkat yang lebih tinggi kemudian tenggelam, dihangatkan, dan berpindah ke atas dalam siklus konveksi (Gambar 3.2). Kondisi ini disebut "tidak stabil" dan membantu membawa polutan ke atas, sehingga polutan tersebut tersebar dan terdilusi. Siklus ini biasanya dibantu oleh kecepatan angin yang lebih tinggi. Namun, jika hal sebaliknya terjadi, yaitu pembalikan suhu, wilayah perkotaan akan mengalami kabut fotokimia dalam jangka waktu yang lama (White, 1998).

Inversi terjadi ketika lapisan udara hangat memerangkap lapisan udara dingin, yang mengandung polutan, di dekat permukaan tanah. Hal ini menghambat kemampuan polutan untuk naik ke atmosfer dan menyebar. Setelah inversi terbentuk, kabut asap yang ada akan tetap berada dekat permukaan tanah, sehingga memaksimalkan dampak buruknya.

Ada dua proses besar yang memungkinkan terjadinya inversi dan keduanya biasanya disertai dengan kecepatan angin yang rendah. Proses pertama, adveksi, terjadi ketika lapisan atas udara hangat terhembus, sehingga lapisan udara dingin di bawahnya terperangkap. Kondisi "stabil" ini dapat berlangsung selama beberapa hari. Variasinya adalah ketika lapisan udara yang lebih dingin, seperti angin laut, terhembus ke bawah lapisan yang lebih hangat, sehingga menimbulkan efek yang sama (Rani et al., 2011; White, 1998).

Proses kedua, inversi radiasi, biasanya terjadi dalam semalam. Tanah mendingin dan pada gilirannya mendinginkan lapisan udara

yang paling dekat dengannya, sehingga lapisan udara bagian bawah menjadi lebih dingin daripada udara di atasnya, sehingga terjadi inversi ((EPA South Australia, 2004).



Sumber: EPA South Australia (2004)

Gambar 3.2 Siklus Konveksi

d. Topografi

Topografi wilayah sekitar kota dapat sangat memengaruhi pembentukan kabut fotokimia. Karena terbatasnya pergerakan udara, kota yang berada di lembah dapat mengalami masalah yang mungkin tidak dialami oleh kota yang terletak di dataran terbuka.

Kota seperti Adelaide dapat mengalami pembatasan pergerakan udara karena posisinya antara pantai dan Perbukitan Adelaide (EPA South Australia (2004); Rani et al., 2011).

e. Pengendalian *Smog* Fotokimia

Cara untuk meminimalkan tingkat *smog* fotokimia adalah dengan menghilangkan penggunaan bahan bakar fosil dengan menggunakan sumber listrik yang tidak menimbulkan polusi atau berkelanjutan, seperti tenaga nuklir, tenaga air, dan tenaga angin.

Reaksi kimia smog fotokimia

Dekomposisi NO_2 oleh sinar UV:



Pembentukan ozon:



Siklus ulang pembentukan NO_2 :



Produksi molekul VOC reaktif melalui reaksi dengan hidroksil radikal:

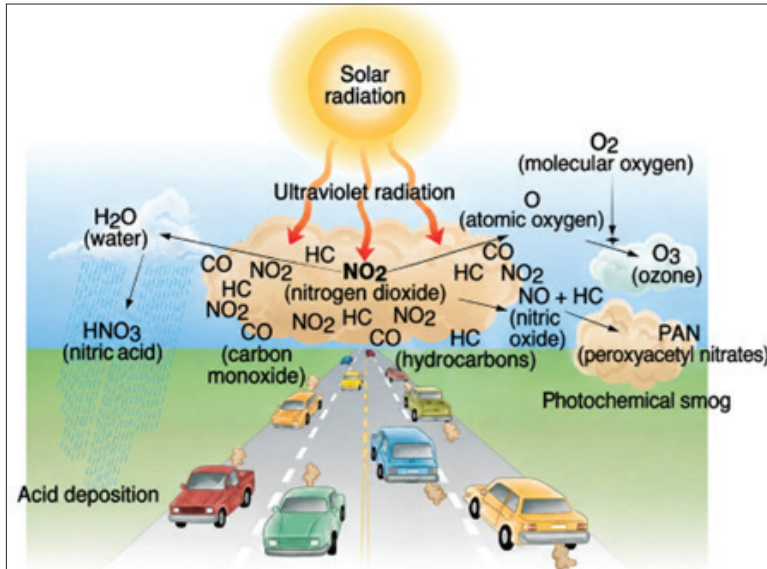


Pembentukan radikal peroksil:



(Colbeck & Mackenzie, 1994; Raza et al. 2021)

Dari rangkaian reaksi ini terlihat jelas bahwa makin tinggi konsentrasi VOC dapat mengakibatkan pembentukan *smog* yang memengaruhi udara kualitas dengan menghasilkan partikel di udara dan ozon di permukaan tanah. *Smog* fotokimia juga bergantung pada polutan primer dan polutan sekunder. Oleh karena industrialisasi yang pesat dan peningkatan energi dan kebutuhan transportasi di seluruh dunia, konsentrasi VOC di atmosfer dan polutan organik lainnya makin meningkat. Oleh karena itu, *smog* fotokimia telah menjadi masalah lingkungan yang umum di banyak kota, baik di negara berkembang maupun negara maju di seluruh dunia, dan memaksa pemerintah untuk mengembangkan strategi mitigasi (Rani et al., 2011).



Sumber: Rani et al. (2011)

Gambar 3.3 Skema Pembentukan Smog Fotokimia

3. *Smog Polish*

Smog jenis lain yang bukan dari jenis *smog* fotokimia maupun *smog* sulfur (London), ditemukan belum lama ini terbentuk di negara-negara Eropa terutama Polandia saat musim dingin. *Smog* ini disebut sebagai *smog Polish* yang tersusun oleh partikulat terutama PM_{10} , $PM_{2.5}$, dan PM_1 , serta *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) termasuk *benzo(a)pyrene* (Naureen et al., 2022).

Smog ini dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar padat dalam suatu tungku yang tidak dilengkapi dengan sistem pengelolaan gas buang, salah satunya adalah tungku pembakar dari aktivitas rumah tangga. *Smog* ini banyak terbentuk saat musim dingin di negara-negara Eropa. Berbeda dengan tipe *smog* lainnya, *smog* ini dapat terbentuk pada temperatur rendah dan tekanan atmosfer tinggi serta angin yang pelan dengan konsentrasi PM_{10} yang tinggi sebagai komponen utama (Naureen et al., 2022; Raza et al., 2021).



Sumber: Zhang et al. (2015)

Gambar 3.4 Pemandangan Los Angeles Civic Center yang Tertutup Kabut Asap pada Tahun 1948

Tabel 3.1 Perbandingan antara Episode Polusi Historis di London, Los Angeles, dan Beijing

	London	Los Angeles	Beijing
Tipe <i>smog</i>	Sulfur	Fotokimia	Fotokimia
Waktu kejadian	1800–1950	1940–saat ini	1990–saat ini
Kondisi meteorologi	Lapisan inversi kuat, angin lemah, berawan, musim dingin	Cerah, hangat, kering, lapisan inversi, musim kemarau	Angin lemah dari selatan, sepanjang tahun
Polutan	SO ₂ , PM, jelaga	NO _x , VOC, ozon, dan PM	NO _x , VOC, SO ₂ , PM
Sumber polutan	Pembakaran batu bara dan produksi listrik	Kendaraan	Kendaraan dan industri

Sumber: Zhang et al. (2015)

B. Metode Pengukuran *Smog*

Metode deteksi bermacam-macam polutan primer dan sekunder yang dapat menyebabkan *smog* telah dirangkum pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Metode Pengukuran Polutan Komponen Smog

Polutan Primer			
No.	Polutan	Metode Monitoring	Deskripsi
1.	NO _x	Pasif	<ol style="list-style-type: none"> 1. Filter yang diimpregnasi dengan Trietanolamin (TEA) atau sodium iodida/sodium hidroksida 2. Dosimeter kalorimetrik yang dilengkapi dengan filter terimpregnasi
		Integrasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Impinger</i> Saltzman atau <i>bubblers</i> dengan deteksi kalorimetrik menggunakan campuran N-etilendiamin dihidroklorida, asam sulfanilat, dan asam asetat. 2. Sampling dengan filter di awal lalu dengan filter terimpregnasi TEA berbahan selulosa untuk dianalisis dengan Ion Kromatografi.
		Kontinyu	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Chemiluminescence</i> 2. Sensor elektrokimia 3. Spektroskopi fotoakustik 4. Absorpsi fotometer
2.	VOC	Pasif	<ol style="list-style-type: none"> 1. Karbon aktif, <i>tenax</i>, dan sorben desorpsi termal lain dilanjutkan dengan GC-MS. 2. <i>Polyurethane foam</i> (PUF) atau resin XAD dengan sampel diekstraksi menggunakan pelarut organik sebelum dianalisis.
		Integrasi	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Canister</i>, kantong gas, atau <i>carbotrap</i> umum digunakan untuk hidrokarbon. 2. Filter/PUF, filter/<i>tenax</i> terutama digunakan untuk hidrokarbon poliaromatik (PAH). 3. Filter diimpregnasi dengan dinitrofenil hidrazin (DNPH) atau pemerangkapan <i>cryogenic</i> untuk karbonil. 4. Filter quartz atau filter basis yang dilapisi (coated).
		Kontinyu	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hidrokarbon dengan GC-FID otomatis 2. <i>Proton transfer reaction</i> (PTR)-MS 3. <i>Chemical ionization Mass Spectrometry</i> (CIMS)

Polutan Sekunder			
No.	Polutan	Metode Monitoring	Deskripsi
1.	O ₃	Pasif	1. Impregnasi dengan nitril atau nitrat dilanjutkan dengan analisis IC 2. Strip yang telah ditreatment dengan bahan yang bereaksi dengan ozon kemudian dilakukan perbandingan skala warna 3. Impregnasi filter dengan kalium iodida (KI)
		Integrasi	1. Sampling dengan filter awal dilanjutkan dengan filter selulosa yang diimpregnasi KI untuk analisis kalorimetrik dengan KOH
		Kontinyu	1. <i>Chemiluminescence</i> 2. <i>UV absorption</i>
2.	PAN	Kontinyu	1. <i>Chemical ionization Mass Spectrometry (CIMS)</i>
3.	Aldehid	Integrasi	1. Substrat yang dilapisi dinitrofenil hidrazin (DNPH) untuk membentuk hidrazone yang diikuti dengan analisis HPLC. 2. Tabung yang dilapisi natrium bisulfit (NaHSO ₃)
		Kontinyu	1. GC-FID otomatis

Sumber: Raza et al. (2021)

C. Dampak *Smog* Terhadap Lingkungan dan Kesehatan

Smog fotokimia dapat memberikan dampak pada lingkungan, kesehatan manusia, hingga kerusakan material. Dampak utama yang dapat dilihat secara langsung (visual) adalah kabut kecokelatan yang berada di atas wilayah perkotaan. Warna kecokelatan disebabkan oleh partikel cair dan padatan yang berukuran sangat kecil yang memendarkan cahaya (EPA South Australia, 2004).

Senyawa NO_x, ozon, dan juga peroksiasetil nitrat (PAN) dapat mengurangi, bahkan hingga menghentikan pertumbuhan tumbuhan dengan mengurangi proses fotosintesis. Ozon dalam jumlah kecil dapat menyebabkan hal ini, tetapi PAN bersifat lebih toksik lagi terhadap tumbuhan.

Smog dapat menyebabkan masalah pada jantung dan paru-paru, iritasi mata, gangguan pernapasan, batuk, dan sesak pada manusia. Hal ini disebabkan oleh polutan-polutan yang terkandung dalam smog itu sendiri (NO_x , VOC, ozon, dan PAN). Ozon juga dapat merusak berbagai campuran material. Ozon dapat menyebabkan keretakan pada karet, mengurangi kekuatan tekstil, memudahkan warna pada kain, dan keretakan cat (Colbeck & Mackenzie, 1994; Raza et al., 2021).

Smog fotokimia dapat berdampak pada lingkungan, kesehatan masyarakat, dan bahkan berbagai material. Efek utama yang terlihat adalah kabut cokelat yang terlihat di banyak kota. Semburat cokelat disebabkan oleh partikel cair dan padat yang sangat kecil yang menghamburkan cahaya. Berikut ini beberapa efek dari *smog* fotokimia (Colbeck & Mackenzie, 1994; Naureen et al., 2022; Raza et al., 2001; EPA South Australia, 2004).

- 1) Menyebabkan iritasi mata: senyawa yang mungkin mengakibatkan iritasi mata meliputi formaldehid, akrolein, PAN, dan *peroxybenzoyl nitrate*.
- 2) Kerusakan tanaman: bahan kimia, seperti nitrogen oksida, ozon, dan peroksiasetil nitrat (PAN), dapat menimbulkan efek berbahaya pada tanaman. Zat-zat tersebut dapat mengurangi atau bahkan menghentikan pertumbuhan tanaman dengan cara mengurangi fotosintesis. Ozon, bahkan dalam jumlah kecil, dapat mencapai hal ini, namun PAN bahkan lebih beracun bagi tanaman dibandingkan ozon.
- 3) Penurunan visibilitas: hal ini menjadi efek yang umum ditemukan akibat *smog* fotokimia. Partikel aerosol penyusun *smog* mengandung unsur-unsur karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen, sulfur, dan halida.
- 4) Kerusakan material: hal ini terutama disebabkan oleh senyawa ozon sebagai komponen *smog*. Efek ekonomi yang penting dari *smog* adalah kerusakan pada permukaan mobil serta ban mobil. Untuk mengatasi permasalahan ini kemudian digunakan bahan antiozon.

- 5) Kesehatan: kekhawatiran terbesar mengenai *smog* fotokimia adalah dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Dampak polutan primer dan sekunder utama pada *smog* disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Komponen Smog dan Dampaknya pada Kesehatan

Polutan	Dampak
Nitrogen oksida	Berkontribusi pada gangguan jantung dan paru-paru; Berkaitan dengan penurunan resistensi terhadap infeksi
<i>Volatile organic compound</i> (VOC)	Menyebabkan iritasi mata; Mengakibatkan masalah pernapasan; Beberapa senyawa bersifat karsinogenik
Ozon	Batuk-batuk dan sesak napas; Iritasi mata; Gangguan pernapasan (khususnya asma)
<i>Peroxyacetyl nitrate</i> (PAN)	Iritasi mata; Gangguan pernapasan

Sumber: Naureen et al. (2022)



Sumber: Zhang et al. (2015)

Gambar 3.5 Pemandangan Kampus Universitas Peking pada Hari-Hari yang Bersih dan Tercemar



Sumber: Bartington and Bloss (2022)

Gambar 3.6 Kejadian Polusi Udara Tinggi di London pada Januari 2022



Sumber: Priyadarshi (2018)

Gambar 3.7 Polusi Udara oleh Smog di Delhi

Daftar Pustaka

- Bartington, S., & Bloss, W. (2022, December 9). *70 years on from London's Great Smog, we still need cleaner air to protect health*. The Conversation. <https://theconversation.com/70-years-on-from-londons-great-smog-we-still-need-cleaner-air-to-protect-health-196239>
- Bhartendu, A. (2013). Photochemical air pollution and its effects on plant and human life. *International Journal of Chemical Sciences*, 11(4), 1907–1910.
- Colbeck, I., & Mackenzie, A. R. (1994). *Air pollution by photochemical oxidants* (Air Quality Monographs, Vol. 1). Elsevier.
- Deziel, C. (2022). *How is photochemical smog formed?* Sciencing. <https://www.sciencing.com/photochemical-smog-formed-6505511/>
- EPA South Australia. (2004). Photochemical smog—what it means for us. https://mhsapes.weebly.com/uploads/1/3/4/1/13416460/auempa_photochemical_smog.pdf
- Foust, R. (n.d.). *Photochemical smog*. Middle Tennessee State University. <http://mtweb.mtsu.edu/nchong/Smog-Atm1.htm>
- Gaffney, J. S., Marley, N. A., & Frederick, J. E. (2009). Formation and effect of smog. In *Environmental and ecological chemistry* (Vol. 3). Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). <https://www.eolss.net/sample-chapters/c06/E6-13-02-08.pdf>
- Manahan, S. E. (2000). *Environmental chemistry* (6th ed.). CRC Press.
- Naureen, I., Saleem, A., Aslam, S., Zakir, L., Mukhtar, A., Nazir, R., & Zulfarnain, S. (2022). Potential impact of smog on human health. *Haya: The Saudi Journal of Life Sciences*, 7(3), 78–84.
- Priyadarshi, N. (2018, October 30). *Delhi air quality turns 'severe' for first time this season*. The Indian Express. <https://indianexpress.com/article/delhi/air-quality-turns-severe-as-stubble-burning-intensifies-in-haryana-punjab-5425569/>
- Rani, B., Singh, U., Chuhan, A. K., Sharma, D., & Maheswari, R. (2011). Photochemical smog pollution and its mitigation measures. *Journal of Advanced Scientific Research*, 2(4), 28–33.

- Raza, W., Saeed, S., Saulat, H., Gul, H., Sarfraz, M., Sonne, C., Sohn, Z.-H., Brown, J. C., & Kim, H.-K. (2021). A review on the deteriorating situation of smog and its preventive measures in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, 279, Article 123676.
- White, V. (1998). *Air emissions inventory for the Adelaide airshed 1995*. Environment Protection Agency, South Australia.
- Zhang, R., Wang, G., Guo, S., Zamora, M. L., Ying, Q., Lin, Y., Wang, W., Hu, M., & Wang, Y. (2015). Formation of urban fine particulate matter. *Chemical Reviews*, 115(8), 3803–3855.