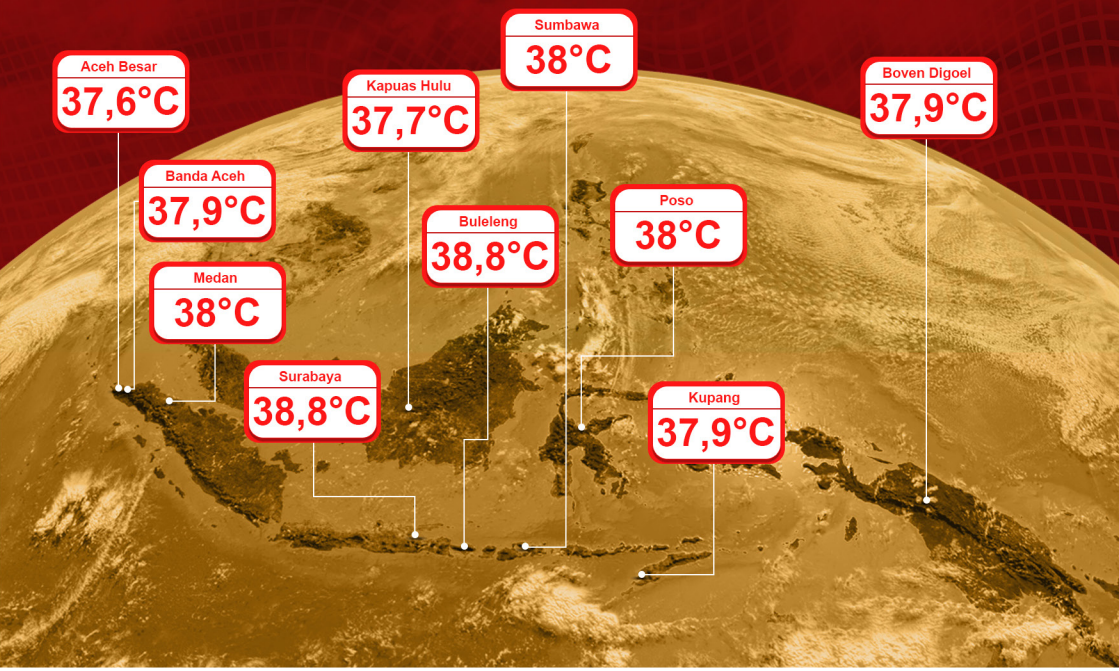
BMKG

2024

CATATAN IKLIM DAN KUALITAS UDARA INDONESIA



CATATAN IKLIM DAN KUALITAS UDARA INDONESIA 2024

DEPUTI BIDANG KLIMATOLOGI
BADAN METEOROLOGI, KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA
JAKARTA

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI iv
RINGKASAN EKSEKUTIF vi
KATA PENGANTAR viii
LAMPIRAN x
GLOSARIUM xix
SINGKATAN xxvii
DAFTAR PUSTAKA xxix
TIM PENYUSUN xxxi

BAB I INDIKATOR IKLIM GLOBAL 1

BAB II INDIKATOR IKLIM DAN KUALITAS UDARA DI INDONESIA 3

2.1. Laju Kenaikan Suhu Udara di Indonesia 3
2.1.1. Laju Perubahan Suhu Udara Indonesia 6
2.1.2. Anomali Suhu Udara Bulanan Indonesia 7
2.2. Kenaikan Tinggi Muka Laut di Indonesia 7
2.3. Gas Rumah Kaca di Indonesia 9
2.3.1. Tinjauan GRK 5 Tahun Terakhir 9
2.3.2. Tinjauan GRK 20 Tahun Terakhir 11
2.4. Tutupan Es di Papua 17

BAB III IKLIM INDONESIA TAHUN 2024 21

3.1. Faktor Pengendali Iklim Indonesia 21
3.1.1. *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) 21
2.1.2. *Indian Ocean Dipole* (IOD) 22
3.1.3. Monsun 23
3.1.4. Suhu Muka Laut Indonesia 25

3.2. Parameter Iklim 27
3.2.1. Curah Hujan 27
2.2.2. Suhu Udara 30
3.2.3. Parameter Pencemaran Udara 32
3.2.4. Radiasi Matahari 45

BAB IV CATATAN REKOR PENGAMATAN 47

4.1. Suhu Udara Maksimum (T Max) 47
4.2. Suhu Udara Minimum (T Min) 49
4.3. Anomali Suhu Udara Rata-rata 51
4.4. Hari Tanpa Hujan (HTH) Terpanjang 53
4.5. Curah Hujan Ekstrem Harian 55
4.6. Curah Hujan Ekstrem Jam-jaman 57

BAB V ANALISIS KHUSUS 59

5.1. Deret Hari Hangat (Suhu >35 °C) 59
5.2. Emisi Gas Rumah Kaca saat El Niño *Decay Phase* 62
5.3. Fenomena Udara "Sumuk" Kota Jakarta 65

RINGKASAN EKSEKUTIF

Tahun 2024 tercatat sebagai tahun terpanas, dengan suhu rata-rata global mencapai 1,55 °C di atas suhu era pra-industri (1850—1900). Untuk pertama kalinya, kenaikan suhu tahunan global melampaui ambang 1,5 °C yang telah ditetapkan dalam Perjanjian Paris pada tahun 2015. Sepuluh tahun terakhir (2015—2024) merupakan periode terpanas dalam sejarah pencatatan, menunjukkan tren pemanasan global yang konsisten.

Di Indonesia, 2024 juga tercatat sebagai tahun terpanas sejak pengamatan tahun 1981, dengan suhu rata-rata 27,5 °C dan anomali 0,8 °C terhadap normal 1991—2020. Kenaikan tinggi muka laut berdasarkan data satelit menunjukkan tren naik 4,3±0,4 mm/tahun.

Kontribusi gas rumah kaca utama, yaitu karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), dan sulfur heksafluorida (SF_6), mengalami peningkatan signifikan dalam lima tahun terakhir. Pemantauan di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat selama 2020–2024 menunjukkan tren kenaikan yang konsisten, dengan konsentrasi CO_2 saat ini melebihi 420 ppm, atau sekitar 150 % di atas konsentrasi era pra-industri (280 ppm).

Fenomena El Niño yang mulai terjadi pada semester kedua 2023, berlanjut hingga awal 2024. Meskipun sebagian besar wilayah Indonesia mencatat curah hujan tahunan normal hingga di atas normal, beberapa wilayah mengalami curah hujan di bawah normal. Hari Tanpa Hujan (HTH) terpanjang pada 2024 terjadi di Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat, dengan durasi 214 hari.

Sepanjang tahun 2024, radiasi matahari maksimum terjadi pada bulan Oktober, dengan beberapa lokasi mendapatkan radiasi >6 kWh/m². Intensitas tertinggi terjadi di Sumatera bagian tengah dan selatan, sebagian besar Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku.

27,5°C

Suhu rata-rata tahun 2024, merupakan suhu tertinggi sepanjang sejarah pengamatan

0,8°C

Anomali suhu rata-rata tahun 2024, dengan referensi tahun 1991-2020.

214

Hari Tanpa Hujan (HTH) terpanjang di Kabupaten Bima, Provinsi Nusa Tenggara Barat

KATA PENGANTAR

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) kembali menerbitkan publikasi yang memuat catatan iklim dan kualitas udara, kali ini dalam edisi Catatan Iklim dan Kualitas Udara 2024. Publikasi ini disusun untuk memberikan gambaran umum mengenai kondisi iklim dan kualitas udara sepanjang tahun 2024 di Indonesia serta perbandingannya dengan catatan iklim historis.

Buku ini terdiri dari dua bagian utama. Bagian pertama memuat indikator perubahan iklim yang teramati secara global dan nasional, serta ringkasan kondisi iklim sepanjang tahun 2024. Pembahasan mencakup dinamika iklim global—seperti *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD)—serta parameter iklim lainnya, termasuk suhu udara, curah hujan, radiasi matahari, kimia atmosfer, dan kualitas udara. Bagian kedua mengulas kejadian ekstrem yang terjadi sepanjang tahun 2024 dan perbandingannya dengan catatan iklim sebelumnya.

Publikasi ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap ancaman krisis iklim, yang ditandai dengan terus meningkatnya suhu permukaan bumi. Dengan kesadaran yang lebih tinggi, diharapkan upaya mitigasi perubahan iklim dapat berjalan lebih efektif. BMKG akan terus memperbarui informasi terkait iklim dan kualitas udara guna mendukung keselamatan serta kesejahteraan masyarakat.

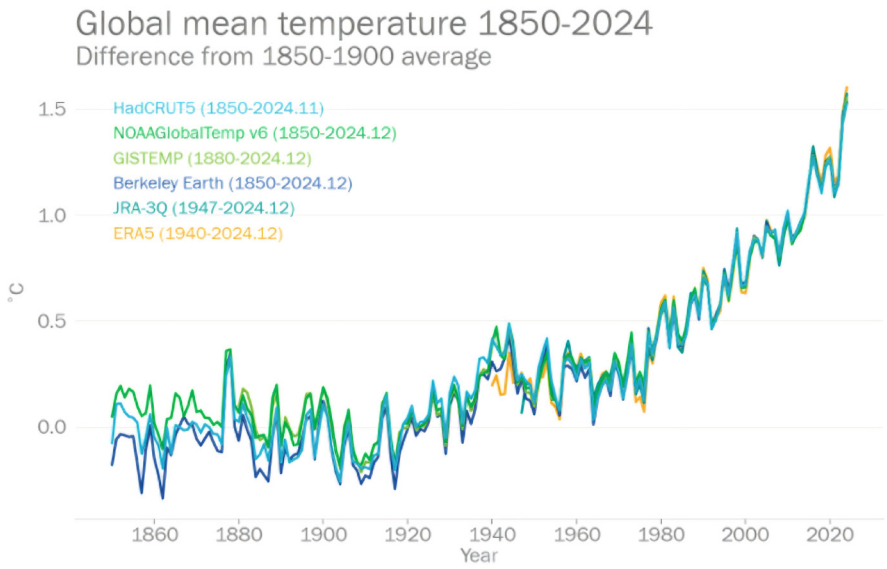
Kami menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi berbagai kalangan, termasuk akademisi, pembuat kebijakan, serta masyarakat luas dalam memahami dan merespons perubahan iklim secara lebih baik.

Jakarta, Maret 2025
Deputi Bidang Klimatologi

Dr. Ardhasena Sopaheluwakan

I. INDIKATOR IKLIM GLOBAL

Pada tahun 2024, suhu rata-rata permukaan bumi secara global tercatat sebesar 1,55 °C±0,13 °C lebih tinggi dibandingkan suhu pada periode pra-industri (1850—1900), berdasarkan analisis WMO yang menggunakan enam sumber data utama: HadCRUT5, NOAA GlobalTemp v6, GISTEMP, Berkeley Earth, JRA-3Q, dan ERA5 (Gambar 1.1). Tahun 2024 menjadi tahun pertama dalam sejarah dengan suhu rata-rata global melampaui 1,5 °C di atas tingkat pra-industri yang menandakan bahwa bumi semakin mendekati ambang batas pemanasan global yang ditetapkan dalam Perjanjian Paris (*Paris Agreement*), yaitu membatasi kenaikan suhu global di bawah 1,5 °C untuk mencegah dampak terburuk perubahan iklim. Perjanjian ini diadopsi pada tahun 2015 dalam Konferensi Perubahan Iklim PBB (*Conference of the Parties* ke-21 atau COP21) di Paris, Prancis dan didukung oleh hampir seluruh negara di dunia.



Gambar 1.1. Anomali suhu rata-rata global dari tahun 1850—2024 (Sumber: WMO 2024)

Beberapa tahun dapat melewati batas 1,5 °C. Namun, bukan berarti tujuan jangka panjang telah gagal.

Sebaliknya, ini menjadi peringatan bahwa kita harus berjuang lebih keras untuk kembali ke jalur yang benar. Suhu ekstrem di tahun 2024 membutuhkan tindakan luar biasa dalam menghadapi perubahan iklim di tahun 2025.

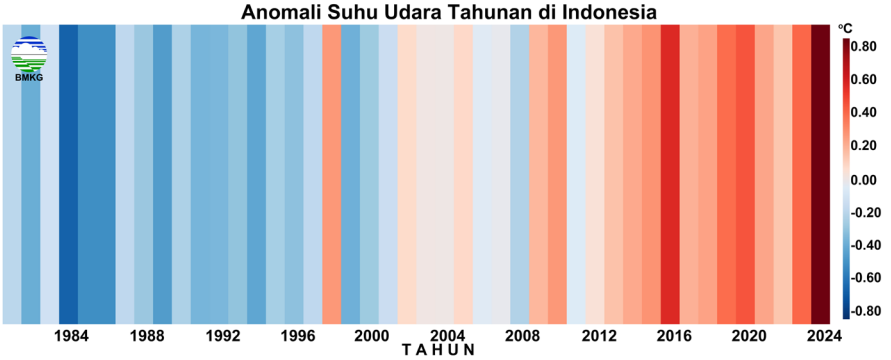
António Guterres
Sekretaris Jenderal Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB)

Secara global, konsentrasi Gas Rumah Kaca (GRK), yaitu karbon dioksida (CO_2), dinitrogen oksida (N_2O), dan sulfur heksafluorida (SF_6) mencapai tingkat konsentrasi tinggi pada tahun 2024. Konsentrasi CO_2 sebesar 421,5±0,2 *parts per million* (ppm), dan N_2O sebesar 339,4±0,1 *parts per billion* (ppb), dan SF_6 sebesar 12,1 *parts per trillion* (ppt) masing-masing meningkat 150 % untuk CO_2 dan 124 % untuk N_2O dibandingkan tahun 1750, yang merupakan rujukan konsentrasi GRK pra-industrial.

II. INDIKATOR IKLIM DAN KUALITAS UDARA DI INDONESIA

2.1. Laju Kenaikan Suhu Udara di Indonesia

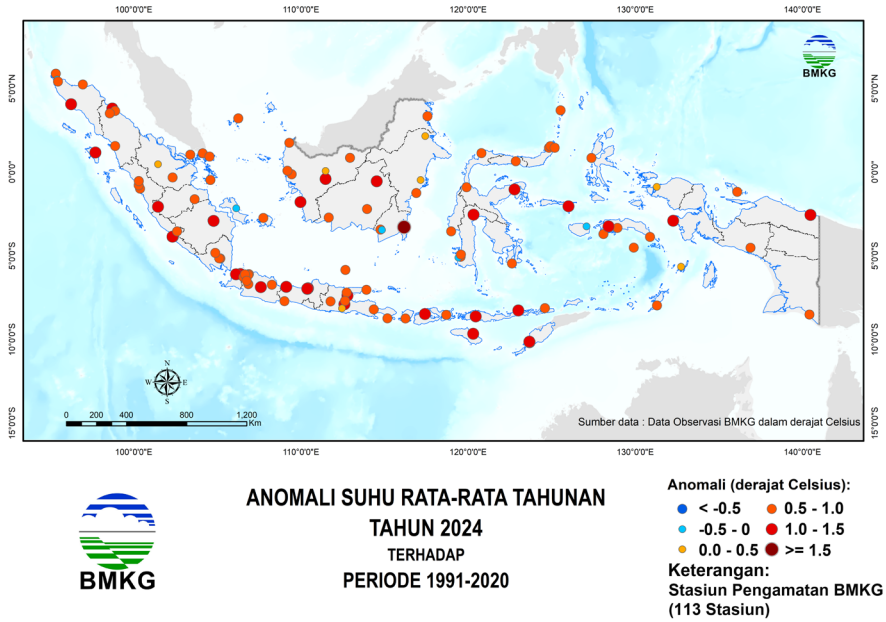
Berdasarkan data pengamatan stasiun BMKG, anomali suhu udara rata-rata di Indonesia pada tahun 2024 tercatat sebesar 0,8 °C dibandingkan suhu rata-rata normal 1991—2020 (Gambar 2.1). Anomali tertinggi tercatat di Kotabaru, Kalimantan Selatan, dan Manggarai Barat, Nusa Tenggara Timur, dengan peningkatan suhu masing-masing mencapai 1,5 °C (Gambar 2.2). Tahun 2024 menjadi rekor baru untuk tahun terpanas dalam sejarah pengamatan suhu di Indonesia sejak 1981, melampaui rekor sebelumnya pada 2016 dengan anomali 0,6 °C.



Gambar 2.1. *"Warming Stripes"* menggambarkan tren pemanasan di Indonesia dari tahun 1981—2024. Warna biru menunjukkan tahun-tahun dengan suhu lebih dingin dari rata-rata Normal (1991—2020), sementara warna merah menandakan tahun-tahun dengan suhu lebih panas. Tahun 2024 sangat kontras dengan warna merah pekat, berarti 2024 memiliki suhu tertinggi (0,8 °C) sepanjang sejarah pengamatan

Peningkatan suhu Indonesia pada tahun 2024 dipengaruhi oleh kombinasi antara pemanasan global akibat emisi gas rumah kaca serta anomali iklim regional El Niño. Ketika El Niño melemah pada awal tahun 2024, panas yang tersimpan di Samudera Pasifik tropis mulai dilepaskan ke atmosfer, sehingga membuat suhu global tetap tinggi. Respon atmosfer yang tertunda atas meningkatnya suhu lautan di Samudera Pasifik tropis, turut memperpanjang dampak meningkatnya suhu selama beberapa bulan setelah El Niño mencapai

puncaknya pada Desember 2023. Selain itu, beberapa faktor lain seperti pemanasan lautan di sekitar Indonesia, urbanisasi, dan perubahan tutupan lahan juga dapat memperkuat efek pemanasan lokal.



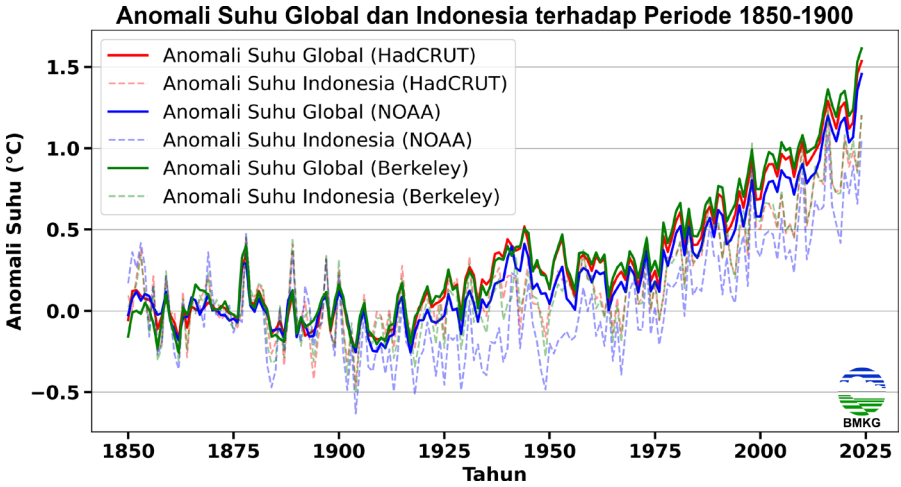
Gambar 2.2. Anomali suhu udara rata-rata tahun 2024 dibandingkan dengan suhu udara rata-rata periode Normal (1991—2020)

Meskipun anomali suhu di Indonesia meningkat signifikan sebesar 0,8 °C pada 2024, angka ini tidak dapat langsung dibandingkan dengan anomali suhu global yang mencapai 1,55 °C di atas rata-rata pra-industri (1850—1900), sebagaimana dilaporkan oleh *World Meteorological Organization*. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, terutama perbedaan periode referensi (1991—2020 vs 1850—1900), cakupan wilayah (daratan dan lautan vs daratan saja), serta metode pengukuran suhu (lihat Lampiran 2). Tabel 2.1 menyajikan hasil perhitungan anomali suhu yang menunjukkan bahwa, meskipun menggunakan dataset yang sama, perbedaan dalam referensi serta cakupan wilayah darat dan laut dapat menghasilkan variasi dalam nilai anomali yang diperoleh. Secara spesifik, anomali suhu di Indonesia masih lebih rendah dibandingkan dengan anomali suhu global.

Tabel 2.1. Anomali suhu udara rata-rata 2024 terhadap periode pra-industri (1850—1900) dan periode normal (1991—2020)

Model	2024 terhadap 1850-1900				2024 terhadap 1991-2020			
	Darat dan Laut		Darat		Darat dan Laut		Darat	
	Global	Indonesia	Global	Indonesia	Global	Indonesia	Global	Indonesia
Berkeley	1,61	1,20	2,3	1,79	0,65	0,55	1,02	0,68
NOAA Global Temp	1,46	1,05	2,46	1,4	0,66	0,61	1	0,66
HadCRUT	1,57	1,20	2,23	1,41	0,63	0,56	0,93	0,67

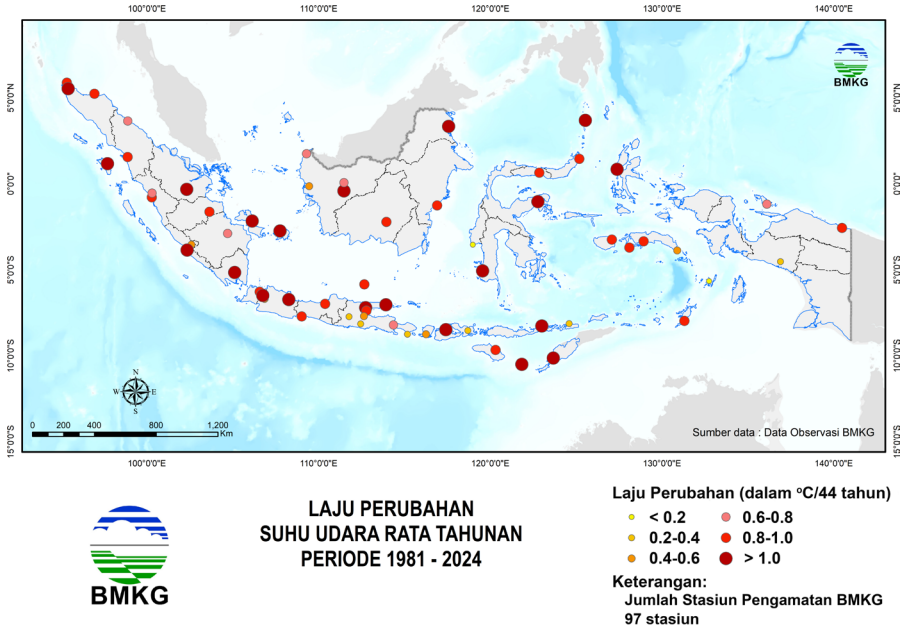
Meskipun anomali suhu di Indonesia sedikit berbeda dari anomali suhu global, tren kenaikannya tetap konsisten dengan pola kenaikan suhu global (Gambar 2.3). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan iklim terus menjadi ancaman serius bagi Indonesia, dengan peningkatan suhu yang berkelanjutan. Tren kenaikan ini semakin nyata pada periode setelah tahun 1970, seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca yang mempercepat pemanasan global.



Gambar 2.3. Anomali suhu udara rata-rata global dan Indonesia dibandingkan dengan periode pra-industri (1850-1900).

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa dalam beberapa dekade terakhir, anomali suhu global telah meningkat lebih dari 1,0 °C dibandingkan dengan suhu pada periode pra-industri (1850—1900), dengan tahun 2024 mencatat anomali tertinggi yang melampaui 1,5 °C. Tren serupa terjadi di Indonesia, meskipun dengan anomali yang lebih rendah dibandingkan global (Tabel 2.1). Perbedaan anomali suhu antara Indonesia dan global cenderung stabil sepanjang waktu, meskipun terdapat variasi lebih besar pada periode tertentu.

2.1.1. Laju Perubahan Suhu Udara Indonesia



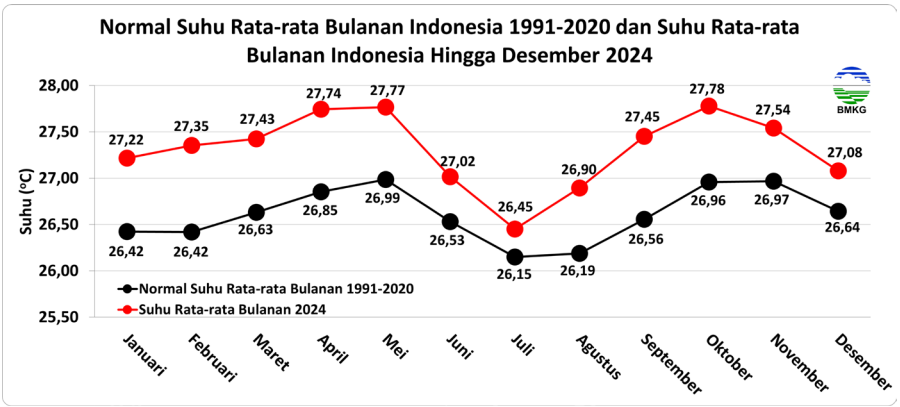
Gambar 2.4. Laju perubahan suhu udara rata-rata tahunan di Indonesia

Sejak tahun 1981—2024, suhu udara rata-rata di Indonesia telah meningkat dengan laju sekitar 0,02 °C setiap tahunnya, yang secara akumulatif mencapai sekitar 1,0 °C dalam 44 tahun terakhir. Berdasarkan peta (Gambar 2.4), wilayah dengan laju pemanasan tertinggi (≥1,0 °C dalam 44 tahun terakhir) ditandai dengan simbol merah tua, yang tersebar di Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, dan Maluku. Sebaliknya, wilayah dengan kenaikan suhu lebih rendah (<0,2 °C dalam 44 tahun terakhir)

ditandai dengan simbol kuning, yang teramati di Sulawesi Barat dan Maluku. Pola ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Indonesia mengalami tren pemanasan yang signifikan, dengan variasi antar stasiun pengamatan yang mencerminkan perbedaan perubahan suhu di berbagai daerah.

2.1.2. Anomali Suhu Udara Bulanan Indonesia

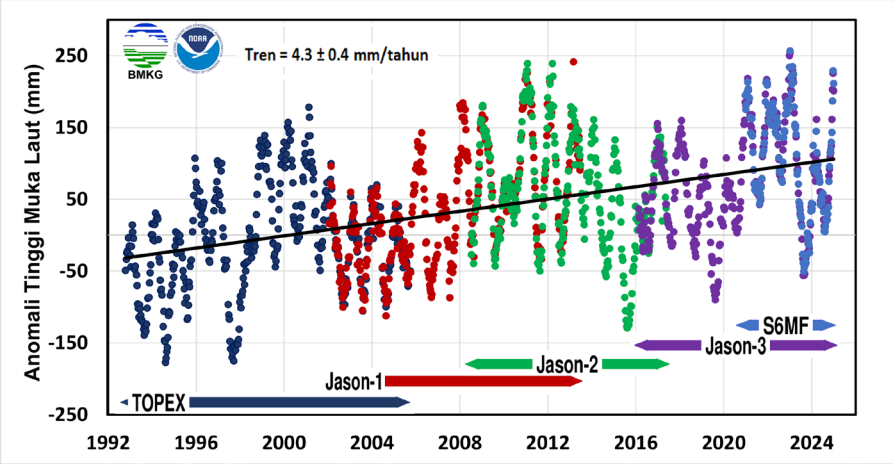
Sepanjang 2024, suhu rata-rata bulanan di Indonesia selalu lebih tinggi dibandingkan suhu rata-rata normal periode 1991—2020 (Gambar 2.5). Oktober tercatat sebagai bulan terpanas 2024 dengan suhu rata-rata 27,78 °C dan anomali sebesar 0,82 °C dibandingkan suhu rata-rata Oktober 1991—2020. Anomali bulanan tertinggi 2024 tercatat pada Februari, dengan nilai anomali sebesar 0,93 °C. Sementara itu, suhu bulanan terendah terjadi pada bulan Juli, dengan suhu rata-rata 26,45 °C dan anomali 0,30 °C lebih tinggi dibandingkan normalnya (26,15 °C). Anomali pada bulan Juli ini menjadi yang terendah sepanjang 2024.



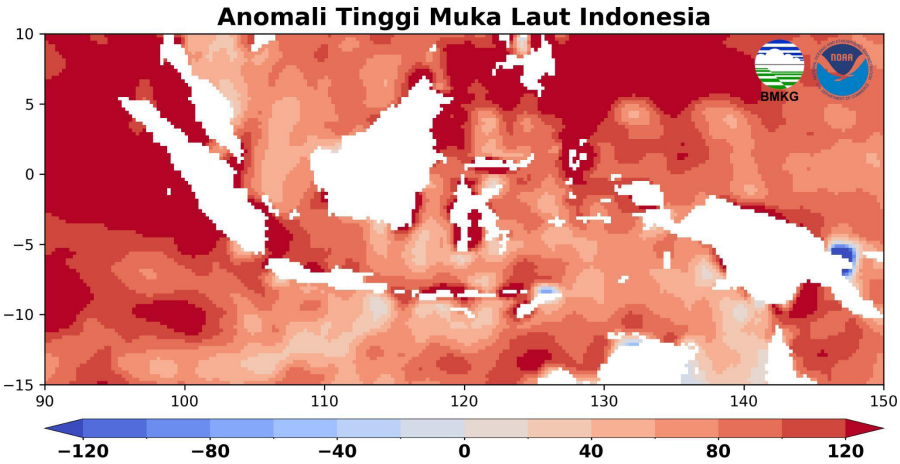
Gambar 2.5. Suhu rata-rata bulanan tahun 2024 dan suhu rata-rata normal periode 1991-2020

2.2. Kenaikan Tinggi Muka Laut di Indonesia

Hingga akhir tahun 2024, data anomali tinggi muka laut (TML) di wilayah Indonesia berdasarkan data satelit TOPEX/Poseidon (T/P), Jason-1, Jason-2, Jason-3, dan Sentinel-6MF menunjukkan laju kenaikan sebesar 4,3 ± 0,4 mm per tahun (Gambar 2.6).



Gambar 2.6. Anomali Tinggi Muka Laut (TML) wilayah Indonesia pada periode 1992-2024.
(Sumber: NASA *Sea Level Evaluation and Assessment Tools*)



Gambar 2.7. Anomali tinggi muka laut Indonesia pada tahun 2024
(Sumber: NOAA https://coastwatch.noaa.gov)

Berdasarkan peta anomali tinggi muka laut di Indonesia (Gambar 2.7), terlihat bahwa anomali tertinggi (ditandai dengan warna merah gelap >100 mm) terjadi di beberapa wilayah seperti pantai barat Sumatera, Laut Jawa, Selat Karimata, serta perairan selatan Kalimantan dan Sulawesi. Peningkatan tinggi muka laut ini kemungkinan terkait dengan pemanasan permukaan laut akibat perubahan iklim atau fenomena oseanografi seperti El Niño. Sementara

itu, anomali terendah (berwarna biru kurang dari -80 mm) teridentifikasi di perairan timur Papua, serta beberapa bagian kecil di selatan Nusa Tenggara, yang mungkin disebabkan oleh pendinginan laut, *upwelling*, atau dinamika angin dan arus laut regional. Perbedaan anomali ini mencerminkan dinamika kompleks sistem oseanografi di Indonesia, yang dipengaruhi oleh faktor iklim global maupun proses lokal di setiap wilayah perairan.

2.3. Gas Rumah Kaca di Indonesia

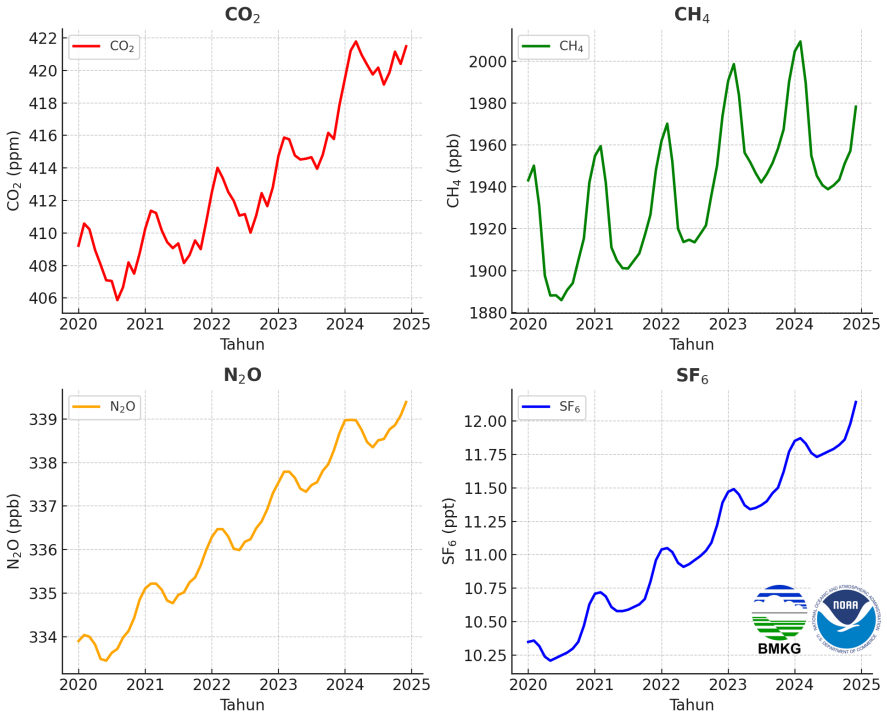
Konsentrasi gas rumah kaca utama mengalami peningkatan dalam lima tahun terakhir (2020-2024). CO_2 melebihi 420 ppm (150 % dari tingkat pra-industri), CH_4 melampaui 1980 ppb (264 % dari tingkat pra-industri), N_2O mendekati 339 ppb (124 % dari tingkat pra-industri), dan SF_6 mencapai 12 ppt. Data dari Stasiun GAW Bukit Kototabang menegaskan tren peningkatan ini.

2.3.1. Tinjauan GRK 5 Tahun Terakhir

Kontribusi gas rumah kaca utama, yaitu karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dinitrogen oksida (N_2O), dan sulfur heksafluorida (SF_6), mengalami peningkatan dalam lima tahun terakhir berdasarkan pengukuran dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat, Indonesia. Data ini mencerminkan keseimbangan antara emisi dari aktivitas manusia, sumber alami, dan proses penyerapan di atmosfer (WMO, 2024). Konsentrasi gas rumah kaca yang meningkat dapat menjadi indikasi adanya perubahan signifikan dalam pola emisi global dan lokal (IPCC, 2021). Oleh karena itu, pemantauan berkala sangat penting untuk memahami dampaknya terhadap lingkungan dan iklim.

Tren gas rumah kaca selama periode 2020—2024 menunjukkan pola yang konsisten (Gambar 2.8). Karbon dioksida (CO_2) terus meningkat dengan nilai rata-rata saat ini lebih dari 420 ppm, atau sekitar 150 % dari tingkat pra-industri (280 ppm) (WMO, 2024). Meskipun terdapat variasi musiman, tren keseluruhan menunjukkan peningkatan stabil dalam konsentrasi CO_2 di atmosfer (IPCC, 2021) Hal ini menandakan bahwa emisi dari pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi masih menjadi faktor dominan dalam

meningkatkan kadar CO_2 di udara. Peningkatan CO_2 dalam lima tahun terakhir menunjukkan tren yang konsisten dengan pola global, dengan laju kenaikan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dekade sebelumnya (WMO, 2024).



Gambar 2.8. Tren konsentrasi gas rumah kaca utama (CO_2, CH_4, N_2O, dan SF_6) yang terpantau di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Sumatera Barat, Indonesia, selama periode 2020—2024. Garis solid menunjukkan nilai pengamatan bulanan. Data ini menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam lima tahun terakhir, sejalan dengan tren global

Sementara itu, metana (CH_4) mengalami peningkatan signifikan dengan fluktuasi tahunan yang lebih besar dibandingkan dengan gas lainnya. Konsentrasi CH_4 telah melampaui 1980 ppb, atau sekitar 264 % lebih tinggi dari tingkat pra-industri (722 ppb) (WMO, 2024). Hal ini menandakan dampak dari sumber emisi antropogenik yang meningkat, yang terutama berasal dari sektor pertanian, sektor peternakan, dan sistem pengelolaan limbah (IPCC, 2021). Selain itu, eksploitasi gas alam dan aktivitas industri lainnya turut menyumbang pada lonjakan kadar CH_4 di atmosfer (IPCC, 2021). Mengingat

daya pemanasan global CH_4 yang jauh lebih tinggi dibandingkan CO_2 dalam jangka pendek, upaya untuk mengendalikan emisi gas ini sangatlah penting (IPCC, 2021).

Dinitrogen oksida (N_2O) menunjukkan kenaikan stabil dalam lima tahun terakhir, dengan rata-rata konsentrasi mendekati 339 ppb, atau sekitar 124 % dari tingkat pra-industri (270 ppb) (WMO, 2024). Gas ini memiliki kontribusi besar terhadap efek rumah kaca dan juga merusak lapisan ozon (IPCC, 2021). Tren kenaikan N_2O yang stabil menunjukkan bahwa sumber emisi utama tetap berasal dari sektor pertanian, dengan laju pertumbuhan yang sejalan dengan pengamatan global (WMO, 2024).

Sementara itu, sulfur heksafluorida (SF_6) mengalami pertumbuhan linear yang jelas, mencapai 12 ppt, yang menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan tingkat pra-industri yang hampir nol (WMO, 2024). SF_6 digunakan dalam berbagai aplikasi industri, terutama dalam peralatan listrik sebagai isolator gas (IPCC, 2021). Namun, karena sifatnya yang memiliki efek pemanasan global sangat tinggi, pemantauan dan regulasi yang lebih ketat terhadap penggunaan gas ini diperlukan untuk membatasi dampak lingkungannya.

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca dalam lima tahun terakhir menunjukkan adanya pengaruh aktivitas manusia yang semakin signifikan terhadap atmosfer (IPCC, 2021). Tren ini sejalan dengan laporan global yang menyatakan bahwa gas rumah kaca terus meningkat dari tahun ke tahun (WMO, 2024). Data dari Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dapat digunakan untuk memahami dinamika regional serta dampaknya terhadap perubahan iklim. Selain itu, pemantauan gas rumah kaca secara kontinu di wilayah ini dapat memberikan wawasan lebih lanjut tentang tren jangka panjang dan menjadi dasar dalam perumusan kebijakan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di Indonesia (IPCC, 2021).

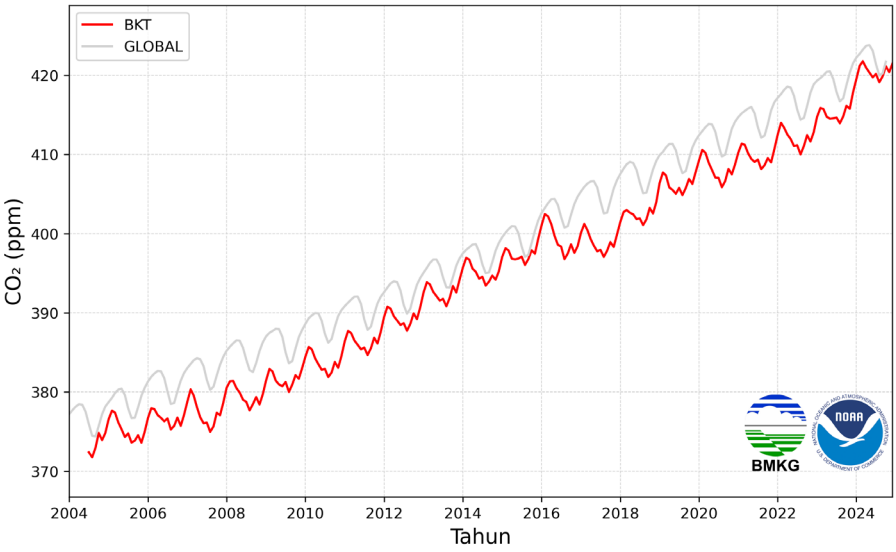
2.3.2. Tinjauan GRK 20 Tahun Terakhir

Konsentrasi Karbon Dioksida (CO_2) (2004—2024)

Konsentrasi CO_2 yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit

Kototabang menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dari tahun 2004—2024 (Gambar 2.9). Konsentrasi tertinggi tercatat pada Maret 2024 dengan nilai 421,78 ppm, menandakan bahwa kadar CO_2 terus meningkat seiring waktu. Meskipun nilai CO_2 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata global, pola kenaikannya tetap mengikuti tren global dengan selisih yang relatif stabil. Variasi musiman terlihat jelas dalam data, dengan peningkatan pada periode tertentu yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh faktor siklus fotosintesis, transportasi udara, serta aktivitas regional. Tren CO_2 global juga menunjukkan pola kenaikan yang mirip, menegaskan bahwa emisi dari aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil, perubahan penggunaan lahan, serta deforestasi, terus berkontribusi terhadap peningkatan kadar CO_2 di atmosfer. Dengan semakin meningkatnya emisi dari sektor industri, transportasi, dan energi, peningkatan konsentrasi CO_2 yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menjadi refleksi dari kondisi atmosfer secara keseluruhan.

Pada tahun 2024, konsentrasi CO_2 di lokasi ini meningkat dengan laju rata-rata 2,27 ppm per tahun. Tren ini menunjukkan bahwa meskipun berbagai upaya mitigasi telah dilakukan secara global, akumulasi CO_2 di atmosfer masih berlangsung pada tingkat yang cukup tinggi. Tidak adanya indikasi perlambatan signifikan dalam tren ini menunjukkan bahwa upaya pengurangan emisi masih belum cukup untuk menstabilkan kadar CO_2 di atmosfer. Sementara itu, konsentrasi CO_2 global tetap lebih tinggi dibandingkan dengan yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, yang menunjukkan bahwa sebagian besar emisi CO_2 berasal dari negara industri utama dengan tingkat konsumsi energi yang lebih besar. Perbedaan ini mencerminkan pengaruh faktor regional dalam penyebaran CO_2 di atmosfer, yang mana kondisi meteorologi dan pola transportasi udara turut memainkan peran dalam distribusi gas ini ke berbagai lokasi pengamatan. Dengan tren yang terus meningkat ini, pengamatan jangka panjang terhadap konsentrasi CO_2 menjadi sangat penting untuk memahami dampaknya terhadap perubahan iklim serta ekosistem di berbagai wilayah.

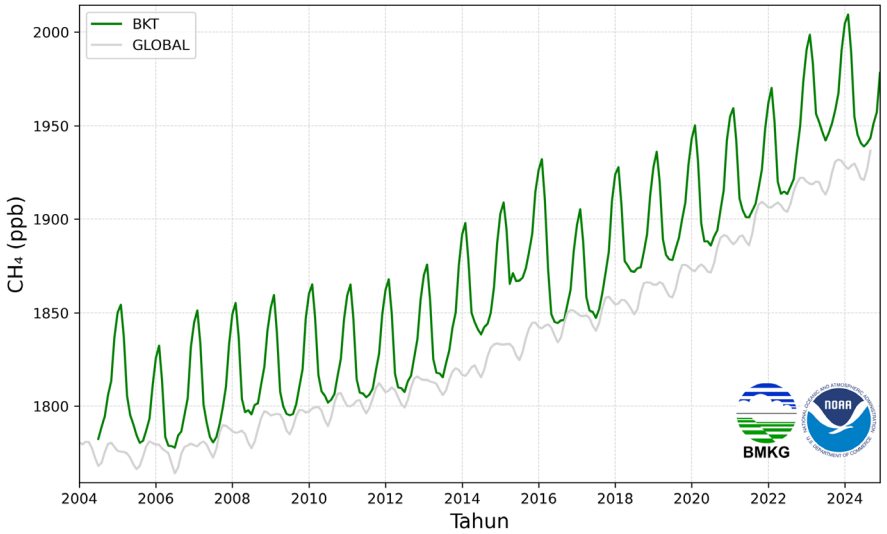


Gambar 2.9. Tren konsentrasi CO_2 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan global selama periode 2004—2024. Garis merah menunjukkan konsentrasi CO_2 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, sedangkan garis abu-abu menunjukkan konsentrasi CO_2 global. Data menunjukkan peningkatan konsentrasi CO_2 yang konsisten, dengan nilai tertinggi tercatat pada Maret 2024 sebesar 421,78 ppm dan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 2,34 ppm per tahun

Konsentrasi Metana (CH_4) (2004—2024)

Konsentrasi CH_4 yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukkan peningkatan yang signifikan dari tahun 2004—2024 (Gambar 2.10). Konsentrasi tertinggi tercatat pada Februari 2024 dengan nilai 2009,38 ppb, yang mencerminkan tren akumulasi metana di atmosfer. Meskipun nilai CH_4 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi global, pola kenaikannya mengikuti tren serupa dengan fluktuasi musiman yang khas. Variasi ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh perubahan dalam aktivitas biologis, pola atmosfer, dan sumber emisi lokal yang berasal dari sektor pertanian dan limbah. Tren CH_4 global juga menunjukkan pola peningkatan yang sejalan dengan yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, yang menandakan bahwa emisi dari aktivitas manusia, seperti peternakan, pertanian, serta eksploitasi bahan bakar fosil, terus berkontribusi terhadap peningkatan kadar metana di atmosfer.

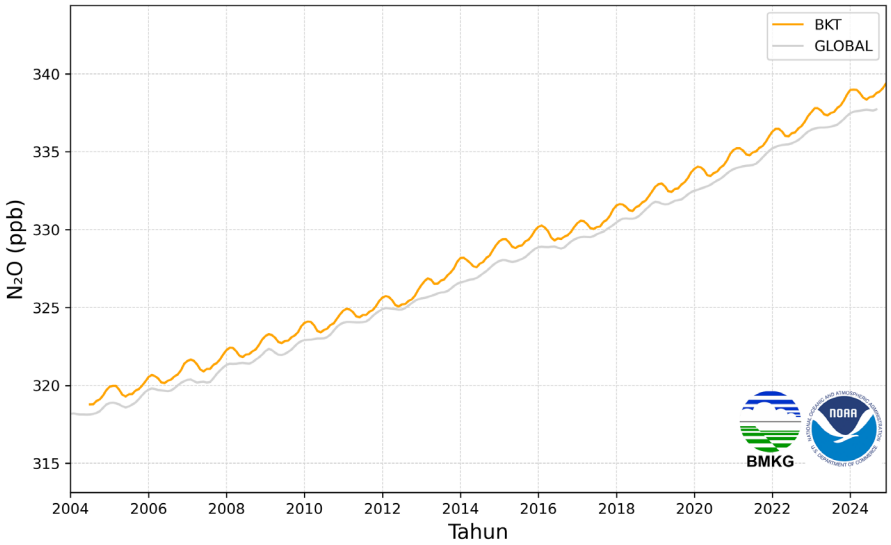
Sampai dengan tahun 2024, konsentrasi CH_4 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang terus meningkat dengan laju rata-rata tahunan tercatat sebesar 7,09 ppb per tahun. Laju peningkatan ini menunjukkan bahwa meskipun berbagai upaya mitigasi telah dilakukan, konsentrasi CH_4 terus meningkat dengan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan dekade sebelumnya. Tren ini menjadi perhatian utama mengingat metana memiliki potensi pemanasan global yang jauh lebih besar dibandingkan CO_2 dalam jangka waktu tertentu. Konsentrasi CH_4 global yang lebih tinggi dibandingkan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang juga menunjukkan bahwa sumber utama emisi berasal dari wilayah industri dan pertanian berskala besar. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa faktor regional seperti pola atmosfer dan kondisi meteorologi turut mempengaruhi distribusi metana di atmosfer.



Gambar 2.10. Tren konsentrasi CH_4 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan global selama periode 2004—2024. Garis hijau menunjukkan konsentrasi CH_4 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, sedangkan garis abu-abu menunjukkan konsentrasi CH4 global. Data menunjukkan peningkatan konsentrasi CH_4 yang konsisten, dengan nilai tertinggi tercatat pada Februari 2024 sebesar 2009,38 ppb dan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 7,09 ppb per tahun

Konsentrasi Dinitrogen Oksida (N_2O) (2004—2024)

Konsentrasi N_2O yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukkan tren peningkatan yang stabil dari tahun 2004—Desember 2024 (Gambar 2.11). Konsentrasi tertinggi tercatat pada Desember 2024 dengan nilai 339,39 ppb, yang mencerminkan peningkatan bertahap gas ini di atmosfer. Meskipun nilai N_2O di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata global, pola kenaikannya tetap sejalan dengan tren global. Fluktuasi musiman dalam data ini cenderung lebih kecil dibandingkan dengan gas rumah kaca lainnya, yang mencerminkan sifat emisi N_2O yang lebih stabil dan kurang dipengaruhi oleh variasi musiman. Tren ini menunjukkan bahwa sumber utama N_2O di atmosfer berasal dari sektor pertanian, khususnya dari penggunaan pupuk nitrogen, serta dari aktivitas industri tertentu yang terus menyumbang emisi dalam jangka panjang.

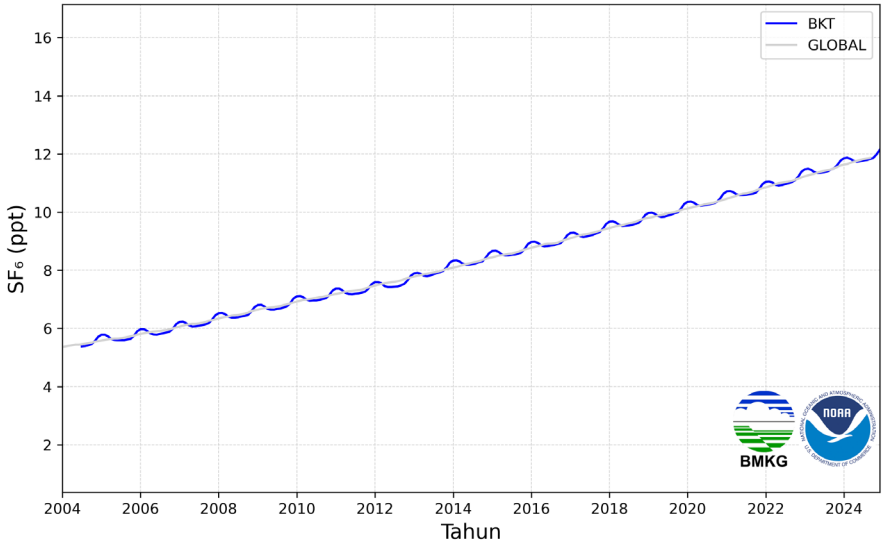


Gambar 2.11. Tren konsentrasi N_2O di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan global selama periode 2004—2024. Garis oranye menunjukkan konsentrasi N_2O di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, sedangkan garis abu-abu menunjukkan konsentrasi N_2O global. Data menunjukkan peningkatan konsentrasi N_2O yang stabil, dengan nilai tertinggi tercatat pada Desember 2024 sebesar 339,39 ppb dan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 0,99 ppb per tahun

Berdasarkan data 2004—2024, konsentrasi N_2O di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang tercatat meningkat terus dengan laju rata-rata tahunan sebesar 0,99 ppb per tahun. Laju kenaikan konsentrasi ini menunjukkan bahwa meskipun peningkatan N_2O tidak secepat gas rumah kaca lainnya seperti CO_2 atau CH_4, akumulasi gas ini tetap berlanjut dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Dengan sifatnya yang memiliki daya tahan lama di atmosfer dan potensi pemanasan global yang tinggi per molekul, peningkatan N_2O menjadi perhatian dalam upaya mitigasi perubahan iklim. Konsentrasi N_2O global yang tetap lebih tinggi dibandingkan dengan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukkan bahwa sumber emisi utama berasal dari aktivitas industri dan pertanian skala besar yang tersebar di berbagai wilayah dunia.

Konsentrasi Sulfur Heksafluorida (SF_6) (2004—2024)

Konsentrasi SF_6 yang diamati di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang menunjukkan tren peningkatan yang konsisten dari tahun 2004—2024 (Gambar 2.12). Konsentrasi tertinggi tercatat pada Desember 2024 dengan nilai 12,14 ppt, menandakan bahwa akumulasi SF_6 di atmosfer terus berlangsung. SF_6 merupakan gas rumah kaca dengan potensi pemanasan global yang sangat tinggi meskipun konsentrasinya jauh lebih rendah dibandingkan dengan CO_2 atau CH_4. Data menunjukkan bahwa pola kenaikan SF_6 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang sejajar dengan tren global, dengan selisih yang relatif kecil. Sumber utama SF_6 berasal dari penggunaan industri, terutama dalam peralatan listrik sebagai gas isolator, serta beberapa proses manufaktur dan pemrosesan logam.



Gambar 2.12. Tren konsentrasi SF_6 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dan global selama periode 2004—2024. Garis biru menunjukkan konsentrasi SF_6 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, sedangkan garis abu-abu menunjukkan konsentrasi SF_6 global. Data menunjukkan peningkatan konsentrasi SF_6 yang konsisten, dengan nilai tertinggi tercatat pada Desember 2024 sebesar 12,14 ppt dan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 0,32 ppt per tahun

Data perkembangan konsentrasi SF_6 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dari tahun ke tahun menunjukkan laju peningkatan sebesar sebesar 0,32 ppt per tahun. Walaupun peningkatan ini tampak lebih kecil dibandingkan dengan gas rumah kaca lainnya, dampaknya terhadap pemanasan global jauh lebih besar karena SF_6 memiliki waktu tinggal yang sangat lama di atmosfer (± 3200 tahun). Konsentrasi SF_6 global yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang mengindikasikan bahwa emisi utama berasal dari pusat industri besar di berbagai negara.

2.4. Tutupan Es di Papua

Bekerjasama dengan PT. Freeport Indonesia (PTFI), Papua, BMKG secara berkala melakukan survey pengamatan tutupan es atau ”salju abadi” di Puncak Jaya, Papua, Indonesia setiap 1—2 tahun sekali sejak tahun 2010. Tutupan es tropis di Puncak Jaya, Papua, terus mengalami pencairan dari tahun ke tahun yang dipicu oleh pemanasan global dan diperparah oleh fenomena El

Niño kuat. Selain itu, berkurangnya luasan es juga berakibat pada semakin meningkatnya luas singkapan batuan berwarna gelap di sekitar tutupan es yang menyerap radiasi matahari lebih banyak dan mempercepat pencairan lapisan es. Sejak tahun 1997, rata-rata ketinggian level titik beku 0 °C (*freezing level*) telah melampaui ketinggian puncak es Puncak Jaya, yang menyebabkan presipitasi lebih sering turun dalam bentuk hujan daripada salju dan pada akhirnya, mempercepat pencairan es di Puncak Jaya.

Estimasi data satelit menunjukkan total luas es di sekitar Puncak Jaya pada tahun 2024 sebesar 0,11—0,16 km^2, turun sekitar 30—50 % dari pengukuran sebelumnya pada bulan April 2022 sebesar 0,23 km^2 (Gambar 2.13). Hal ini sesuai dengan rata-rata laju berkurangnya luas tutupan es sebesar ~0,07 km^2 per tahun pada periode tahun 2016—2022. Jika laju ini terus berlanjut, lapisan es di Puncak Jaya akan hilang paling lambat pada tahun 2026.

BMKG bekerjasama dengan Ohio State University dan PTFI melakukan pengeboran inti es (*ice core*) sekaligus memasang tiang tonggak dengan kedalaman ~32 meter di koordinat 4°03′ LS dan 137°11′ BT pada bulan Juni 2010 (Gambar 2.14). Selanjutnya, "tonggak" akumulasi fleksibel (*accumulation stake*) yang terdiri dari sekitar 16 pipa PVC yang disambungkan dengan tali tersebut digunakan untuk memantau ketebalan lapisan es Puncak Jaya secara berkala. Pada bulan Desember 2022, ketebalan es sekitar ~6 meter atau kehilangan ketebalan es ~2 meter sejak Februari 2021. Pada akhir tahun 2023 atau awal tahun 2024, ketebalan es sekitar ~4 meter. Laju penipisan es adalah 2—2,5 m/tahun sejak tahun 2016.

Juni 2010 (foto: PTFI)

November 2015 (foto: Y Kaize)

November 2016 (foto: D Permana)

Juni 2018 (foto: Y Kaize)

Desember 2019 (foto: Y Kaize)

Desember 2022 (foto: Yogi T)

Desember 2023 (foto: Y Kaize)

November 2024 (foto: Dimas S)

Gambar 2.13. Foto udara gletser East Northwall Firn, diambil pada bulan Juni 2010, November 2015, November 2016, Juni 2018, Desember 2019, Desember 2022, Desember 2023, dan November 2024

Gambar 2.14. Pengukuran tonggak *"stake"* pertama kali secara langsung pada tanggal 4 November 2014 (atas). Foto udara tonggak *"stake"* pada tutupan es Puncak Jaya pada tanggal 23 November 2016 (tengah) dan tanggal 6 Februari 2021 (bawah). Kredit foto: Yohanes Kaize (PTFI)

III. IKLIM INDONESIA TAHUN 2024

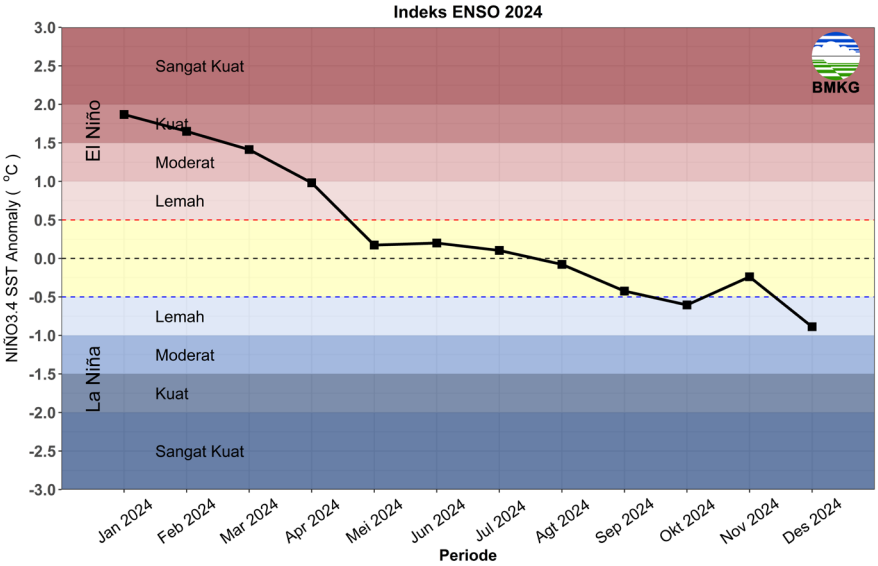
3.1. Faktor Pengendali Iklim Indonesia

Iklim Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor pada skala waktu yang berbeda. Pada skala antar-tahunan (*inter-annual*), iklim dipengaruhi oleh ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) dan IOD (*Indian Ocean Dipole*). Pada skala musiman, sistem monsun berperan penting dalam pola iklim. Sementara itu, pada skala sub-musiman (*intra-seasonal*), suhu perairan Indonesia berkontribusi terhadap variabilitas curah hujan bulanan. Selain itu, fenomena seperti MJO (*Madden-Julian Oscillation*) serta gelombang atmosfer ekuator, termasuk *Rossby wave* dan *Kelvin wave*, turut mempengaruhi variasi iklim dalam skala mingguan (sub-bulanan).

3.1.1. *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO)

ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) adalah fenomena interaksi laut-atmosfer yang terjadi secara berkala, ditandai dengan anomali suhu permukaan laut di Samudera Pasifik ekuatorial bagian tengah. Fenomena ini mempengaruhi variabilitas iklim di sebagian besar wilayah tropis dan subtropis termasuk Indonesia. ENSO terdiri dari dua fase utama: fase hangat (El Niño) dan fase dingin (La Niña).

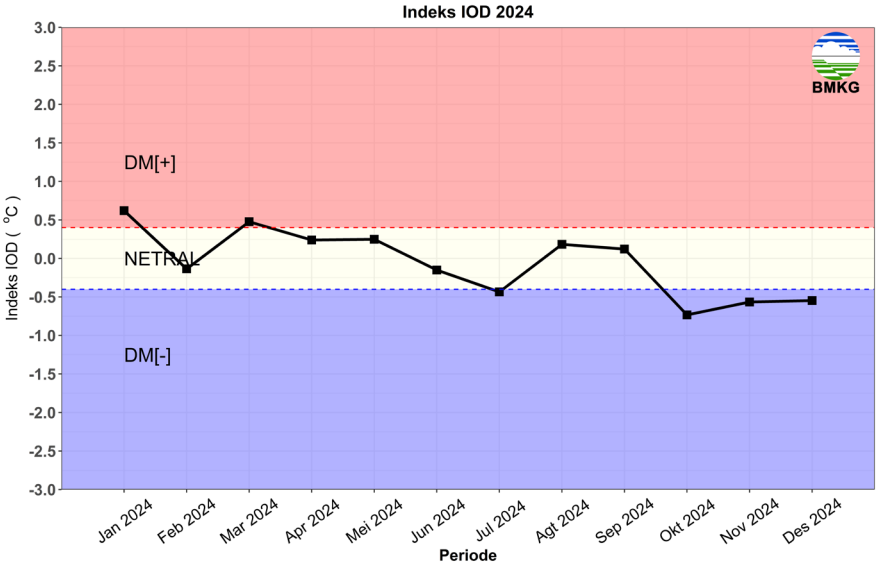
El Niño yang berlangsung sejak Juni 2023, masih berlanjut pada Januari–April 2024, dan kemudian melemah secara bertahap hingga mencapai kondisi Netral pada Mei 2024. Selama periode Mei–September 2024, indeks Niño3.4 tetap berada dalam kisaran Netral. Selanjutnya, pada Oktober 2024 mulai terlihat adanya pendinginan di Samudera Pasifik Tropis bagian tengah dan timur dengan anomali suhu muka laut sebesar -0,6 °C, atau telah melewati batas La Niña. Meskipun sedikit menghangat kembali pada November, tren pendinginan itu terus berlanjut, hingga pada Desember 2024, indeks Niño3.4 mencapai -0,8 °C, menunjukkan terjadinya fase La Niña Lemah (Gambar 3.1).



Gambar 3.1. Indeks Niño3.4 periode Januari s.d. Desember 2024
(Sumber data: MGDSST JMA)

3.1.2. Indian Ocean Dipole (IOD)

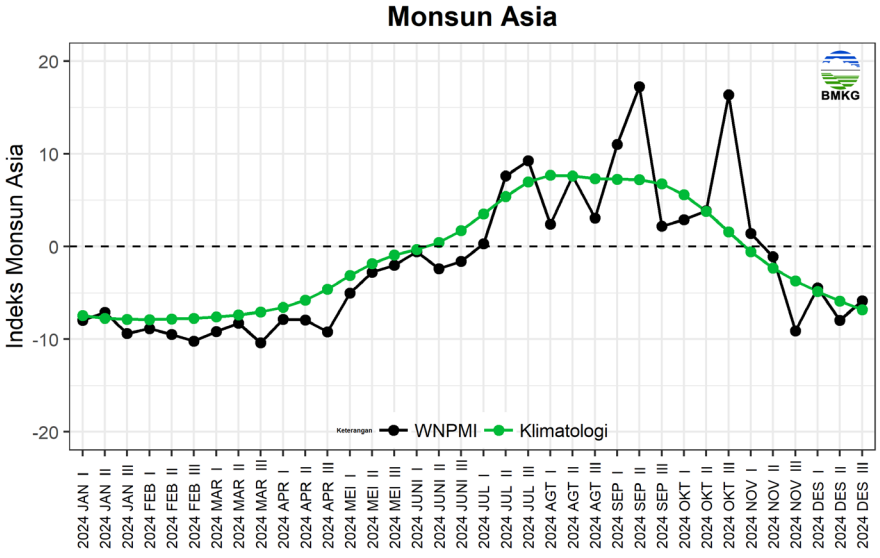
Indian Ocean Dipole merupakan suatu fenomena osilasi suhu permukaan laut di Samudera Hindia yang menyebabkan terjadinya perubahan pola sirkulasi atmosfer. IOD dibedakan menjadi dua fase yaitu IOD Positif dan IOD Negatif. Pada Januari 2024, IOD masih berada dalam fase positif sebagai kelanjutan dari fenomena IOD Positif yang berlangsung sejak Agustus 2023. Pada periode Februari hingga September, IOD bertransisi ke fase Netral. Indeks IOD selanjutnya mengalami penurunan pada Oktober, hingga melewati ambang batas negatif, menandai awal fase IOD Negatif yang bertahan hingga Desember, bersamaan dengan aktifnya fenomena La Niña di Samudera Pasifik (Gambar 3.2).



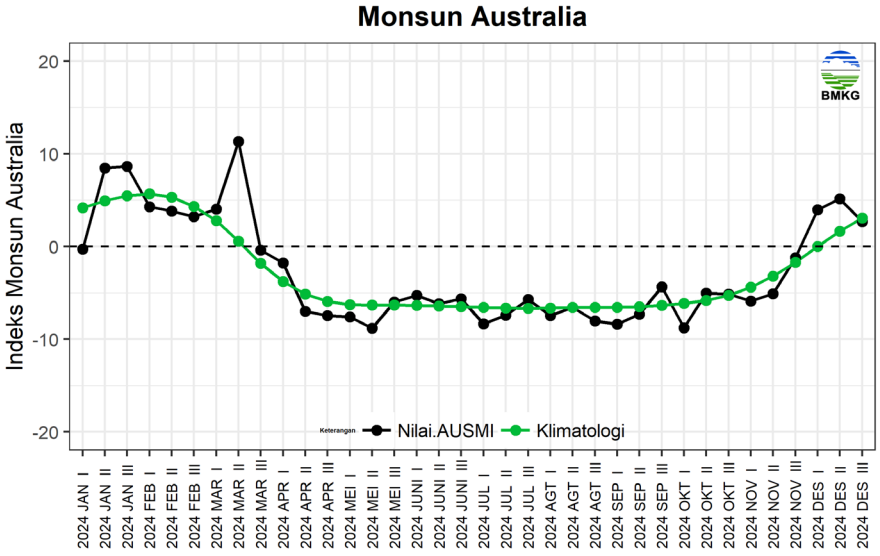
Gambar 3.2. Indeks IOD pada Januari 2024 s.d. Desember 2024
(Sumber data : MGDSST JMA)

3.1.3. Monsun

Secara musiman, iklim Indonesia dipengaruhi oleh sistem angin monsun, yaitu angin dominan yang mengalami perubahan arah dua kali dalam setahun (Ramage, 1971) atau memiliki siklus ulang setengah tahunan. Fenomena ini berperan dalam menentukan periode basah dan kering di wilayah tropis. Indonesia dipengaruhi oleh dua jenis monsun, yaitu Monsun Asia dan Monsun Australia. Monsun Asia berasosiasi dengan musim hujan, sementara Monsun Australia berkaitan dengan musim kemarau. Berdasarkan data *Western North Pacific Monsoon Index*, sepanjang tahun 2024, Monsun Asia umumnya menunjukkan intensitas yang lebih kuat dibandingkan dengan klimatologisnya (Gambar 3.3). Monsun Asia teramati aktif dari awal tahun hingga akhir Juni 2024, kemudian tidak aktif pada awal Juli hingga awal November, sebelum kembali aktif hingga akhir tahun.



Gambar 3.3. Indeks Monsun Asia tahun 2024
(Sumber data: JRA-3Q - JMA)



Gambar 3.4. Indeks Monsun Australia tahun 2024
(Sumber data: JRA-3Q - JMA)

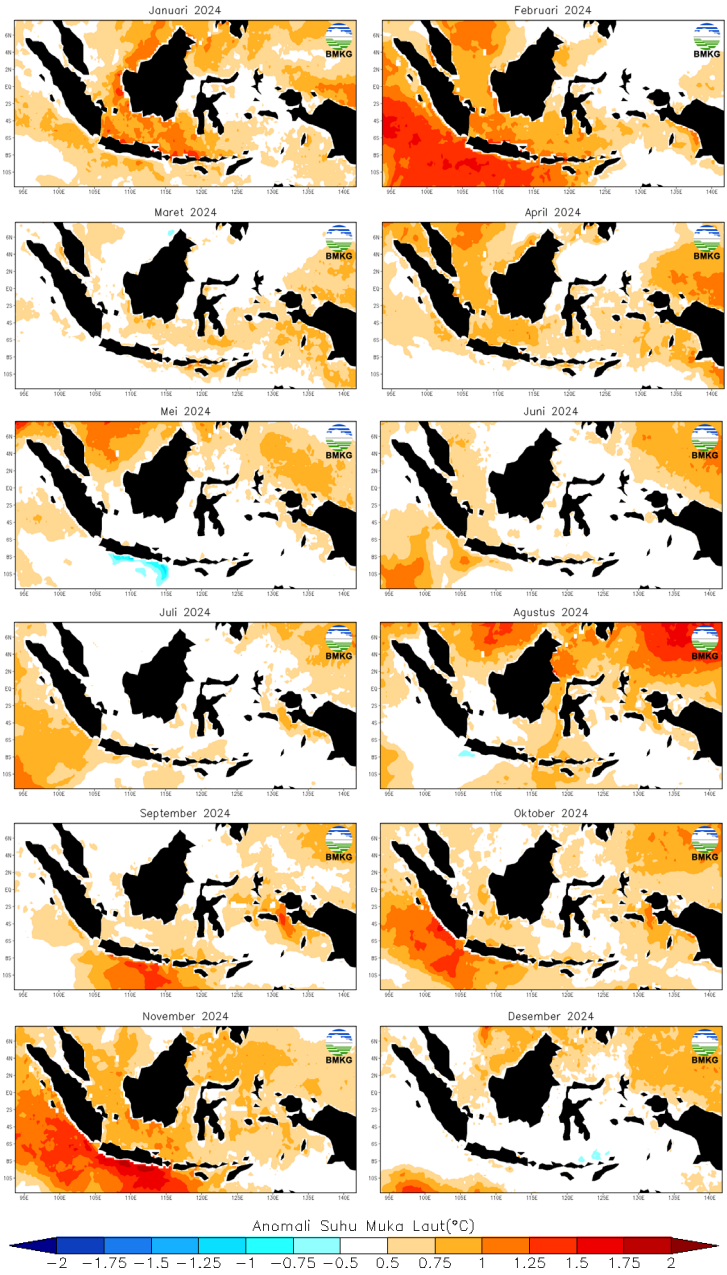
Monsun Australia pada tahun 2024, secara umum berlangsung dengan intensitas relatif hampir sama dengan klimatologisnya, berdasarkan data indeks Monsun Australia (*Australian Monsoon Index*) yang ditunjukkan dalam Gambar 3.4. Monsun Australia terpantau mulai aktif pada akhir Maret 2024 dan berlangsung hingga akhir November 2024.

3.1.4. Suhu Muka Laut Indonesia

Sepanjang tahun 2024, suhu muka laut di perairan Indonesia didominasi oleh anomali positif, menunjukkan kondisi yang lebih hangat dibandingkan dengan rata-rata klimatologisnya (Gambar 3.5). Pada Januari hingga Februari 2024, suhu muka laut yang lebih hangat terutama terpantau di Laut Jawa, Laut Banda, serta Samudera Hindia di barat Sumatera hingga selatan Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara.

Memasuki periode Maret hingga Mei, suhu muka laut masih cenderung lebih tinggi dari kondisi normal, meskipun di beberapa wilayah seperti perairan selatan Jawa dan Nusa Tenggara, menunjukkan anomali negatif. Pada Juni hingga Juli, perairan Samudera Hindia di sebelah barat Sumatera kembali mengalami peningkatan suhu, sementara sebagian besar wilayah perairan Indonesia berada dalam kondisi netral.

Dari Agustus hingga November 2024, suhu muka laut di sebagian besar perairan Indonesia kembali menunjukkan tren pemanasan secara bertahap, dengan anomali positif berkisar antara 0,75 °C hingga 1,75 °C, terutama di Laut Natuna Utara, Laut Jawa, Samudera Hindia, dan Laut Sulawesi. Pada Desember 2024, suhu muka laut secara umum berada dalam kondisi netral, kecuali di perairan utara Indonesia yang masih menunjukkan anomali positif, serta di sebagian kecil wilayah perairan utara Nusa Tenggara Timur yang mengalami anomali negatif.

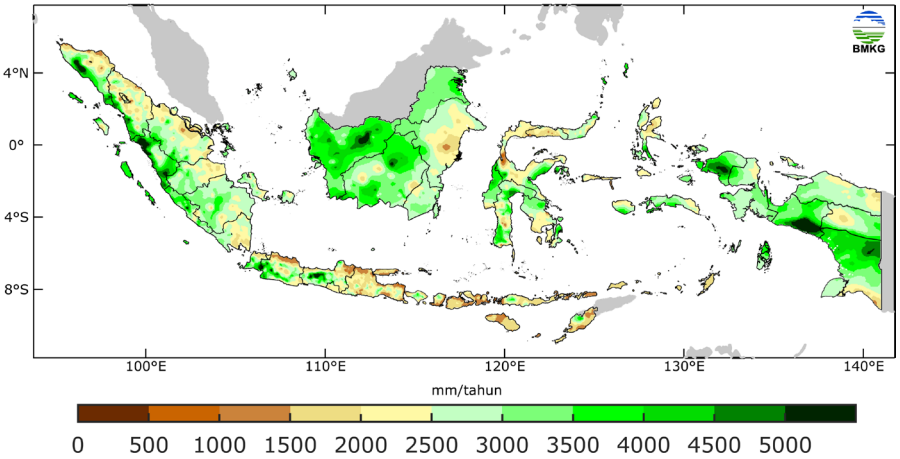


Gambar 3.5. Anomali suhu muka laut di perairan Indonesia pada tahun 2024 (Sumber data: MGDSST - JMA)

3.2. Parameter Iklim

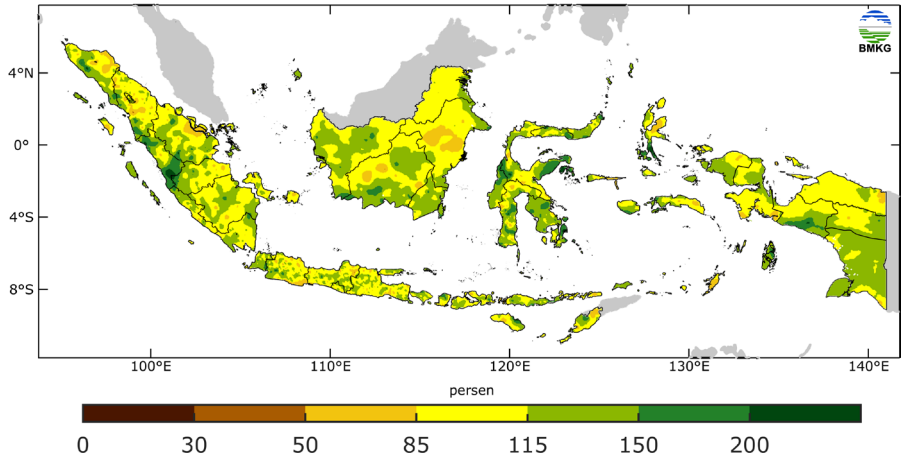
3.2.1. Curah Hujan

Pada tahun 2024, Indonesia umumnya menerima curah hujan tahunan berkisar antara 1500—4500 mm/tahun (Gambar 3.6). Pulau Sumatera, Kalimantan, dan Papua secara umum, menunjukkan kisaran curah hujan tahunan antara 1500—3000 mm/tahun. Terdapat wilayah dengan curah hujan tahunan lebih dari 4500 mm/tahun, meliputi sebagian Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Sulawesi Selatan, Papua Barat Daya, Papua Tengah, dan Papua Selatan. Curah hujan tahunan tertinggi tahun 2024 tercatat di wilayah Kabupaten Deiyai, Provinsi Papua yaitu sebesar 5596 mm/tahun. Sementara itu, pulau-pulau seperti sebagian Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, dan Maluku menunjukkan variasi curah hujan tahunan berkisar antara 500—2500 mm. Wilayah-wilayah dengan curah hujan tahunan rendah, yaitu kurang dari 1500 mm/tahun antara lain sebagian kecil Aceh, Sumatera Utara, Riau, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tengah, dan Papua Selatan. Curah hujan tahunan terendah tercatat di wilayah Kota Palu, Sulawesi Tengah yaitu sebesar 1006 mm/tahun.



Gambar 3.6. Analisis curah hujan Indonesia tahun 2024

Berdasarkan perbandingan dengan nilai normalnya, curah hujan tahun 2024 pada umumnya berada pada kategori normal hingga atas normal atau lebih basah dari biasanya (Gambar 3.7). Wilayah-wilayah yang menerima curah hujan tahunan dengan kategori atas normal antara lain sebagian Sumatera, sebagian Jawa, sebagian Bali, sebagian Nusa Tenggara Barat, sebagian Nusa Tenggara Timur, sebagian Kalimantan, sebagian besar Sulawesi, sebagian Maluku, sebagian Maluku Utara, sebagian Maluku, sebagian Maluku Utara, dan sebagian Papua. Curah hujan tahunan kategori bawah normal hanya terjadi di sebagian kecil wilayah Aceh, Sumatera Utara, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, Sulawesi, Maluku, Maluku Utara, Papua Barat Daya, Papua Barat, dan Papua.



Gambar 3.7. Analisis sifat hujan Indonesia tahun 2024

Gambar 3.8 menunjukkan sepuluh tahun dengan curah hujan tahunan tertinggi di Indonesia. Terlihat bahwa tahun 2024 menempati urutan ketiga sebagai tahun dengan curah hujan tahunan tertinggi sebesar 3017,4 mm, di bawah tahun 2022 sebesar 3037,9 mm pada urutan kedua dan tahun 2010 sebesar 3205,9 mm pada peringkat pertama.

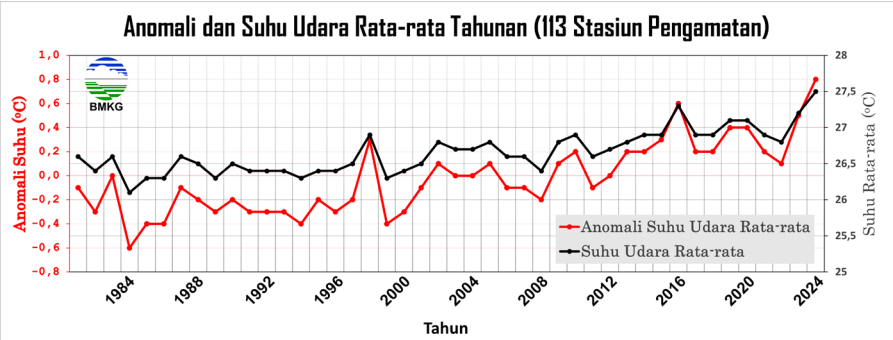
Gambar 3.8. Catatan hujan tahunan tertinggi di Indonesia

Periode musim kemarau tahun 2024 umumnya berlangsung lebih pendek dari normalnya. Awal musim kemarau mulai terjadi di wilayah Jawa bagian selatan, Bali, dan Nusa Tenggara, pada bulan April, kemudian dilanjutkan ke wilayah Jawa bagian barat hingga Sumatera pada periode Mei—Juni. Awal musim kemarau kemudian terjadi di wilayah Kalimantan, Sulawesi hingga Papua pada periode Juli—Agustus 2024. Awal musim kemarau 2024 di sebagian besar wilayah Indonesia datang lebih lambat (mundur) dengan curah hujan selama musim kemarau yang lebih kering dibandingkan normalnya, terutama di Jawa dan Sumatera. Namun, di beberapa wilayah lain seperti Kalimantan, Sulawesi, dan Papua, curah hujan musim kemarau berada pada kategori normal hingga di atas normal. Puncak musim kemarau umumnya terjadi pada Juli—Agustus, sedangkan di beberapa wilayah seperti Sulawesi dan Kalimantan, puncak musim kemarau terjadi pada September 2024. Jika dibandingkan dengan normalnya, puncak musim kemarau sebagian besar terjadi pada periode yang sama seperti kebiasaannya. Meskipun demikian, puncak musim kemarau

di Sulawesi dan Kalimantan, terjadi lebih lambat (mundur) dari normalnya. Sementara itu, awal musim hujan 2024/2025, yang datang pada semester kedua, umumnya terjadi lebih awal (maju) dibandingkan normalnya. Wilayah Sumatera dan Kalimantan teramati memasuki musim hujan pada bulan Agustus dan September sedangkan sebagian besar wilayah Indonesia lainnya, yaitu Jawa, Bali, Nusa Tenggara, dan Sulawesi, memasuki awal musim hujan pada November 2024.

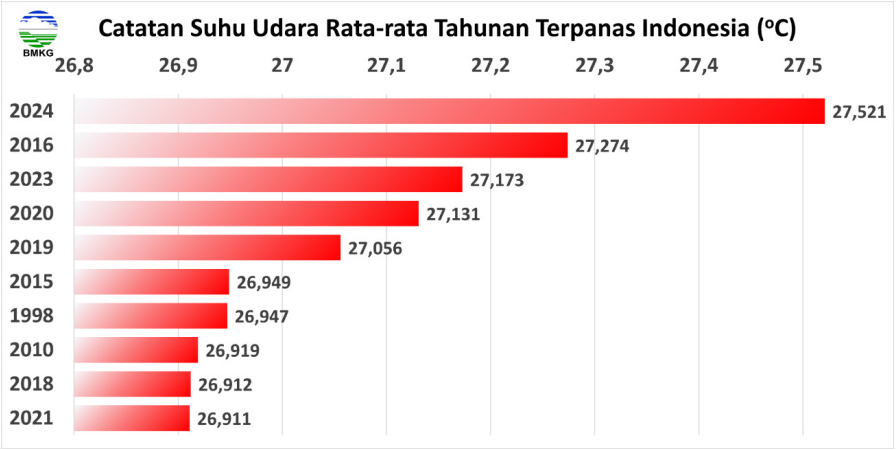
3.2.2. Suhu Udara

Gambar 3.9 menunjukkan anomali suhu udara tahunan, yang menunjukkan selisih antara suhu udara rata-rata tahun 2024 dengan suhu udara rata-rata tahunan selama periode normal 1991—2020. Berdasarkan data dari 113 stasiun-stasiun pengamatan BMKG yang tersebar di seluruh wilayah daratan Indonesia, suhu udara rata-rata nasional selama periode normal tercatat sebesar 26,7 °C, sementara suhu udara rata-rata pada tahun 2024 meningkat mencapai 27,5 °C. Dengan demikian, tercatat anomali suhu udara positif sebesar 0,8 °C pada tahun 2024. Peningkatan ini menunjukkan laju kenaikan suhu rata-rata sebesar 0,02 °C per tahun. Secara kumulatif, suhu udara rata-rata Indonesia telah meningkat sebesar 0,9 °C dalam kurun waktu 44 tahun terakhir (1981—2024). Tren kenaikan suhu yang berkelanjutan ini menempatkan dua dekade terakhir sebagai periode terpanas sepanjang sejarah pengamatan di Indonesia.



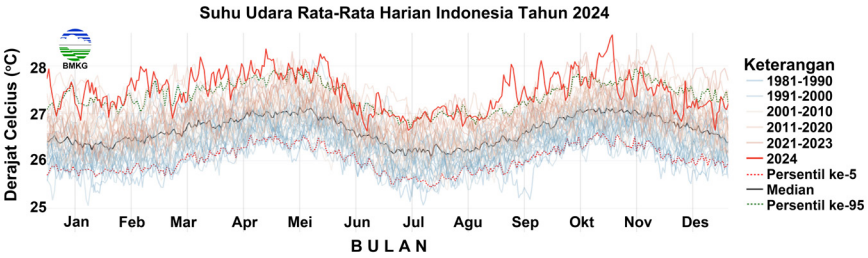
Gambar 3.9. Anomali dan suhu rata-rata tahunan Indonesia dari tahun 1981 hingga 2024

Gambar 3.10 menampilkan secara lebih jelas sepuluh tahun dengan suhu udara rata-rata tahunan tertinggi di Indonesia. Tahun 2024 tercatat sebagai tahun terpanas dengan suhu rata-rata tahunan mencapai 27,521 °C, melampaui tahun-tahun sebelumnya seperti 2016 (27,274 °C) dan 2023 (27,173 °C). Data ini mengindikasikan tren peningkatan suhu yang berkelanjutan dalam beberapa dekade terakhir, dengan fakta tahun-tahun terbaru secara dominan mencatat suhu tertinggi, yang mencerminkan dampak pemanasan global dan perubahan iklim yang semakin nyata di Indonesia.



Gambar 3.10. Catatan suhu udara rata-rata tahunan terpanas Indonesia

Laju peningkatan suhu udara rata-rata di Indonesia terus berlanjut secara konsisten, dengan rekor tertinggi tercapai pada tahun 2024. Gambar 3.11 menunjukkan bahwa suhu udara rata-rata harian sepanjang tahun 2024 umumnya berada di sekitar atau melebihi persentil ke-95 dari suhu rata-rata historis Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar hari dalam tahun 2024 lebih panas dibandingkan kondisi normal, dengan mayoritas suhu harian termasuk dalam 5 % tertinggi dalam sejarah pencatatan suhu udara nasional. Fakta ini sejalan dengan hasil survei yang dipublikasikan oleh BMKG (2024) dalam buku "Fakta dan Persepsi Perubahan Iklim di Indonesia". Survei tersebut menunjukkan bahwa mayoritas masyarakat Indonesia merasakan peningkatan suhu yang semakin terasa lebih panas dibandingkan tahun-tahun sebelumnya.



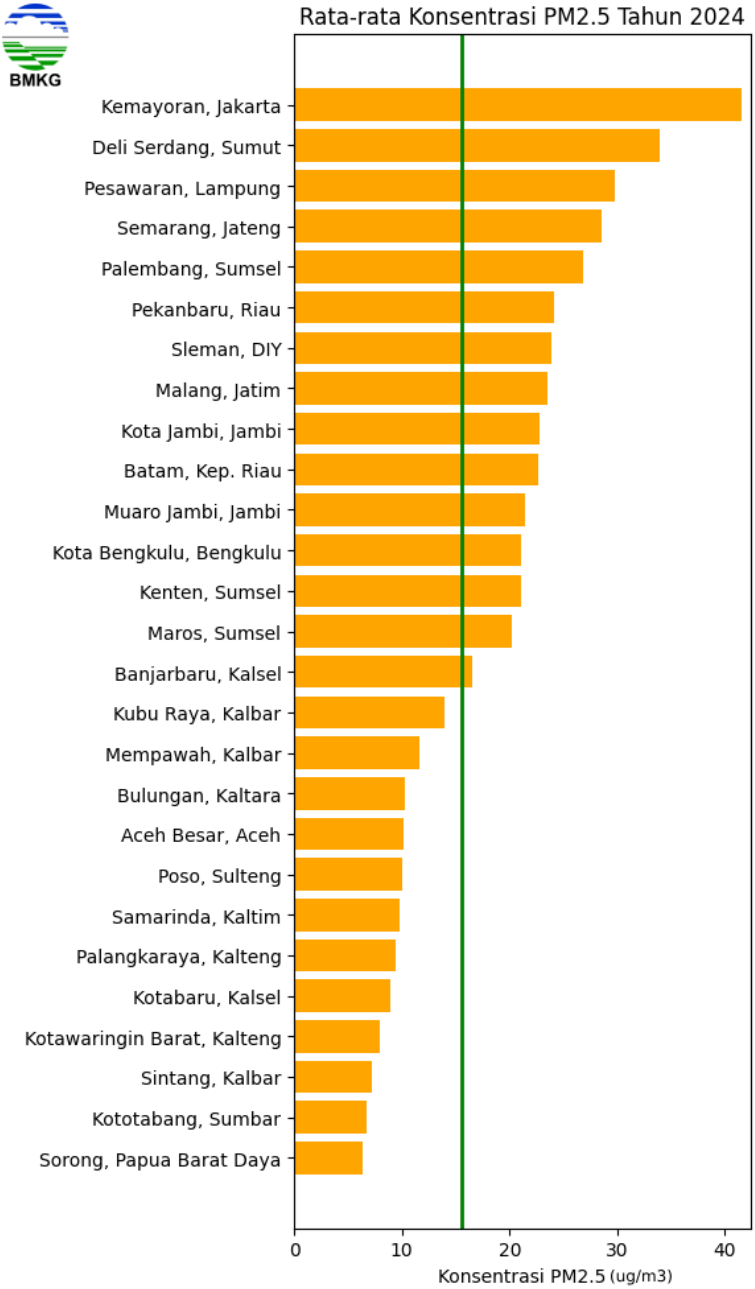
Gambar 3.11. Suhu udara rata-rata harian di Indonesia dari tahun 1981-2024

3.2.3. Parameter Pencemaran Udara

Dalam laporan parameter pencemaran udara ini, BMKG berfokus pada beberapa indikator utama, yaitu konsentrasi $PM_{2.5}$ (*Particulate Matter*), gas polutan NO_2, konsentrasi partikel polutan SPM, serta pH air hujan.

Particulate Matter$_{2.5}$ ($PM_{2.5}$)

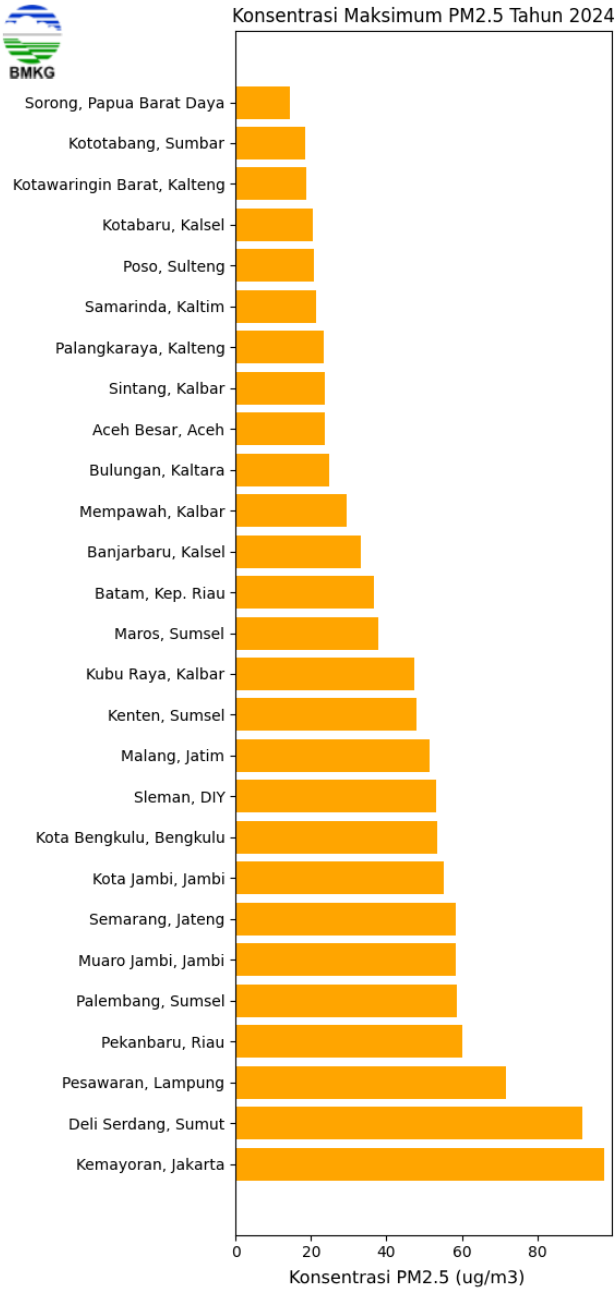
Kondisi $PM_{2.5}$ (*particulate matter*) diukur oleh BMKG di seluruh wilayah Indonesia dan informasinya disampaikan dalam bentuk konsentrasi. Hasil rata-rata konsentrasi $PM_{2.5}$ dari semua lokasi di Indonesia disajikan dalam Gambar 3.12. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa 12 lokasi pengamatan $PM_{2.5}$ memiliki nilai rata-rata konsentrasi tahunan di bawah baku mutu konsentrasi tahunan (15 µg/m^3) dan 15 lokasi pengamatan $PM_{2.5}$ memiliki nilai rata-rata konsentrasi tahunan di atas nilai baku mutu konsentrasi tahunan. Rata-rata konsentrasi tahunan paling tinggi terjadi di Jakarta Pusat. Selanjutnya, lokasi dengan rata-rata tahunan tertinggi ke terendah yang memiliki nilai konsentrasi di atas baku mutu adalah Deli Serdang, Pesawaran, Semarang, Palembang, Pekanbaru, Sleman, Malang, Kota Jambi, Batam, Muaro Jambi, Bengkulu, Kenten, Maros, dan Banjarbaru. Sementara itu, lokasi dengan rata-rata tahunan di bawah nilai baku mutu, dari tertinggi hingga terendah, adalah Kubu Raya, Mempawah, Bulungan, Aceh Besar, Poso, Samarinda, Palangkaraya, Kotabaru, Sintang, Kotawaringin Barat, Bukit Kototabang, dan Sorong.



Gambar 3.12. Rata-rata konsentrasi $PM_{2.5}$ pada tahun 2024

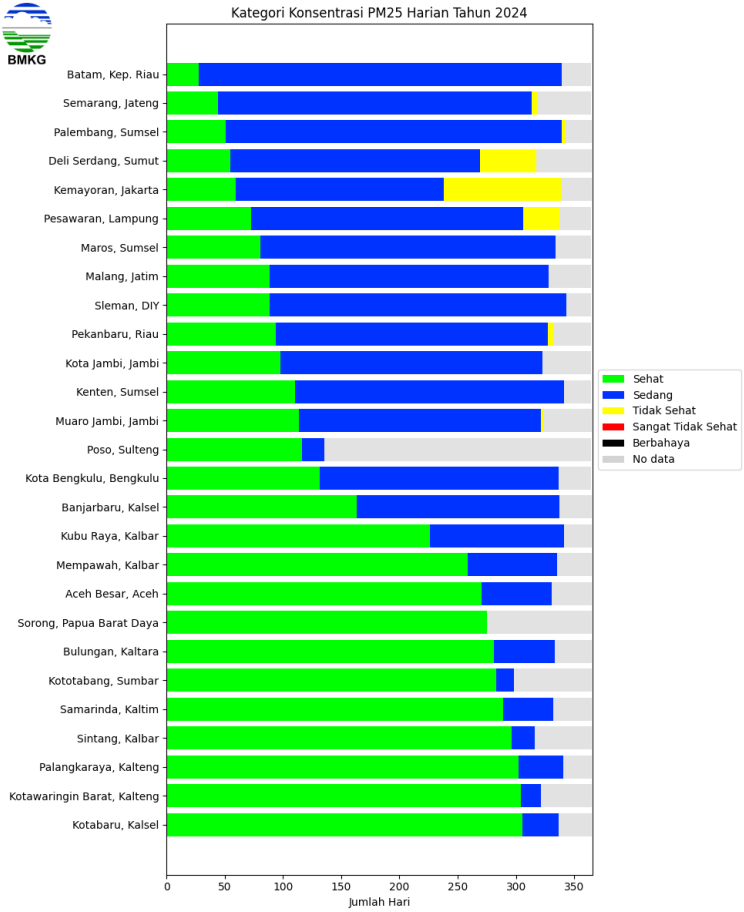
Gambar 3.13 menyajikan nilai maksimum konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terukur di Indonesia sepanjang tahun 2024. Jakarta tercatat sebagai lokasi dengan konsentrasi maksimum tertinggi, yaitu sebesar 97,8 µg/m³ yang terjadi pada 29 Maret dan 13 Juli. Lokasi berikutnya adalah Deli Serdang, Sumatera Utara, dengan konsentrasi maksimum sebesar 92 µg/m³ yang tercatat pada 26 Januari dan 19 September. Peringkat ketiga ditempati oleh Pesawaran, Lampung, dengan konsentrasi maksimum sebesar 71,6 µg/m³ yang terjadi pada 31 Maret.

Sementara itu, tiga lokasi dengan konsentrasi maksimum terendah adalah Kotawaringin Barat (Kalimantan Tengah), Bukit Kototabang (Sumatera Barat), dan Sorong (Papua Barat Daya). Masing-masing lokasi mencatat nilai maksimum sebagai berikut: Kotawaringin Barat sebesar 18,8 µg/m³ pada 22 Maret, 19 Agustus, dan 8 November; Bukit Kototabang sebesar 18,6 µg/m³ yang terjadi pada 13 dan 20 Januari, 14 dan 21 Maret, 23 Mei, 15 Agustus, serta 3 Oktober; dan Sorong dengan nilai terendah sebesar 14,3 µg/m³ yang tercatat pada 29 Januari, 28 Februari, dan 19 Juli. Secara umum, konsentrasi maksimum $PM_{2.5}$ di seluruh lokasi pengamatan cenderung terjadi pada periode Juni hingga Oktober 2024.



Gambar 3.13. Konsentrasi maksimum $PM_{2.5}$ pada tahun 2024

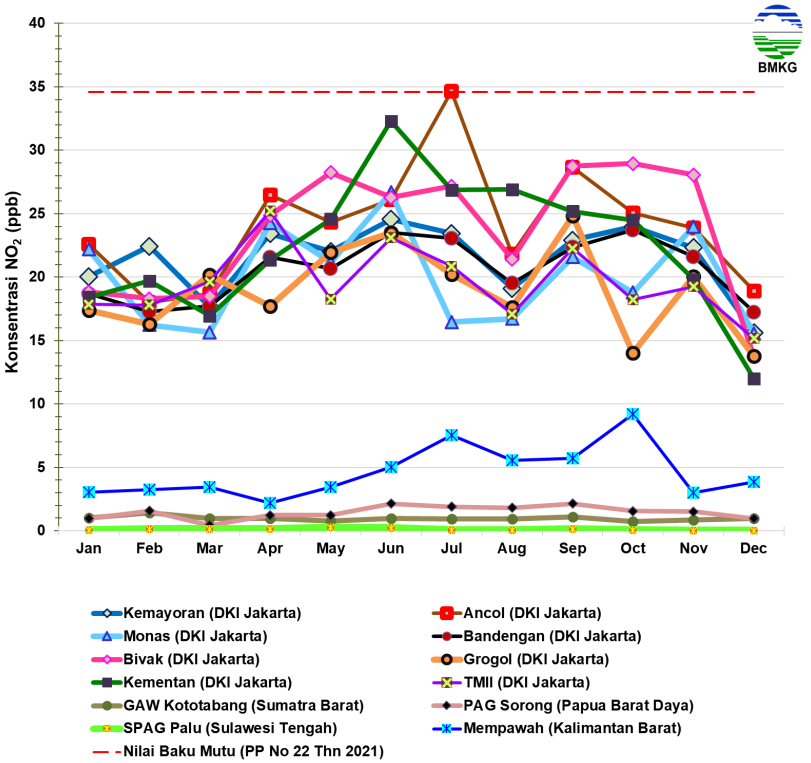
Gambar 3.14 menyajikan grafik konsentrasi $PM_{2.5}$ yang terukur di Indonesia sepanjang 2024 dalam persentase kategori. Secara umum, mayoritas lokasi di Indonesia, mengalami konsentrasi kategori “Baik” dan “Sedang”. Dari grafik terlihat lokasi Kotabaru (Kalimantan Selatan), Kotawaringin Barat (Kalimantan Tengah), Palangkaraya (Kalimantan Tengah), Sintang (Kalimantan Barat), dan Samarinda (Kalimantan Timur) menjadi lima lokasi dengan persentase kategori “Baik” tertinggi. Sementara itu Kota Semarang (Jawa Tengah), Palembang (Sumatera Selatan), Deli Serdang (Sumatera Utara), Kemayoran (Jakarta), Pesawaran (lampung), dan Muaro Jambi (Jambi) tercatat sempat mengalami kondisi dengan kategori “Tidak Sehat”.



Gambar 3.14. Jumlah hari kategori konsentrasi $PM_{2.5}$ pada tahun 2024

Nitrogen Dioksida (NO_2)

Berdasarkan hasil analisis, rata-rata konsentrasi NO_2 tahun 2024 pada 12 lokasi pengamatan masih di bawah Nilai Baku Mutu (NBM =34,57 ppb), secara berurutan yaitu Ancol-Jakarta (24,09 ppb), Bivak-Jakarta (23,59 ppb), Kementan-Jakarta (23,38 ppb), Kemayoran-Jakarta (21,46 ppb), Bandengan-Jakarta (20,57 ppb), Monas-Jakarta (19,94 ppb), TMII-Jakarta (19,56 ppb), Grogol-Jakarta (18,95 ppb), Mempawah-Jakarta (4,61 ppb), Sorong-Papua Barat Daya (1,50 ppb), Bukit Kototabang-Sumatera Barat (0,97 ppb), dan Lore Lindu-Sulawesi Tengah (0,10 ppb). Berdasarkan Gambar 3.10, rata-rata konsentrasi NO_2 Jakarta berada pada rentang 15—34 ppb. Konsentrasi NO_2 di seluruh lokasi sampling Jakarta lebih tinggi daripada Mempawah, Bukit Kototabang, Sorong, dan Lore Lindu.



Gambar 3.15. Konsentrasi NO_2 metode sampling di Jakarta, Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Stasiun Pemantau Atmosfer Global Sorong, Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri, dan Mempawah

Konsentrasi NO_2 rata-rata tertinggi sebesar 34,66 ppb di Ancol-Jakarta pada bulan Juli 2024. Pada umumnya konsentrasi NO_2 mengalami peningkatan pada bulan Juni, Juli (Kementan, Monas, Kemayoran, Sorong, Ancol) dan Oktober (Bivak, Bandengan, Mempawah). Konsentrasi tersebut berfluktuatif hingga mencapai rata-rata konsentrasi terendahnya pada bulan Desember (Gambar 3.15).

Konsentrasi maksimum NO_2 terukur di lokasi sampling Ancol (57,64 ppb) pada periode sampling 3—9 Juli 2024. Selanjutnya disusul oleh Kementan (56,46 ppb) pada 21—27 Juni 2024, dan Bivak (52,37 ppb) pada 6—12 November 2024.

***Suspended Particulate Matter* (SPM)**

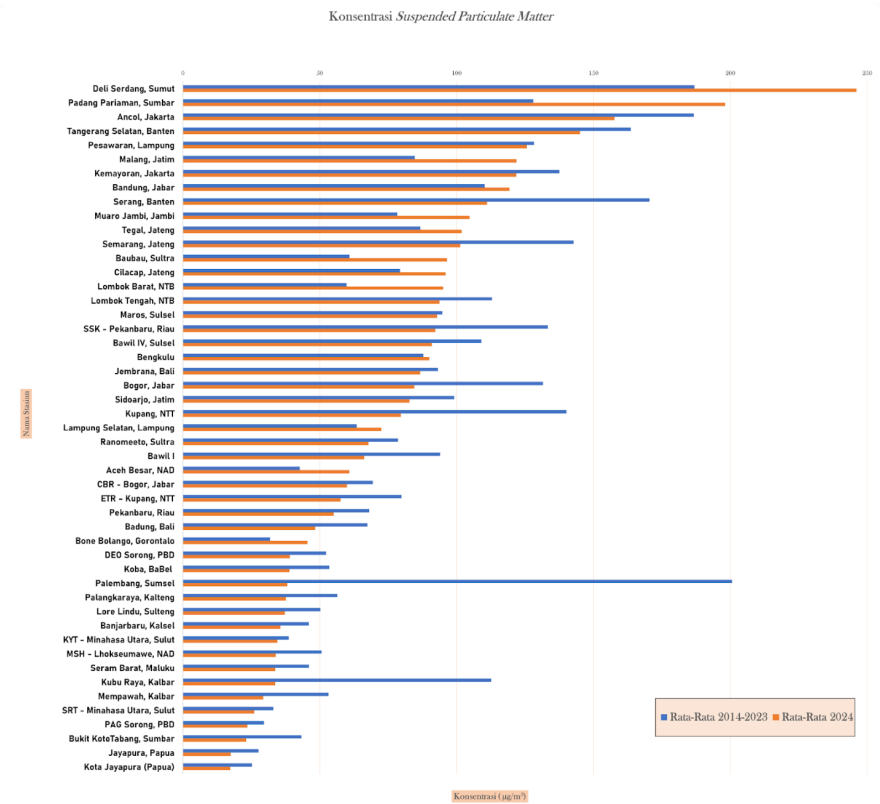
Berdasarkan hasil analisis, lima lokasi SPM dengan konsentrasi tertinggi pada tahun 2024 disajikan pada Gambar 3.15. Kelima lokasi SPM tertinggi berada di Pulau Sumatera dan Jawa yaitu Sicincin-Padang Pariaman (Sumatera Barat), Tangerang (Banten), Ancol (Jakarta), Tangerang Selatan (Banten), dan Pesawaran (Lampung).

Selain lokasi dengan SPM tertinggi, Gambar 3.15 juga menunjukan lima lokasi SPM dengan konsentrasi terendah, yang umumnya berada di Indonesia bagian Timur dan lokasi pemantauan atmosfer *background Global Atmosphere Watch* (GAW) dan PAG (Pemantau Atmosfer Global). Kelima lokasi tersebut adalah Jayapura (Papua), Bukit Kototabang (Sumatera Barat), Sorong (Papua Barat Daya), Sam Ratulangi (Sulawesi Utara), dan Merauke (Papua Selatan).

Gambar 3.16. Hasil pengamatan *Suspended Particulate Matter (SPM)* tertinggi dan terendah tahun 2024

Gambar 3.16. Hasil pengamatan *Suspended Particulate Matter (SPM)* tertinggi dan terendah tahun 2024

Rata-rata konsentrasi SPM (*Suspended Particulate Matter*) di Indonesia selama periode 2014—2023 tercatat sebesar 88 µg/m³, sedangkan pada tahun 2024, rata-rata konsentrasinya menurun menjadi 77 µg/m³. Dibandingkan dengan rata-rata tahun 2014–2023, konsentrasi SPM pada tahun 2024 mengalami penurunan di 21 lokasi, sementara 8 lokasi menunjukkan peningkatan. Lokasi-lokasi dengan peningkatan konsentrasi SPM meliputi Indrapuri (Stasiun Klimatologi Aceh), Sampali (Stasiun Klimatologi Sumatera Utara), Sicincin (Stasiun Klimatologi Sumatera Barat), Pulau Baai (Stasiun Klimatologi Bengkulu), Muaro Jambi (Stasiun Klimatologi Jambi), Malang (Stasiun Klimatologi Jawa Timur), Tilongkabila (Stasiun Klimatologi Gorontalo), dan Kediri (Stasiun Klimatologi Nusa Tenggara Barat) sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.17.

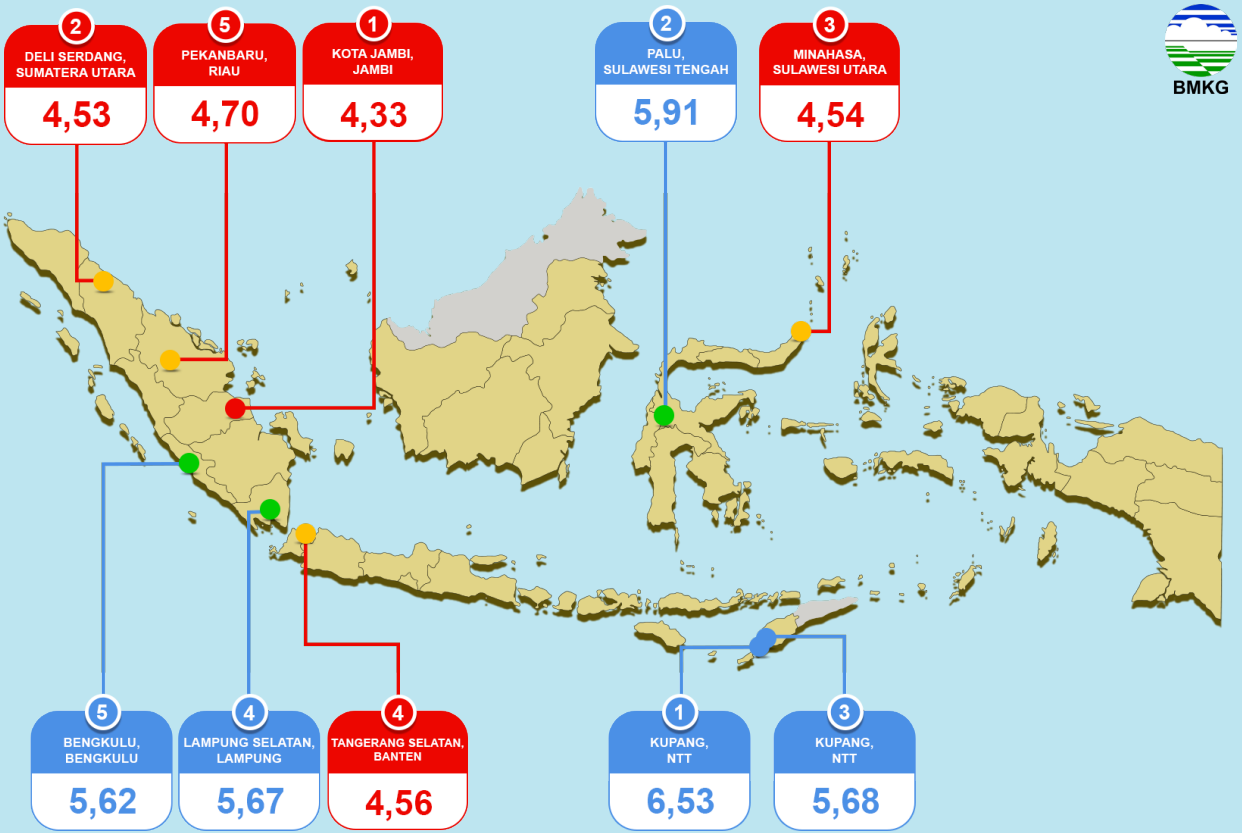


Gambar 3.17. Hasil pengamatan konsentrasi rata-rata *Suspended Particulate Matter (SPM)* 2014-2023 dengan rata-rata tahun 2024

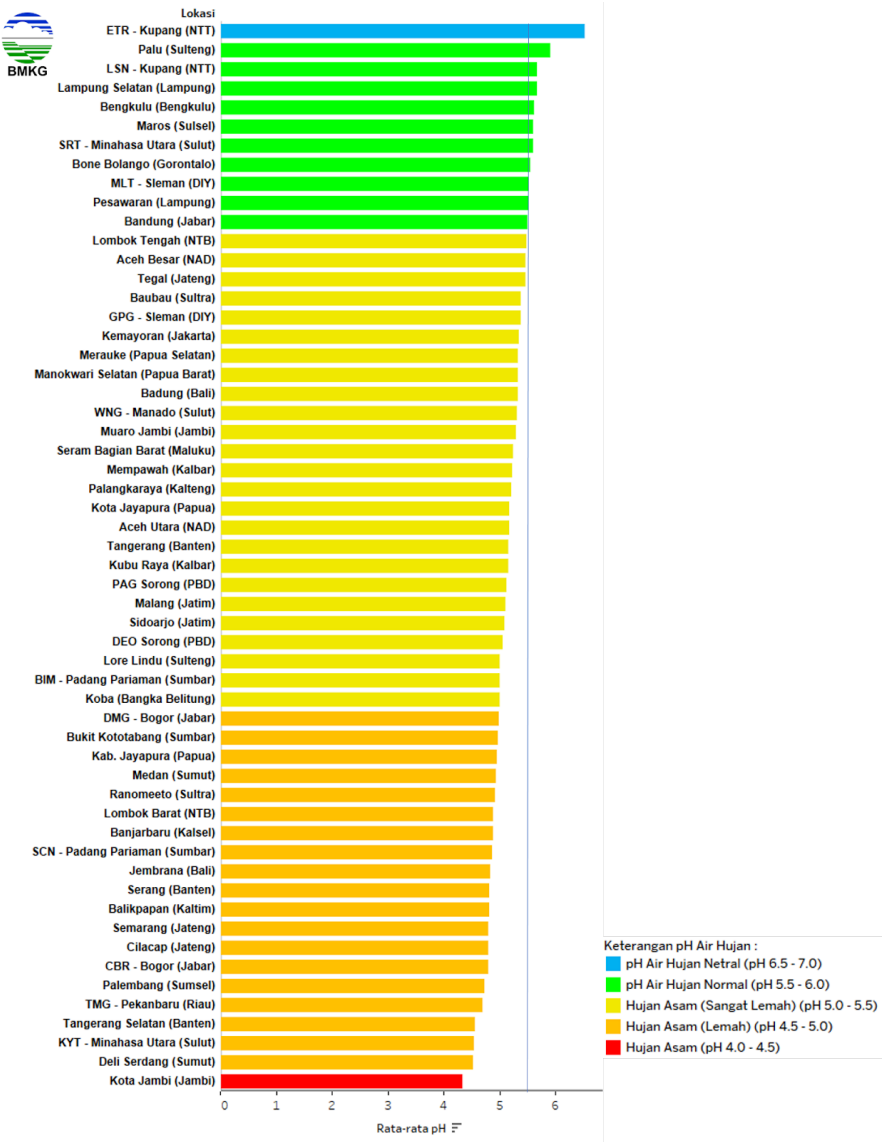
pH Air Hujan

Berdasarkan hasil analisis, rata-rata pH air hujan di Indonesia pada tahun 2024 tercatat sebesar 5,15. Nilai ini dikategorikan sebagai hujan asam, karena berada di bawah ambang batas 5,6 (pH <5,6). Rata-rata pH air hujan tahun 2024 mengalami penurunan dibandingkan tahun 2023 (pH 5,43) dan 2022 (pH 5,46).

Lima lokasi dengan rata-rata pH air hujan terendah pada tahun 2024 antara lain Kota Jambi (Jambi), Deli Serdang (Sumatera Utara), Minahasa Utara (Sulawesi Utara), Tangerang Selatan (Banten), dan Pekanbaru (Riau). Lokasi-lokasi tersebut memiliki pH air hujan yang bersifat asam. Sementara itu, lima lokasi dengan rata-rata pH air hujan tertinggi pada tahun 2024 meliputi El Tari-Kupang (Nusa Tenggara Timur), Palu (Sulawesi Tengah), Lasiana-Kupang (Nusa Tenggara Timur), Lampung Selatan (Lampung), dan Bengkulu (Bengkulu). Lokasi-lokasi ini memiliki pH air hujan yang netral atau mendekati normal pada tahun 2024 (Gambar 3.18).



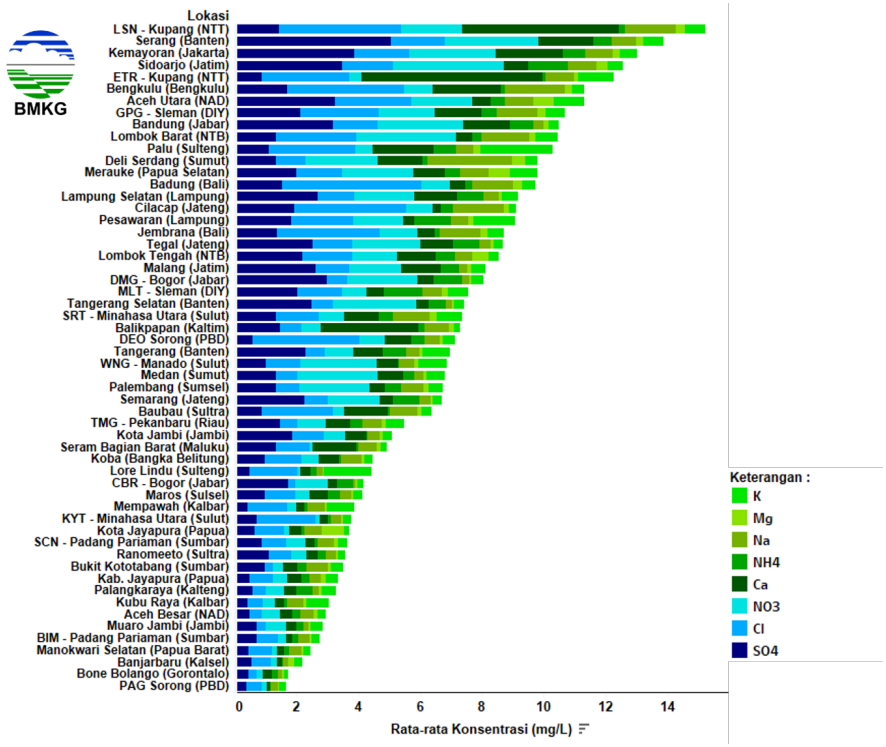
Gambar 3.18. Peta 5 Lokasi pengamatan rata-rata pH air hujan terendah (Hujan Asam) dan 5 Lokasi pH air hujan tertinggi (Hujan non-Asam) tahun 2024



Gambar 3.19. Rata-rata pH air hujan 2024 pada Lokasi Sampling BMKG

Secara lebih rinci, hasil sampling pada 56 lokasi menunjukkan bahwa rata-rata pH air hujan berkisar antara 4,33—6,53 (Gambar 3.19), yang termasuk dalam kategori hujan asam hingga netral. Berdasarkan analisis pH, terdapat

11 lokasi dengan kategori pH normal hingga netral (pH >5,5) dan 35 lokasi dengan kategori hujan asam, baik dalam kategori asam lemah maupun asam sangat lemah (pH <5,5).



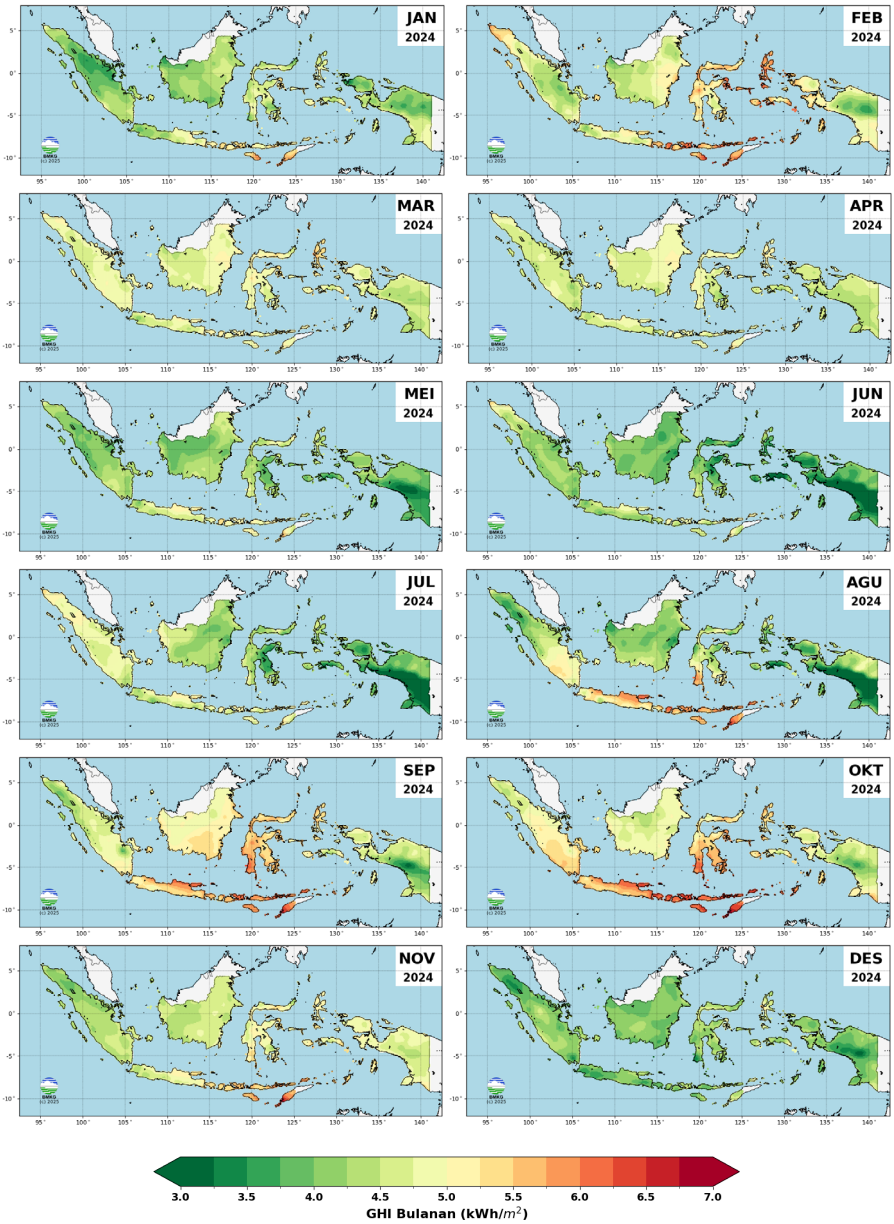
Gambar 3.18b. Rata-rata Konsentrasi ion Air Hujan 2024

Sifat asam air hujan tergantung pada konsentrasi ion yang terkandung di dalamnya yang terdiri dari anion (ion bermuatan negatif seperti NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-) dan kation (ion bermuatan positif seperti K^+, Mg^{2+}, Na^+, NH_4^+, dan Ca^{2+}). pH air hujan cenderung turun dan berbanding lurus dengan dominannya total unsur/senyawa anion (NO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-) yang sumbernya dari gas polutan bahan bakar fosil dan pembakaran biomassa. Berdasarkan analisis komposisi kimia/ ion air hujan, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.20, rata-rata anion tertinggi terdapat di Serang (Banten), Sidoarjo (Jawa Timur) dan Kemayoran (Jakarta). Adapun rata-rata kation tertinggi terdapat di El Tari-Kupang (Nusa

Tenggara Timur), Lasiana-Kupang (Nusa Tenggara Timur), dan Palu (Sulawesi Tengah).

3.2.4. Radiasi Matahari

Wilayah Indonesia mengalami radiasi maksimum di sekitar bulan Agustus hingga Oktober, dan kemudian berangsur turun di bulan November. Pada beberapa lokasi, radiasi pada bulan Oktober mencapai >6 kWh/m^2. Wilayah yang mengalami intensitas radiasi tertinggi diantaranya adalah wilayah Sumatera bagian tengah dan selatan, sebagian besar Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, Sulawesi, serta Maluku (Gambar 3.21). Puncak radiasi yang terjadi pada bulan September dan Oktober bersesuaian waktunya dengan pergerakan semu Matahari yang mendekati wilayah ekuator pada periode tersebut, kemudian bergerak ke arah selatan khatulistiwa, yang menyebabkan tingginya radiasi di wilayah Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara.



Gambar 3.19. Radiasi matahari (*Global Horizontal Irradiance*, GHI) bulanan di Indonesia tahun 2024. Pengolahan data menggunakan *re-analysis* ERA5 dan 34 titik pengamatan ASRS.

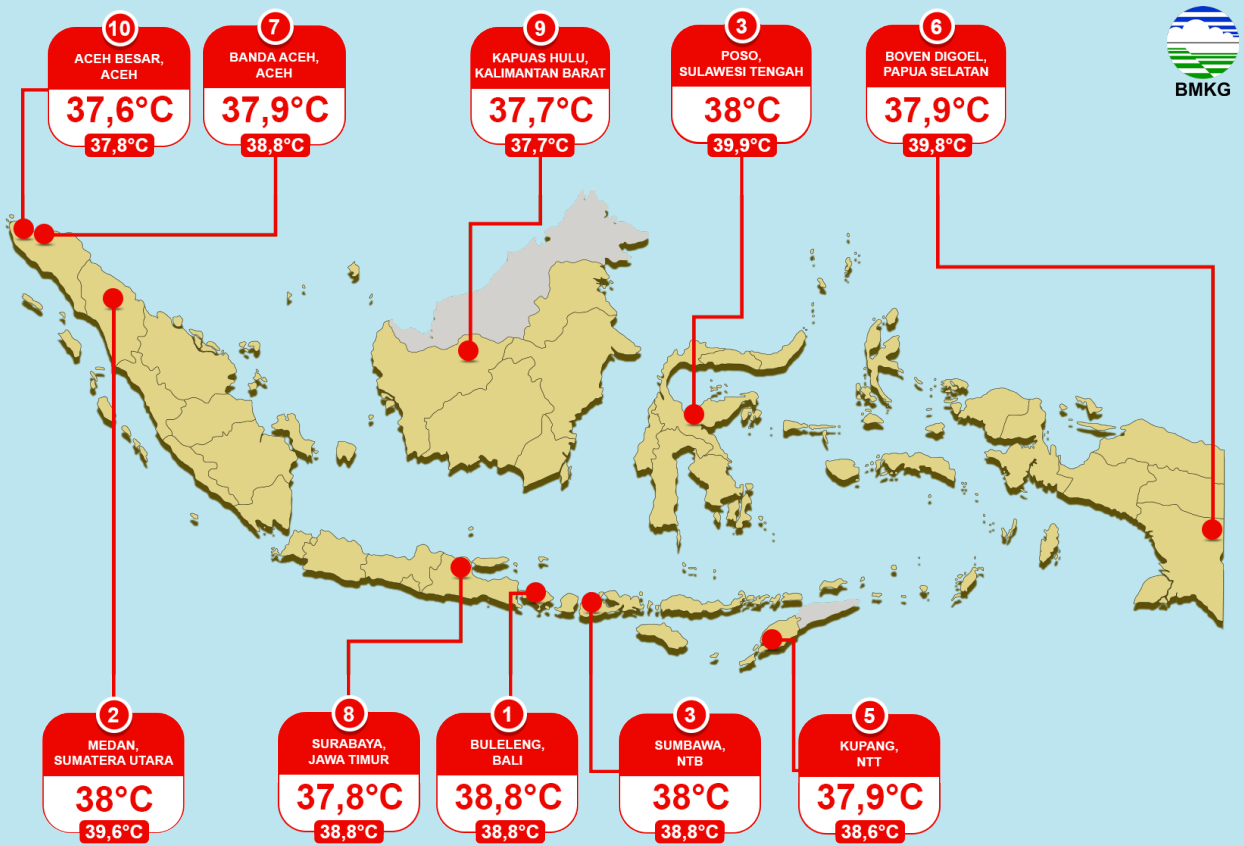
IV. CATATAN REKOR PENGAMATAN

4.1. Suhu Udara Maksimum (*T max*)

Sepanjang tahun 2024, suhu maksimum harian tertinggi teramati terjadi pada bulan Oktober hingga Desember. Suhu maksimum harian tertinggi teramati sebesar 38,8 °C yang terjadi pada Pos Iklim Tangguwisia, Buleleng, Bali pada 2 Januari 2024. Kemudian 38,0 °C yang teramati di 3 lokasi yaitu Balai Besar MKG Wilayah I Medan, Sumatera Utara pada 18 Juli 2024, Stasiun Meteorologi Kasiguncu, Poso, Sulawesi Tengah pada 7 November 2024, dan Stasiun Meteorologi Kaharudin, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat pada 28 Oktober 2024. Daftar 10 stasiun BMKG yang mencatat suhu maksimum harian tertinggi di Indonesia secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1. Lokasi dengan sepuluh kejadian suhu udara maksimum harian tertinggi pada tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Stasiun/Pos Iklim	Tanggal	T Max (°C)	Rekor Tertinggi
1	Bali	Buleleng	Pos Iklim Tangguwisia	2 Januari 2024	38,8	38,8
2	Sumatera Utara	Kota Medan	BBMKG Wil. I Medan	18 Juli 2024	38	39,6
3	Sulawesi Tengah	Poso	Stasiun Meteorologi Kasiguncu	7 November 2024	38	39,9
4	Nusa Tenggara Barat	Sumbawa	Stasiun Meteorologi Kaharudin Sumbawa	28 Oktober 2024	38	38,8
5	Nusa Tenggara Timur	Kota Kupang	Stasiun Klimatologi Nusa Tenggara Timur	5 November 2024	37,9	38,6
6	Papua Selatan	Boven Digoel	Stasiun Meteorologi Tanah Merah	5 dan 20 Desember 2024	37,9	39,8
7	Aceh	Banda Aceh	Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda	19 Juli 2024	37,9	38,8
8	Jawa Timur	Kota Surabaya	Stasiun Meteorologi Perak I	13 dan 27 Oktober 2024	37,8	38,8
9	Kalimantan Barat	Kapuas Hulu	Stasiun Meteorologi Pangsuma	21 Februari 2024	37,7	37,7
10	Aceh	Aceh Besar	Stasiun Klimatologi Aceh	31 Juli 2024	37,6	37,8



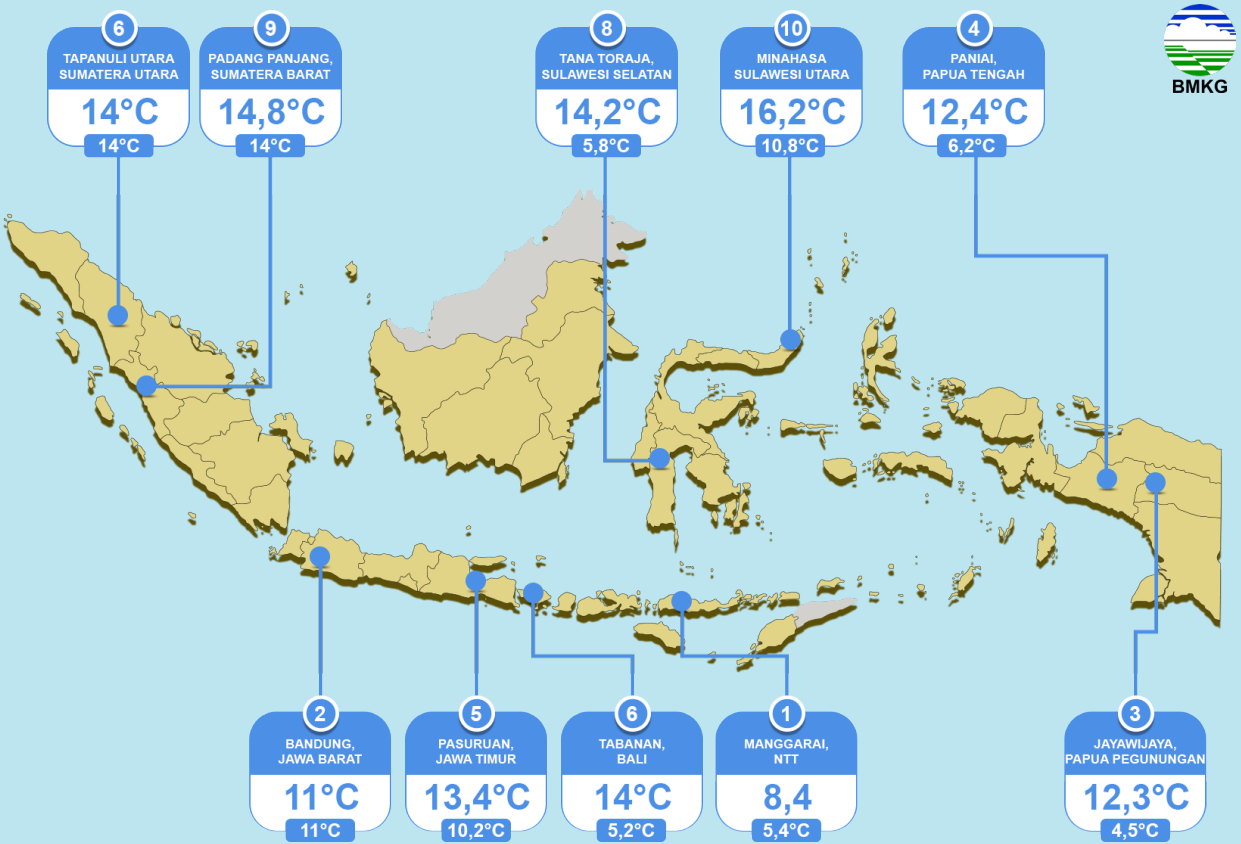
Gambar 4.1. Suhu maksimum harian tertinggi tahun 2024

4.2. Suhu Udara Minimum (*T Min*)

Pada tahun 2024, suhu minimum harian terendah tercatat di Stasiun Meteorologi Frans Sales Lega, Nusa Tenggara Timur, dengan suhu 8,4 °C pada 15—16 Juli 2024. Suhu minimum harian terendah kedua teramati di Stasiun Geofisika Bandung, Jawa Barat, pada 22 Juni 2024, sementara suhu minimum harian terendah ketiga tercatat di Stasiun Meteorologi Wamena, Jayawijaya, Papua Pegunungan, pada 16 November 2024. Secara spasial, daftar 10 stasiun BMKG yang mencatat suhu minimum harian terendah di Indonesia disajikan dalam Gambar 4.2, dengan rincian yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Lokasi dengan sepuluh kejadian suhu udara minimum harian terendah pada tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Stasiun/Pos Iklim	Tanggal	T Min (°C)	Rekor Terendah
1	Nusa Tenggara Timur	Manggarai	Stasiun Meteorologi Frans Sales Lega	15—16 Juli 2024	8,4	5,4
2	Jawa Barat	Kota Bandung	Stasiun Geofisika Bandung	22 Juni 2024	11	11
3	Papua Pegunungan	Jayawijaya	Stasiun Meteorologi Wamena	16 November 2024	12,3	4,5
4	Papua Tengah	Paniai	Stasiun Meteorologi Enarotali	10 Agustus 2024	12,4	6,2
5	Jawa Timur	Pasuruan	Stasiun Geofisika Pasuruan	13 Juli 2024	13,4	10,2
6	Sumatera Utara	Tapanuli Utara	Stasiun Meteorologi Silangit	17 Maret 2024	14	14
7	Bali	Tabanan	Pos Iklim Candikuning	22 November 2024	14	5,2
8	Sulawesi Selatan	Tana Toraja	Stasiun Meteorologi Toraja	14 September 2024	14,2	5,8
9	Sumatera Barat	Kota Padang Panjang	Stasiun Geofisika Padang Panjang	28 Agustus 2024	14,8	14
10	Sulawesi Utara	Kab. Minahasa	Stasiun Geofisika Tondano	11 September 2024	16,2	10,8



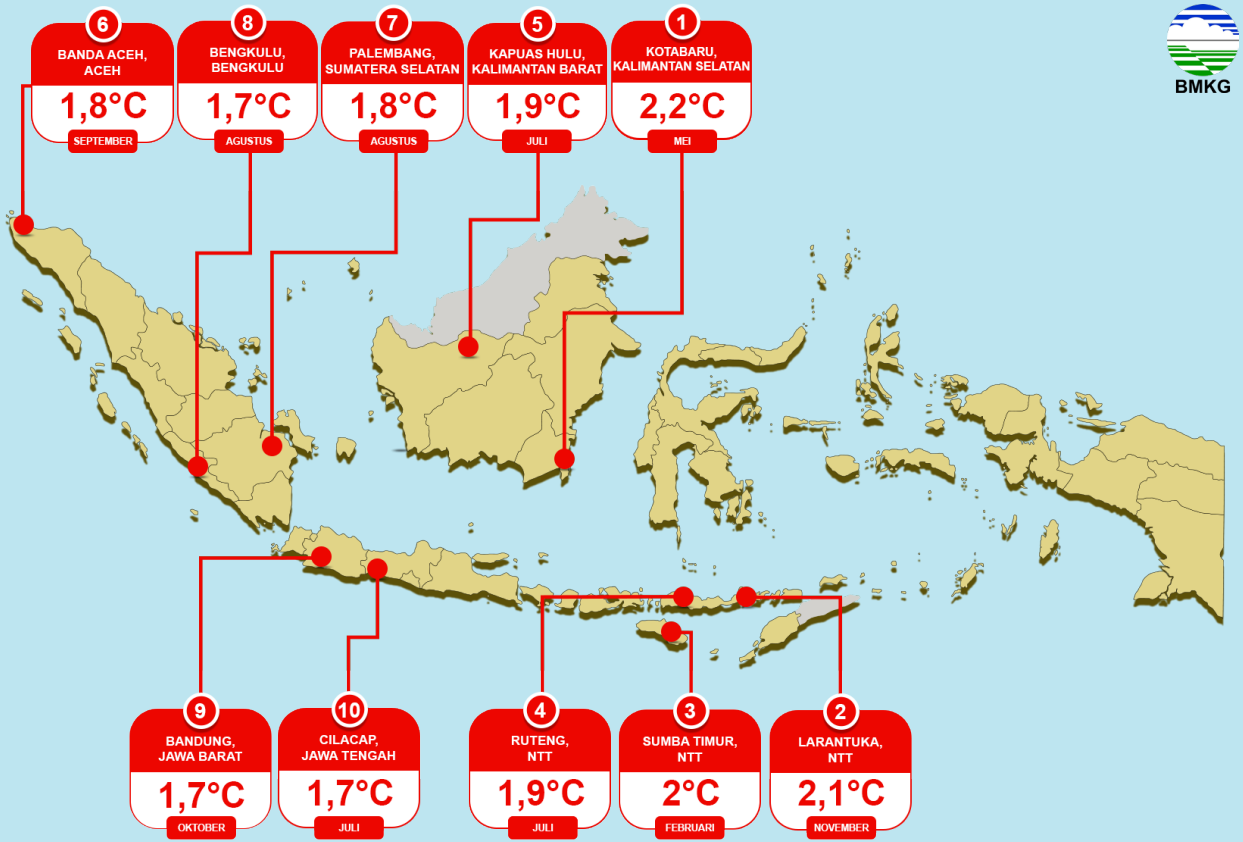
Gambar 4.2. Suhu minimum harian terendah tahun 2024

4.3. Anomali Suhu Udara Rata-rata

Kenaikan suhu udara rata-rata tertinggi dihitung dengan membandingkan suhu udara rata-rata tahun 2024 dengan suhu rata-rata normal periode 1991—2020. Pada tahun 2024, kenaikan suhu udara tertinggi tercatat di Kotabaru, Kalimantan Selatan, dengan peningkatan sebesar 2,2 °C. Larantuka, Nusa Tenggara Timur, menempati peringkat kedua dengan kenaikan suhu sebesar 2,1 °C. Rincian 10 besar lokasi dengan kenaikan suhu udara rata-rata tertinggi di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.3. Sepuluh lokasi dengan kenaikan suhu tertinggi pada tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Stasiun	Anomali Suhu (°C)	Bulan
1	Kalimantan Selatan	Kotabaru	Stasiun Meteorologi Gusti Syamsir Alam	2,2	Mei
2	Nusa Tenggara Timur	Larantuka	Stasiun Meteorologi Gewayantana	2,1	November
3	Nusa Tenggara Timur	Sumba Timur	Stasiun Meteorologi Umbu Mehang Kunda	2	Februari
4	Nusa Tenggara Timur	Ruteng	Stasiun Meteorologi Frans Sales Lega	1,9	Juli
5	Kalimantan Barat	Kapuas Hulu	Stasiun Meteorologi Pangsuma	1,9	Juli
6	Aceh	Banda Aceh	Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda	1,8	Juli
7	Sumatera Selatan	Palembang	Stasiun Klimatologi Sumatera Selatan	1,8	Agustus
8	Bengkulu	Bengkulu	Stasiun Klimatologi Bengkulu	1,7	Agustus
9	Jawa Barat	Bandung	Stasiun Geofisika Bandung	1,7	Oktober
10	Jawa Tengah	Cilacap	Stasiun Meteorologi Tunggul Wulung	1,7	Juli



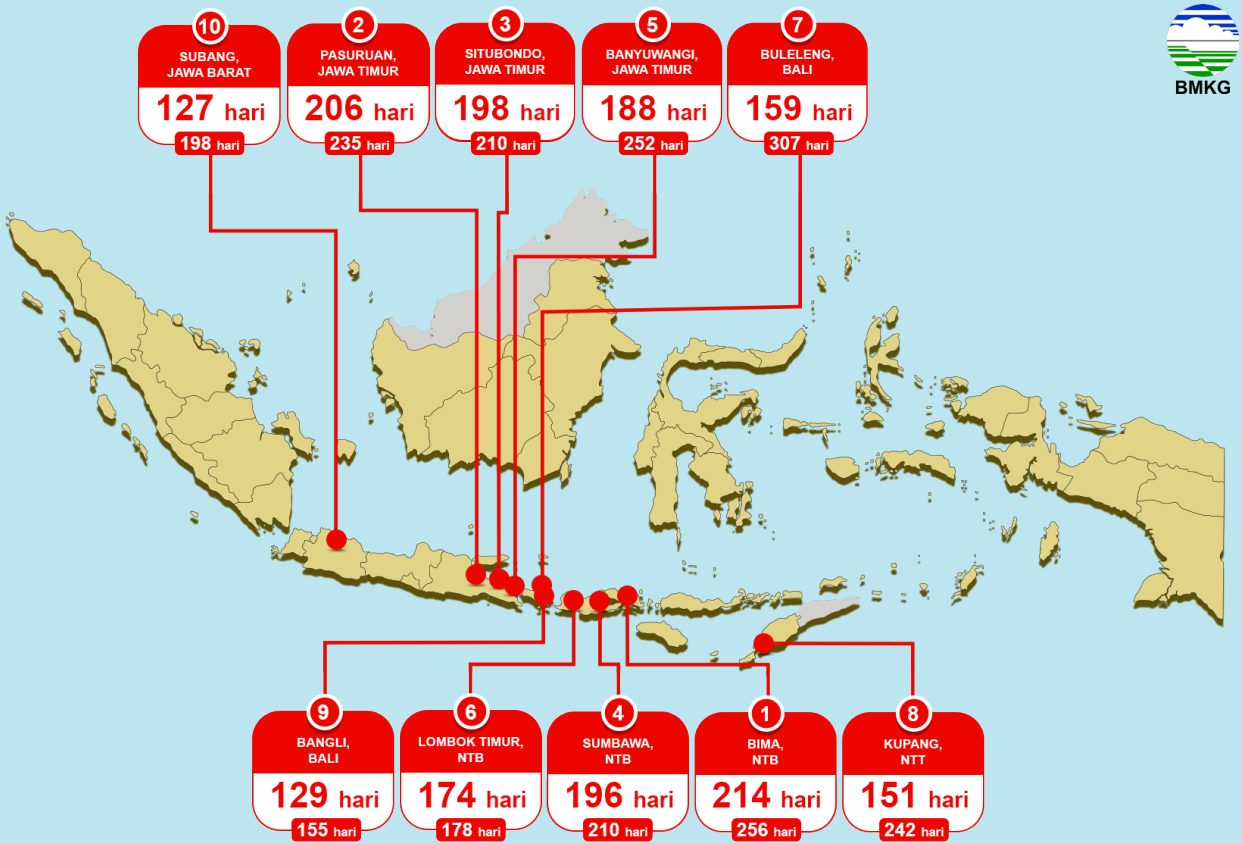
Gambar 4.3. Lokasi dengan anomali suhu udara rata-rata tahunan tertinggi tahun 2024

4.4. Hari Tanpa Hujan (HTH) Terpanjang

Data pengamatan curah hujan pada lebih dari 5000 titik di Indonesia menunjukkan bahwa HTH terpanjang selama 2024 terjadi di Kecamatan Sape, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat, dengan durasi 214 hari. Posisi kedua ditempati oleh Kecamatan Pohjentrek, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur, dengan HTH selama 206 hari. Selisih 8 hari dari Pasuruan, Kecamatan Pokaan, Kabupaten Situbondo, mengalami HTH selama 198 hari sebagai peringkat ketiga. Rincian 10 lokasi dengan HTH terpanjang di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.4.

Tabel 4.4. Lokasi dengan sepuluh kejadian Hari Tanpa Hujan (HTH) terpanjang pada tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Kecamatan	Lokasi/ Pos Hujan	HTH (hari)	Rekor Terpanjang
1	Nusa Tenggara Barat	Bima	Sape	Sape 2	214	256
2	Jawa Timur	Pasuruan	Pohjentrek	Pohjentrek	206	235
3	Jawa Timur	Situbondo	Pokaan	Situbondo	198	210
4	Nusa Tenggara Barat	Sumbawa	Moyo Hilir	Moyo Hilir	196	210
5	Jawa Timur	Banyuwangi	Wongsorejo	Alas Buluh	188	252
6	Nusa Tenggara Barat	Lombok Timur	Swela	Perigi	174	178
7	Bali	Buleleng	Tejakula	Pos Hujan Bondalem	159	307
8	Nusa Tenggara Timur	Kupang	Kota Raja	Mapoli	151	242
9	Bali	Bangli	Kintamani	Pos Hujan Batur	129	155
10	Jawa Barat	Subang	Cikaum	Karang Toman	127	198



Gambar 4.4. Hari Tanpa Hujan terpanjang pada tahun 2024

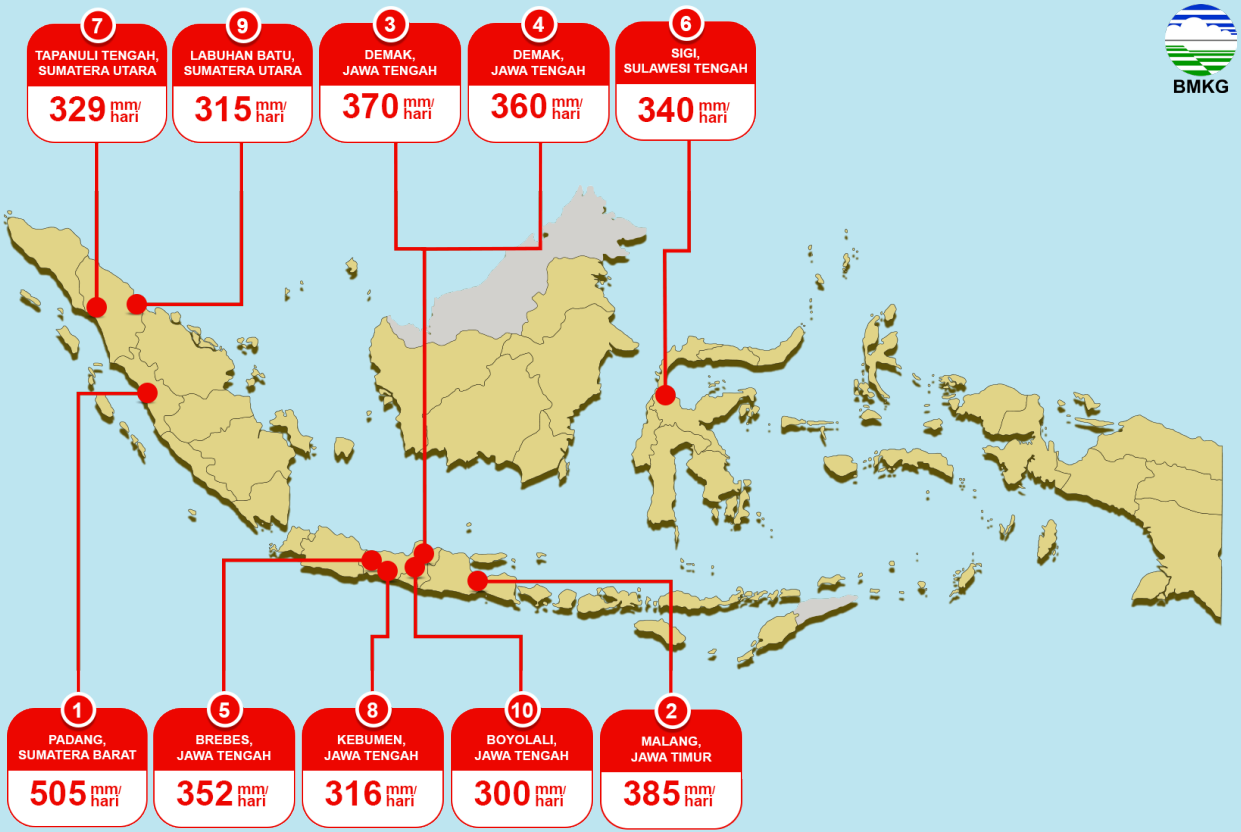
4.5. Curah Hujan Ekstrem Harian

Pada tahun 2024, BMKG mencatat beberapa kejadian curah hujan sangat ekstrem dengan akumulasi lebih dari 200 mm/hari. Kejadian curah hujan sangat ekstrem tertinggi teramati di Padang, Sumatera Barat, dengan curah hujan sebesar 505 mm pada 8 Maret 2024. Pada tanggal yang sama, empat titik pengamatan di Padang juga melaporkan curah hujan harian lebih dari 350 mm, yang menunjukkan adanya fenomena cuaca ekstrem berskala luas. Hujan sangat ekstrem ini mengakibatkan banjir bandang yang menimbulkan korban jiwa serta kerusakan infrastruktur yang parah.

Kejadian curah hujan sangat ekstrem berikutnya teramati di Malang, Jawa Timur, pada 28 November 2024, dengan curah hujan harian sebesar 385 mm. Hujan ekstrem ini menyebabkan banjir setinggi dua meter, terutama di Kecamatan Sumbermanjing Wetan, Malang. Rincian lebih lanjut mengenai 10 kejadian hujan sangat ekstrem dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.5. Sepuluh kejadian curah hujan harian sangat ekstrem tertinggi pada tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/Kota	Stasiun/Pos Hujan	Tanggal	RR (mm/hari)
1	Sumatera Barat	Kota Padang	Limau Manih Universitas Andalas	8 Maret 2024	505 mm
2	Jawa Timur	Kab. Malang	Sitiarjo	29 November 2024	385 mm
3	Jawa Tengah	Kab. Demak	Pangkalan	4 Desember 2024	370 mm
4	Jawa Tengah	Kab. Demak	Pangkalan	6 Desember 2024	360 mm
5	Jawa Tengah	Kab. Brebes	Penjalin	9 September 2024	352 mm
6	Sulawesi Tengah	Kab. Sigi	Gimpu	4 Mei 2024	340 mm
7	Sumatera Utara	Kab. Tapanuli Tengah	Hite Urat	11 Agustus 2024	329 mm
8	Jawa Tengah	Kab.Kebumen	Somagede	10 November 2024	316 mm
9	Sumatera Utara	Kab. Labuhan Batu	Diperta Labuhan Batu	4 Oktober 2024	315 mm
10	Jawa Tengah	Kab. Boyolali	Ngemplak	10 Januari 2024	300 mm



Gambar 4.5. Curah hujan harian tertinggi tahun 2024

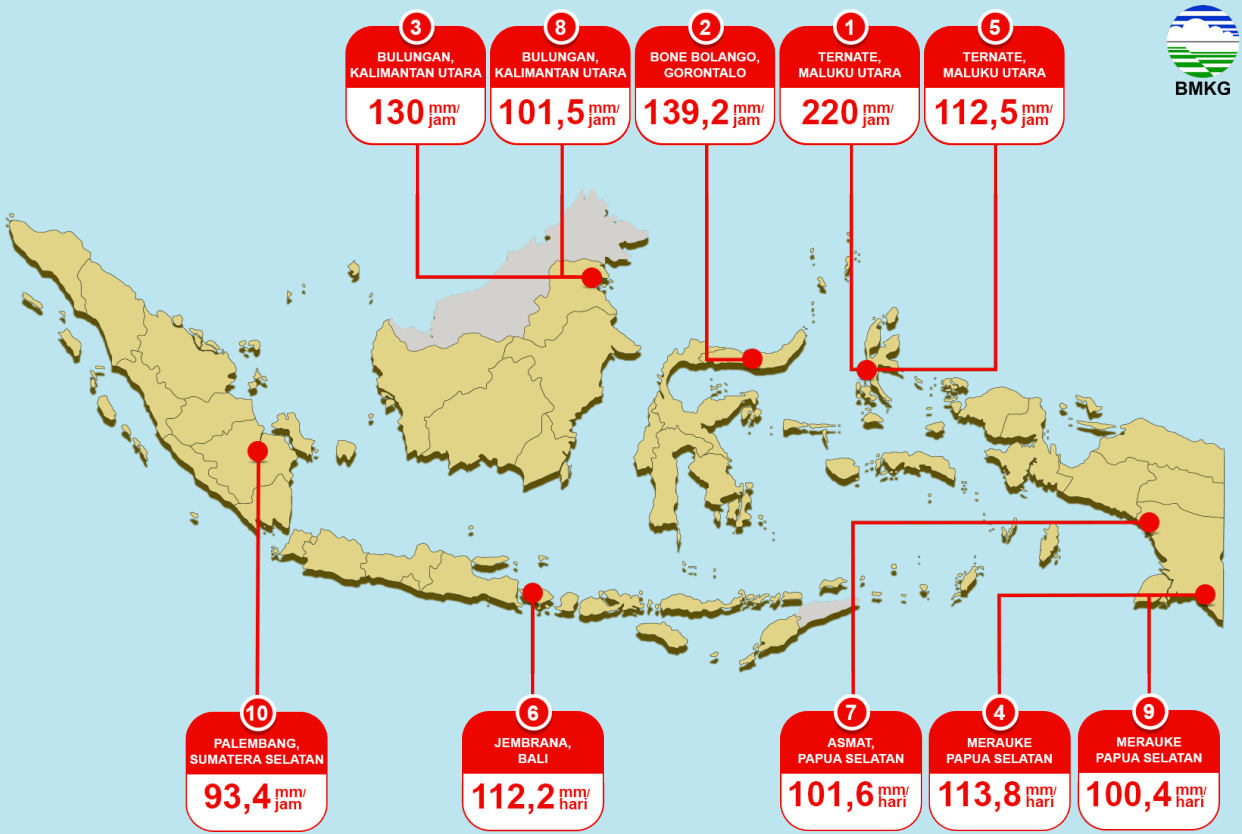
4.6. Curah Hujan Ekstrem Jam-jaman

Pada tahun 2024, curah hujan jam-jaman tertinggi teramati terjadi di Stasiun Meteorologi Sultan Babullah Ternate, Maluku Utara sebesar 220 mm/jam pada 16 Desember 2024. Kemudian diikuti oleh Stasiun Klimatologi Gorontalo, Gorontalo sebesar 139,2 mm/jam pada 11 Juli 2024 pada peringkat kedua dan Stasiun Meteorologi Tanjung Harapan, Kalimantan Utara sebesar 130 mm/jam pada 23 Januari 2024 pada peringkat ketiga. Daftar sepuluh lokasi dengan curah hujan jam-jaman tertinggi di Indonesia secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. . Curah hujan jam-jaman tertinggi tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Stasiun/Pos Hujan	Tanggal	Intensitas Hujan* (mm/jam)	Total Hujan Harian (mm)
1	Maluku Utara	Kota Ternate	Stasiun Meteorologi Sultan Babullah Ternate	16 Desember 2024	220	220
2	Gorontalo	Kab. Bone Bolango	Stasiun Klimatologi Gorontalo	11 Juli 2024	139,2	138
3	Kalimantan Utara	Bulungan	Stasiun Meteorologi Tanjung Harapan	23 Januari 2024	130	101,5
4	Papua Selatan	Kab. Merauke	ARG BP3K Wasur	17 April 2024	113,8	185,8
5	Maluku Utara	Kota Ternate	Stasiun Meteorologi Sultan Babullah Ternate	27 November 2024	112,5	112,5
6	Bali	Kab. Jembrana	Stasiun Klimatologi Bali	8 Februari 2024	112,2	118,9
7	Papua Selatan	Kab. Asmat	ARG Atsj	15 April 2024	101,6	105,6
8	Kalimantan Utara	Bulungan	Stasiun Meteorologi Tanjung Harapan	4 Agustus 2024	101,5	130,8
9	Papua Selatan	Kab. Merauke	ARG BP3K Wasur	10 Desember 2024	100,4	140
10	Sumatera Selatan	Kota Palembang	Taman Alat Digital Stasiun Klimatologi Sumatera Selatan	26 Mei 2024	93,4	126,3

*) Intensitas hujan jam-jaman (*linier depth per hour*) atau kecepatan hujan turun, merupakan nilai ketinggian air yang dapat tercapai ketika hujan tersebut terjadi terus menerus selama satu jam penuh. Meskipun, pada kejadian sesungguhnya tidak selalu berarti hujan tersebut berlangsung selama satu jam. Semakin singkat durasi hujan, semakin sedikit total air yang turun, meskipun intensitasnya tetap tinggi. Misalnya, jika hujan dengan intensitas 230 mm/jam hanya terjadi selama 30 menit, maka jumlah air yang turun sekitar 115 mm saja. Jadi, angka 230 mm/jam lebih menggambarkan kecepatan hujan turun daripada durasi hujannya. Hujan dengan intensitas setinggi ini biasanya terjadi dalam hujan badai atau hujan lebat sesaat, yang bisa menyebabkan banjir kilat dalam waktu singkat. (WMO No.8 tahun 2023)



Gambar 4.6. Curah hujan jam-jaman tertinggi tahun 2024

V. ANALISIS KHUSUS

5.1. Deret Hari Hangat (Suhu >35 °C)

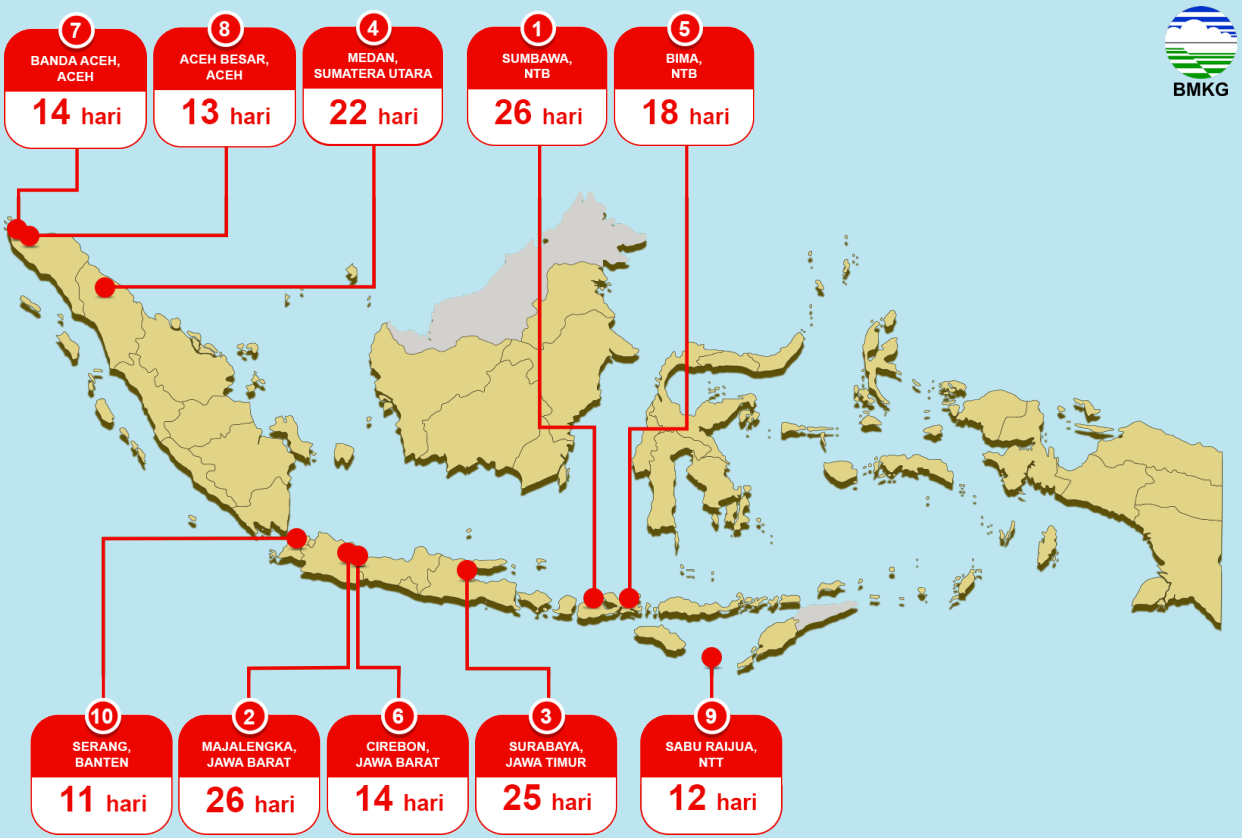
Deret hari hangat (suhu >35 °C) terpanjang pada tahun 2024, dengan durasi 26 hari, terjadi di dua lokasi, yaitu Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin di Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat, pada 25 September—20 Oktober, serta Stasiun Meteorologi Jatiwangi di Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat, pada 6—31 Oktober

Deret hari hangat adalah fenomena suhu udara maksimum di atas 35 °C yang terjadi secara berturut-turut selama setidaknya dua hari. Berdasarkan hasil pengamatan BMKG, deret hari hangat (suhu >35 °C) terpanjang pada tahun 2024 berlangsung selama 26 hari dan tercatat di dua lokasi berbeda, yaitu Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin di Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat, serta Stasiun Meteorologi Jatiwangi di Kabupaten Majalengka, Provinsi Jawa Barat.

Selanjutnya, Stasiun Meteorologi Perak I di Surabaya, Provinsi Jawa Timur, mencatat deret hari hangat (suhu >35 °C) dengan durasi 25 hari. Sementara itu, Stasiun Meteorologi Belawan di Medan, Provinsi Sumatera Utara, mengalami deret hari hangat (suhu >35 °C) selama 22 hari. Daftar lengkap 10 lokasi dengan deret hari hangat (suhu >35 °C) terpanjang di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 berikut.

Tabel 5.1. Lokasi dengan sepuluh kejadian deret hari hangat (suhu >35 °C) terpanjang pada tahun 2024

Peringkat	Provinsi	Kabupaten/ Kota	Stasiun	Hari	Periode
1	Nusa Tenggara Barat	Sumbawa	Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Kaharudin	26	25 September—20 Oktober
2	Jawa Barat	Majalengka	Stasiun Meteorologi Jatiwangi	26	6—31 Oktober
3	Jawa Timur	Kota Surabaya	Stasiun Meteorologi Perak I	25	27 September—22 Oktober
4	Sumatera Utara	Medan	Stasiun Meteorologi Belawan	22	27 September— 18 Oktober
5	Nusa Tenggara Barat	Bima	Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Salahudin	18	13 Oktober—30 Oktober
6	Jawa Barat	Cirebon	Pos Meteorologi Penggung	14	20 Oktober—2 November
7	Aceh	Banda Aceh	Stasiun Meteorologi Sultan Iskandar Muda	14	15—28 Juli
8	Aceh	Aceh Besar	Stasiun Klimatologi Aceh	13	16—28 Juli
9	Nusa Tenggara Timur	Sabu Raijua	Stasiun Meteorologi Tardamu	12	13—24 November
10	Banten	Serang	Stasiun Meteorologi Serang	11	20—30 Oktober



Gambar 5.1. Lokasi dengan sepuluh kejadian deret hari hangat (suhu >35 °C) terpanjang pada tahun 2024

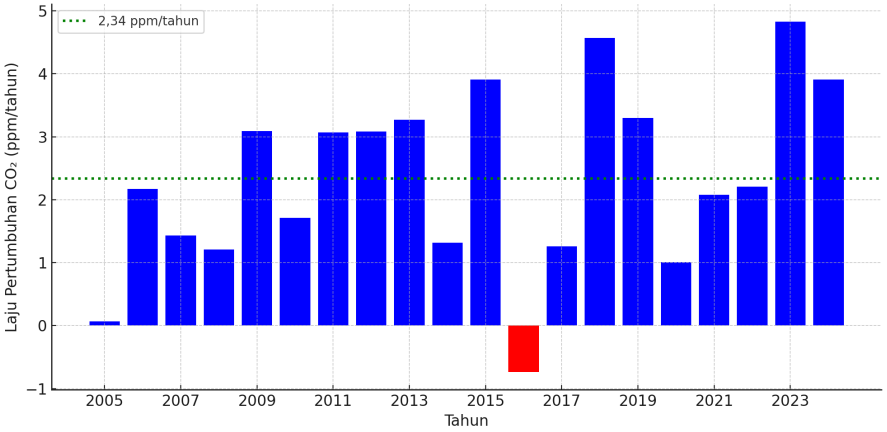
5.2. Emisi Gas Rumah Kaca saat El Niño *Decay Phase*

Konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di Indonesia terus meningkat meskipun El Niño 2024 melemah. Pada tahun 2024, laju pertumbuhan CO2 tercatat cukup tinggi, mencapai 3,91 ppm, meskipun tidak disertai El Niño kuat atau kebakaran besar. Sebelumnya, tahun 2023 mengalami lonjakan CO2 tertinggi dalam dua dekade terakhir, yakni 4,83 ppm, akibat El Niño yang mengurangi serapan karbon. Secara umum, La Niña biasanya meningkatkan serapan karbon oleh vegetasi, namun efek ini tampak lebih lemah pada 2024. Tren ini menunjukkan bahwa faktor antropogenik semakin mendominasi dinamika karbon global.

Laju kenaikan tahunan CO_2 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang pada periode 2005—2024 menunjukkan variasi yang cukup besar, dengan beberapa tahun mengalami lonjakan signifikan (Gambar 5.2). Secara umum, tren ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk pola sirkulasi atmosfer, fenomena iklim global seperti El Niño dan La Niña, serta aktivitas antropogenik seperti deforestasi dan kebakaran hutan. Lonjakan kenaikan CO_2 yang sangat tinggi tercatat pada 2015, 2019, dan 2023, yang bertepatan dengan episode El Niño sedang—kuat atau IOD Positif kuat. Fenomena-fenomena ini menyebabkan kekeringan parah di berbagai wilayah tropis, termasuk Indonesia, sehingga mengurangi kemampuan ekosistem hutan dalam menyerap CO_2. Selain itu, peningkatan frekuensi dan intensitas kebakaran hutan selama periode El Niño dan IOD Positif kuat melepaskan lebih banyak karbon ke atmosfer. Pola ini konsisten dengan tren konsentrasi CO_2 global, yang juga mengalami lonjakan signifikan selama periode El Niño, ketika serapan karbon oleh ekosistem tropis di berbagai belahan dunia menurun.

Dampak El Niño terhadap emisi CO_2 sangat jelas terlihat pada tahun 2015, ketika kebakaran hutan yang luas di Indonesia melepaskan karbon dalam jumlah besar ke atmosfer. Pada tahun tersebut, laju pertumbuhan CO_2 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang mencapai 3,91 ppm,

didorong oleh kebakaran besar di lahan gambut yang sulit dipadamkan akibat kekeringan ekstrem. Hal serupa terjadi pada 2019, ketika terjadi fenomena IOD Positif kuat dan Indonesia kembali mengalami kebakaran hutan yang meluas, terutama di Sumatera dan Kalimantan, dengan pertumbuhan CO_2 mencapai 3,30 ppm. Kebakaran hutan yang terjadi selama El Niño dan IOD Positif kuat ini tidak hanya disebabkan oleh faktor alami, tetapi juga diperparah oleh konversi lahan serta praktik pembakaran yang digunakan dalam industri perkebunan.



Gambar 5.2. Laju peningkatan konsentrasi tahunan CO_2 di Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang dari tahun 2005 hingga 2024 dalam satuan ppm per tahun. Warna biru menunjukkan pertumbuhan positif, sedangkan warna merah menunjukkan pertumbuhan negatif. Garis putus warna hijau adalah laju peningkatan konsentrasi tahunan CO_2 rata-rata, yaitu 2,34 ppm/tahun

Sementara itu, data menunjukkan tahun 2016 menjadi satu-satunya tahun dalam periode analisis yang mencatat laju pertumbuhan CO_2 negatif, yaitu -0,74 ppm. Penurunan konsentrasi ini terjadi ketika ekosistem hutan dan lahan gambut mulai pulih setelah kebakaran hutan dan lahan skala besar pada 2015. Seiring dengan kembalinya vegetasi, lahan yang sebelumnya terbakar mulai menyerap kembali CO_2 dari atmosfer, sehingga konsentrasi menjadi lebih rendah dibandingkan tahun 2015.

Selain itu, perkembangan La Niña pada 2016 telah meningkatkan curah hujan, yang membantu mempercepat pemulihan vegetasi dan memperbesar daya serap karbon di wilayah tropis. Tren global juga menunjukkan bahwa setelah

lonjakan emisi pada tahun-tahun El Niño, pertumbuhan CO_2 global biasanya melambat karena ekosistem yang sebelumnya mengalami kekeringan mulai menyerap karbon dengan lebih efektif.

Pengaruh kuat El Niño terhadap variabilitas konsentrasi CO_2 kembali terlihat pada 2023. BMKG mencatat bahwa laju peningkatan tahunan CO_2 mencapai 4,83 ppm, tertinggi dalam dua dekade terakhir. Lonjakan ini sangat terkait dengan peristiwa El Niño yang signifikan pada tahun tersebut, yang menyebabkan suhu global lebih tinggi dan mengurangi efektivitas serapan karbon oleh ekosistem tropis, termasuk di Indonesia. Kekeringan berkepanjangan dan peningkatan suhu memperburuk dampak kebakaran hutan, sehingga mempercepat pelepasan karbon ke atmosfer. Secara global, 2023 juga mencatat salah satu laju pertumbuhan CO_2 tertinggi, dengan peningkatan sekitar 2,28 ppm/tahun. Tren ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat upaya untuk mengendalikan emisi, pertumbuhan CO_2 masih didominasi oleh aktivitas manusia, dengan pengaruh iklim yang semakin memperburuk akumulasi karbon di atmosfer.

Yang menarik, tahun 2024 menunjukkan pertumbuhan CO_2 yang masih sangat tinggi, mencapai 3,91 ppm, meskipun El Niño sudah bertransisi menuju Netral pada semester pertama dan tidak ada kejadian kebakaran hutan skala besar di Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa faktor lain selain El Niño dan kebakaran hutan juga berperan dalam peningkatan CO_2. Salah satu faktor yang mungkin berkontribusi adalah peningkatan emisi dari aktivitas industri dan transportasi yang terus berlangsung tanpa adanya kebijakan pengurangan emisi yang efektif. Selain itu, efek jangka panjang dari perubahan iklim dapat mengurangi kemampuan ekosistem untuk menyerap karbon, bahkan dalam kondisi iklim yang lebih stabil. Misalnya, peningkatan suhu global dapat mempercepat dekomposisi bahan organik di tanah, yang pada akhirnya melepaskan lebih banyak CO_2 ke atmosfer. Secara global, tahun 2024 tetap mengalami peningkatan CO_2, meskipun sedikit lebih rendah dari tahun 2023. Tren ini menegaskan pentingnya pemantauan jangka panjang terhadap konsentrasi CO_2, tidak hanya untuk mengidentifikasi pengaruh El Niño dan kebakaran hutan, tetapi juga untuk memahami perubahan sistem karbon global yang lebih luas dan dampaknya terhadap dinamika atmosfer di masa depan.

5.3. Fenomena Udara "Sumuk" Kota Jakarta

Temperature Humidity Index (THI) mengukur kenyamanan berdasarkan suhu udara dan kelembapan relatif. Jakarta mengalami kondisi Tidak Nyaman terutama pada Mei (52,61 % hari) dan Oktober (47,85 % hari), dengan durasi ketidaknyamanan rata-rata lebih dari 10 jam per hari. Kondisi ini umum terjadi pada masa peralihan musim, saat suhu meningkat dan kelembapan masih tinggi.

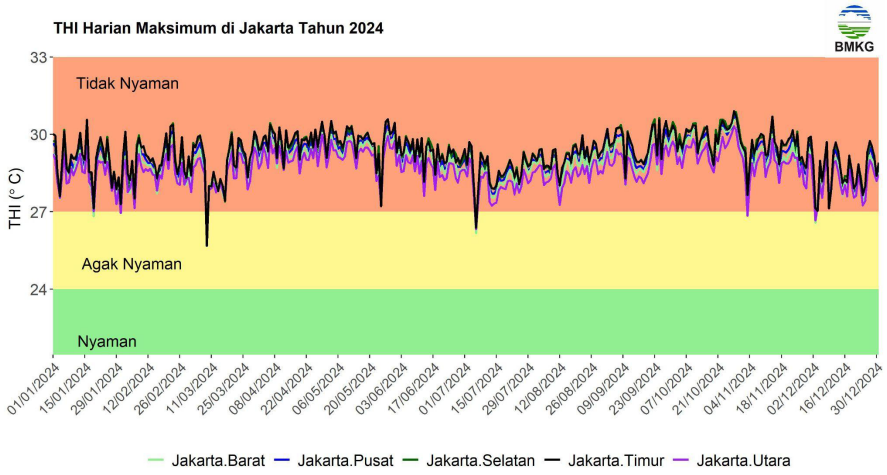
Pada tahun 2024, netizen ramai mengeluhkan udara Jakarta yang sumuk di media sosial, yang menandakan bahwa masyarakat merasakan ketidaknyamanan akibat kondisi cuaca. Kenyamanan manusia dipengaruhi oleh sensasi panas yang dirasakan saat beraktivitas. Tingkat kenyamanan ini dapat diukur menggunakan indeks yang mempertimbangkan berbagai parameter iklim. Suhu udara merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kenyamanan. Ketika suhu udara meningkat melewati batas tertentu, sensasi panas yang berlebihan dapat menurunkan tingkat kenyamanan. Sebaliknya, jika suhu udara terlalu rendah, kenyamanan juga berkurang karena udara terasa terlalu dingin.

Namun, kenyamanan tidak hanya dipengaruhi oleh suhu udara, tetapi juga oleh faktor iklim lainnya serta karakteristik individu yang merasakannya. Salah satu parameter iklim lain yang berperan dalam kenyamanan adalah angin. Angin dapat memindahkan udara panas ke tempat lain, mencampurkan udara panas dengan udara dingin, serta mengatur tingkat kelembapan di suatu area. Proses ini berkontribusi terhadap perubahan sensasi termal yang dirasakan oleh manusia.

Salah satu indeks yang umum digunakan untuk mengukur tingkat kenyamanan adalah *Temperature Humidity Index* (THI), yang diperoleh dari kombinasi suhu udara dan kelembapan relatif untuk menilai dampak cuaca panas terhadap kenyamanan. Selain itu, THI juga menggabungkan faktor suhu udara dan suhu bola basah dalam perhitungannya. Indeks ini kemudian dimodifikasi oleh Nieuwolt, yang menyusun persamaan berdasarkan kombinasi suhu udara dan

kelembapan relatif. Sebagai indikator kenyamanan manusia, THI berfokus pada pengaruh suhu udara dan kelembapan relatif. Metode ini telah banyak diterapkan untuk menilai kondisi lingkungan luar ruangan, terutama di wilayah tropis.

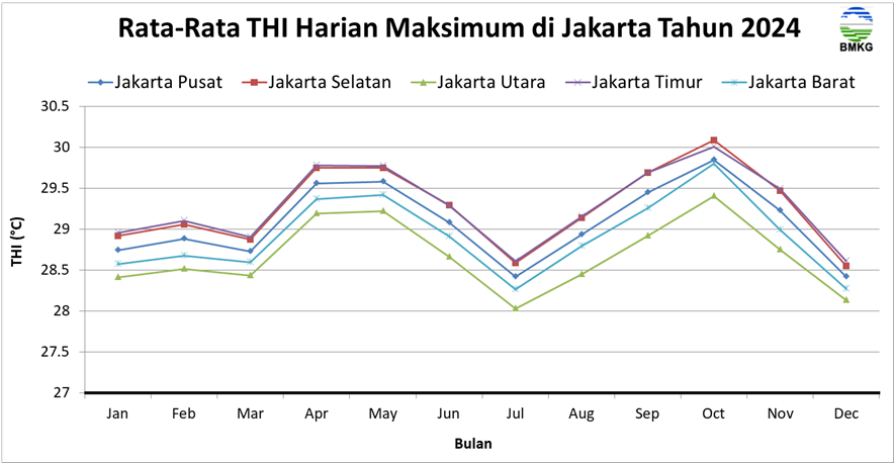
Berdasarkan perhitungan THI maksimum harian di wilayah Jakarta, selama tahun 2024, kondisi THI umumnya berada pada level Tidak Nyaman (THI >27 °C), sebagaimana terlihat pada Gambar 5.3. Secara umum, THI harian maksimum terjadi setiap hari antara pukul 09.00—16.00 WIB. Dari Gambar juga terlihat, hanya terdapat empat hari dengan kondisi THI maksimum pada kategori Agak Nyaman, yaitu pada 9 Maret, 6 Juli, 3 November (khusus di Jakarta Utara), dan 13 Desember. Nilai THI harian maksimum dalam kategori ini menunjukkan bahwa suhu udara cenderung lebih rendah, sementara kelembapan udara lebih tinggi. Kondisi ini umumnya terjadi pada malam hingga pagi hari ketika udara lebih sejuk dibandingkan siang hari. Selain itu, fenomena cuaca ekstrem juga dapat mempengaruhi suhu udara, menyebabkan nilai THI turun dari level Tidak Nyaman menjadi Agak Nyaman.



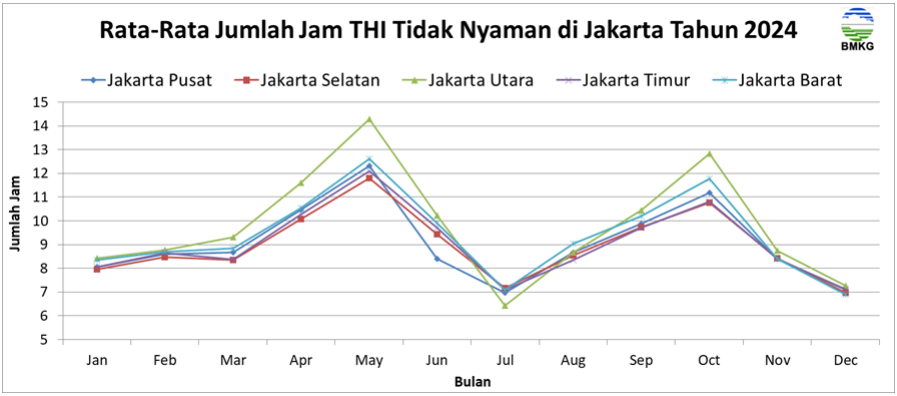
Gambar 5.3. *Temperature Humidity Index* (THI) harian maksimum di wilayah Jakarta periode tahun 2024

Analisis rata-rata bulanan terhadap nilai THI harian maksimum selama tahun 2024 menunjukkan bahwa nilai THI harian maksimum mengalami peningkatan pada bulan April—Mei dan Oktober (Gambar 5.4). Selama periode tersebut,

seluruh wilayah Jakarta menunjukkan pola peningkatan dan penurunan rata-rata THI harian maksimum yang serupa. Nilai rata-rata THI maksimum tertinggi tercatat pada Oktober 2024 (THI=30 °C), sementara nilai terendah terjadi pada Juli 2024 (THI=28 °C). Puncak rata-rata THI maksimum pada tahun 2024 terjadi pada bulan April—Mei dan Oktober, yang bertepatan dengan masa peralihan dari musim hujan ke musim kemarau, serta dari musim kemarau ke musim hujan.



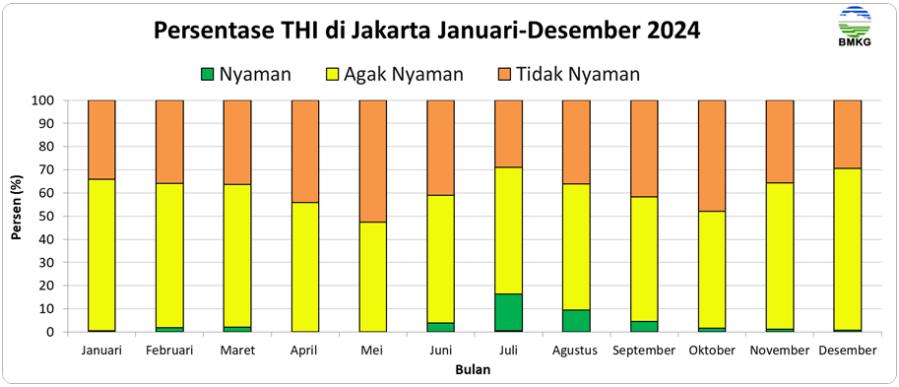
Gambar 5.4. Rata-rata *Temperature Humidity Index* (THI) harian maksimum di wilayah Jakarta periode tahun 2024



Gambar 5.5. Rata-rata jumlah jam *Temperature Humidity Index* (THI) Tidak Nyaman di wilayah Jakarta periode tahun 2024

Dalam skala harian, durasi rata-rata berlangsungnya kondisi tidak nyaman ditunjukkan oleh Gambar 5.5. Berdasarkan gambar tersebut, diketahui bahwa durasi rata-rata tertinggi kondisi Tidak Nyaman di Jakarta terjadi pada bulan Mei (tercatat lebih dari 10 jam/hari) dan Oktober (lebih dari 11 jam/hari), sedangkan durasi rata-rata terendah pada bulan Juli 2024 (tercatat 6,5 jam/hari).

Berdasarkan perhitungan persentase kejadian pada masing-masing indeks THI (Gambar 5.6), diketahui bahwa kategori THI Tidak Nyaman memiliki persentase tertinggi, yaitu 52,61 % pada Mei 2024, diikuti oleh Oktober dengan 47,85 %. Sementara itu, kategori THI Agak Nyaman tertinggi terjadi pada Desember 2024 dengan 69,70 %, dan kategori Nyaman tertinggi tercatat pada Juli 2024 sebesar 15,94 %



Gambar 5.6. Persentase kategori *Temperature Humidity Index* (THI) di wilayah Jakarta periode tahun 2024

Berdasarkan hasil analisis THI di wilayah Jakarta, nilai THI tertinggi pada tahun 2024 tercatat pada bulan Mei dan Oktober, di mana THI berada pada level Tidak Nyaman. Pada bulan Mei, Jakarta berada di akhir periode peralihan musim dan mulai memasuki musim kemarau. Hal serupa terjadi pada bulan Oktober, yang merupakan masa peralihan dari musim kemarau ke musim hujan. Pada bulan-bulan tersebut, suhu udara meningkat, sementara kelembapan udara masih tinggi akibat hujan yang masih terjadi selama peralihan musim, sehingga kondisi THI tetap berada pada level Tidak Nyaman.

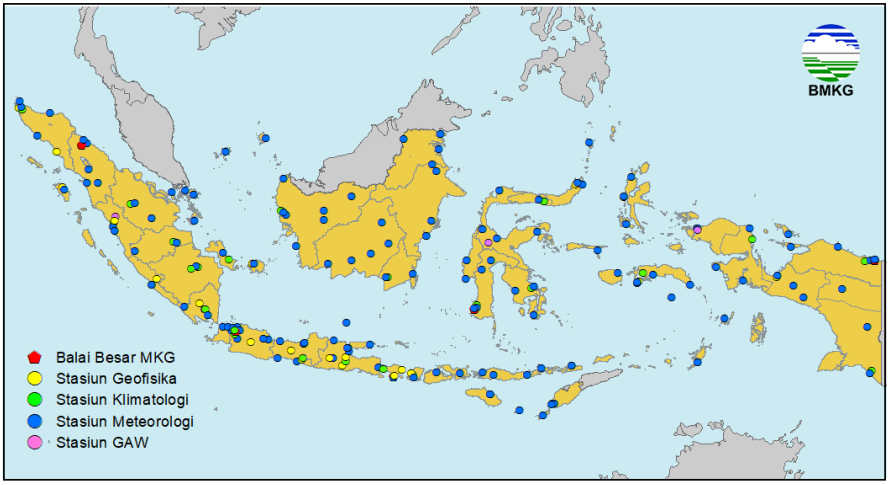
Kondisi THI yang berada pada level Tidak Nyaman sering kali dirasakan sebagai udara sumuk oleh manusia, terutama di wilayah tropis. Dalam kondisi sumuk, manusia merasakan ketidaknyamanan berupa rasa gerah dan panas. Sensasi ini disebabkan oleh kombinasi suhu udara yang tinggi, kelembapan yang tinggi, serta kandungan uap air yang tinggi di atmosfer.

Saat suhu udara meningkat, perbedaan suhu antara tubuh dan lingkungan menjadi lebih kecil, sehingga perpindahan panas dari tubuh ke lingkungan berlangsung lebih lambat. Selain itu, saat kelembapan tinggi, udara mengandung lebih banyak uap air, yang menghambat mekanisme pendinginan tubuh melalui penguapan keringat. Akibatnya, proses pelepasan panas dari tubuh menjadi lebih lambat, sehingga keringat yang dikeluarkan tidak cepat menguap. Kondisi ini menyebabkan manusia merasakan udara yang lebih panas, gerah, dan tidak nyaman

LAMPIRAN

SUMBER DATA

Data yang digunakan dalam dokumen ini merupakan hasil pengamatan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang mengikuti standar *Manual on the Global Observing System* (GOS) dari WMO, diantaranya data dari 200 Unit Pelaksana Teknis BMKG yang telah memiliki nomor registrasi WMO (Gambar L1). Sementara itu, untuk keperluan klimatologi, saat ini BMKG telah memiliki sebanyak 27 Stasiun Klimatologi, serta telah beroperasi 3 Stasiun Pengamatan Atmosfer Global (*Global Atmosphere Watch*), yaitu Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang-Sumatera Barat, Stasiun Pemantau Atmosfer Global Lore Lindu Bariri-Sulawesi Tengah, dan Stasiun Pemantau Atmosfer Global Sorong-Papua Barat Daya yang berturut-turut merepresentasikan kondisi pengamatan GRK di Indonesia bagian barat, tengah, dan timur.

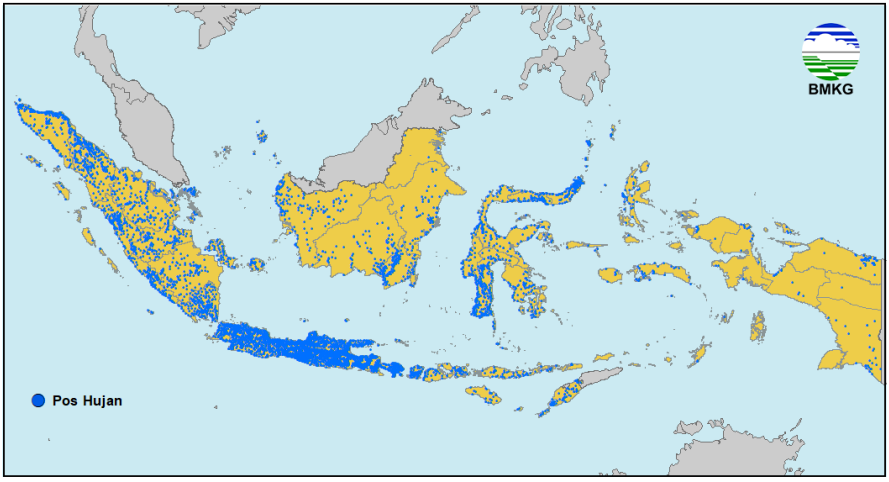


Gambar L1. Unit Pelaksana Teknis (UPT) dan Balai Besar MKG

Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, yang terletak di Sumatera Barat, memainkan peran penting dalam pemantauan gas rumah kaca di Indonesia (Kurniawan et al., 2017). Sebagai salah satu dari sedikit stasiun pemantauan GRK di wilayah tropis, Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang memiliki posisi strategis untuk merepresentasikan tren gas

rumah kaca di Indonesia dan sekitarnya (WMO, 2024). Lokasinya yang jauh dari sumber emisi langsung seperti kota besar dan kawasan industri membuat data yang dikumpulkan mencerminkan latar belakang atmosfer regional yang lebih luas, bukan hanya dampak lokal (Kurniawan et al., 2017). Oleh karena itu, tren GRK yang diamati di stasiun ini dapat memberikan gambaran tentang bagaimana atmosfer di Indonesia bereaksi terhadap perubahan iklim global serta aktivitas antropogenik yang berlangsung di kawasan Asia Tenggara (IPCC, 2021).

Khusus untuk pengamatan curah hujan, BMKG juga bekerja sama dengan berbagai pemangku kepentingan melalui skema Stasiun Kerja Sama (Gambar L2). Jaringan Stasiun Kerja Sama ditempatkan di wilayah-wilayah strategis untuk mendukung berbagai sektor seperti pertanian dan sumber daya air. Saat ini BMKG mengoperasikan sebanyak 5915 pos pengamatan hujan di seluruh wilayah Indonesia.

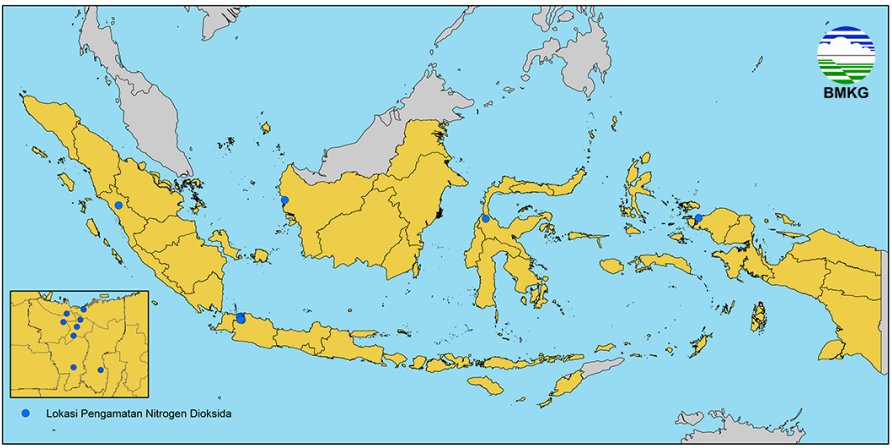


Gambar L2. Sebaran titik pengamatan (pos hujan)

Nitrogen Dioksida (NO_2)

Pemantauan gas polutan NO_2 dilakukan dengan metode *sampling passive gas sampler* yaitu perangkat sampling yang dilengkapi dengan filter selulosa yang mengandung larutan NaOH dan NaI untuk menyerap gas NO_2 (Gambar L3). Filter hasil sampling tersebut kemudian dianalisis menggunakan instrumen

Spektrofotometer UV VIS untuk mengetahui konsentrasi NO_2.

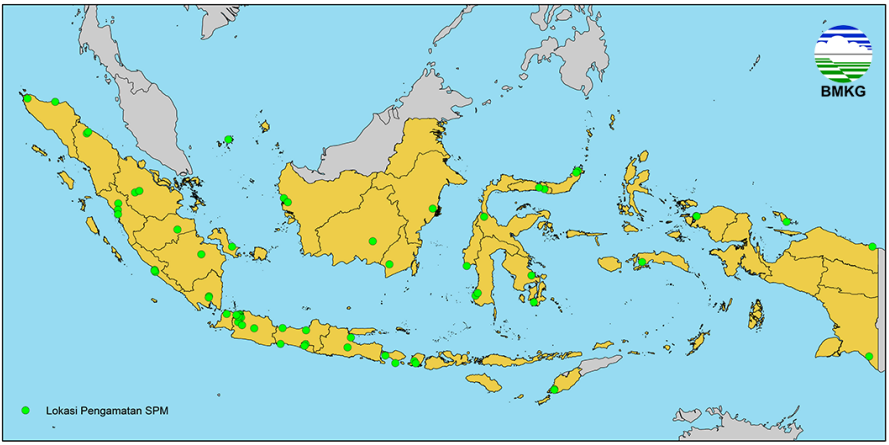


Gambar L3. Sebaran titik pengamatan NO_2

***Suspended Particulate Matter* (SPM)**

Suspended Particulate Matter (SPM) adalah salah satu polutan di udara. SPM dikenal juga sebagai *Total Suspended Particulate* (TSP) atau total partikulat yang melayang (tersuspensi) di udara. Dari fisiknya, TSP/SPM berupa partikel atau debu halus di udara yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar fosil, abu vulkanik, pembakaran sampah dan *biomass*, serta kegiatan konstruksi bangunan dan infrastruktur. TSP atau SPM umumnya memiliki diameter partikel <100 µm dan terlihat seperti debu melayang di udara, namun demikian hanya partikel yang berukuran <1 µm (*fine particles*) yang tetap berada di udara atas dalam waktu yang lama dan tidak mudah mengendap. TSP/SPM disebut total partikel tersuspensi karena di dalamnya juga mengandung berbagai ukuran partikel seperti PM_{10} dan $PM_{2.5}$.

BMKG melakukan pengamatan SPM dengan menggunakan metode *sampling* mingguan. *Sampling* SPM dilakukan selama 24 jam dan terjadwal dalam periode ulang tiap 6 hari sekali (Gambar L4). Setelah sampling SPM dilaksanakan maka proses selanjutnya adalah pengujian sampel SPM yang melibatkan peralatan dan proses laboratorium. Peralatan pengujian yang digunakan berupa Desikator dan Timbangan Analitik.



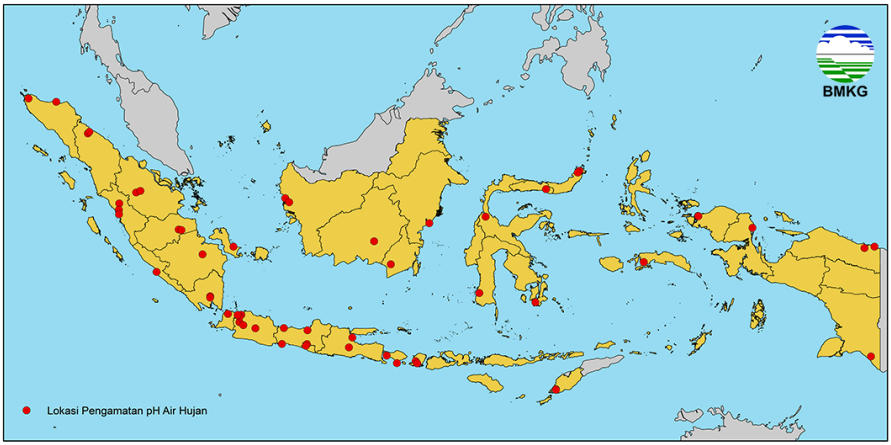
Gambar L4. Sebaran titik pengamatan SPM

pH Air Hujan

Sampling air hujan di BMKG dilakukan menggunakan alat *Automatic Rain Water Sampler* (ARWS) pada 56 lokasi sampling stasiun-stasiun BMKG seluruh Indonesia (Gambar L5). Sampel air hujan diambil setiap hari Senin pukul 09:00 waktu setempat melalui alat ini. Selanjutnya sampel dikirim ke Laboratorium Penguji Kualitas Udara BMKG Pusat untuk dilakukan pengujian pH menggunakan pH meter dan analisis komposisi kimia air hujan menggunakan *Ion Chromatography*.

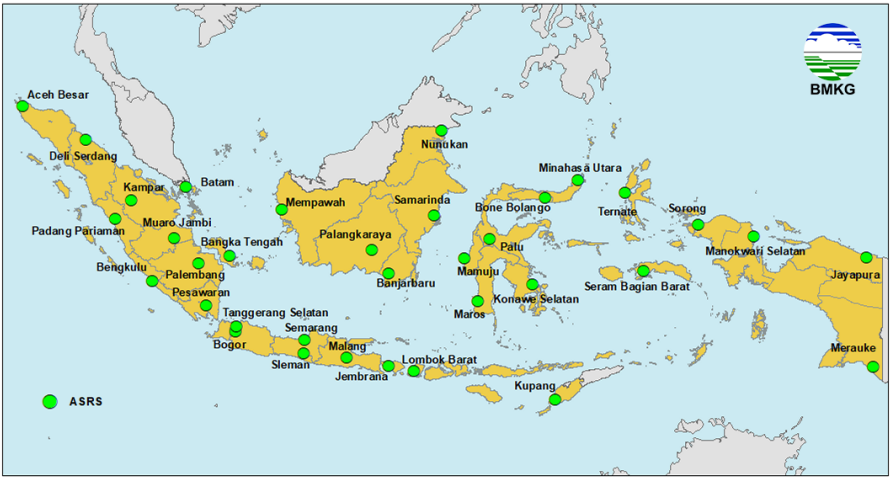
Pengamatan pH air hujan oleh BMKG didasarkan pada pedoman yang ditetapkan oleh WMO, yaitu WMO-No.8 Guide to Instruments and Methods of Observation[1]. Pengamatan ini diintegrasikan ke dalam program *Global Atmosphere Watch* (GAW), sebuah program dengan jaringan global yang bertujuan menyediakan data dan informasi terkait komposisi kimia serta karakteristik fisik atmosfer (Gambar L5).

1 https://library.wmo.int/idurl/4/41650



Gambar L5. Sebaran titik pengamatan pH air hujan

Radiasi Matahari



Gambar L6. Sebaran titik pengamatan ASRS BMKG

Untuk mengamati intensitas radiasi matahari, saat ini BMKG mengoperasikan 35 peralatan *Automatic Solar Radiation Station* (ASRS) yang tersebar di setiap provinsi di Indonesia (Gambar L6). ASRS adalah satu set alat pengukur radiasi matahari otomatis yang difokuskan pada gelombang pendek matahari.

Peralatan ini menghasilkan data radiasi matahari setiap 1 menit dan secara *realtime* beroperasi 24 jam terus menerus.

Gas Rumah Kaca

Data gas rumah kaca untuk analisis jangka panjang diperoleh dari hasil pengukuran sampel udara ambien yang dilakukan dengan metode *flask sampling*. Udara ambien dikumpulkan di dalam tabung kaca melalui proses *sampling* yang dilakukan sekali seminggu pada pukul 14:00 waktu setempat. Sampel udara kemudian dikirimkan ke *Global Monitoring Laboratory*, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), di Boulder, Colorado, Amerika Serikat untuk dianalisis berdasarkan parameter gas rumah kaca yang telah ditentukan, yaitu CO_2, CH_4, N_2O, dan SF_6.

Analisis CO_2 dilakukan dengan menggunakan alat yang digunakan disebut *Non-Dispersive Infrared Analyzer* (NDIR). Udara yang dianalisis dimasukkan ke dalam ruangan kecil, dan cahaya inframerah dengan panjang gelombang tertentu diarahkan ke dalam ruangan tersebut. Alat ini menggunakan panjang gelombang tertentu (4,255 mikron atau 4,255 x 10^{-6} m) yang spesifik untuk analisis CO_2. Pada bagian ujung ruangan terdapat detektor yang mengukur seberapa banyak cahaya inframerah yang menembus udara di dalam ruangan. Perbedaan antara cahaya yang masuk dan yang terdeteksi proporsional dengan jumlah yang terserap oleh CO_2 di udara di dalam ruangan.

Analisis CH_4, N_2O, dan SF_6 dilakukan dengan menggunakan metode kromatografi gas. Kromatografi gas adalah proses pemisahan gas berdasarkan laju alirnya. Kromatografi gas dilengkapi oleh detektor yang spesifik untuk jenis gas tertentu. CH_4 dideteksi menggunakan *Flame Ionization Detector* (FID). Sementara itu, N_2O dan SF_6 dideteksi menggunakan *Electron Capture Detector* (ECD).

Data gas rumah kaca untuk profil bulanan dan harian diperoleh dari hasil monitoring konsentrasi CO_2 dan CH_4 dengan metode *Cavity Ring-Down Spectrometer* (CRDS). Metode CRDS adalah teknik analisis spektroskopi yang digunakan untuk mengukur konsentrasi gas dengan tingkat sensitivitas yang sangat tinggi. Metode ini didasarkan pada prinsip pengukuran intensitas cahaya yang mengalami pantulan dalam suatu ruang tertutup atau *cavity*.

CRDS mengukur waktu yang diperlukan bagi cahaya untuk meluruh dalam intensitas saat memantul dalam *cavity*. Waktu peluruhan ini dipengaruhi oleh jumlah molekul gas dalam *cavity* yang dapat menyerap cahaya. Semakin banyak gas dalam sampel, waktu peluruhan akan semakin singkat.

METODE PERHITUNGAN

Suhu Global (WMO)

Dalam perhitungan suhu global, WMO menggabungkan data suhu dari berbagai sumber di seluruh dunia, termasuk stasiun cuaca di daratan, kapal laut dan pelampung di laut (*buoy*), dan penginderaan jarak jauh dari satelit. Selain itu, WMO menggunakan model komputasi untuk melengkapi data suhu di wilayah yang tidak memiliki pengamatan langsung, seperti kutub dan lautan luas. Model ini membantu mengisi kekosongan data, sehingga menghasilkan peta suhu global yang lebih lengkap. Namun, penggunaan model seperti ini bisa membuat suhu global terlihat lebih rata atau halus, dan ini dapat menyebabkan hasil perhitungan sedikit berbeda dari data pengamatan asli lapangan.

Anomali suhu global dihitung dengan membandingkan suhu saat ini dengan suhu pada periode pra-industri (1850—1900), yaitu sebelum penggunaan bahan bakar fosil secara besar-besaran. Karena suhu pada periode pra-industri lebih rendah, kenaikan suhu global terlihat lebih signifikan, mencerminkan dampak antropogenik atau aktivitas manusia terhadap iklim terutama penggunaan bahan bakar fosil yang mengemisikan GRK ke udara.

Suhu Indonesia (BMKG)

Data suhu Indonesia yang dianalisis untuk laporan ini, dikumpulkan dari pengamatan suhu di berbagai stasiun BMKG di seluruh wilayah Indonesia. Suhu ini diukur menggunakan sebuah termometer yang ditempatkan dalam sangkar Stevenson. Sangkar ini adalah sebuah kotak kayu berwarna putih dengan ventilasi yang melindungi alat dari sinar matahari langsung, hujan, dan angin, tetapi tetap memungkinkan sirkulasi udara. Dengan alat ini, suhu yang tercatat benar-benar mencerminkan suhu udara di sekitar alat. Karena data suhu diamati secara langsung di lokasi stasiun-stasiun cuaca/iklim yang tersebar di seluruh Indonesia, maka data yang diperoleh hanya mewakili suhu

di atas daratan saja, tidak termasuk suhu di lautan.

Di Indonesia, BMKG menggunakan periode rata-rata normal 1991—2020 (disebut juga periode normal) sebagai acuan atau periode referensi. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan data pengamatan suhu di Indonesia pada era pra-industri, yang tidak tersedia untuk seluruh wilayah. Penggunaan periode referensi yang lebih baru, yaitu 1991—2020, dapat membuat kenaikan suhu di Indonesia terlihat lebih kecil dibandingkan kenaikan suhu global. Oleh karena itu, diperlukan kehati-hatian dalam melakukan interpretasi data.

***Temperature Humidity Index* (THI):**
Indeks THI dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$THI = 0{,}8 \times T + \{(RH \times T) \div 500\}$$

dengan: T = Suhu udara (°C),
RH = Kelembapan udara relatif (%),
THI = Indeks kenyamanan (°C).

THI antara 21—24 °C : Nyaman (terdapat 100 % populasi manusia menyatakan nyaman),
THI antara 25—27 °C : THI antara 25—27 °C : Sebagian (Agak) Nyaman (terdapat 50 % populasi manusia menyatakan nyaman),
THI >27 °C : THI >27 °C : Tidak Nyaman (terdapat 100 % populasi manusia merasa tidak nyaman).

METODE PEMERINGKATAN

Curah Hujan Ekstrem Harian
Curah hujan harian dilaporkan berdasarkan kejadiannya, bukan hanya dari besaran curah hujan yang diukur oleh pos hujan. Jika beberapa pos hujan berdekatan melaporkan curah hujan tinggi pada hari yang sama, hanya satu pos hujan dengan curah hujan tertinggi yang dimasukkan dalam tabel peringkat karena beberapa pos hujan berdekatan itu mengukur curah hujan dari sistem cuaca yang sama.

Suhu Minimum Harian

Suhu minimum harian dilaporkan berdasarkan titik lokasi dan nilai terendahnya, bukan hanya dari besaran suhu minimumnya. Jika dalam satu pos hujan melaporkan beberapa kali kejadian suhu minimum, hanya satu nilai dengan suhu minimum terendah yang dimasukkan dalam tabel peringkat. Akan tetapi jika nilai tersebut terjadi lebih dari sekali, tetap dilaporkan semua kejadiannya.

Hari Tanpa Hujan

Hari tanpa hujan berturut-turut didefinisikan sebagai jumlah hari yang tinggi hujannya di bawah 1 mm atau tidak terjadi hujan sama sekali. Hari tanpa hujan dilaporkan berdasarkan kejadiannya, bukan hanya dari besaran hari tanpa hujan yang diukur oleh masing-masing pos hujan. Jika beberapa pos hujan berdekatan melaporkan hari tanpa hujan tinggi pada kecamatan yang sama, hanya satu pos hujan dengan hari tanpa hujan tertinggi yang dimasukkan dalam tabel peringkat karena beberapa pos hujan berdekatan itu mengukur hari tanpa hujan dari sistem cuaca yang sama.

GLOSARIUM

Antropogenik, dihasilkan oleh manusia atau dari aktivitas manusia. Biasanya ada di dalam konteks emisi yang yang dikeluarkan sebagai hasil dari aktivitas manusia.

Anomali Curah Hujan adalah selisih curah hujan dibandingkan dengan normal curah hujannya (1991—2020).

Australian Monsoon Index didefinisikan sebagai nilai rata-rata angin zonal pada level ketinggian 850 milibar dalam area antara 5°—15° Lintang Selatan dan 110°—130° Bujur Timur.

Awal Musim Hujan ditetapkan apabila jumlah curah hujan dalam satu dasarian, ditetapkan berdasarkan jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) sama atau lebih dari 50 milimeter dan diikuti oleh 2 (dua) dasarian berikutnya dengan curah hujan yang juga sama atau lebih dari 50 milimeter. Kedua, AMH juga dapat ditetapkan apabila terdapat satu dasarian dengan curah hujan sama atau lebih dari 50 milimeter dan ketika dijumlahkan dengan dua dasrian berikutnya, total curah hujan dalam tiga dasrian tersebut sama atau lebih dari 150 milimeter. Dalam kondisi ini, AMH akan dimulai pada dasarian pertama ketika curah hujan dalam dasarian tersebut juga sama atau lebih dari 50 milimeter.

Awal Musim Kemarau ditetapkan jika jumlah curah hujan dalam satu dasarian (10 hari) kurang dari 50 milimeter dan pola ini diikuti oleh dua dasarian berikutnya yang memiliki curah hujan kurang dari 50 milimeter. Kedua, AMK juga dapat ditetapkan apabila terdapat satu dasarian dengan curah hujan kurang dari 50 milimeter dan ketika dijumlahkan dengan dua dasarian berikutnya, total curah hujan dalam tiga dasarian tersebut kurang dari 150 milimeter. Dalam kondisi ini, AMK akan dimulai pada dasarian pertama ketika curah hujan dalam dasarian tersebut juga kurang dari 50 milimeter.

Berkeley Earth adalah dataset yang dikembangkan untuk untuk mengukur dan menganalisis suhu rata-rata permukaan Bumi dari waktu ke waktu.

CH_4 atau metana, adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom karbon yang terikat pada empat atom hidrogen. Gas ini tidak berwarna dan tidak berbau yang sering ditemukan di lingkungan alam, termasuk dalam proses alam seperti pembusukan organik dalam rawa-rawa dan perut hewan ruminansia. Metana juga merupakan salah satu gas rumah kaca yang penting, yang berarti ia dapat menyebabkan efek rumah kaca dan mempengaruhi iklim global.

CO_2 atau karbon dioksida, adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat pada satu atom karbon. Karbon dioksida adalah komponen penting dari siklus karbon dan memainkan peran yang signifikan dalam menjaga suhu bumi melalui efek rumah kaca. Gas ini dihasilkan sebagai produk sampingan dari berbagai proses alami dan aktivitas manusia, termasuk pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan proses industri.

Curah Hujan adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir.

Curah Hujan Harian adalah hujan yang terjadi dan tercatat pada stasiun pengamatan curah hujan setiap hari (selama 24 jam).

Curah Hujan Tahunan adalah jumlah curah hujan bulanan dalam satu tahun pengamatan pada suatu stasiun curah hujan tertentu.

ERA5 merupakan analisis ulang atmosferik ECMWF generasi kelima terhadap iklim global yang mencakup periode dari Januari 1940 hingga sekarang.

El Niño berasal dari bahasa Spanyol yang artinya ”anak laki-laki”. El Niño awalnya digunakan untuk menandai kondisi arus laut hangat tahunan yang mengalir ke arah selatan di sepanjang pesisir Peru dan Ekuador.

Gletser adalah lapisan besar es yang bergerak turun perlahan-lahan di lereng gunung atau di dataran.

GISTEMP merupakan salah satu analisis suhu permukaan yang sudah lama dikenal dengan estimasi pertama yang dibuat oleh Hansen et al. (1981) dan dokumentasi lengkap metode ini di Hansen dan Lebedeff (1987).

HadCRUT5 merupakan kumpulan data anomali suhu permukaan global historis yang disusun secara grid relatif terhadap periode referensi 1961—1990.

Hari Tanpa Hujan merupakan hari yang tinggi hujannya di bawah 1 mm atau tidak terjadi hujan sama sekali.

Hotspot merupakan lokasi dengan kemungkinan adanya kebakaran aktif. *Hotspot* bisa tidak terdeteksi dikarenakan kondisi cuaca yang terlalu berawan.

Hujan asam terjadi ketika sulfur dioksida (SO_2) dan nitrogen oksida (NO_x) dilepaskan ke atmosfer, kemudian diangkut oleh angin dan udara, serta bereaksi dengan air, oksigen, dan senyawa kimia lainnya, membentuk asam sulfat dan asam nitrat. Kedua senyawa tersebut bercampur dengan air dan partikel lain sebelum jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk hujan asam. Sumber utama SO_2 dan NO_x di atmosfer berasal dari pembakaran bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik, kendaraan bermotor, alat berat, manufaktur, kilang minyak, serta industri lainnya.

Indian Ocean Dipole adalah kondisi interaksi laut-atmosfer yang terjadi di Samudera Hindia tropis yang diidentifikasi berdasarkan perbedaan suhu muka laut pada dua kawasan yaitu Samudera Hindia wilayah pantai timur Afrika dan Samudera Hindia barat Sumatera

JRA-3Q JMA adalah model yang dikeluarkan oleh Japan Meteorological Agency yang menyediakan berbagai data atmosferik dari September 1947.

Kelvin wave adalah gelombang skala besar yang terdapat di atmosfer bumi dan lautan.

Kriosfer adalah istilah yang merujuk kepada bagian dari permukaan bumi yang mengandung air dalam bentuk padat, seperti es laut, es danau, es sungai, salju, glasier, tudung es dan lapisan es, serta tanah beku.

La Niña adalah kejadian anomali iklim global yang ditandai dengan keadaan suhu permukaan laut (SPL) atau *sea surface temperature* (SST) di Samudera Pasifik tropis bagian tengah dan timur yang lebih dingin dibandingkan suhu normalnya.

MGDSST JMA adalah data blending SST harian yang dikeluarkan oleh *Japan Meteorological Agency*.

mm/jam adalah satuan yang digunakan untuk mengukur curah hujan jam-jaman.

mm/hari adalah satuan yang digunakan untuk mengukur curah hujan harian.

mm/tahun adalah satuan yang digunakan untuk mengukur curah hujan tahunan.

Madden-Julian Oscillation (MJO) adalah suatu gelombang atau osilasi non seasonal yang terjadi di lapisan troposfer yang bergerak dari barat ke timur dengan periode osilasi kurang lebih 30—60 hari.

Monsun Asia merupakan sirkulasi angin yang terjadi karena adanya tekanan tinggi di Asia dan umumnya berkaitan dengan berlangsungnya musim hujan di sebagian besar wilayah Indonesia.

Monsun Australia adalah merupakan sirkulasi angin yang terjadi karena adanya tekanan tinggi di Australia dan biasanya berkaitan dengan berlangsungnya musim kemarau di sebagian besar wilayah Indonesia.

Musim Hujan adalah periode yang ditemukan dalam pola hujan tahunan dimana terdapat minimal tiga dasarian berturut-turut dengan curah hujan lebih atau sama dengan 50 mm/dasarian atau total ketiganya lebih atau sama dengan 150 mm (syarat curah hujan dasarian pertama harus lebih besar atau sama dengan 50 mm/dasarian).

Musim Kemarau adalah periode yang ditemukan dalam pola hujan tahunan dimana terdapat minimal tiga dasarian berturut-turut dengan curah hujan kurang dari 50 mm/dasarian atau total ketiganya kurang dari 150 mm (syarat curah hujan dasarian pertama harus kurang dari 50 mm/dasarian).

NO_2 atau nitrogen dioksida, adalah gas berwarna coklat kemerahan dengan bau tajam, merupakan polutan udara yang berbahaya, terbentuk dari pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri, serta berperan dalam pembentukan ozon dan hujan asam.

NOAA GlobalTemp v6 merupakan model yang dikeluarkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) yang menggabungkan suhu permukaan laut dengan suhu udara permukaan daratan.

Normal Musim diperoleh dengan merata-ratakan curah hujan pada masing-masing dasarian (10 hari) dalam periode 30 tahun.

Normal Curah Hujan merupakan data rata-rata curah hujan periode tahun 1991—2020.

N_2O atau dinitrogen oksida, adalah senyawa kimia yang terdiri dari dua atom nitrogen yang terikat pada satu atom oksigen. Senyawa ini juga dikenal dengan nama lain seperti “gas tawa” karena efek euforik yang dapat ditimbulkannya pada manusia jika terhirup dalam jumlah yang signifikan. Selain itu, N_2O juga merupakan gas rumah kaca yang penting karena dapat mengabsorpsi radiasi inframerah dan berkontribusi pada pemanasan global dengan meningkatkan efek rumah kaca. Emisi N_2O biasanya berasal dari berbagai aktivitas manusia, termasuk pertanian (terutama penggunaan pupuk nitrogen), industri, dan pembakaran bahan bakar fosil.

$PM_{2.5}$ atau *Particulate Matter* 2.5 adalah partikel udara yang berukuran lebih kecil dari 2.5 µm (mikrometer). Pengukuran konsentrasi $PM_{2.5}$ dilakukan dengan metode sinar beta (*Beta Attenuation Method*) yaitu dengan peluruhan radioaktif ^{14}C yang beroperasi secara terus-menerus setiap jam dengan nilai yang dihasilkan dalam bentuk konsentrasi $PM_{2.5}$ dengan satuan µg/m3 (mikrogram per meter kubik)

ppb (*parts per billion*): Satuan konsentrasi yang lebih kecil dari ppm, menunjukkan jumlah molekul gas per satu miliar molekul udara. 1 ppb CH_4 berarti terdapat satu molekul metana dalam setiap satu miliar molekul udara.

ppm (*parts per million*): Satuan yang digunakan untuk mengukur konsentrasi gas dalam atmosfer, yang berarti jumlah molekul gas per satu juta molekul udara. Dalam konteks gas rumah kaca, 1 ppm CO_2 berarti terdapat satu molekul karbon dioksida dalam setiap satu juta molekul udara.

ppt (*parts per trillion*): Satuan yang lebih kecil lagi dibandingkan ppb, menunjukkan jumlah molekul gas per satu triliun molekul udara. 1 ppt SF_6 berarti terdapat satu molekul sulfur heksafluorida dalam setiap satu triliun molekul udara.

Puncak Musim Kemarau merupakan periode dengan jumlah curah hujan terendah untuk akumulasi tiga dasarian berturut-turut. Jika terdapat minimal 3 (tiga) dasarian bernilai 0 mm, maka bulan yang dinyatakan sebagai puncak musim kemarau diambil di tengah periode tersebut.

Pyranometer sensor yang menghasilkan nilai besaran radiasi matahari (difusi, global dan refleksi) dengan prinsip kerja permukaan hitam dan thermophile yang mengkonversikan perbedaan temperatur yang terjadi menjadi voltase listrik.

Pyrheliometer sensor yang memiliki prinsip kerja sama dengan pyranometer, tetapi pyrheliometer tidak memiliki sudut penangkap radiasi 180 derajat, melainkan sensor ini didesain untuk menangkap radiasi matahari yang datang dengan sudut normal (DNI – *Direct Normal Irradiance*).

Rossby wave merupakan sebuah fenomena alam yang terjadi pada lapisan atmosfer yang dapat mengindikasikan adanya potensi berkumpulnya awan hujan dengan skala yang lebih luas. Nama gelombang ini diambil dari Carl-Gustaf Avrid Rossby, orang yang pertama kali mengidentifikasi dan memahami pergerakan gelombang tersebut

SF_6 atau sulfur heksafluorida, adalah senyawa kimia yang terdiri dari satu atom sulfur yang terikat pada enam atom fluorin. Senyawa ini adalah salah satu gas insulasi yang paling umum digunakan dalam peralatan listrik dan peralatan tinggi tegangan, seperti transformator dan pemutus sirkuit. SF_6 juga merupakan gas rumah kaca yang sangat kuat dan memiliki dampak pemanasan global yang signifikan jika dilepaskan ke atmosfer.

Sifat Hujan merupakan perbandingan antara jumlah curah hujan selama rentang waktu yang ditetapkan (satu periode musim hujan atau satu periode musim kemarau) terhadap jumlah curah hujan normal pada rentang yang sama. Sifat hujan dibagi menjadi tiga kategori yaitu atas normal (jika nilai curah hujan lebih dari 115 % terhadap normal), normal (jika nilai curah hujan antara 85 %—115 % terhadap normal), dan bawah normal (jika nilai curah hujan kurang dari 85 % terhadap normal).

Sub-tropis adalah wilayah bumi yang secara astronomis berada di bagian utara dan selatan setelah wilayah tropis yang dibatasi oleh garis balik utara dan garis balik selatan pada lintang 23,5° utara dan selatan dari garis ekuator.

Sub-musiman (intra-season) adalah fenomena atmosfer yang terjadi dalam skala yang lebih pendek dari musiman.

Suhu Muka Laut adalah suhu air laut yang berada di beberapa milimeter teratas lautan.

Suhu Udara Maksimum merupakan suhu udara yang diukur menggunakan termometer maksimum yang diamati pada 18.00 WIB.

Suhu Udara Minimum merupakan suhu udara yang diukur menggunakan termometer minimum setiap 07.00 WIB dan 14.00 WIB.

Warm Spell merupakan banyaknya jumlah hari berturut-turut dimana suhu udara maksimum >35 °C.

Western North Pacific Monsoon Index merupakan indeks monsun yang diperoleh dari rerata angin zonal pada level ketinggian 850 milibar dengan area cakupan 100°—130° Bujur Timur, 5°—15° Lintang Utara dan 110°—140° Bujur Timur, 20°—30° Lintang Utara.

°C adalah satuan suhu atau temperatur dalam derajat celcius.

µg/ m^3 adalah satuan dari konsentrasi $PM_{2.5}$ adalah µg/ m^3 (mikrogram per meter kubik).

SINGKATAN

AMK	: Awal Musim kemarau
AMH	: Awal Musim Hujan
ARWS	: *Automatic Rain Water Sampler*
AWS	: *Automatic Weather Station*
ASRS	: *Automatic Solar Radiation Station*
BBMKG	: Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
BMKG	: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
BT	: Bujur Timur
COP21	: 21st *Conference of Parties*
CRDS	: *Cavity Ring-Down Spectrometer*
ECD	: *Electron Capture Detector*
EC-PHORS	: *Panel on Polar and High Mountain Observations, Research, and Services*
ENSO	: *El Niño Southern Oscillation*
FID	: *Flame Ionization Detector*
GAW	: *Global Atmosphere Watch*
GOS	: *Global Observing System*
GRK	: Gas Rumah Kaca
HTH	: Hari Tanpa Hujan
IPCC	: *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IOD	: *Indian Ocean Dipole*
JMA	: *Japan Meteorological Agency*
kWh	: *kilowatt-hour*
LS	: Lintang Selatan
m	: meter
MJO	: *Madden Julian Oscillation*
MKG	: Meteorologi Klimatologi Geofisika
mm	: milimeter
NBM	: Nilai Baku Mutu
NDIR	: *Non-Dispersive Infrared Analyzer*
NOAA	: *National Oceanic and Atmospheric Administration*
NTB	: Nusa Tenggara Barat
NTT	: Nusa Tenggara Timur

OLR	: *Outgoing Longwave Radiation*
PAG	: *Pengamat Atmosfer Global*
PBB	: Perserikatan Bangsa-Bangsa
pH	: *potential of hydrogen*
ppm	: *parts per million*
ppb	: *parts per billion*
ppt	: *parts per trillion*
PTFI	: PT. Freeport Indonesia
PVC	: *Polyvinyl Chloride*
RH	: *Relative Humidity*
RR	: *Rainfall Rate*
SG	: Stasiun Geofisika
SPM	: *Suspended Particulate Matter*
T	: *Temperature*
T Max	: *Maximum Temperature*
T Min	: *Minimum Temperature*
THI	: *Temperature Humidity Index*
TMII	: Taman Mini Indonesia Indah
TML	: Tinggi Muka Laut
UPT	: Unit Pelaksana Teknis
UTC	: *Coordinated Universal Time*
WMO	: *World Meteorological Organization*
WMO ID	: *World Meteorological Organization Identifier*
WS	: Waktu Setempat
µm	: mikro meter

DAFTAR PUSTAKA

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2025). *Fakta dan Persepsi Perubahan Iklim*. Direktorat Perubahan Iklim.

Effendy S, Bey A, Zain AFM, Santosa I. (2006). *Peranan ruang terbuka hijau dalam mengendalikan suhu udara dan urban heat island wilayah JABOTABEK*. J Agrom Indones. 20(1):23-33.

Emmanuel R. (2005). *Termal comfort implications of urbanization in a warm-humid city*: The Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. J Build Environm. 40:1591-1601.

Hansen, J. and Lebedeff, S. (1987). *Global Trends of Measured Surface Air Temperature*. Journal of Geophysical Research, 92, 13345-13372. http://dx.doi.org/10.1029/JD092iD11p13345.

Hansen, J., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, P. Lee, D. Rind, and G. Russell. (1981). *Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide*. Science, 213, 957-966, doi:10.1126/science.213.4511.957.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report. IPCC.

Kurniawan, A., Dayantolis, W., & Okaem, T. T. (2017). *Studi Tren Kenaikan CO2 Hasil Pengukuran pada GAW Bukit Kototabang dan Perbandingannya dengan Data Global*. Megasains, Vol. 10, No. 2, 16–23.

Ramage, C.S. (1971). *Monsoon Meteorology*. Academic Press, New York, 296.

World Meteorological Organization (WMO). (2024). *WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 20: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2023*. https://library.wmo.int/idurl/4/69057.

World Meteorological Organization (WMO). (2025). *WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55 °C above pre-industrial level.* World Meteorological Organization. https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level.

World Meteorological Organization (WMO). (2023). *WMO-No. 8: Guide to Instruments and Methods of Observation: Vol. I – Measurement of Meteorological Variables*. World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/68695.

World Meteorological Organization (WMO). (2023). *WMO-No.8: Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation: Vol. V - Quality Assurance and Management of Observing Systems.* World Meteorological Organization. https://library.wmo.int/idurl/4/41650.

TIM PENYUSUN

Pengarah	:	Dr. Ardhasena Sopaheluwakan
Penanggung Jawab	:	Dr. A. Fachri Radjab Marjuki, M.Si
Editor	:	Dr. Supari Siswanto, PhD
Redaktur Indikator Iklim dan Kualitas Udara	:	Kadarsah, M.Si Dr. Trinah Wati Agus Sabana Hadi, M.Si Budi Setiawan, M.Si Dr. Alberth Christian Nahas Taryono, M.Si Dr. Donaldi Sukma Permana
Redaktur Indikator Indonesia	:	Dr. Amsari Mudzakir Setiawan Adi Ripaldi, M.Si Eka Suharguniyawan, SKM Kwarti Adha Sartika, S.Si
Redaktur Catatan Rekor Pengamatan	:	Dr. Indra Gustari Dr. Ari Kurniadi Robi Muharsyah, M.Si
Redaktur Analisis Khusus	:	Alif Akbar Syafrianno, M.Si Dwi Atmoko, PhD Muhammad Agung Fauzi, S.Si
Redaktur Sumber Data Pengamatan	:	Joko Budi Utomo, S.T Dodi Apandi, M.Si

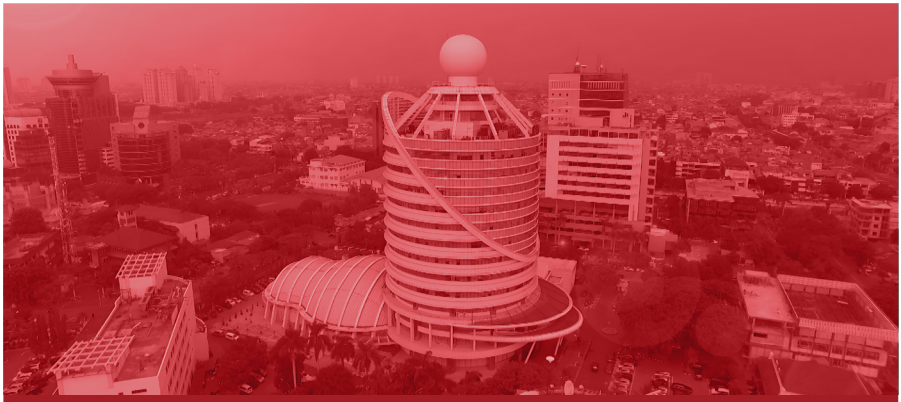
Enumerator : Dyah Ayu Kartika. S.Si
Hasalika Nurjannah, S.Tr

Diseminasi : Hary Tirto Djatmiko, ST
Mugni Hadi Hariadi, M.Sc
Muhammad Addip Novianto, M.Sc

Desain dan Tata Letak : Imam Yunanda Putra, S.Ds

Kontributor :

Bidang Analisis Variabilitas Iklim; Bidang Analisis Perubahan Iklim; Bidang Manajemen Operasi dan Kualitas Udara; Bidang Diseminasi Iklim dan Kualitas Udara; Bidang Informasi Kualitas Udara; Bidang Informasi Iklim Terapan



BMKG

Diterbitkan oleh : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
Dikeluarkan oleh : Deputi Bidang Klimatologi, BMKG

Jalan Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta 10610
Email: info@bmkg.go.id | Website: www.bmkg.go.id

BMKG

CATATAN IKLIM DAN KUALITAS UDARA INDONESIA 2024

BMKG

DEPUTI BIDANG KLIMATOLOGI
BADAN METEOROLOGI KLIMATOLOGI DAN GEOFISIKA
GEDUNG B, JL. ANGKASA I NO.2 KEMAYORAN
JAKARTA 10610