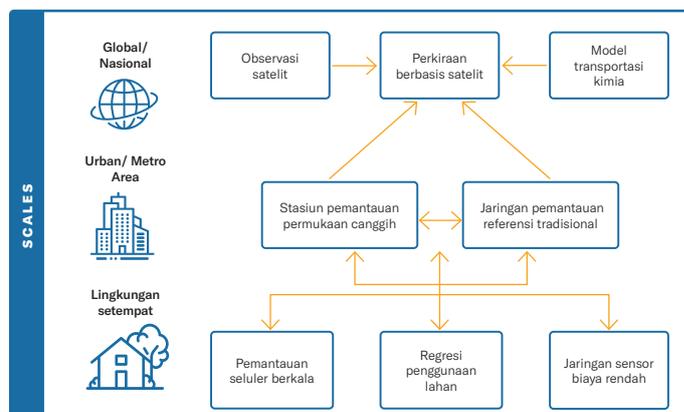


Penerapan Data Satelit dalam Bidang Kualitas Udara dan Kesehatan

Karakteristik utama data satelit

- Sumber data penting yang sudah terpisah-pisah secara spasial dan dapat diakses secara publik sejak tahun 1990-an
- Secara rutin digunakan untuk menggambarkan jenis paparan yang mengakibatkan beban penyakit global akibat polusi udara
- Dapat memberikan perkiraan kualitas udara regional dan lokal jika tidak ada data dari pemantauan udara di lapangan.



Gambar 1 Sistem Pemantauan Kualitas Udara Terintegrasi

Inovasi dalam teknologi pemantauan, penginderaan jarak jauh, dan pemodelan dapat menghasilkan data polusi udara yang dapat ditindaklanjuti lebih cepat dan dengan biaya lebih rendah daripada hanya mengandalkan pendekatan pemantauan konvensional. Terdapat beberapa satelit yang telah menangkap data kualitas udara global selama lebih dari dua dekade dan telah menjadi sumber penting tren kualitas udara global. Satelit tersebut dapat melihat memperkirakan keadaan di atmosfer menggunakan model matematika. **Estimasi yang didapatkan dari satelit ini dapat mengisi kesenjangan data untuk wilayah yang mempunyai kesulitan atau tidak mempunyai akses terhadap pemantauan kualitas udara di lapangan.**

Sistem Pemantauan Kualitas Udara Terintegrasi

Untuk negara berpenghasilan rendah dan menengah dengan kapasitas pemantauan terbatas, tidak ada satu solusi pun untuk pengelolaan kualitas udara. Untuk itu, pendekatan hibrid yang menggabungkan solusi konvensional dengan pendekatan inovatif pada skala yang berbeda dapat dilakukan untuk menghemat biaya (Gambar 1). Tergantung dari kapasitas pemantauan udara lapangan yang tersedia, data satelit dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan kualitas udara yang berbeda. Untuk wilayah yang tidak memiliki pemantau udara lapangan, data satelit dapat membantu mengidentifikasi wilayah yang kemungkinan memiliki konsentrasi polutan jauh di atas konsentrasi udara sehat.¹ Di negara-negara dengan kapasitas pemantau udara lapangan yang memadai, data satelit dapat menjadi bagian dari kerangka manajemen kualitas udara terpadu untuk menginformasikan tren spatiotemporal jangka panjang. Ringkasan ini menjabarkan dasar-dasar data satelit dilengkapi dengan beberapa kasus penerapan penggunaan data satelit di bidang kualitas udara dan kesehatan.

Penyakit Terkait Polusi Udara di Kota

Banyak kota-kota di dunia yang tidak memiliki cukup data pemantauan udara lapangan yang diperlukan untuk melacak polutan udara yang berdampak pada kesehatan masyarakat. Penggunaan data satelit untuk menghitung beban penyakit dapat mengisi kesenjangan pada data keterpaparan dalam ruang dan waktu tertentu. Misalnya, satelit akan menghitung konsentrasi rata-rata tahunan di seluruh dunia pada resolusi jaringan 1x1 km dan dikaitkan dengan ukuran populasi untuk dapat memperkirakan berapa banyak orang yang terpapar. Paparan tingkat populasi kemudian dikaitkan dengan tingkat penyakit yang paling banyak di kota dan negara untuk memperkirakan beban penyakit akibat polusi udara. Data perkiraan terbaru yang tersedia saat ini sudah mencakup beban penyakit global dari $PM_{2.5}$ dan NO_2 .²

Satelit dan Sensor

Satelit merupakan tempat di mana instrumen atau sensor diletakan. Satu satelit mungkin memiliki beberapa sensor dan sensor yang sama dapat dipasang di beberapa satelit. Setiap sensor dapat menangkap informasi pada beberapa parameter. Misalnya, sensor MODIS³ yang terdapat pada satelit Aqua dan Terra merupakan instrumen penting untuk memperkirakan $PM_{2.5}$ global. Selanjutnya, TROPOMI, kependekan dari Tropospheric Monitoring Instrument, terdapat pada satelit Sentinel 5 - Prekursor dan digunakan mengukur gas seperti Ozon, NO_2 , SO_2 , CO, dan aerosol seperti debu, asap, dan karbon hitam. Data polutan $PM_{2.5}$ dan NO_2 merupakan data satelit yang paling banyak digunakan dalam penerapan kajian kualitas udara dan kesehatan.

1 Vital Strategies 2020, Accelerating City Progress on Clean Air, Technical Guide.

2 Health Effects Institute 2022. Air Quality and Health In Cities: A State of Global Air Report.

3 MODERate resolution Imaging Spectro-radiometer

Penerapan Data Satelit dalam Bidang Kualitas Udara dan Kesehatan

Bagaimana satelit mengukur polutan?

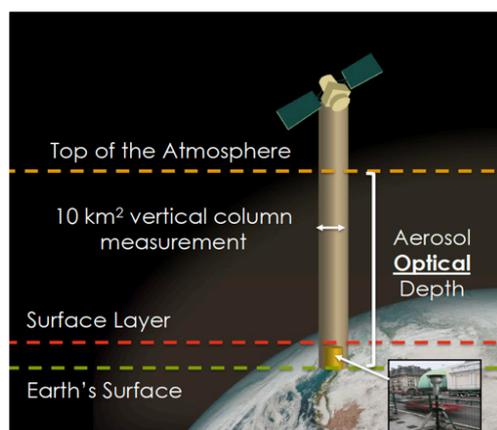
Setiap konstituen atmosfer bumi seperti partikel, aerosol, gas memiliki tanda spektralnya sendiri, yaitu jumlah radiasi elektromagnetik yang dapat diserap, dihamburkan, dan dipantulkan. Sensor seperti MODIS dan TROPOMI dirancang untuk menangkap informasi ini yang kemudian diubah menjadi karakteristik geofisika menggunakan model matematika dan algoritma komputer.

Satelit VS Pemantau Udara Lapangan

Perbedaan penting antara data dari satelit dan pemantau udara lapangan adalah kuantitas yang diukur. Saat pemantau udara lapangan mengukur konsentrasi permukaan, satelit menangkap informasi dalam kolom atmosfer vertikal (Gambar 2). Pengukuran kolom ini kemudian dikonversi ke perkiraan permukaan menggunakan model statistik atau model transportasi meteorologi-kimia penuh untuk memberikan perkiraan kualitas udara yang terpisah-pisah secara spasial. Data mentah satelit mengalami beberapa langkah pemrosesan dan validasi sebelum dipublikasikan untuk penerapan di lapangan. Jika data lapangan tersedia, data tersebut digunakan untuk memperbaiki estimasi satelit. Data terkisi (grid) dikenal juga sebagai Level 3 data⁴ dalam bentuk perkiraan harian dan rata-rata bulanan. Data inilah yang paling sering digunakan untuk studi besar. Data asli tak terkisi (non-grid) atau level 2 lebih cocok untuk pengguna tingkat lanjut dan tersedia dalam satu atau dua hari pengukuran.

Pengukuran $PM_{2.5}$

Satelit tidak mengukur $PM_{2.5}$ secara langsung. Akan tetapi, mengukur Kedalaman Optik Aerosol atau *Aerosol Optical Depth* (AOD), yang dapat dianggap sebagai proksi untuk $PM_{2.5}$. AOD merupakan kuantitas tanpa unit yang mewakili jumlah aerosol di kolom atmosfer. Data AOD satelit banyak digunakan untuk menentukan konsentrasi $PM_{2.5}$ (Gambar 3).



Gambar 2 Pengukuran satelit vs pengukuran berbasis lapangan⁵

Pengukuran NO_2

Saat ini, satelit juga dapat menangkap pola spasial pada polutan NO_2 dengan resolusi yang cukup baik untuk memperkirakan konsentrasi di kota-kota besar, termasuk dari sumber individu seperti pembangkit listrik dan industri. Tren jangka panjang untuk kolom NO_2 berasal dari pengukuran OMI⁶ dan TROPOMI.

Resolusi spasial dan temporal

Tergantung dari teknologi satelit dan algoritme yang digunakan, resolusi kisi spasial dapat bervariasi dari 1 km hingga ~100 km. Misalnya, data MODIS AOD level 2 tersedia pada resolusi 1 km, 3 km, dan 10 km-grid, sedangkan data terkisi level 3 tersedia pada resolusi kasar ~110 km-grid. Data pada kisi 1 km memiliki resolusi spasial yang relatif tinggi tetapi "noise" instrumen lebih banyak, sedangkan produk 10 km memiliki "noise" instrumen lebih sedikit, tetapi resolusi spasialnya lebih kasar.

Resolusi temporal sangat bergantung pada orbit yang diikuti satelit. Terdapat dua jenis satelit - satu yang memiliki orbit kutub yang sinkron dengan matahari - sehingga mereka "melihat" tempat yang sama di bumi sekali atau dua kali sehari pada waktu yang sama yang berarti satu atau dua pengukuran per hari. Misalnya - sensor MODIS di satelit Aqua dan Terra masing-masing melakukan pengukuran pagi dan sore setiap hari. Jenis yang lainnya tetap diam relatif terhadap bumi dan dapat mengamati data dengan cakupan temporal yang lebih tinggi dari wilayah tertentu - disebut juga satelit geostasioner.

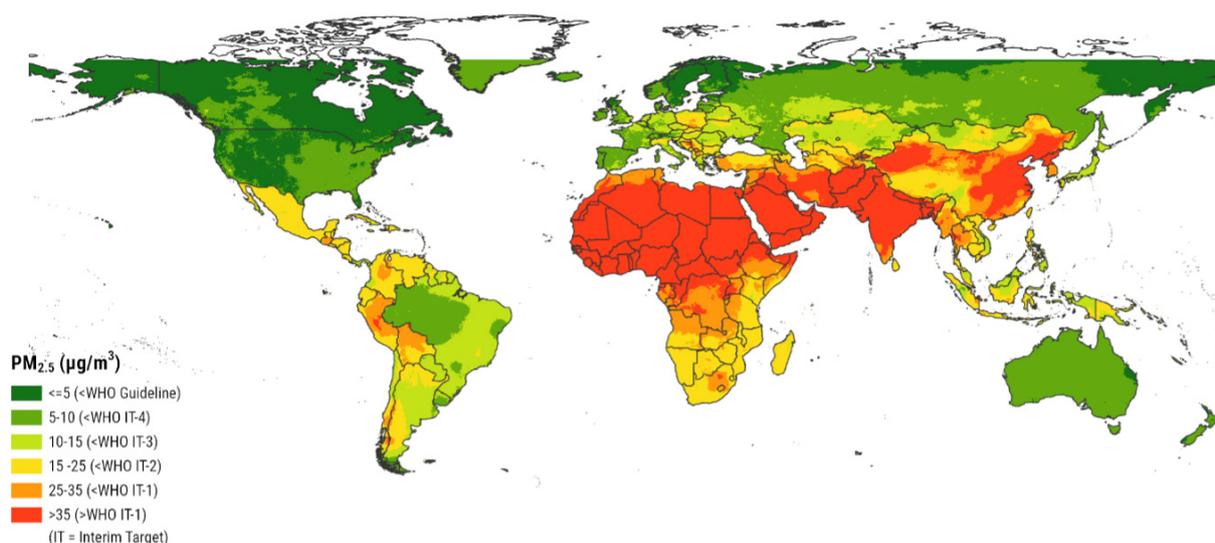
Pengukuran lain

Di luar aerosol dan gas, pencitraan warna dan pengukuran suhu dari satelit dapat membantu mengidentifikasi kejadian polusi ekstrem seperti pembakaran tanaman dan kebakaran hutan dengan mendeteksi anomali asap dan suhu. (Tabel 1)

4 NASA nomenclature

5 NASA's Applied Remote Sensing Training Program
6 Ozone Monitoring Instrument

Penerapan Data Satelit dalam Bidang Kualitas Udara dan Kesehatan



Gambar 3 Rata-rata tahunan konsentrasi PM_{2.5} ambien tahun 2019 relatif terhadap Pedoman Kualitas Udara WHO. Perkiraan PM_{2.5} didapatkan melalui penggabungan data satelit, model matematika, dan pengukuran lapangan. Sumber: Health Effects Institute 2022

Data Satelit Untuk Studi Kesehatan

NASA akan meluncurkan Misi MAIA⁷ yang dirancang khusus untuk analisis kesehatan masyarakat. Sensor MAIA dirancang untuk membedakan berbagai jenis partikel dan akan mengumpulkan data harian pada serangkaian area target utama termasuk kota-kota besar dunia. Data ini akan digunakan untuk mendukung studi kesehatan di masa depan tentang toksisitas relatif dari berbagai komponen partikel.

Permulaan

Seiring dengan perkembangan teknologi dan inventaris instrumen, data yang tersedia terus bertambah. Meskipun kumpulan data ini tersedia untuk umum, untuk menganalisis dan menafsirkan data ini memerlukan keterampilan teknis khusus. Kota-kota yang ingin mengintegrasikan data satelit dalam rencana pengelolaan kualitas udara mereka dapat mempertimbangkan untuk berinvestasi dalam pelatihan dan pembangunan kapasitas atau bekerja sama dengan mitra teknis dengan kemampuan analisa data-data ini. Di bawah ini adalah beberapa tautan ke sumber daya pelatihan dan kumpulan data yang tersedia untuk umum.

Sumber daya pelatihan

NASA ARSET training Program Applied Remote Sensing Training (ARSET) menawarkan webinar gratis dan pelatihan tatap muka tentang penggunaan data satelit NASA untuk berbagai aplikasi. Informasi tentang pelatihan mendatang serta rekaman dan materi dari webinar sebelumnya dapat ditemukan di situs web mereka.

[NASA HAQAST](#) NASA Health and Air Quality Applied Science (HAQAST) sedang mengembangkan penerapan data penginderaan jauh dengan praktisi kualitas udara dan tenaga medis profesional. Mereka telah mendokumentasikan berbagai sumber daya untuk mengakses dan menganalisis data satelit, juga memberikan pelatihan dan studi kasus yang bermanfaat.

7 Multi-Angle Imager for Aerosols

Sumber data

[NASA Giovanni](#) memungkinkan pengguna untuk menganalisis data satelit secara online secara interaktif - pengguna dapat memilih lokasi geografis, satelit, dan parameter yang diinginkan, serta membuat peta dan plot dalam berbagai format.

[NASA Data pathfinder](#) Dirancang untuk memandu pengguna melalui proses pemilihan dan penggunaan kumpulan data yang dapat diterapkan di bidang kesehatan dan kualitas udara, dilengkapi dengan panduan mengenai resolusi dan tautan langsung ke sumber datanya.

[Google Earth Engine](#) dapat diakses secara bebas untuk penelitian dan penggunaan akademik dan memiliki data dari Sentinel, satelit Landsat dan sensor MODIS. Google Earth menyediakan data API yang memungkinkan data untuk dianalisis secara daring melalui *cloud* tanpa perlu mengunduh data ke komputer lokal.

[Urban AQ](#) Situs web ini menggabungkan data satelit dengan data pemantau udara lapangan dan model matematika untuk memberikan perkiraan konsentrasi PM_{2.5}, NO₂, dan ozon untuk >13.000 wilayah perkotaan secara global. Pengguna dapat memvisualisasikan dan mengunduh data berdasarkan polutan, tahun, negara, dan kota.

Sumber data regional dan lokal

Sumber yang tercantum di sini mungkin tidak lengkap. Silakan untuk menghubungi Lembaga/dinas setempat untuk mendapatkan data regional atau nasional yang mungkin tersedia berdasarkan permintaan.

Penerapan Data Satelit dalam Bidang Kualitas Udara dan Kesehatan

Tabel 1 Penerapan data satelit untuk Manajemen Kualitas Udara dan Kesehatan

Penerapan	Pertanyaan	Contoh	Wilayah	Sumber
Tren Kualitas Udara	Apakah lokasi tertentu mengalami peningkatan atau penurunan polusi udara?	Analisis data AOD selama 18 tahun mengungkapkan bahwa frekuensi hari pencemaran ekstrim di cekungan indo-gangetic meningkat dari 5-15% menjadi 20-30% antara tahun 2001 hingga 2018.	India	Dey et al. 2022
Regulasi Kualitas Udara	Dari mana sebagian besar polusi berasal?	Emisi NO ₂ terisolasi dari kluster tiga lokasi yang diatur dengan jarak dekat di daerah perkotaan menggunakan Data TROPOMI	UK	Potts et al. 2021
	Di mana monitor harus ditempatkan sesuai dengan regulasi terbaru?	Data satelit dapat menginformasikan penempatan monitor NH ₃ baru, prekursor penting untuk PM _{2.5} .	US	Puchalski et al. 2019
Evaluasi Kebijakan	Seberapa efektif kebijakan mitigasi polusi?	Data dari OMI dan TROPOMI digunakan untuk membandingkan konsentrasi NO ₂ di Madrid sebelum dan sesudah penerapan kebijakan pengurangan emisi transportasi.	Spain	Anenberg et al. 2020
Peristiwa Polusi Ekstrem	Bagaimana polusi udara berpindah secara spatial?	Kabut musiman dari kebakaran lahan/hutan untuk tujuan pembukaan vegetasi merupakan masalah yang berulang di kawasan Asia Tenggara. Data satelit digunakan untuk mengeluarkan peringatan mengenai pergerakan kabut lintas batas negara.	SE Asia	ASMC
	Bagaimana kualitas udara berubah setelah kebakaran hutan?	Data dari berbagai satelit digunakan untuk memperkirakan lokasi kebakaran hutan, pergerakan kepulan asap, dan perubahan konsentrasi partikel.	US	Holloway et al. 2021
Penilaian Keterpaparan	Bagian dunia mana yang terpapar tingkat berbahaya PM _{2.5} ?	Data AOD dari VIIRS dan MODIS digabungkan dengan profil vertikal untuk aerosol dari model transportasi kimia global, GEOS-Chem untuk memperkirakan konsentrasi PM _{2.5} global jangka panjang.	Global	Van Donkelaar et al. 2010
Penilaian Dampak Kesehatan	Apa potensi dampak kesehatan yang didapatkan dari kebijakan pengurangan emisi?	Data satelit beresolusi <10 km digabungkan dengan model matematika untuk memperkirakan berapa banyak kematian global yang dapat dihindari dengan menghilangkan emisi nasional dari penggunaan bahan bakar kompor.	Global	Lacey et al. 2017
Kajian Epidemiologi	Berapa beban penyakit akibat polusi udara pada populasi tertentu?	Estimasi paparan yang dihasilkan pada kajian van Donkelaar et al. digunakan untuk memperkirakan kematian dini global yang berkaitan dengan paparan jangka panjang terhadap PM _{2.5}	Global	Evans et al. 2012
		Gabungan data NO ₂ dari satelit dan pemantau udara lapangan dapat menentukan proporsi kasus asma anak yang disebabkan oleh NO ₂ . Meskipun tren proporsi ini menurun di negara-negara berpenghasilan tinggi antara tahun 2000 dan 2019, proporsi ini justru meningkat di negara lainnya.	Global	Lacey et al. 2022

Referensi

- Anenberg, Susan C., et al. "Long-term trends in urban NO₂ concentrations and associated paediatric asthma incidence: estimates from global datasets." *The Lancet Planetary Health* 6.1 (2022): e49-e58.3.
- Anenberg, Susan C., et al. "Using satellites to track indicators of global air pollution and climate change impacts: Lessons learned from a NASA-supported science-stakeholder collaborative." *GeoHealth* 4.7 (2020): e2020GH000270.
- ASEAN Specialized Meteorological Center. Available from: <http://asmc.asean.org/asmc-about/>
- Dey, Sagnik, and Sourangsu Chowdhury. "Air quality management in India using satellite data." *Asian Atmospheric Pollution*. Elsevier, 2022. 239-254.
- Evans, Jessica, et al. "Estimates of global mortality attributable to particulate air pollution using satellite imagery." *Environmental research* 120 (2013): 33-42.
- Health Effects Institute. 2022. *How Does Your Air Measure Up Against the WHO Air Quality Guidelines? A State of Global Air Special Analysis*. Boston, MA: Health Effects Institute.
- Holloway, Tracey, et al. "Satellite monitoring for air quality and health." *Annual Review of Biomedical Data Science* 4 (2021): 417-447.
- Lacey, Forrest G., et al. "Transient climate and ambient health impacts due to national solid fuel cookstove emissions." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114.6 (2017): 1269-1274.
- Potts, Daniel A., et al. "Satellite data applications for site-specific air quality regulation in the UK: Pilot study and prospects." *Atmosphere* 12.12 (2021): 1659.
- Puchalski, M. A., et al. "Need for improved monitoring of spatial and temporal trends of reduced nitrogen." *EM*, July (2019).
- Van Donkelaar, Aaron, et al. "Global estimates of ambient fine particulate matter concentrations from satellite-based aerosol optical depth: development and application." *Environmental health perspectives* 118.6 (2010): 847-855.