

Pencemaran Udara Lintas Batas di provinsi Jakarta, Banten, dan Jawa Barat

Lauri Myllyvirta, Analis utama

Isabella Suarez, Analis

Erika Uusivuori, Peneliti

Hubert Thieriot, Kepala Data

Agustus 2020



Pencemaran Udara Lintas Batas di provinsi Jakarta, Banten, dan Jawa Barat

Pesan-pesan utama

- Pencemaran lintas batas dari Provinsi Banten dan Jawa Barat merupakan kontributor utama pencemaran udara di Kota Jakarta. "Ruang udara" Jakarta - area di mana emisi memengaruhi kualitas udara - luasnya jauh melampaui batas administratifnya, biasanya meliputi Tangerang, Bogor, Depok, Bekasi, Puncak dan Cianjur, dan bahkan meluas hingga Sumatera Selatan, Lampung, dan Jawa Tengah. (Lihat hlm. 13-21)
- Emisi pencemar udara, baik di Jakarta dan di provinsi-provinsi sekitarnya, telah meningkat, memperburuk kualitas udara Jakarta dan menghambat upaya perbaikan kualitas udara (Lihat hlm. 7-9, 23-26). Pemantauan PM_{2.5} di Jakarta mencatat 101 hari dengan kualitas udara "tidak sehat" pada tahun 2018 dan 172 pada tahun 2019. Bahkan dengan COVID-19, kualitas udara di Jakarta tidak meningkat secara signifikan. (Lihat hlm. 10) Citra satelit menunjukkan bahwa pembangkit listrik Suralaya di Banten beroperasi dan menghasilkan emisi seperti biasa selama pembatasan COVID. Angin membawa pencemaran pembangkit listrik Suralaya ke Jakarta, yang mungkin telah berkontribusi pada tetap tingginya PM_{2.5} di Jakarta kendati ada pengurangan besar dalam lalu lintas lokal dan aktivitas perkotaan.
- Faktor meteorologi seperti lintasan angin memengaruhi penyebaran pencemar seperti NO, SO₂ dan PM_{2.5}. Pada bulan-bulan kering Mei hingga Oktober, ketika tingkat pencemaran keseluruhan di kota ini paling tinggi, sumber-sumber dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara dan pabrik industri di sebelah timur Jakarta (dari Bekasi, Karawang, Purwakarta hingga Bandung) berdampak lebih besar pada kualitas udara. Pada bulan-bulan basah (Desember hingga Maret), sumber-sumber di barat - khususnya pembangkit listrik Suralaya di Banten - adalah penyumbang pencemaran yang lebih besar. (Lihat hlm. 13-19)
- Terdapat 136 fasilitas industri terdaftar (termasuk pembangkit listrik) yang bergerak di sektor-sektor dengan emisi tinggi di Jakarta dan berada dalam radius 100 km dari batas administratif Jakarta. 16 berlokasi di DKI Jakarta; 62 di Jawa Barat, 56 di Banten, satu di Jawa Tengah dan terakhir di Sumatera Selatan. (Lihat hlm. 14). Wilayah padat industri ini berada pada lokasi yang sama dengan titik konsentrasi NO_x dan SO₂ di Jawa. NO_x dan SO₂ teroksidasi di atmosfer dan membentuk PM_{2.5} sekunder dalam jumlah besar, yang dapat terbawa angin ke daerah sekitarnya sejauh lebih dari 100 km. (Lihat hlm. 13-15, 19-21). Pemodelan atmosfer pada hari-hari dengan pencemaran terburuk di Jakarta

menunjukkan lintasan angin yang melewati titik-titik konsentrasi NO_x dan SO₂ di Banten dan Jawa Barat, berkontribusi pada ketiga jenis pencemaran udara di Jakarta. (Lihat hlm. 13, 14)

- Inventarisasi emisi untuk Banten, Jawa Barat dan Jakarta menunjukkan bahwa Banten dan Jawa Barat memiliki emisi PM_{2.5}, SO₂ dan NO_x yang jauh lebih tinggi (dua kali lipat atau bahkan empat kali lipat daripada Jakarta), yang mana sebagian besar disebabkan oleh industri dan pembangkit listrik. (Lihat hlm. 16-19)
- Pencemaran lintas batas menimbulkan biaya kesehatan dan ekonomi yang besar pada warga Jakarta. Pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (PLTU Batubara) dalam radius 100 km dari Jakarta bertanggung jawab atas sekitar 2.500 kematian dini di wilayah Jabodetabek. Pencemaran lintas batas juga bertanggung jawab atas dampak buruk kesehatan lainnya yang terkait dengan sistem kekebalan, pernapasan, dan kardiovaskular. Biaya tahunan akibat pencemaran lintas batas dari PLTU Batubara diperkirakan mencapai Rp 5,1 triliun per tahun di Jabodetabek, atau Rp 180.000 per orang per tahun. (Lihat hlm. 24-26)
- Kebijakan dan kerangka kerja untuk membatasi emisi dari sumber-sumber ini tidaklah memadai. Keduanya harus diperkuat dan kemudian diterapkan untuk melindungi kesehatan dan kesejahteraan warga negara Indonesia. (Lihat hlm. 23-26)

About CREA

The Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA) is a new independent research organisation focused on revealing the trends, causes, and health impacts, as well as the solutions to air pollution. CREA uses scientific data, research and evidence to support the efforts of governments, companies and campaigning organizations worldwide in their efforts to move towards clean energy and clean air, believing that effective research and communication are the key to successful policies, investment decisions and advocacy efforts. CREA was founded in December 2019 in Helsinki and has staff in several Asian and European countries.

This report was prepared at the request of Earthjustice and the Indonesian Centre for Environmental Law (ICEL), and is the cumulative work of the following:

Writers

Isabella Suarez
Lauri Myllyvirta
Erika Uusivuori

Modeling

Lauri Myllyvirta
Hubert Thieriot
Andreas Anhäuser

Photo Credits on cover: Ulet Ifansasti / Greenpeace

MEDIA CONTACT

Isabella Suarez

Analyst Centre for Research on Energy and Clean Air
isabella@energyandcleanair.org
+63-917-314-6663

Daftar Isi

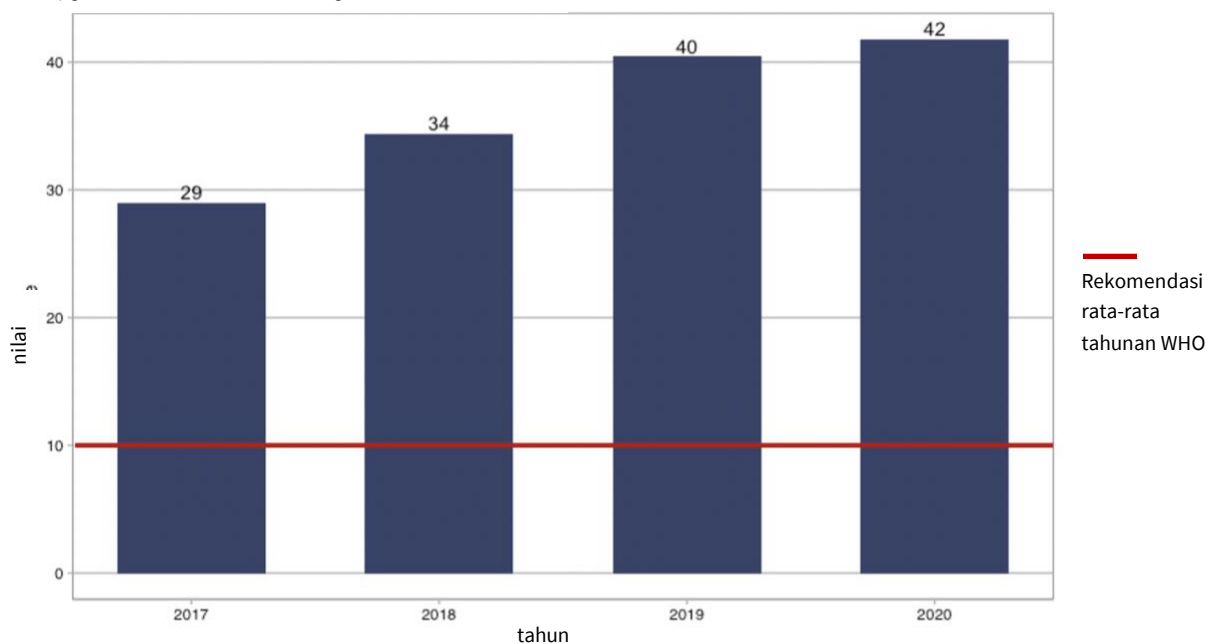
Pesan-pesan utama	1
Daftar Isi	3
Ringkasan	4
Kondisi Kualitas Udara di Jakarta	6
Literatur Terkait	9
Pemodelan pencemaran lintas batas dari sumbernya	11
Meteorologi berperan dalam peningkatan pencemaran udara	11
Pembangkit listrik & fasilitas industri di bagian barat Jawa	13
Kisaran Konsentrasi & Distribusi Pencemar	14
Sumber emisi di daerah yang memengaruhi kualitas udara Jakarta	18
Perkiraan risiko pencemaran udara tanpa peraturan tentang emisi	21
Baku Mutu untuk pembangkit listrik termal	21
Biaya Ekonomi & Kesehatan pencemaran udara dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di Jakarta	22
Rekomendasi	26
Referensi	28
Lampiran	30

Ringkasan

Pencemaran udara adalah masalah serius di Jakarta. Industrialisasi dan urbanisasi yang cepat telah menyebabkan peningkatan pencemaran udara yang berkelanjutan. Ini telah mencapai titik di mana pencemaran udara telah tiga kali lipat lebih buruk dibandingkan konsentrasi yang direkomendasikan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) (Gambar 1), yang berakibat pada semakin buruknya dampak kesehatan bagi masyarakat. Sebuah kajian oleh Universitas Indonesia pada tahun 2010 menemukan bahwa hampir 60 persen penduduk Jakarta menderita penyakit pernapasan yang berhubungan dengan buruknya kualitas udara (Haryanto 2017). Sementara itu, jumlah penghasil emisi yang diketahui seperti pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara, moda transportasi, dan fasilitas manufaktur telah meningkat. Produksi dan konsumsi batu bara, minyak, dan gas dari sumber-sumber ini menghasilkan jumlah pencemar yang besar ke atmosfer, yang berdampak pada kualitas udara daerah sekitarnya sejauh ratusan kilometer ke arah angin berhembus.

Gambar 1: Tingkat PM2.5 rata-rata di Jakarta, Indonesia ¹

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$, setelah disesuaikan dengan kondisi cuaca.



Sumber: CREA berdasarkan OpenQA dan NOAA untuk normalisasi cuaca

Kendati Indonesia memiliki target energi terbarukan yang ambisius, Indonesia secara bersamaan meningkatkan penggunaan bahan bakar fosilnya (UNEP 2015). Saat ini, Indonesia memiliki pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara (PLTU Batubara) terbanyak di Asia Tenggara, yaitu sebanyak 74 pembangkit. Sejak 2010, listrik yang dihasilkan dari pembangkit

¹ WHO merekomendasikan rata-rata tahunan 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk PM2.5. PM2.5 tahunan telah meningkat hingga empat kali lipat dari yang direkomendasikan dan dianggap sehat oleh WHO.

tersebut meningkat lebih dari dua kali lipat (Greenstone dkk. 2019). Indonesia juga memiliki rencana untuk menambah 31.200 MW kapasitas pembangkit listrik tenaga batubara, 20% di antaranya akan berlokasi dalam radius 100 km dari Jakarta, dan dampaknya terhadap kualitas udara setara dengan menambah 10 juta mobil ke Jakarta (Lowy Institute 2019)². Kualitas udara bisa menjadi jauh lebih buruk jika tidak ada pengamanan yang memadai. Sebuah kajian oleh Harvard University menemukan bahwa rencana pembangkit listrik tenaga batubara akan menyebabkan tambahan 2.600 orang meninggal sebelum waktunya setiap tahun (Koplitz dkk. 2017).

Peraturan tentang emisi masih tetap lunak dengan penegakan hukum terhadap industri yang terbatas. Selain itu, baku mutu udara ambien (di luar ruangan) Indonesia yang longgar tidak cukup mengendalikan akumulasi pencemaran dari semua sumber pencemar. Sementara WHO menyatakan paparan partikulat halus (PM_{2.5}) lebih dari 25 µg/m³ selama 24 jam sudah berbahaya bagi kesehatan manusia, Baku Mutu Udara Ambien Nasional (BMUAN) memiliki batas 65 µg/m³.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menelaah emisi lintas batas dari fasilitas industri dan pembangkit listrik di Jawa Barat dan dampaknya terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia.

Pencemar Udara Utama

Pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan pabrik industri menghasilkan emisi saat beroperasi, dan emisi ini mengandung pencemar udara beracun. Pencemar - termasuk tetapi tidak terbatas pada NO_x, SO₂, partikulat (PM), dan merkuri (Hg) - menyebar di atmosfer dan membahayakan kesehatan manusia, termasuk menyebabkan stroke, penyakit jantung, asma, infeksi pernapasan, dan penyakit paru obstruktif kronis (WHO 2016). Kondisi kesehatan yang terganggu menyebabkan peningkatan kunjungan ke rumah sakit dan kematian dini.

Pencemar tidak hanya dihasilkan langsung dari sumbernya, namun juga berinteraksi di atmosfer dan menghasilkan pencemar baru. Gas NO_x dikeluarkan setiap kali bahan bakar fosil dibakar, karena suhu pembakarannya yang sangat tinggi (SEPA). Demikian pula, SO₂ terbentuk selama pembakaran bahan bakar di pembangkit listrik dan fasilitas industri (US EPA 2019).

PM_{2.5} - dihasilkan langsung dari sumber pencemar (primer) seperti kendaraan, alat berat, kebakaran hutan, dan kegiatan pembakaran lainnya, atau terbentuk di atmosfer (sekunder) - dapat tetap mengudara dalam waktu lama dan menempuh jarak ratusan mil. Pembentukan sekunder PM_{2.5} dan ozon terjadi ketika NO_x bereaksi dengan senyawa lain di atmosfer, umumnya di tempat ke mana angin berhembus dan/atau pada jarak tertentu dari sumber emisi aslinya (US EPA 2016). Paparan partikel dalam jangka pendek atau panjang dapat menyebabkan dampak kardiovaskular yang merugikan. Karena PM_{2.5} bisa masuk jauh ke dalam paru-paru, pencemar ini

² Ini termasuk pabrik yang statusnya sedang dibangun, diizinkan, atau diumumkan. Global Coal Plant Tracker, 2019.

juga dikaitkan dengan dampak pernapasan, termasuk pemburukan asma dan gangguan perkembangan paru-paru.

Merkuri, logam berat neurotoksik, adalah pencemar lain yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga batu bara dan mudah bergerak dalam atmosfer. Ia bahkan dapat bergerak mengitari dunia, mengendap di daerah yang sangat terpencil (UN Environment 2019). Emisi merkuri dari pembangkit listrik yang tidak memiliki alat pengendali pencemaran udara yang memadai, seperti yang ada di sekitar Jakarta, dapat segera diendapkan di wilayah sekitar pembangkit listrik, menciptakan titik konsentrasi endapan merkuri³ (lihat mis. Sullivan dkk. 2006).

Kondisi Kualitas Udara di Jakarta

Pemantauan kualitas udara PM_{2.5} oleh Kedutaan Besar AS di Jakarta menunjukkan bahwa kota ini hanya mengalami 40 hari dengan kualitas udara yang "baik" pada tahun 2017, sebagian besar pada bulan Januari, November dan Desember. Tahun 2018 hanya memiliki 25 hari "baik", jauh berbeda dengan 101 hari tercatat dengan kualitas udara dalam rentang yang dianggap "tidak sehat". Pada tahun 2019, jumlah hari tidak sehat meningkat menjadi 172 - lebih dari 50% dari tahun sebelumnya. Pemantauan awal tahun 2020 menunjukkan bahwa bahkan dengan gangguan yang disebabkan oleh COVID-19, kualitas udara dari bulan Maret hingga Mei tetap dalam tingkat sedang hingga tidak sehat (*Lihat Gambar 2*).

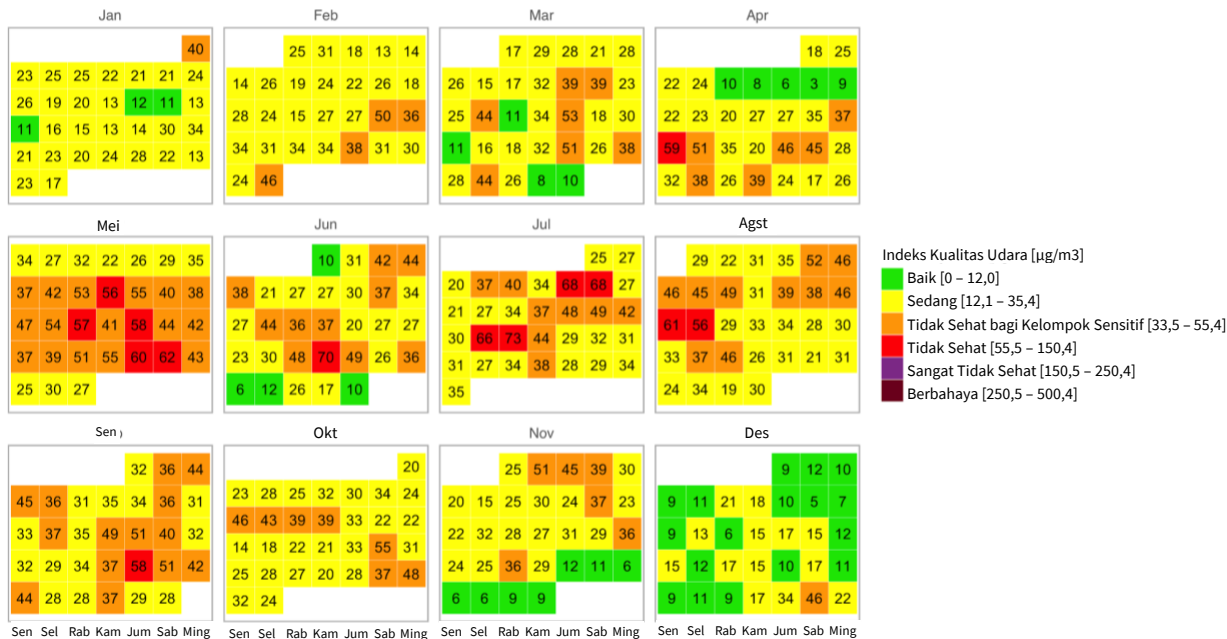
Musim kemarau (Mei hingga Oktober) mendapati jumlah hari terbanyak dengan kualitas udara paling tidak sehat. Musim hujan (November hingga Maret) memberikan sedikit kelonggaran tetapi kualitas udara secara keseluruhan pada tahun 2018 dan 2019 menunjukkan bahwa pada sebagian besar tahun berjalan PM_{2.5} berada pada tingkat yang tidak sehat bagi kelompok-kelompok sensitif, dan untuk kali pertama dalam empat tahun terakhir, tidak satu hari pun di tahun 2020 memiliki kualitas udara yang baik.

³ Peralatan yang digunakan untuk mengendalikan SO₂, perangkat desulfurisasi gas buang basah, efektif untuk menghilangkan merkuri divalen yang tersimpan secara lokal dari gas buang.

Gambar 2: Rata-rata harian konsentrasi PM2.5 di Jakarta dari 2017 hingga 2020

Pencemaran PM2.5 di Jakarta – 2017

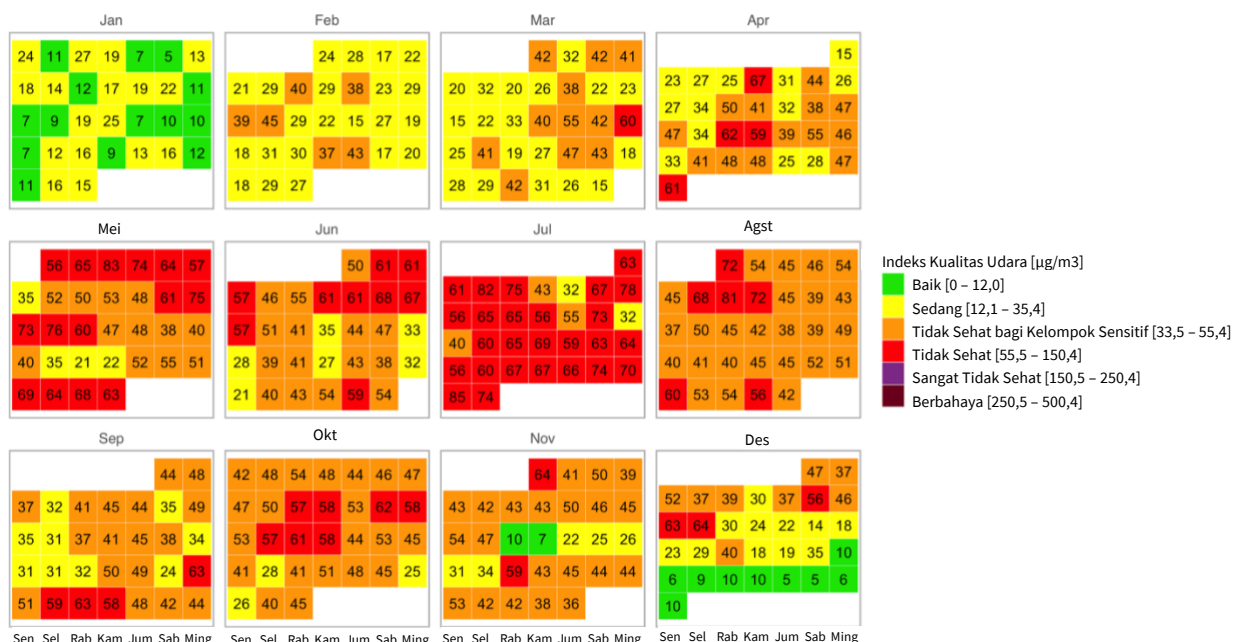
Rata-rata harian konsentrasi PM2.5 dan Indeks Kualitas Udara vana sesuai



Sumber: Stasiun Pemantauan Kualitas Udara dari Kedutaan Besar Amerika Serikat di Jakarta

Pencemaran PM2.5 di Jakarta – 2018

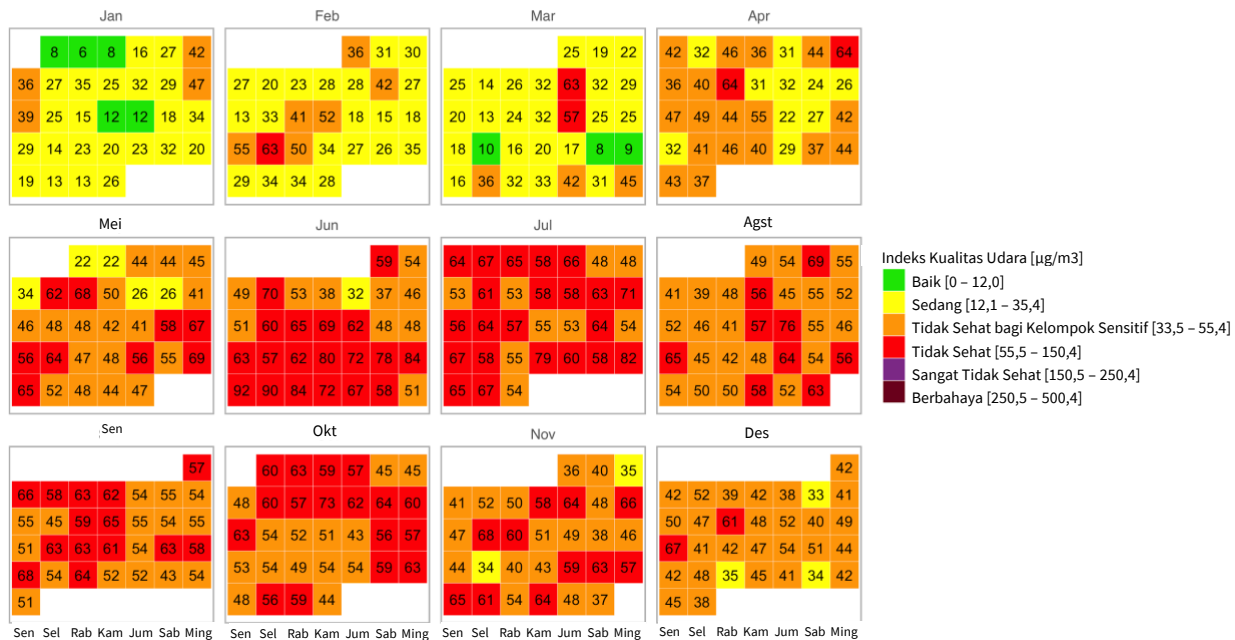
Rata-rata harian konsentrasi PM2.5 dan Indeks Kualitas Udara yang sesuai



Sumber: Stasiun Pemantauan Kualitas Udara dari Kedutaan Besar Amerika Serikat di Jakarta

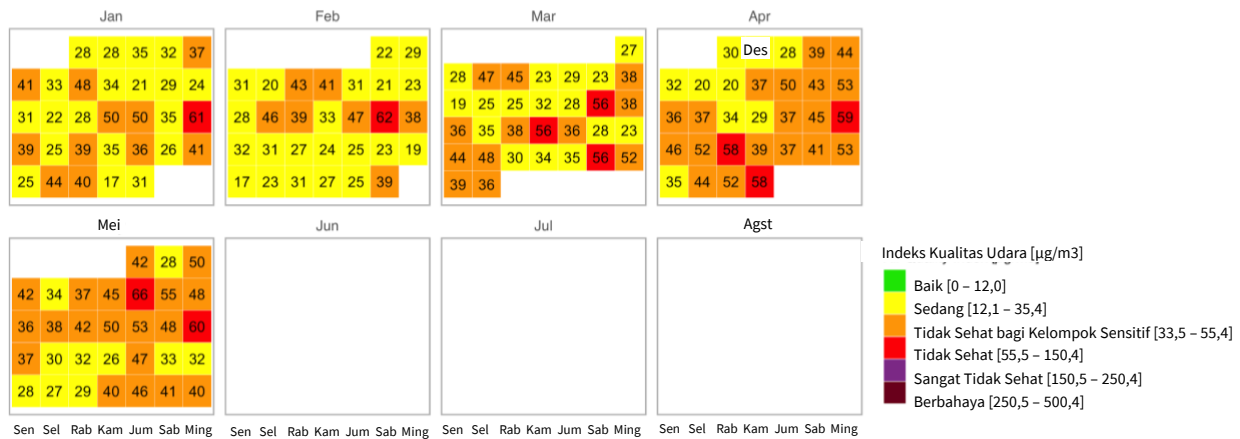
Pencemaran PM2.5 di Jakarta – 2019

Rata-rata harian konsentrasi PM2.5 dan Indeks Kualitas Udara yang sesuai



Pencemaran PM2.5 di Jakarta – 2020

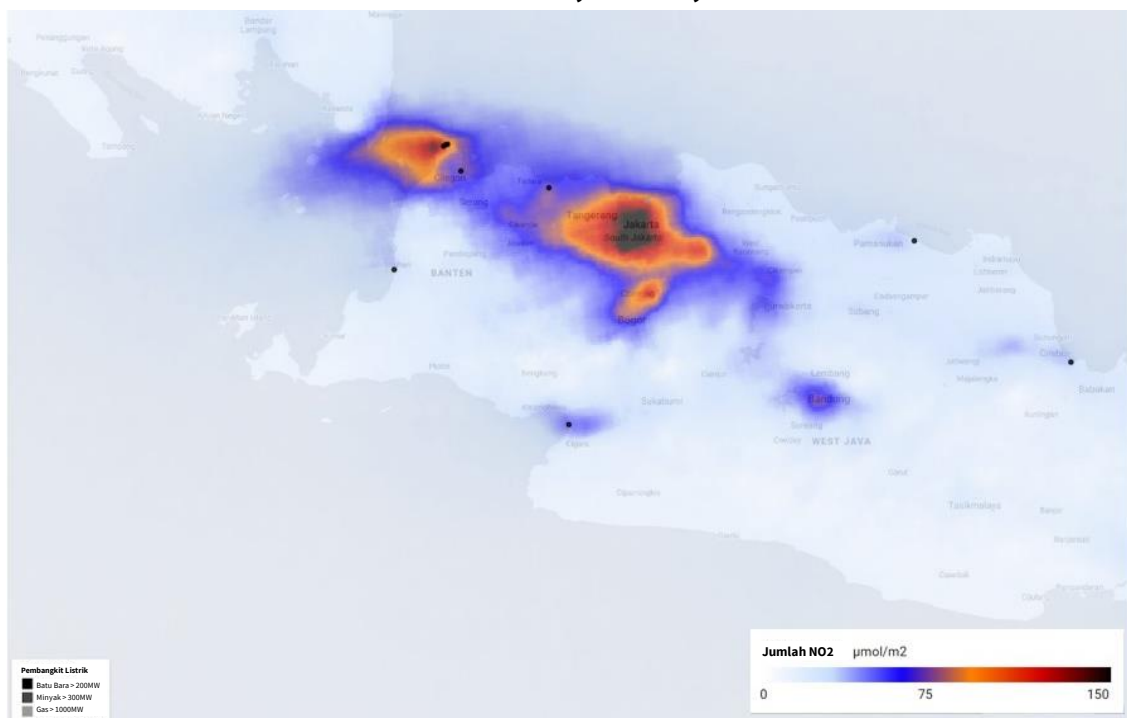
Rata-rata harian konsentrasi PM2.5 dan Indeks Kualitas Udara yang sesuai



Selain PM2.5, citra satelit menunjukkan bahwa Jakarta dan bagian-bagian dari Banten dan Jawa Barat adalah titik konsentrasi utama NO₂ ambien (*Gambar 3*). Selama dekade terakhir, tingkat NO₂ meningkat di Banten, Jawa Barat dan Lampung bagian selatan. Peningkatan besar NO₂ juga terjadi di Jepara karena ekspansi PLTU Batubara. Ini menunjukkan tren peningkatan penggunaan bahan bakar fosil dan emisi di luar Jakarta, yang juga berarti adanya peningkatan dampak lintas batas pada kualitas udara di Jakarta. Tingkat NO₂ adalah indikator peningkatan emisi bahan bakar fosil baik NO_x maupun PM2.5, karena sumber emisi yang sama menghasilkan kedua jenis emisi. (Emisi NO_x berkontribusi pada pembentukan PM2.5, karena beberapa NO_x dikonversi

menjadi partikel PM2.5 (nitrat) sebelum mencapai Jakarta.) Hal ini telah berkontribusi pada memburuknya hasil ukuran konsentrasi PM2.5 ambien di Jakarta (*Gambar 2*), karena PM2.5 sekunder bersirkulasi dengan kondisi meteorologi yang menyebabkan pergerakan jarak jauh. Bersama-sama dengan pencemaran dari sumber-sumber lokal, ini dapat menyebabkan peristiwa pencemaran yang lebih tinggi.

Gambar 3: Titik Konsentrasi NO₂ di Jakarta, Banten, dan Jawa Barat



SUMBER: CREA berdasarkan data satelit TROPOMI

Literatur Terkait

Peraturan untuk emisi industri tetap lunak meskipun negara telah menerapkan baku mutu yang lebih ketat pada sumber emisi lain seperti sektor transportasi. Jakarta telah menghadapi beberapa situasi di mana laju lalu lintas menurun namun pencemaran udara belum turun secara signifikan, yang mengarah pada kesimpulan bahwa mengendalikan emisi dari sektor transportasi tidaklah cukup.

Sebuah kajian mendalam tentang dampak angin laut dan darat menunjukkan bagaimana pencemaran udara dipindahkan oleh kedua angin ini ke Jakarta (Sofyan dkk. 2008). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum angin harian darat dan laut, konsentrasi NO₂ dan SO₂ tertinggi berada di daerah sumber emisi di Jakarta bagian pusat dan industri pesisir. Angin laut meningkatkan konsentrasi pencemar di kota dengan memindahkannya dari pantai ke Jakarta bagian selatan dan ke daerah pegunungan yang lebih jauh.

Analisis CREA mengenai dampak COVID-19 di seluruh dunia menemukan bahwa [tidak seperti banyak negara lain](#), bekerja-dari-rumah dan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) di Indonesia tidak meningkatkan kualitas udara meskipun terdapat penurunan aktivitas perkotaan. Pada periode ini, NO₂ atmosferik di Jakarta, Banten dan Jawa Barat menurun dibandingkan dengan tingkat pada tahun 2019 karena perlambatan emisi dari sumber-sumber NO₂ utama seperti transportasi dan industri (*Lihat Lampiran*). Namun, konsentrasi PM_{2.5} di Jakarta meningkat sejak akhir Maret hingga awal Juni. PM_{2.5} bergerak lebih jauh dibandingkan dengan NO₂ dan dapat mencemari lebih jauh dari sumber aslinya, yang menunjukkan bahwa pencemaran lintas batas dari luar kota merupakan faktor yang menyebabkan minimnya perbaikan PM_{2.5}. Citra satelit TROPOMI menunjukkan bahwa pembangkit listrik Suralaya di Banten tetap beroperasi dan menghasilkan emisi seperti biasa. Lintasan angin pada tanggal 12 April 2020 - ketika PM_{2.5} di Jakarta melonjak - menunjukkan bahwa udara bergerak ke arah timur laut, melewati atau dekat dengan pabrik Suralaya dan membawa pencemaran ke Jakarta, mencegah penurunan secara substansial terhadap PM_{2.5} di Jakarta.

Pemodelan pencemaran lintas batas dari sumbernya

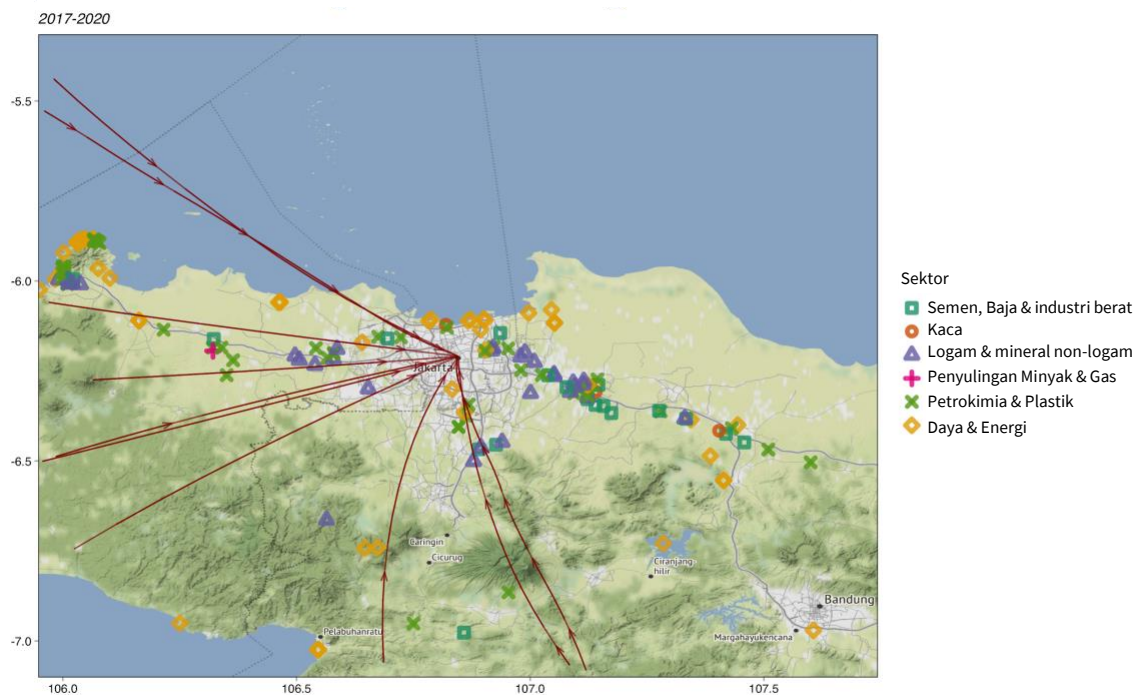
Meteorologi berperan dalam peningkatan pencemaran udara

Kondisi meteorologi di Jawa Barat merupakan faktor dalam pergerakan lintas batas pencemar. Kecepatan angin, suhu, kelembaban, dan curah hujan dapat memengaruhi konsentrasi dan penyebaran pencemaran udara dari sumber aslinya.

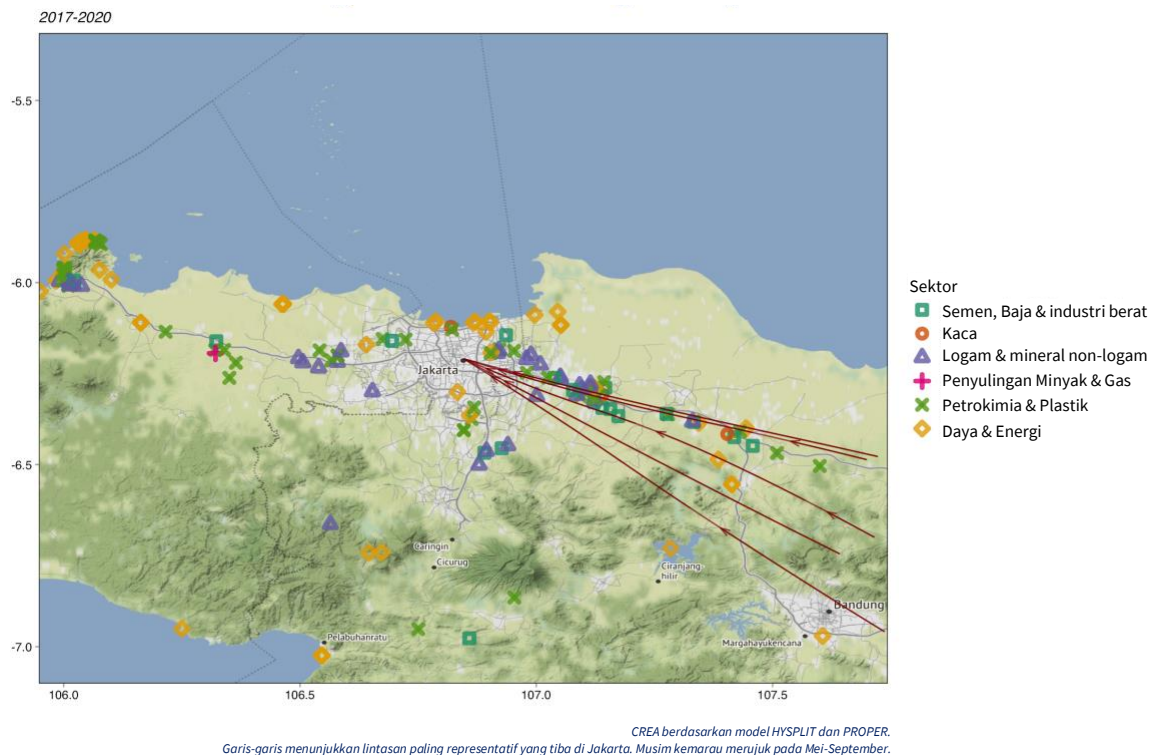
Kami menggunakan model HYSPLIT yang dikembangkan oleh U.S. NOAA, didasari oleh data cuaca dari 2017 hingga 2020, untuk menghasilkan pola aliran udara dan lintasan angin yang berbeda untuk dua musim Indonesia (*Gambar 4*). Pemodelan menunjukkan bahwa dalam tujuh bulan musim hujan (November hingga Mei), angin datang dari arah timur laut dan tenggara, membawa emisi dari sumber emisi di Sumatera Selatan, Lampung, Banten, dan Bogor di Jawa Barat. Pada musim kemarau (Juni hingga Oktober), lintasan angin lebih sering datang dari Jawa Barat, menunjukkan bahwa sumber emisi di timur dan tenggara Jakarta - sampai sejauh Cirebon dan Bandung - memiliki dampak yang lebih besar pada kualitas udara di musim kemarau. Analisis berbasis satelit menunjukkan bahwa emisi di provinsi-provinsi ini telah meningkat selama bertahun-tahun, yang akan meningkatkan pencemaran Jakarta, serta tingkat pencemaran lokal (*Lihat Lampiran*). Pengendalian terhadap sumber emisi ini sangat penting untuk meningkatkan kualitas udara di wilayah Jakarta.

Gambar 4: Lintasan angin paling representatif yang mencapai Jakarta selama musim hujan dan kemarau (2017-2020)

Sumber udara mengalir ke Jakarta selama musim hujan



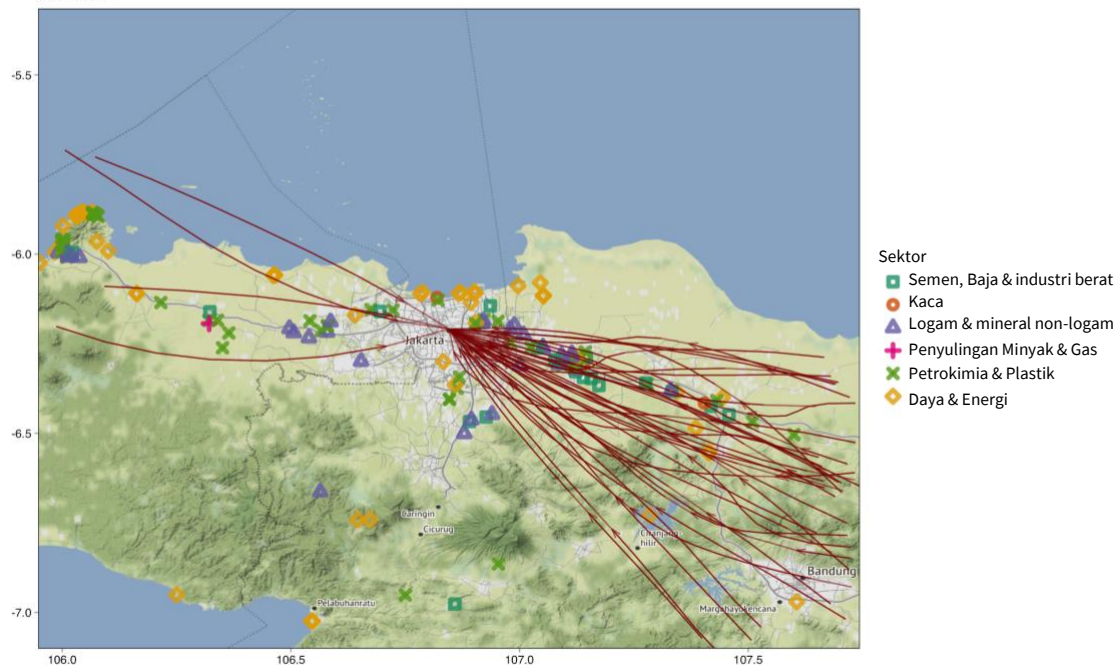
Sumber udara mengalir ke Jakarta selama musim kemarau



Untuk lebih menggambarkan bahwa lintasan angin adalah faktor dalam pencemaran lintas batas, kami memodelkan lintasan angin tunggal pada beberapa hari dengan bacaan pencemaran udara terburuk di Jakarta (ketika PM_{2.5} lebih dari 80 µg/m³). *Gambar 5* menunjukkan lintasan angin yang memasuki Jakarta selama hari-hari puncak pencemaran antara 2017 dan 2020. Angin ini membawa pencemar dari industri di Suralaya dan Tangerang di Banten, serta dari industri di Jawa Barat, mulai dari wilayah padat industri di perbatasan timur Jakarta dan membentang ke Karawang Barat, Purwakarta, dan Bandung.

Gambar 5: Lintasan angin mengalir ke Jakarta selama 'puncak pencemaran' (2017-2020)

Pembangkit listrik dan fasilitas industri 100 km dari Jakarta
2017-2020

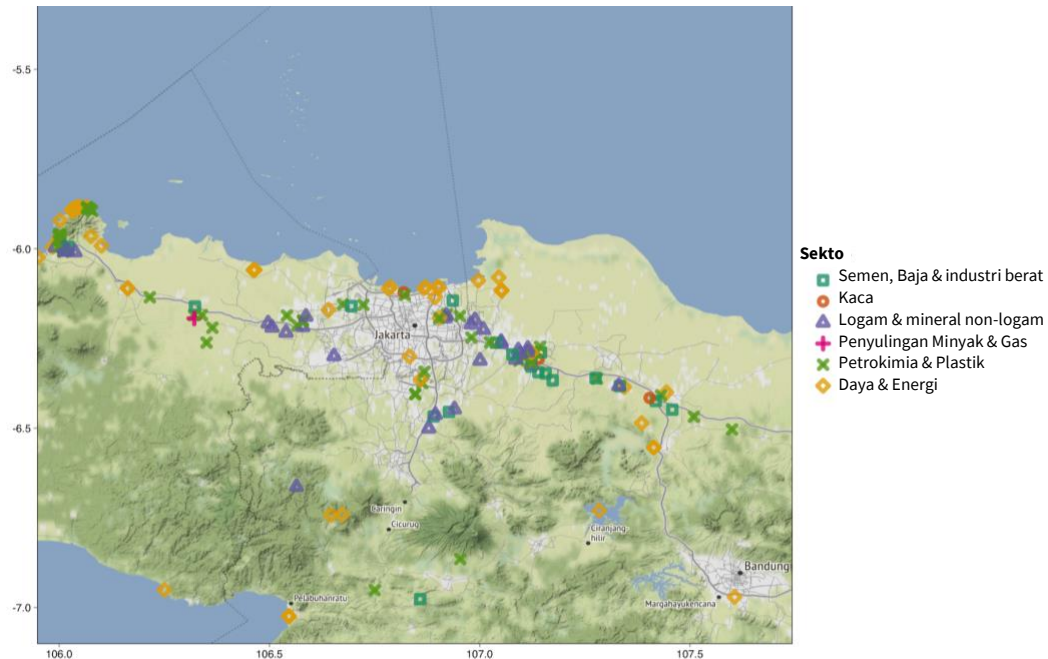


SOURCE: CREA based HYSPLIT modeling and PROPER 2019

Pembangkit listrik & fasilitas industri di bagian barat Jawa

Sejumlah fasilitas dari Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) 2019 menunjukkan bahwa total 418 fasilitas industri ditemukan dalam radius 100 km dari daerah metropolitan Jakarta. Dari fasilitas-fasilitas ini, 136 berada di sektor yang beremisi sangat tinggi seperti semen dan baja, kaca, penyulingan minyak dan gas, daya dan energi (yang meliputi PLTU Batubara), logam, dan petrokimia dan plastik (*Gambar 6*). 86 persen dari fasilitas beremisi tinggi ini beroperasi di luar batas administrasi Jakarta; terdapat 62 fasilitas di Jawa Barat, 56 di Banten, 1 di Jawa Tengah dan 1 di Sumatera Selatan dalam radius 100 km dari Jakarta.

Gambar 6: Distribusi pembangkit listrik dan industri di Jakarta dan dalam radius 100 km dari Jakarta



Sumber: CREA berdasarkan PROPER

Wilayah padat pembangkit listrik dan industri yang beroperasi di sepanjang bagian utara Jawa adalah titik konsentrasi untuk emisi SO₂ dan NO₂ - keduanya merupakan indikator pencemaran bahan bakar fosil. Mereka juga tumpang tindih dengan area di mana fasilitas industri berada (*lihat Gambar 3 dan 6*).

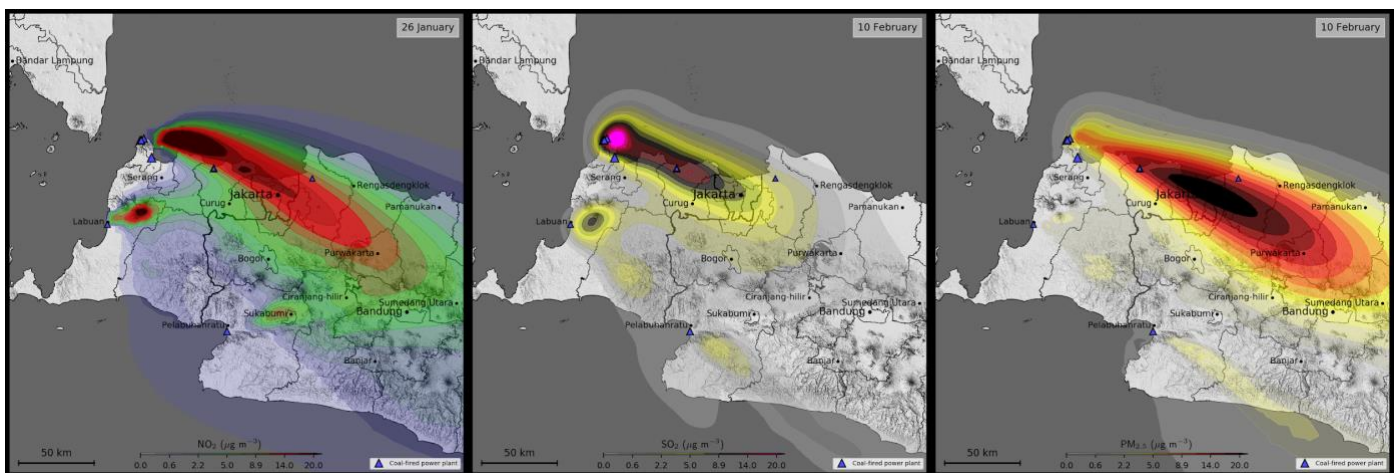
Kisaran Konsentrasi & Distribusi Pencemar

Untuk menilai kontribusi sumber titik besar terhadap pencemaran udara di Jakarta, kami melakukan pemodelan atmosferik terperinci tentang penyebaran pencemar dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di sekitar kota. Kami mengembangkan data meteorologi 3 dimensi untuk setiap jam tahun pemodelan (2014), termasuk kecepatan angin, arah, kelembaban, suhu, stabilitas atmosferik, dan variabel terkait lainnya menggunakan model meteorologi TAPM yang dikembangkan oleh lembaga ilmu pengetahuan nasional Australia CSIRO. Kami kemudian menggunakan model penyebaran CALPUFF, model jangka panjang yang paling banyak digunakan di dunia, untuk mensimulasikan pencemaran dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara. Model ini melacak penyebaran pencemaran, transformasi kimia, dan deposisi di atmosfer untuk menilai dampak sumber yang dimodelkan pada kualitas udara di seluruh area pemodelan.

Pemodelan TAPM/CALPUFF untuk konsentrasi permukaan pencemar yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara menunjukkan bahwa sumber emisi besar

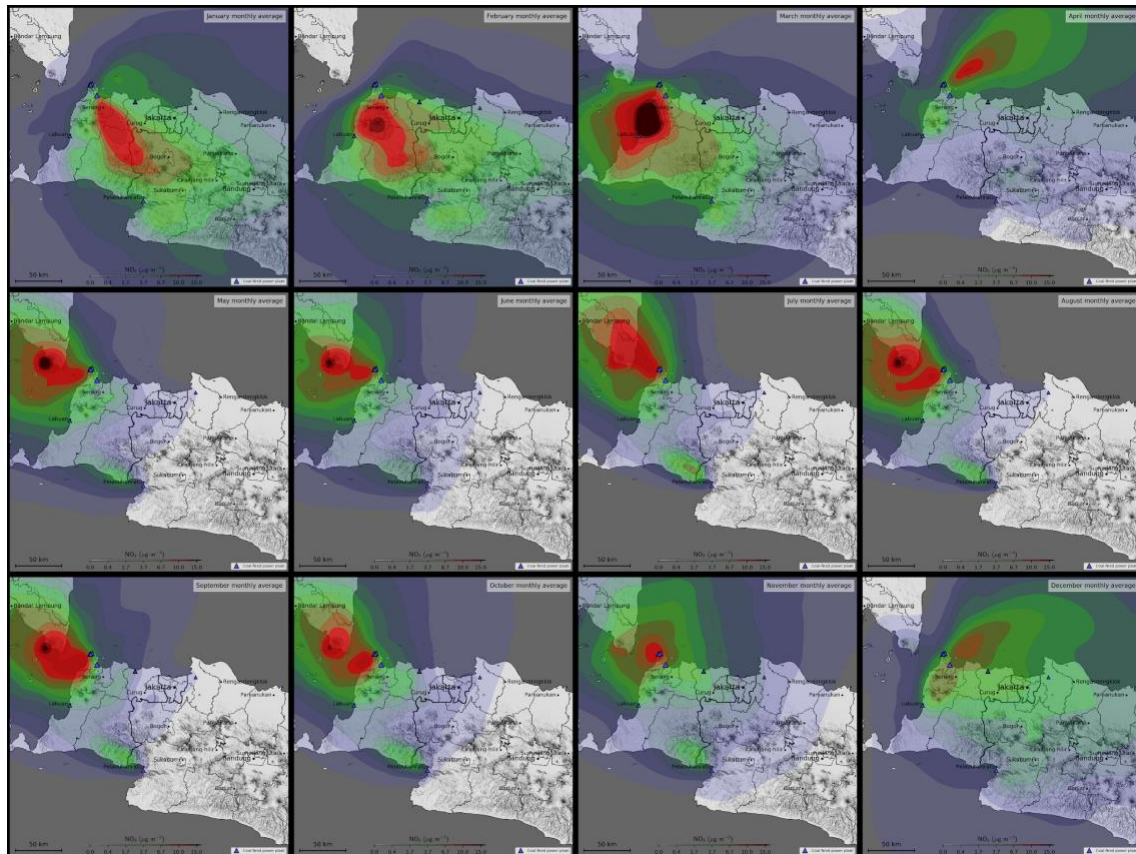
dalam radius 100 km dari Jakarta berdampak signifikan pada kualitas udara Jakarta. Gambar 7 menunjukkan contoh-contoh penyebaran pencemaran terburuk di Jakarta, ketika massa udara tiba di kota dari zona industri Suralaya, di mana lima PLTU Batubara besar berada. Konsentrasi pencemar PM_{2.5} (*paling kanan pada Gambar 7*) yang disebabkan oleh pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara, dalam hal ini, lebih tinggi di DKI Jakarta daripada di Banten. Hal ini sebagian disebabkan oleh transformasi banyak emisi SO₂ dan NO_x dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di Banten - di mana kedua pencemar tersebut paling terkonsentrasi (*gambar tengah dan paling kiri pada Gambar 7*) - menjadi PM_{2.5} sekunder ke arah angin berhembus dan lebih dekat ke Jakarta.

Gambar 7: Konsentrasi NO₂, SO₂ dan PM_{2.5} di Jakarta di “hari terburuk” pencemaran

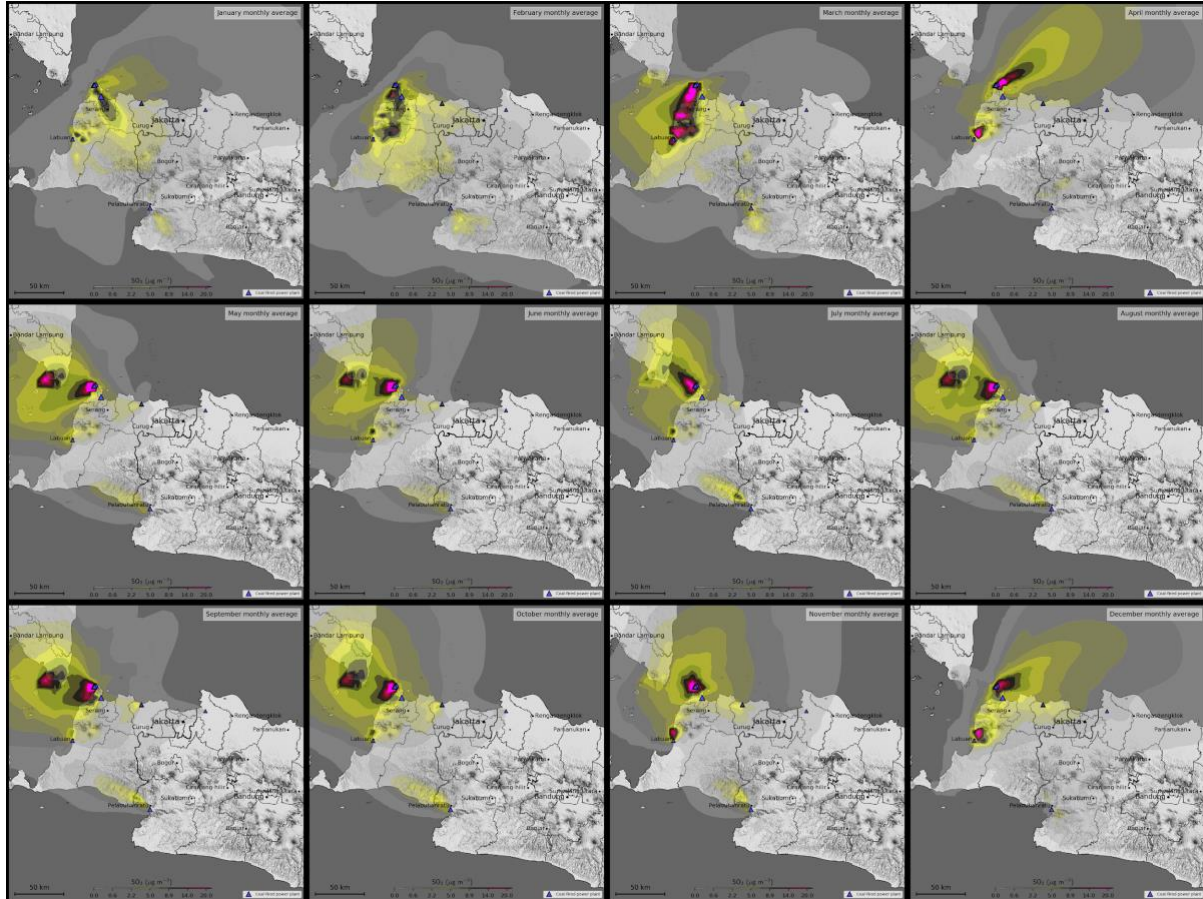


Kami juga menggunakan TAPM/CALPUFF untuk memodelkan emisi tiga pencemar dari enam pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara dalam radius 100 km dari Jakarta setiap bulannya untuk menunjukkan perbedaan dalam penyebaran dan konsentrasi pencemar (Gambar 8-10). Konsentrasi pencemaran di wilayah paling utara Banten, di mana pabrik Suralaya berada, tetap tinggi secara konsisten, dan berkontribusi terhadap pencemaran udara di Jakarta di semua bulan, dengan dampak tertinggi dari Desember hingga April.

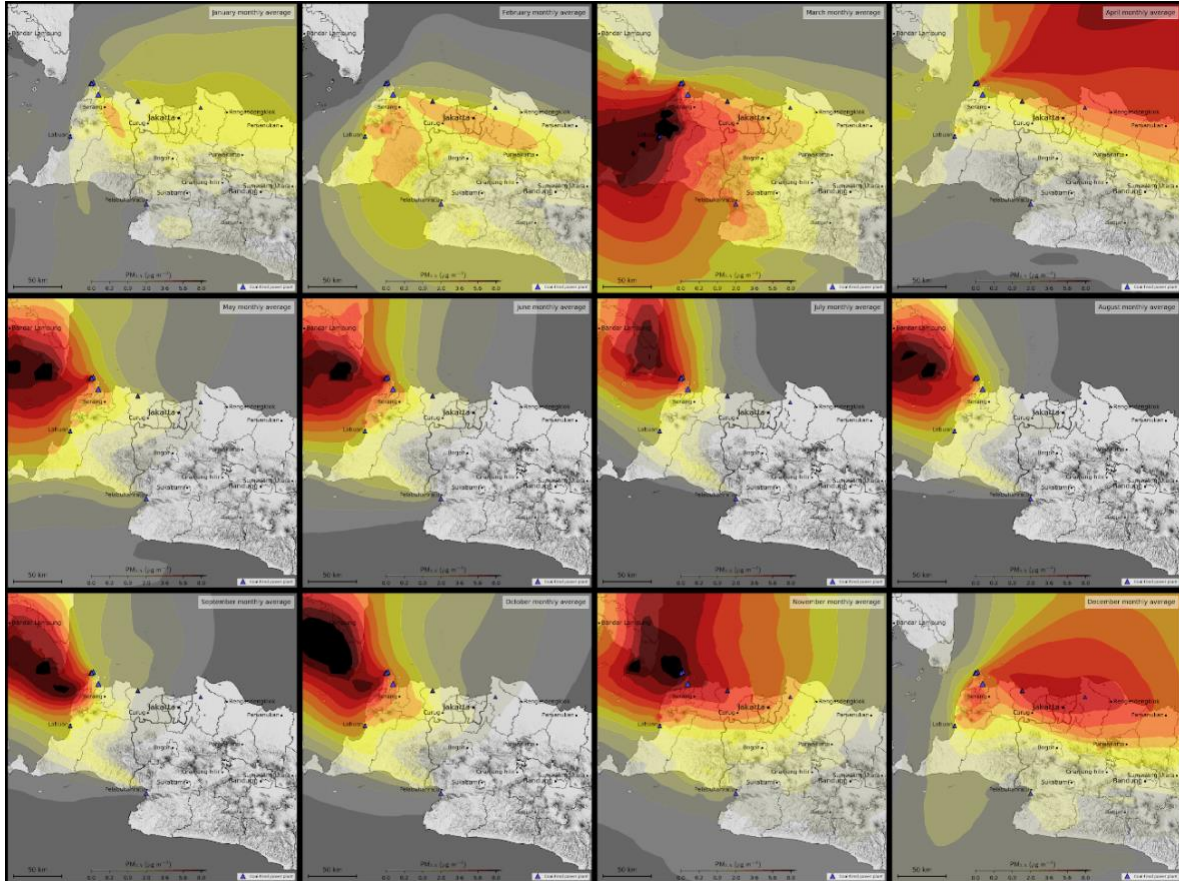
Gambar 8: Rata-rata bulanan konsentrasi NO₂ dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara



Gambar 9: Rata-rata Bulanan konsentrasi SO₂ dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara



Gambar 10: Rata-rata bulanan konsentrasi PM_{2.5} dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara



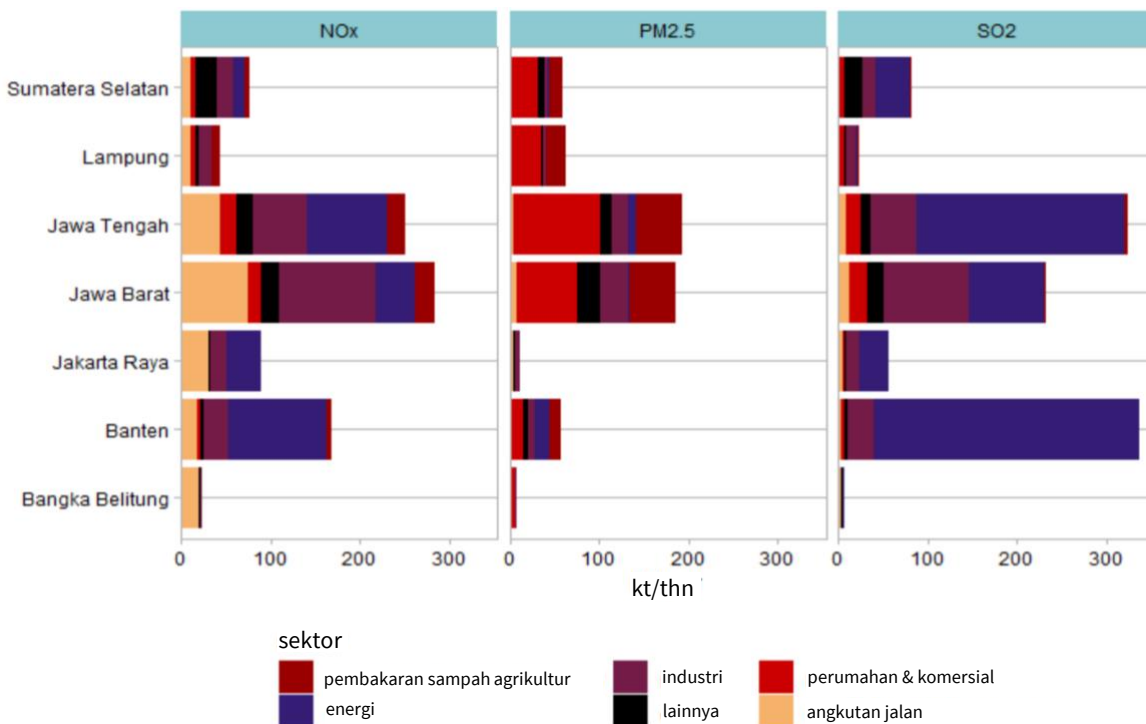
Sumber emisi di daerah yang memengaruhi kualitas udara Jakarta

Gambar-gambar di atas menunjukkan dengan jelas bahwa "ruang udara" Jakarta - daerah di mana udara sering dibatasi atau disalurkan, dan dengan demikian area di mana emisi memengaruhi kualitas udara Jakarta - luasnya jauh melampaui batas administratifnya termasuk Banten, Jawa Barat, Sumatera Selatan, Lampung, dan Jawa Tengah. Karena kedekatannya, Kabupaten Serang, Kabupaten Tangerang, Kota Cilegon dan Kota Tangerang di Banten, serta Kota Depok, Kabupaten Bekasi dan Kabupaten Karawang di Jawa Barat termasuk dalam ruang udara dan acap kali berkontribusi terhadap pencemaran lintas batas ke Jakarta. Banyak kabupaten lain yang terletak lebih dari 100 km dari batas administrasi Jakarta juga merupakan bagian dari ruang udara (*Gambar 8-10*), tetapi kontribusi mereka terhadap pencemaran lintas batas belum dianalisis secara rinci.

Ini sejalan dengan pengalaman di negara dan kota lain. Misalnya, di New Delhi, India, upaya perbaikan kualitas udara menargetkan "Wilayah Ibu Kota Nasional" yang membentang 300 km di luar kota, sedangkan untuk Beijing dan Shanghai di Cina, "Kawasan Kendali Utama Nasional" menunjuk wilayah di sekitar kedua kota ini dengan radius hingga 500 km jauhnya.

Analisis emisi di Jawa, berdasarkan inventarisasi emisi EDGAR 5.0 untuk 2015, yang disiapkan oleh Komite Penelitian Gabungan Uni Eropa, menunjukkan bahwa Jawa Tengah, Jawa Barat, dan Banten masing-masing memiliki emisi pencemar udara yang jauh lebih tinggi daripada wilayah Jabodetabek ([metodologi di Lampiran](#)). Dalam hal sektor emisi, energi (pembangkit listrik), industri, angkutan jalan, pertanian dan penggunaan bahan bakar perumahan adalah sumber pencemaran yang penting. Inventarisasi emisi menurut provinsi dan sektor pada *Gambar 11* menunjukkan bahwa provinsi Jawa Barat, Banten, dan Jawa Tengah memiliki emisi tertinggi di antara provinsi-provinsi yang ada di dalam ruang udara Jakarta; lebih tinggi dari Jakarta itu sendiri. Sejauh mana masing-masing provinsi berkontribusi terhadap pencemaran udara lintas batas di Jakarta belum dianalisis

Gambar 11: Emisi pencemar udara di sekitar Jakarta berdasarkan provinsi (2015)

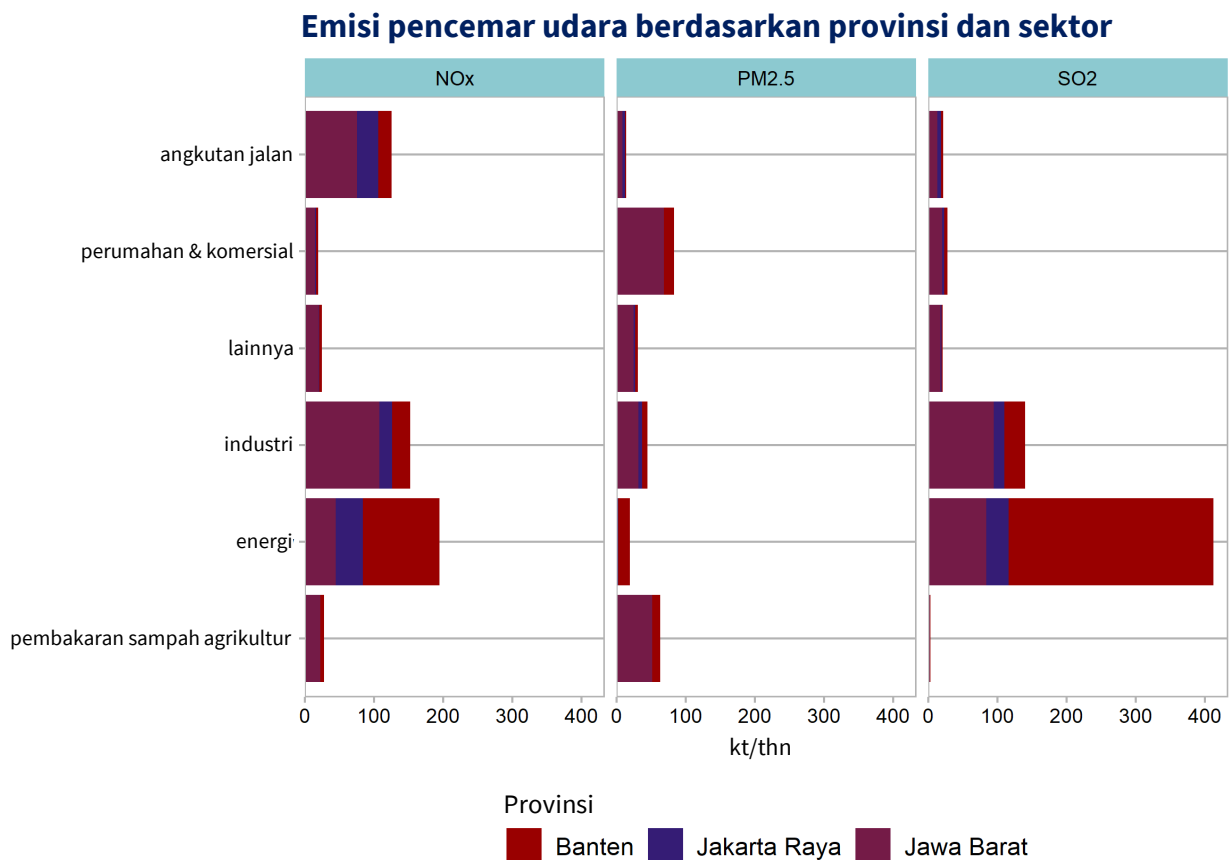


Analisis CREA terhadap data EDGAR v5.0

Gambar 12 adalah inventarisasi emisi gabungan Jakarta, Jawa Barat dan Banten yang menunjukkan jumlah pencemar dari masing-masing sektor. Emisi SO₂ dan NO_x dari sektor energi dan industri adalah yang tertinggi, sedangkan PM 2.5 primer lebih banyak dihasilkan dari pembakaran pertanian dan sektor perumahan dan komersial. Penting untuk dicatat bahwa inventarisasi emisi ini tidak menghitung seberapa besar jumlah SO₂ dan NO_x di atmosfer yang

berubah menjadi PM2.5 "sekunder" dan ozon. Meski sumber-sumber industri dan energi dari PM2.5 primer kecil, sejumlah besar PM2.5 sekunder dapat sangat signifikan, terutama karena lintasan angin membawa mereka dari satu provinsi ke provinsi lain, seperti yang ditunjukkan pada bagian di atas. Karenanya, penting untuk mengatasi semua sumber pencemaran yang dapat berdampak pada Jakarta, terutama dari sumber industri dan energi di Banten dan Jawa Barat.

Gambar 12: Emisi pencemar udara berdasarkan sektor di Jakarta, Jawa Barat, dan Banten (2015)



Analisis CREA terhadap data EDGAR v5.0

Walau data EDGAR dapat menunjukkan bagaimana tingkat emisi tiap sektor dan provinsi berkontribusi ke sirkulasi udara regional, namun dia bukan pengganti data emisi lokal yang dapat memberi informasi sumber polusi yang lebih spesifik dalam area geografis yang lebih kecil. Inventarisasi data emisi yang dibuat pada tingkat kota di ketiga provinsi tersebut harus menjadi bagian dari perencanaan manajemen kualitas udara.

Perkiraan risiko pencemaran udara tanpa peraturan tentang emisi

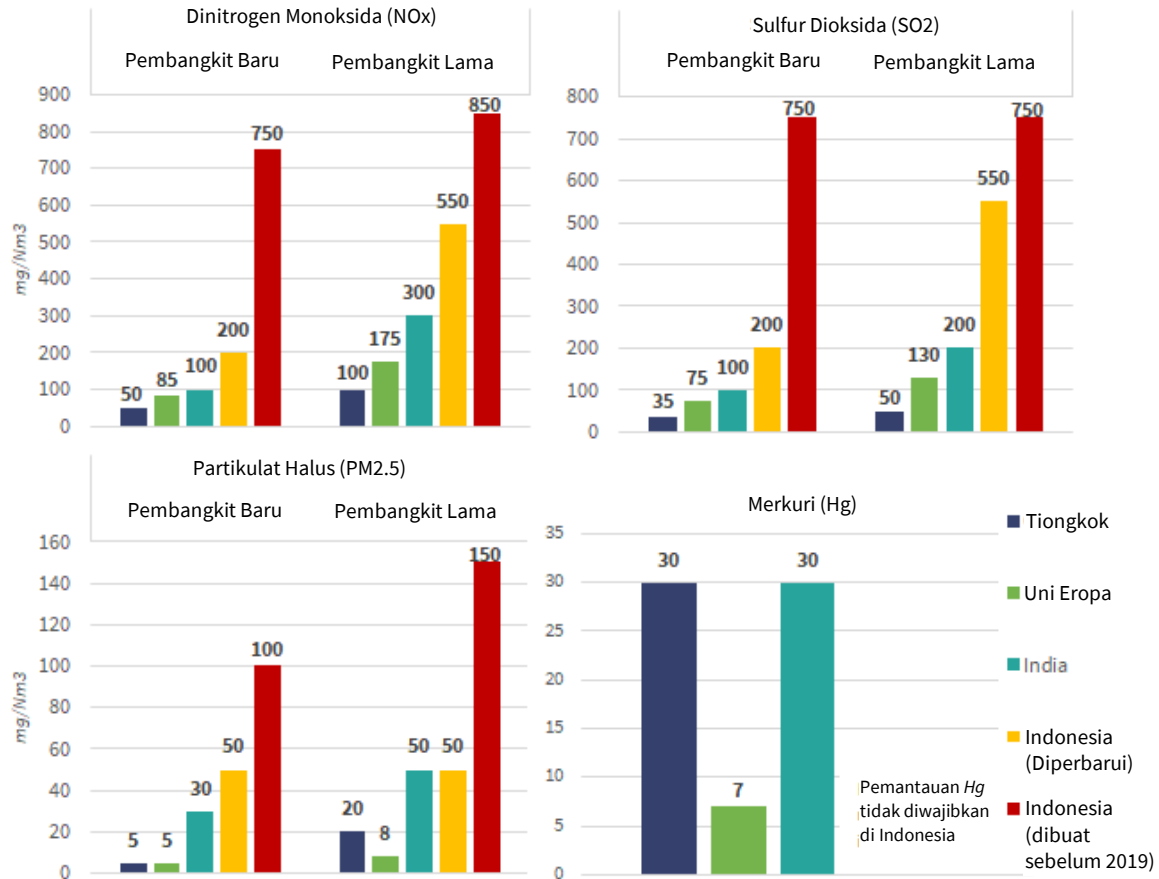
Menurut Dewan Energi Nasional Indonesia, Indonesia memproyeksikan tingkat pertumbuhan permintaan energi nasional tahunan rata-rata 5% dalam skenario usaha seperti biasa, di mana permintaan pada tahun 2050 hampir empat kali lipat dari tahun 2019 (Indonesia Energy Outlook, 2019). Meskipun ada rencana untuk meningkatkan energi terbarukan, peningkatan pasokan dan konsumsi bahan bakar fosil niscaya terjadi untuk memenuhi permintaan yang diproyeksikan di sektor energi, transportasi, industri, dan komersial. Kecuali jika baku mutu dan kebijakan yang lebih kuat diperkenalkan dan diberlakukan, kualitas udara yang sudah tidak sehat akan terus memburuk.

Terdapat kapasitas sebesar 7600 megawatt (MW) dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara yang beroperasi dalam radius 100 km dari perbatasan administratif Jakarta, dan masih ada kapasitas sebesar 6000 MW yang sedang dikembangkan. Ini melebihi setiap ruang udara pada ibukota negara lainnya di dunia, dan saat ini merupakan sumber emisi stasioner tertinggi (*Gambar 13*). Selain itu, baku mutu emisi pencemar udara yang diterapkan pada pembangkit ini sangat lemah, memungkinkan pencemaran udara 10-20 kali lebih banyak daripada baku mutu yang direkomendasikan (mis. di Cina, Uni Eropa, Jepang atau Korea Selatan). Lebih dari setengah kapasitas saat ini yang berada dalam radius 100 km dari Jakarta terletak di kompleks pembangkit listrik Banten Suralaya, kompleks industri yang paling tercemar di seluruh Asia Tenggara berdasarkan pengukuran satelit (NASA [2020](#)).

Baku Mutu untuk pembangkit listrik termal

Pada tahun 2019, KLHK menetapkan baku mutu emisi baru yang secara substansial memperkuat batas untuk pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara “baru”, tetapi kementerian telah menyatakan bahwa batas pabrik baru ini tidak akan diterapkan pada proyek-proyek baru yang muncul di sekitar Jakarta karena mereka sudah memiliki perjanjian pembelian daya atau izin. Selain itu, pabrik lama dapat menghasilkan tingkat NO_x dan SO₂ hingga 550 miligram per meter kubik (mg/Nm³) - yang secara signifikan lebih tinggi dari baku mutu kebanyakan negara konsumen batu bara utama lainnya, dan tidak cukup membatasi untuk mendorong pabrik tersebut untuk menambah teknologi baru dengan pengendalian pencemaran yang efektif. Ekspansi besar yang direncanakan untuk pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara, dikombinasikan dengan kegagalan untuk mensyaratkan kepatuhan pada batas emisi pabrik baru, merupakan ancaman nyata terhadap kualitas udara Jakarta.

Gambar 13: Perbandingan baku mutu emisi Indonesia untuk pembangkit listrik termal yang beroperasi dan baru dengan Tiongkok, India, dan Uni Eropa



Biaya Ekonomi & Kesehatan pencemaran udara dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di Jakarta

Sektor energi adalah sumber terbesar emisi pencemar SO₂ dan NO_x di provinsi-provinsi di sekitar Jakarta - meskipun bukan satu-satunya sumber (*Gambar 11 dan 12 di atas*). Untuk menggambarkan pentingnya pencemaran lintas batas, kami menyajikan analisis lebih lanjut tentang dampak kesehatan dan ekonomi dari sektor ini.

Pencemaran udara berbahaya dari pembangkit listrik di Banten dan Jawa Barat diperburuk oleh baku mutu emisi yang lemah, yang sangat berdampak pada kesehatan warga Jakarta dan ekonomi kota. Pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara membuat orang terpapar partikel beracun (beberapa berukuran mikroskopis seperti PM_{2.5}), ozon (dari NO_x) dan logam berat seperti merkuri. Selain dampak langsung pada kesehatan manusia, paparan partikel tersebut secara tidak langsung berdampak pada sistem perawatan kesehatan, produktivitas

ekonomi, dan kesejahteraan sosial. Dengan pandemi COVID-19, tekanan tersebut pada sistem negara hanya akan memburuk. Kajian baru menunjukkan hubungan antara paparan jangka panjang terhadap kualitas udara yang buruk dengan kerentanan terhadap virus (CREA, 2020; Harvard, 2020).

CREA memodelkan dampak kesehatan dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di sekitar Jakarta, menggunakan metodologi dalam kajian Harvard “[Persoalan Penyakit Akibat Meningkatnya Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Batu Bara di Asia Tenggara](#)”, diperbarui dengan situasi saat ini dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara yang beroperasi (Model ini tidak mencakup PLTU Jawa 7 Unit 1, yang mulai beroperasi pada bulan Desember 2019. Lihat [Lampiran](#) untuk daftar pabrik yang dicakup). Pemodelan kualitas udara dilakukan dengan sistem pemodelan CALMET-CALPUFF yang memungkinkan resolusi lokal yang lebih tinggi daripada kajian awal. Kami menemukan bahwa pencemaran udara lintas batas dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara sendiri bertanggung jawab atas 2500 kematian terkait pencemaran udara di Jabodetabek setiap tahun. Pencemaran lintas batas ini juga bertanggung jawab atas dampak negatif kesehatan lainnya, termasuk kasus asma baru, kunjungan darurat asma, kelahiran dini, peningkatan prevalensi kecacatan terkait stroke, penyakit pernapasan dan diabetes, serta peningkatan jumlah cuti sakit.

Tabel 1: Perkiraan dampak kesehatan pencemaran udara lintas batas dari operasi pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di Jabodetabek (*tidak termasuk PLTU Jawa-7*), menggunakan baku mutu tahun 2019.

Dampak kesehatan		Beroperasi (MW)	Interval kepercayaan 95%
Kematian akibat PM2.5	Infeksi saluran pernapasan bawah (bayi)	40	(10-90)
	Kanker paru-paru	60	(20-90)
	Penyakit kardiovaskular lainnya	170	(100-230)
	Penyakit jantung iskemik	480	(310-650)
	Stroke	550	(340-760)

	Penyakit pernapasan lainnya	60	(40-80)
	Penyakit paru obstruktif kronis	80	(50-110)
	Total PM2.5	1430	(870-2020)
Kematian akibat NO2	Semua penyebab	1020	(590-2180)
Total kematian dini		2450	(1260-3470)

Biaya ekonomi dari dampak kesehatan ini di Jabodetabek dinilai menggunakan metodologi laporan CREA “[Mengkuantifikasi Biaya Ekonomi Pencemaran Udara dari Bahan Bakar Fosil](#)”. Saat ini, pencemaran lintas batas dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara menghasilkan perkiraan biaya tahunan sebesar Rp 5,1 triliun di Jabodetabek. Angka ini sekarang setara dengan Rp 180.000 per orang per tahun di Jakarta.

Tabel 2: Perkiraan biaya ekonomi dari pencemaran udara lintas batas dari pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara di Jabodetabek (tidak termasuk PLTU Jawa-7), menggunakan baku mutu emisi tahun 2019.

Hasil	Jumlah kasus	Biaya (Rp. milyar)
kunjungan ruang gawat darurat asma	1.772 (1.180 – 2.427)	1,6 (1 – 2,1)
kasus asma baru pada anak-anak	3.180 (1.485 – 4.013)	51 (24 - 65)
kelahiran dini	718 (416 - 746)	264 (153 - 275)
absen kerja (hari cuti sakit, juta)	0,65 (0,56 – 0,73)	191 (166 - 215)
tahun hidup dengan disabilitas	9.616 (7.678 – 11.275)	1,040 (830 - 1219)

tahun hidup yang hilang	24.953 (18.432 – 34.855)	3.528 (2.606 – 4.927)
total biaya ekonomi		5.076 (3.781 – 6.703)

Rekomendasi

Pencemaran udara adalah masalah yang bisa dikelola. Memprioritaskan langkah-langkah yang diperlukan untuk melindungi hak warga negara Indonesia atas udara bersih akan memerlukan kebijakan yang tepat untuk mengatur dan memantau kualitas udara ambien dan pencemaran dari sumber utama. Kebijakan-kebijakan ini harus disertai dengan mekanisme penegakan hukum untuk meminta pertanggungjawaban pencemar besar sambil melindungi lingkungan dan warga Indonesia. Berbagai upaya telah dilakukan untuk membuat rencana energi nasional, yang harus didukung oleh reformasi sistem pengelolaan kualitas udara negara tersebut. Ini harus mencakup:

- **Merevisi Baku Mutu Udara Ambien Nasional untuk memenuhi pedoman WHO tentang kualitas udara yang sehat.** Dibutuhkan target yang terikat waktu untuk mengurangi pencemar seperti PM, NO_x, dan SO₂ di tingkat nasional dan provinsi.
 - Untuk memastikan keakuratan informasi tentang kualitas udara dan kepatuhan terhadap baku mutu lingkungan, pemerintah juga harus meningkatkan jaringan pemantauan baik di Jakarta maupun di semua kota besar. Stasiun pemantauan harus mengukur emisi dengan waktu nyata, dan data dari stasiun ini harus siap tersedia untuk umum. Data juga harus dilaporkan secara elektronik di berbagai tingkat pemerintahan (mis. kota, provinsi, dan pusat) untuk mencegah manipulasi data.
- **Menegakkan baku mutu emisi tahun 2019 yang diperbarui pada semua pembangkit listrik termal yang direncanakan (Gambar 13), termasuk yang saat ini sedang dibangun untuk memastikan bahwa pembangkit bisa menambah teknologi baru guna menyesuaikan dengan baku mutu emisi yang lebih ketat dan aman.**
 - Untuk memastikan kepatuhan, fasilitas tersebut juga harus bertanggung jawab untuk memasang sistem pemantau emisi terus-menerus (CEMS) untuk semua pencemar utama (mis. PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, NO_x, ozon dan karbon monoksida). Ini juga akan memungkinkan pembuat aturan dan badan pengawas untuk melacak apakah baku mutu ini cukup untuk memitigasi emisi.
- **Memperbarui baku mutu emisi untuk industri pencemaran lainnya berdasarkan pada “Teknologi Terbaik yang Tersedia” khusus industri untuk meminimalkan dampak lingkungan dan kesehatannya.** Jakarta telah memiliki pengendalian yang lebih ketat pada sumber pencemaran udara, tetapi seperti yang ditunjukkan oleh analisis ini, emisi dari sumber di luar kota sangat memengaruhi kualitas udara Jakarta dan kesehatan masyarakat. Bekerja dengan daerah-daerah tetangga dan pemerintah nasional untuk memantau dan mengurangi pencemaran di luar batas administrasi kota akan memastikan bahwa upaya di

satu kota tidak dirusak oleh kurangnya pengurangan pencemaran yang efektif di tempat lain.

- Semua pembangkit listrik dan fasilitas industri pada ruang udara Jakarta yang melintasi beberapa provinsi berkontribusi terhadap pencemaran di Jakarta. Mengingat jangkauan lintas provinsi dari sumber emisi stasioner di daerah barat Jawa, provinsi Jakarta, Banten, dan Jawa Barat harus berkolaborasi dalam menetapkan target pengendalian emisi. Ini dapat dimulai dengan analisis inventarisasi emisi dasar untuk menganalisis pencemaran udara kumulatif dari berbagai sumber di seluruh kawasan.

Referensi

- Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Dentener, F., van Aardenne, J. A., Monni, S., Doering, U., Olivier, J. G. J., Pagliari, V., dan Janssens-Maenhout, G. 2018. Emisi pencemar udara dalam jaringan untuk periode 1970–2012 dalam EDGAR v4.3.2, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, 1987–2013, <https://doi.org/10.5194/essd-10-1987-2018>
- Greenstone, M. & Fan, Q. 2019. Kualitas Udara Indonesia Yang Memburuk dan Dampaknya terhadap Harapan Hidup. Indeks Kehidupan Kualitas Udara, Laporan Maret 2019. <https://aqli.epic.uchicago.edu/wp-content/uploads/2019/03/Indonesia-Report.pdf>
- Hamonangan, E., Kondo, A., Kaga, A., Inoue, Y., Soda, S. & Yamaguchi, K. 2002. Simulasi dan Pemantauan Sulfur Dioksida Nitrogen Oksida di Wilayah Metropolitan Jakarta. *Asian J. Energy Environ.* 2002, 3 (3-4): 159-183. <http://www.thaiscience.info/journals/Article/AJEE/10262377.pdf>
- Haryanto, B., Dampak Perubahan Iklim terhadap Kualitas Udara di Lanskap Kota, Pusat Penelitian untuk Perubahan Iklim, Universitas Indonesia, presentasi di Marrakesh COP22. 2016. <https://apruglobalhealth.org/wp-content/uploads/2017/01/Dr.-Budi-Haryanto-Impact-of-Climate-Change-on-Air-Quality-in-the-Urban-Landscape.pdf>
- Kopplitz, S.N., Jacob, D.J., Sulprizio, M.P., Myllyvirta, L. & Reid, C. 2017. Persoalan Penyakit akibat Meningkatnya Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Berbahan Bakar Batubara di Asia Tenggara. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51 (3): 1467–1476. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b03731>
- Lestari, P., Damayanti, S. & Arrohman, M.K. 2020. Inventarisasi Emisi Pencemar (CO, SO₂, PM_{2.5} dan NO_x) Di Jakarta Indonesia. *Seri Konferensi IOP: Ilmu Bumi dan Lingkungan*, 489, 012014. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/489/1/012014>
- Lowy Institute 2019. Kualitas udara Jakarta membunuh penduduknya - dan semakin buruk. Penerjemah, Kate Walton. <https://www.lowyinstitute.org/the-interpreter/jakarta-s-air-quality-kills-its-residents-and-it-s-getting-worse>
- OECD 2019. Upaya Indonesia untuk menghapus dan merasionalisasi subsidi bahan bakar fosilnya. Ulasan Sejawat G20. Disiapkan oleh anggota tim ulasan sejawat: Cina, Jerman, Italia, Meksiko, Selandia Baru, Bank Dunia, IEA, IISD-GSI, GIZ Indonesia dan OECD (Ketua ulasan sejawat). April 2019. https://www.oecd.org/fossil-fuels/publication/G20%20peer%20review%20Indonesia_Final-v2.pdf
- SEPA. Kimia pencemaran udara. Badan Perlindungan Lingkungan Skotlandia. https://www.sepa.org.uk/media/120465/mtc_chem_of_air_pollution.pdf

Sofyan, A., Kitada, T. & Kurata, G. 2008. Kajian numerik dinamika NO_x dan SO_x di bawah angin darat/laut di musim kemarau di Jakarta, Indonesia. Jurnal Teknik Lingkungan Global, 13: 69-96, March 2008.

Suarez, I. & Myllyvirta, L. 2020. Karantina wilayah karena COVID19 di seluruh Asia Tenggara meningkatkan kualitas udara - tetapi tidak di semua tempat. Centre for Research on Energy and Clean Air. <https://energyandcleanair.org/covid19-lockdowns-across-southeast-asia/>

Sullivan, T.M., Adams, J., Milian, L., Subramaniam, S., Feagin, L., Williams, J., Boyd, A., 2006. Dampak lokal dari emisi merkuri dari pembangkit listrik tenaga batubara Monticello. Departemen Ilmu Lingkungan, Divisi Penelitian & Teknologi Lingkungan, Laboratorium Nasional Brookhaven 2006; BNL-774752007-IR. www.bnl.gov/isd/documents/33077.pdf

UN Environment 2019. Penilaian Merkuri Global 2018. Program Lingkungan PBB, Bahan Kimia dan Kesehatan, Cabang Jenewa, Swiss. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/27579/GMA2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

US EPA 2016. Informasi Dasar tentang NO₂. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat. <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>

US EPA 2019. Dasar-Dasar Sulfur Dioksida. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what%20is%20so2>

WHO 2016. Penilaian risiko kesehatan terhadap pencemaran udara - Prinsip Umum. Organisasi Kesehatan Dunia Kopenhagen: Kantor Regional WHO untuk Eropa, 2016. https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/298482/Health-risk-assessment-air-pollution-General-principles-en.pdf

World Bank 1997. Strategi Pengelolaan Kualitas Udara Perkotaan di Asia. Laporan Jakarta, Makalah Teknis Bank Dunia No. 379. <https://elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/0-8213-4035-2>

Xiao Wu, Rachel C. Nethery, M. Benjamin Sabath, Danielle Braun, Francesca Dominici. 2020. Departemen Biostatistik, Sekolah Kesehatan Masyarakat Harvard T.H. Chan. Boston, MA, 02115, USA

Lampiran

Data untuk pemodelan CFPPs

Tabel A1: Pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batubara dalam radius 100 km dari Jakarta Pusat yang beroperasi dan direncanakan

Pembangkit Listrik	Garis Lintang	Garis Bujur	Jumlah Unit	Kapasitas	Status
PLTU Suralaya	-5.89274	106.0308	8	4025	Beroperasi
PLTU Labuan Unit 1-2	-6.39212	105.8285	2	600	Beroperasi
PLTU Lontar Unit 1-3	-6.05941	106.4619	3	945	Beroperasi
PLTU Babelan Unit 1-2	-6.11607	107.052	2	280	Beroperasi
PLTU Banten Unit 1	-5.88297	106.0459	1	670	Beroperasi
PLTU Pelabuhan Ratu	-7.0242	106.5464	3	1050	Beroperasi
PLTU Jawa 7 Unit 1	-5.99691	106.0917	1	1000	Beroperasi (namun tidak termasuk dalam pemodelan CREA)
PLTU Jawa 7 Unit 2	-5.99691	106.0917	1	1000	Pembangunan
PLTU Lontar Expansion	-6.05941	106.4619	1	315	Pembangunan
PLTU Jawa 9	-5.89384	106.0227	-	1000	Pembiayaan
PLTU Jawa 10	-5.89384	106.0227	-	1000	Pembiayaan
PLTU Banten Unit 2	-5.88297	106.0459	-	660	Direncanakan

PLTU Jawa 5	-5.89274	106.0308	-	1000	Direncanakan
--------------------	----------	----------	---	------	--------------

Tabel A2: Estimasi emisi polutan udara dari pembangkit listrik yang beroperasi (Input Pemodelan CALPUFF)

Pembangkit Listrik	Efisiensi Termal	Flue Gas Concentration (mg/Nm ³)	Emisi Tahunan (Ton)					
			SO ₂	NO _x	PM	PM ₁₀	PM _{2.5}	Hg (kg)
PLTU Suralaya - Banten 1-4	Subcritical pulverized combustion (34% efficiency)	SO ₂ : 550 NO _x : 550 Dust: 100	18,806	18,806	3,419	2,308	1,026	90
PLTU Suralaya - Banten 5-7			21,157	21,157	3,847	2,596	1,154	101
PLTU Suralaya - Banten 8	Subcritical (37%)		8,016	8,016	1,457	984	437	38
PLTU Labuan Unit 1-2	Sub-critical circulating fluidized (37%)		7,695	7,695	1,399	944	420	37
PLTU Lontar Unit 1-3	Subcritical (38%)		11,801	11,801	2,146	1,448	644	56
PLTU Babelan Unit 1-2	Subcritical (38%)		3,497	3,497	636	429	191	17
PLTU Banten Unit 1 (Lestari Banten Energi)	Supercritical (38%)		8,367	8,367	1,521	1,027	456	40
PLTU Pelabuhan Ratu	Subcritical (38%)		13,113	13,113	2,384	1,609	715	63

Tabel A3: Data Dasar Pembangkit Listrik (Input Pemodelan CALPUFF)

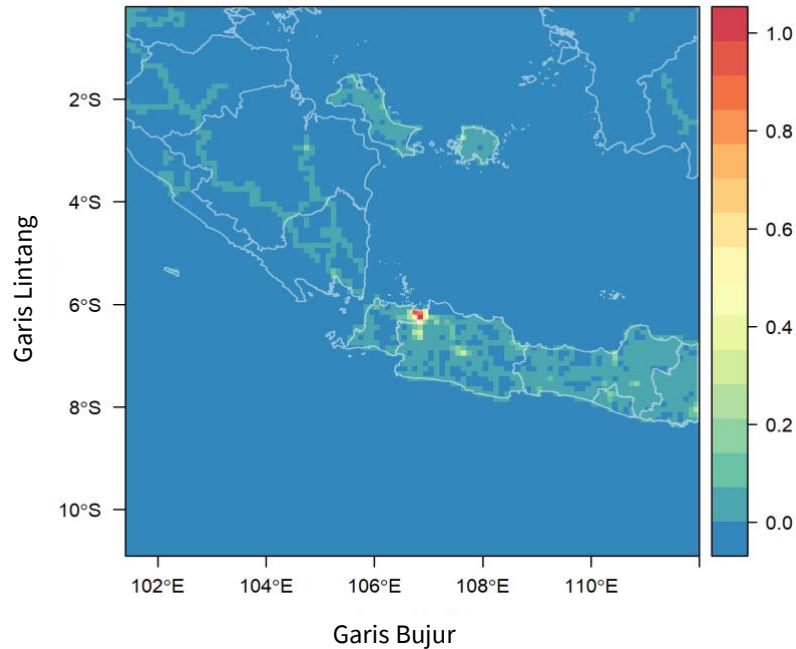
Pembangkit Listrik	Stack Height (m)	Stack Inner Diameter (m)	Flue Gas Velocity (m/s)	Flue Gas Temperature (C)
PLTU Suralaya - Banten 1-4	200	5.5	21.5	72
PLTU Suralaya - Banten 5-7	275	6.5	-	-
PLTU Suralaya - Banten 8	275	-	-	-

PLTU Labuan Unit 1-2	215	7.5	-	94.85
PLTU Lontar Unit 1-3	127	4.6	25	131
PLTU Babelan Unit 1-2	235	6.3	17.4	90
PLTU Banten Unit 1 (Lestari Banten Energi)	235	6.3	17.4	90
PLTU Pelabuhan Ratu	235	6.3	17.4	90

Metodologi EDGAR 5.0

Basis Data Emisi untuk Penelitian Atmosfer Global (EDGAR v5), yang digunakan untuk menghasilkan temuan tentang sumber emisi di ruang udara Jakarta, memberikan data tentang masa lalu dan masa kini (1970-2015) emisi antropogenik dari pencemar udara oleh negara dan sektor pada jaringan spasial 0,1 derajat per 0,1 derajat. Inventarisasi emisi yang ditemukan pada Gambar 11 dan 12 menampilkan emisi - bukan konsentrasi ambien - untuk tiga pencemar utama yang tersedia dengan EDGAR. Emisi ini dihitung menggunakan pendekatan faktor emisi berbasis teknologi, lalu diperiksa untuk langkah-langkah pengurangan emisi dan pengendalian kualitas. Ini diterapkan secara konsisten di semua negara setiap tahun. Selain itu, EDGAR menggunakan pusat data geografis yang dibangun menggunakan proksi spasial untuk memetakan lokasi energi dan fasilitas manufaktur, jaringan jalan, rute pengiriman, kepadatan populasi manusia dan hewan, dan penggunaan lahan pertanian, yang dapat bervariasi dan berubah secara signifikan dari waktu ke waktu. Ini memberi kami kemampuan untuk mengumpulkan perkiraan emisi hingga ke tingkat kota, dan dipilah berdasarkan pencemar dan sektor. Dalam menggabungkan emisi Banten, Jawa Barat, dan DKI Jakarta pada Gambar 12, kami dapat lebih memahami bagaimana fasilitas yang berada di luar radius 100 km yang menjadi fokus kajian ini menghasilkan emisi, dan karenanya menjadi faktor yang memengaruhi ruang udara Jakarta dan pencemaran udara Jakarta secara keseluruhan.

Contoh data emisi EDGAR: jalur perjalanan emisi
Jalur Perjalanan Emisi PM_{2.5} di EDGAR (kt/thn)



Rata-rata konsentrasi PM_{2.5} harian di Jakarta, Indonesia dalam 30 hari berjalan

Unit: $\mu\text{g}/\text{m}^3$

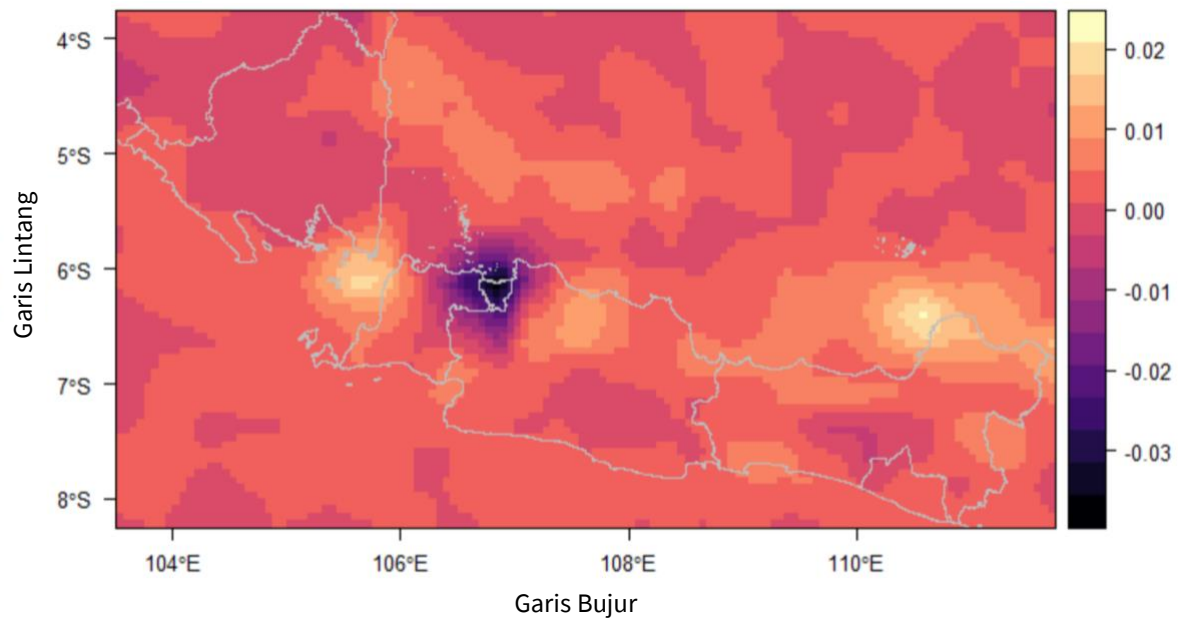


SUMBER: Analisis CREA dari stasiun pemantau Kedutaan Besar AS di Jakarta, diakses melalui OpenAQ

Perubahan tingkat NO₂ selama dekade terakhir

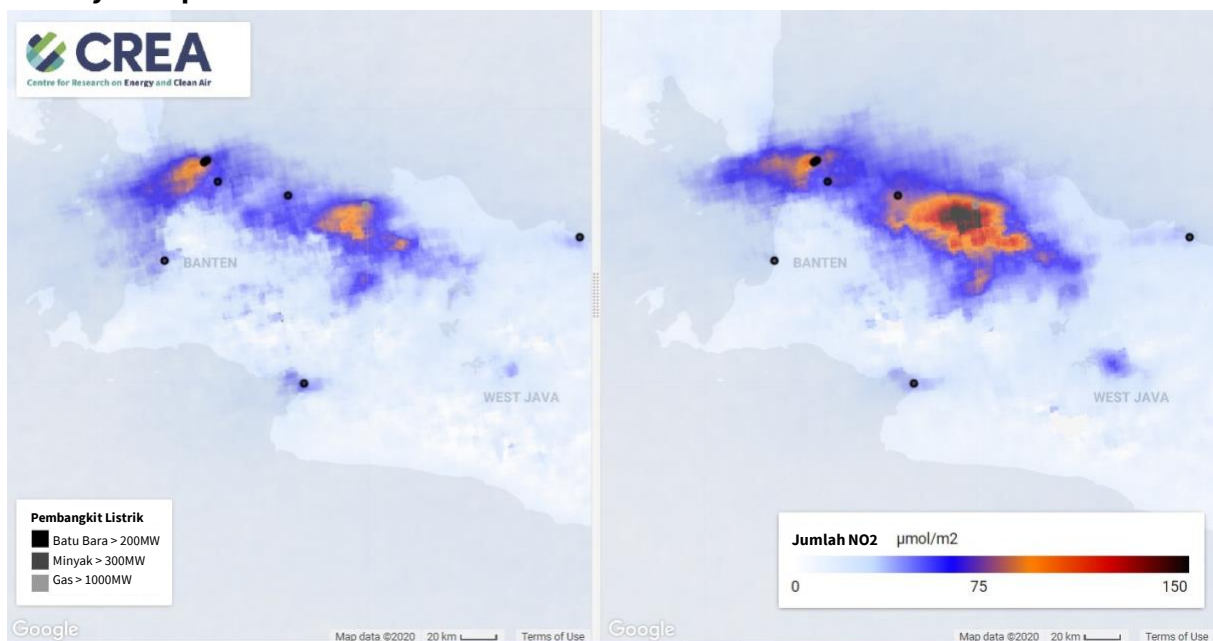
Unit: Dobson Unit (DU)

Perubahan tingkat NO₂ tahun 2008-09 sampai 2018-19



SUMBER: Analisis CREA terhadap [Data Harian NASA OMI](#)

NO₂ atmosferik sejak 12 Maret hingga 4 Juni 2020 (kiri) vs 2019 (kanan) selama WFH dan PSBB COVID-19 menunjukkan penurunan NO₂ di Jakarta, Banten, dan Jawa Barat sementara NO₂ di Suralaya tetap sama



Sumber: Analisis CREA dari data satelit TROPOMI Sentinel-5P