



KAJIAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK) KOTA SURABAYA 2025

GRK

**DINAS LINGKUNGAN HIDUP
PEMERINTAH KOTA SURABAYA**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kamu panjatkan kepada Allah Subhannahu wa Ta'ala, karena rahmat-Nya kami telah menyelesaikan laporan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kota Surabaya Tahun 2025. Laporan kajian ini merupakan upaya Pemerintah Kota Surabaya dalam mengidentifikasi emisi gas rumah kaca yang ada di Kota Surabaya. Dalam laporan ini juga diketahui mengenai sumber-sumber penghasil emisi yang ada di Kota Surabaya. Data yang telah diperoleh dapat dijadikan dasar perhitungan dan penetapan *baseline* emisi gas rumah kaca serta sebagai landasan untuk menetapkan kebijakan maupun strategi mitigasi serta adaptasi perubahan iklim yang ada di Kota Surabaya. Adapun data yang disajikan dalam laporan berikut merupakan data emisi yang didapatkan dari beberapa sektor, diantaranya sektor energi, sektor limbah, sektor pertanian dan kehutanan(AFOLU), dan sektor industri(IPPU) dengan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional Dalam Penanganan Perubahan Iklim.

Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca , baik pihak instansi pemerintah, swasta, maupun masyarakat. Kontribusi dari seluruh pihak berupa penyediaan, partisipasi kegiatan serta konsultasi, serta dukungan dalam bentuk lainnya. Kerja sama yang baik dari berbagai pemangku kepentingan ini mencerminkan komitmen bersama untuk mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca dan menangani perubahan iklim di Kota Surabaya.

Surabaya, Desember 2025

**KEPALA
DINAS LINGKUNGAN
HIDUP,**



Drs. Dedik Irianto, MM
Pembina Utama Muda / IV / c
196906291989031002

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	I
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Profil Umum Kota Surabaya	I-2
1.3 Maksud dan Tujuan	I-7
1.4 Tim Penyelenggara Inventarisasi Gas Rumah Kaca	I-8
1.4.1 Keterlibatan Lembaga/OPD dalam Inventarisasi GRK	I-8
1.4.2 Keterlibatan OPD Kota Surabaya	I-8
1.4.3 Keterlibatan Pelaku Usaha di Kota Surabaya	I-10
1.5 Tantangan dan Peluang Pengembangan Tim Inventarisasi Emisi GRK	I-12
1.5.1 Tantangan	I-12
1.5.2 Peluang	I-13
1.6 Deskripsi ringkas proses persiapan inventarisasi emisi GRK	I-14
BAB II METODELOGI DAN SUMBER DATA.....	II
2.1 Prinsip Umum	II-1
2.2 Metodologi	II-3
2.2.1 Metodologi Umum	II-3
2.2.2 Penerapan pada Inventarisasi GRK Kota Surabaya	II-7
2.2.3 Metodologi Sektor	II-8
2.3 Sumber Data	II-28
2.3.1 Data Aktivitas	II-28
2.3.2 Sumber Data	II-29
2.3.3 Pengolahan Data	II-29
BAB III HASIL PERHITUNGAN EMISI GRK DAN/ATAU SERAPAN GRKIII	
3.1 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi GRK dan/atau Serapan Emisi GRK	III-1
3.1.1 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi GRK dan/atau Serapan Emisi GRK Secara Agregat.....	III-1
3.1.2 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi GRK dan/atau Serapan Emisi GRK Secara Sektoral	III-3
3.2 Analisis Ketidakpastian dan Kategori Kunci.....	III-120

3.2.1 Analisis Ketidakpastian	III-120
3.2.2 Kategori Kunci	III-121
3.3 Pengendalian dan Penjaminan Mutu	III-128
BAB IV RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI EMISI GRK	IV
4.1 Rencana Perbaikan Secara Umum	IV-1
4.2 Rencana Perbaikan Sektorial	IV-4
Bab V PENUTUP	V
5.1 Kesimpulan	V-1
5.2 Saran	V-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Luas Wilayah Tiap Kecamatan	I-3
Tabel 1. 2 Data Perusahaan yang Memberikan Data Pendukung GRK I-11	
Tabel 2. 1 Nilai Global Warming Potential (GWP) 2nd AR of IPCC	II-4
Tabel 3. 1 Pembakaran Bahan Bakar di Pembangkit Listrik (1A1a) Kota Surabaya	III-11
Tabel 3. 2 Pembakaran Bahan Bakar pada Pembangkit Listrik (1A1a) di Kota Surabaya	III-13
Tabel 3. 3 Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2) Kota Surabaya.....	III-15
Tabel 3. 4 Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2) Kota Surabaya	III-18
Tabel 3. 5 Analisis Statistik Data Aktivitas Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya	III-23
Tabel 3. 6 Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya	III-26
Tabel 3. 7 Common Reporting Format (CRF) Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Energi Kota Surabaya Tahun 2024.....	III-27
Tabel 3. 8 Key Category Analysis (KCA) Sektor Energi.....	III-29
Tabel 3. 9 Total Penggunaan Pelumas pada Sektor IPPU	III-38
Tabel 3. 10 Kalkulasi emisi pada Sektor IPPU.....	III-38
Tabel 3. 11 Total Penggunaan Sodium Carbonate Sektor IPPU	III-39
Tabel 3. 12 Common Reporting Format (CRF) pada sektor IPPU	III-39
Tabel 3. 13 Key Category Analysis (KCA) pada Sektor IPPU.....	III-42
Tabel 3. 14 Data Aktivitas Populasi Ternak Kota Surabaya.....	III-48
Tabel 3. 15 Kalkulasi Emisi Metana dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Pupuk Kota Surabaya	III-51
Tabel 3. 16 Kalkulasi Emisi Metana dari Sistem Manajemen Pupuk Kandang Provinsi Jawa Timur	III-54
Tabel 3. 17 Kalkulasi Emisi Langsung Dinitrogen Oksida (N ₂ O) dari Manajemen Kotoran Ternak.....	III-58
Tabel 3. 18 Inventarisasi Data Aktivitas Sawah Kota Surabaya.....	III-62
Tabel 3. 19 Inventarisasi Data Tanaman Pangan Kota Surabaya	III-62
Tabel 3. 20 Data Konsumsi Pupuk Surabaya	III-63

Tabel 3. 21 Emisi CO ₂ yang berasal dari penggunaan pupuk Urea	III-64
Tabel 3. 22 Emisi Nitrogen.....	III-66
Tabel 3. 23 Kalkulasi Emisi Tidak Langsung Dinitrogen Oksida N ₂ O dari Deposisi Atmosfer.....	III-69
Tabel 3. 24 Kalkulasi Emisi Emisi Tidak Langsung Dinitrogen Oksida N ₂ O dari Manajemen Kotoran Ternak.....	III-70
Tabel 3. 25 Emisi Emisi Metana (CH ₄) dari Budidaya Padi Sawah	III-75
Tabel 3. 26 Matriks Transisi Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2023-2024 pada Tanah Mineral di Kota Surabaya.....	III-82
Tabel 3. 27 Common Reporting Format (CRF) Perubahan Lahan Tahun 2023-2024.....	III-84
Tabel 3. 28 Kalkulasi Emisi / Serapan Karbon Tutupan Hutan – Tutupan Hutan Tahun 2024 Surabaya	III-87
Tabel 3. 29 Kalkulasi Emisi / Serapan pada Biomassa Tanah Mineral Lahan Pertanian tetap menjadi Lahan Pertanian Kota Surabaya Tahun 2024.....	III-94
Tabel 3. 30 Emisi / Kehilangan Stok Karbon (Carbon Loss) akibat konversi lahan menjadi Lahan Lainnya (Other Land/OL) (3B6b) Surabaya Tahun 2024.....	III-99
Tabel 3. 31 Key Category Analysis pada Sektor Kehutanan	III-113
Tabel 3. 32 Analisis Kategori Kunci Teratas Sektor Kehutanan 2024	III-114
Tabel 3. 33 emisi berdasarkan sumber produksi limbah	III-117
Tabel 3. 34 emisi gas rumah kaca secara CRF	III-118
Tabel 3. 35 Analisis Kategori Kunci Emisi GRK Surabaya 2024.....	III-123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Batas Administrasi Kota Surabaya	I-4
Gambar 1. 2 Produk Domestik Regional Bruto Kota Surabaya Tahun 2020-2024.....	I-5
Gambar 1. 3 Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2010 Surabaya 2024 Menurut Lapangan Usaha (Persen).....	I-6
Gambar 3. 1 Persentase Emisi GRK Secara Agregat Tahun 2024.....	III-2
Gambar 3. 2 Profil Emisi GRK Secara Agregat Tahun 2016-2024	III-2
Gambar 3. 3 Persentase Emisi GRK pada Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi di Kota Surabaya Tahun 2024	III-5
Gambar 3. 4 Emisi GRK pada Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi di Kota Surabaya Tahun 2016-2024	III-9
Gambar 3. 5 Grafik Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi	III-16
Gambar 3. 6 Grafik Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi	III-24
Gambar 3. 7 Kontribusi Emisi GRK Sektor Energi Kota Surabaya	III-32
Gambar 3. 8 Diagram Pareto Emisi GRK Sektor Energi Surabaya	III-33
Gambar 3. 9 Profil Emisi Gas Rumah Kaca Sektor IPPU	III-34
Gambar 3. 10 Emisi Sektor IPPU.....	III-35
Gambar 3. 11 Pelumas dan Parafin pada berbagai Industri	III-37
Gambar 3. 12 Konsumsi Karbonat pasa Industri Lainnya	III-37
Gambar 3. 13 Emisi Grk Sektor Pertanian Kota Surabaya 2024	III-44
Gambar 3. 14 Grafik Data Aktivitas Populasi Ternak di Surabaya	III-49
Gambar 3. 15 Proporsi Emisi GRK Sektor Limbah Surabaya 2024 ...	III-118
Gambar 3.16 Proporsi Emisi GRK Kota Surabaya 2024.....	III-128
Gambar 4. 1 Upaya penurunan emisi Kota Surabaya.....	IV-5
Gambar 4. 2 Upaya penurunan emisi Kota Surabaya.....	IV-5
Gambar 4. 3 Upaya penurunan emisi Kota Surabaya.....	IV-6

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan masalah global yang menjadi perhatian dunia. Secara alami perubahan iklim mengacu pada perubahan jangka panjang dalam suhu dan pola cuaca. Hingga pada tahun 1800an, aktivitas manusia telah menjadi penyebab utama perubahan iklim, terutama akibat pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak dan gas. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi gas rumah kaca yang bekerja seperti selimut yang melilit Bumi, menghasilkan panas matahari dan menaikkan suhu. Peningkatan suhu permukaan bumi merupakan awal dari mulainya perubahan iklim. Karena Bumi adalah sebuah sistem, di mana semuanya terhubung, perubahan di satu area dapat memengaruhi perubahan di semua area lainnya. Konsekuensi dari perubahan iklim saat ini antara lain, kekeringan hebat, kelangkaan air, kebakaran hebat, naiknya permukaan laut, banjir, pencairan es kutub, badai dahsyat dan penurunan keanekaragaman hayati.

Peningkatan suhu permukaan bumi merupakan awal dari mulainya perubahan iklim. Karena Bumi adalah sebuah sistem, di mana semuanya terhubung, perubahan di satu area dapat memengaruhi perubahan di semua area lainnya. Konsekuensi dari perubahan iklim saat ini antara lain, kekeringan hebat, kelangkaan air, kebakaran hebat, naiknya permukaan laut, banjir, pencairan es kutub, badai dahsyat dan penurunan keanekaragaman hayati. Komitmen Indonesia dalam upaya pengendalian perubahan iklim global tercermin dalam partisipasinya pada Perjanjian Paris yang kemudian diratifikasi menjadi Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016. Para negara pihak yang telah meratifikasi Perjanjian Paris wajib menyampaikan Nationally Determined Contributions (NDC) yang berisi target penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) hingga tahun 2030 dengan penetapan target penurunan tanpa dukungan sebesar 29% (*business as usual* / BAU) dan target 41% dengan dukungan internasional.

Dampak perubahan iklim juga mulai terjadi di Kota Surabaya yang ditandai dengan peningkatan permukaan air laut, siklus musim yang bergeser dan mulai terjadinya cuaca ekstrim seperti hujan angin. Kota Surabaya merupakan ibukota Provinsi Jawa Timur terletak antara 07°09' sampai dengan 07°21' Lintang Selatan dan 112°36' sampai dengan 112°54' Bujur Timur. Sebagai kota metropolitan yang berkembang cepat, pertumbuhan penduduk Kota Surabaya juga sangat dipengaruhi arus urbanisasi. Peningkatan jumlah penduduk inilah yang menimbulkan konsekuensi peningkatan aktivitas di Kota Surabaya, Adanya kemacetan menunjukkan peningkatan jumlah kendaraan di jalan, selain itu tumbuhnya kawasan-kawasan permukiman baru di pinggiran kota Surabaya, menunjukkan perubahan alih fungsi lahan yang cukup cepat. Kondisi ini lah yang tidak dapat dihindari menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca yang dilepaskan di udara. Oleh karena itu, buku ini perlu disusun untuk dapat diketahui tingkat emisi setiap tahunnya yang ditimbulkan dari aktivitas penduduk.

1.2 Profil Umum Kota Surabaya

Wilayah Kota Surabaya merupakan daratan rendah dengan ketinggian 3-6 meter diatas permukaan air laut, kecuali, di sebelah selatan dengan ketinggian 25-50 meter diatas permukaan air laut. Berdasarkan batas administrasi tahun 2022 Kota Surabaya seluas 33.841,29 Ha yang terbagi dalam 31 kecamatan dan 153 kelurahan. Luas wilayah masing-masing kecamatan dapat dilihat pada Tabel 1.1. Secara administratif wilayah Kota Surabaya berbatasan dengan:

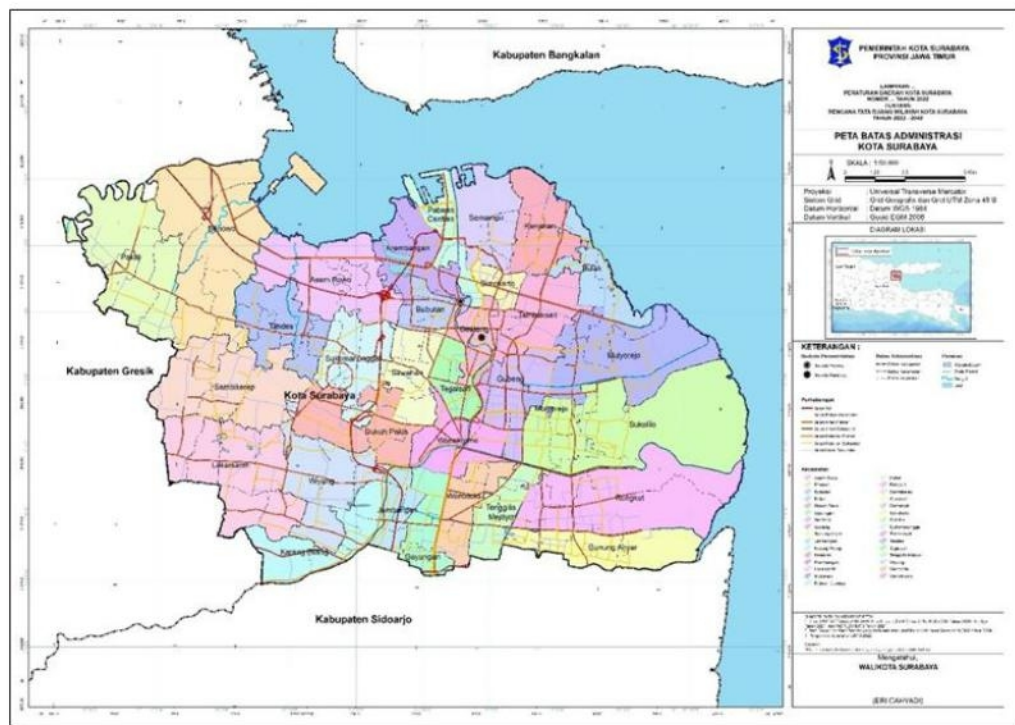
- Sebelah Utara : Laut Jawa dan Selat Madura
- Sebelah Timur : Selat Madura
- Sebelah Selatan : Kabupaten Sidoarjo
- Sebelah Barat : Kabupaten Gresik

Tabel 1. 1 Luas Wilayah Tiap Kecamatan

No	Kecamatan	Luas Wilayah (Ha)
Surabaya Pusat		
1	Tegalsari	433.34
2	Genteng	409.19
3	Bubutan	390.60
4	Simokerto	263.00
Surabaya Utara		
5	Pabean Cantikan	557.16
6	Semampir	911.61
7	Krembangan	879.11
8	Kenjeran	859.50
9	Bulak	656.29
Surabaya Timur		
10	Tambaksari	896.57
11	Gubeng	792.91
12	Rungkut	2280.74
13	Tenggilis Mejoyo	580.54
14	Gunung Anyar	1018.24
15	Sukolilo	3009.74
16	Mulyorejo	1861.41
Surabaya Selatan		
17	Sawahan	718.35
18	Wonokromo	827.68
19	Karangpilang	938.97
20	Dukuh Pakis	1027.08
21	Wiyung	1239.51
22	Wonocolo	654.75
23	Gayungan	591.52
24	Jambangan	412.04
Surabaya Barat		
25	Tandes	994.25
26	Sukomanunggal	937.50
27	Asemrowo	1533.52
28	Benowo	2701.18
29	Lakarsantri	1890.33
30	Pakal	1857.56
31	Sambikerep	1716.71
Total		33841.29

Sumber : Dokumen RTRW Kota Surabaya 2025-2045

Pada Tabel di atas, dapat dilihat bahwa Kecamatan Sukolilo merupakan kecamatan dengan wilayah terluas yaitu 3.009,74 Ha yang terletak di Surabaya Timur. Sedangkan Kecamatan Simokerto adalah kecamatan dengan luasan terkecil yaitu 263 ha terletak di Surabaya Pusat. Peta batas wilayah administrasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



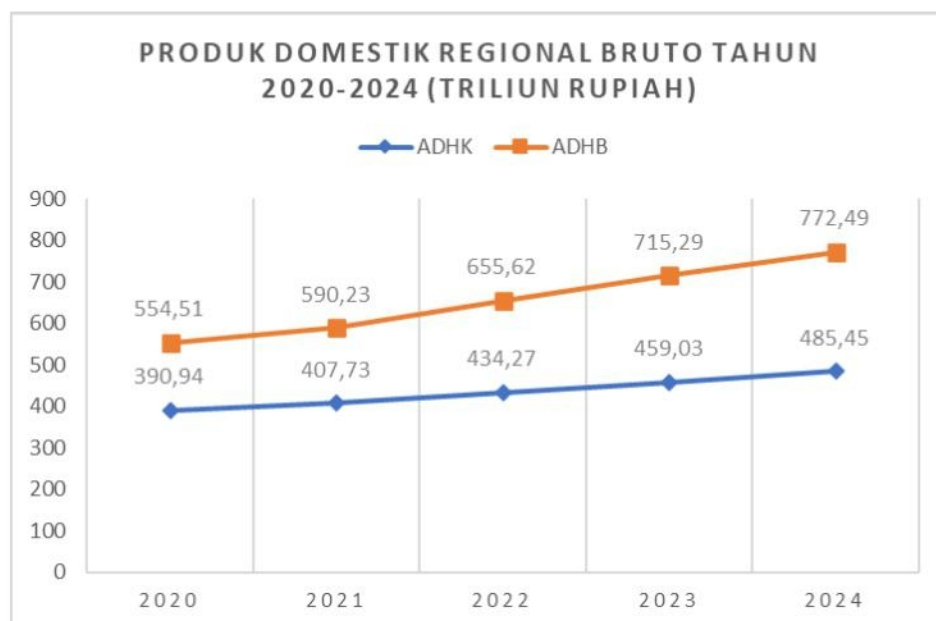
Gambar 1. 1 Peta Batas Administrasi Kota Surabaya

Sumber : Dokumen RTRW Kota Surabaya Tahun 2025-2045

Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Surabaya Nomor 2 Tahun 2022 tentang Penggabungan Kelurahan Perak Utara dan Perak Timur Pada Kecamatan Pabean Cantian Kota Surabaya, Bahwa Kota Surabaya terbagi menjadi 31 wilayah kecamatan dan 153 Kelurahan dengan kecamatan yang memiliki luasan terbesar adalah Kecamatan Sukolilo dengan luas 30,1 Ha yang terletak pada bagian timur Kota Surabaya, sedangkan untuk kecamatan yang memiliki luasan terkecil berada pada Kecamatan Simokerto dengan luasan 2,63 Ha yang terletak pada bagian pusat Kota Surabaya.

Kondisi ekonomi regional di Kota Surabaya dapat dilihat dari salah satu indikator makro yaitu Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). Beberapa hal yang dapat diperoleh dari data ini antara lain adalah:

- PDRB harga berlaku (nominal) menunjukkan kemampuan sumber daya ekonomi yang dihasilkan oleh suatu wilayah. Nilai PDRB menunjukkan kemampuan sumber daya ekonomi yang besar, begitu juga sebaliknya.
- PDRB harga konstan (riil) dapat digunakan untuk menunjukkan laju pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan atau setiap kategori dari tahun ke tahun.
- Distribusi PDRB harga berlaku menurut lapangan usaha menunjukkan struktur perekonomian atau peranan setiap kategori ekonomi dalam suatu wilayah. Kategori-kategori ekonomi yang mempunyai peran besar menunjukkan basis perekonomian suatu wilayah.
- PDRB per kapita atas dasar harga berlaku menunjukkan nilai PDRB per satu orang penduduk.
- PDRB per kapita atas dasar harga konstan berguna untuk mengetahui pertumbuhan nyata ekonomi per kapita penduduk suatu daerah.

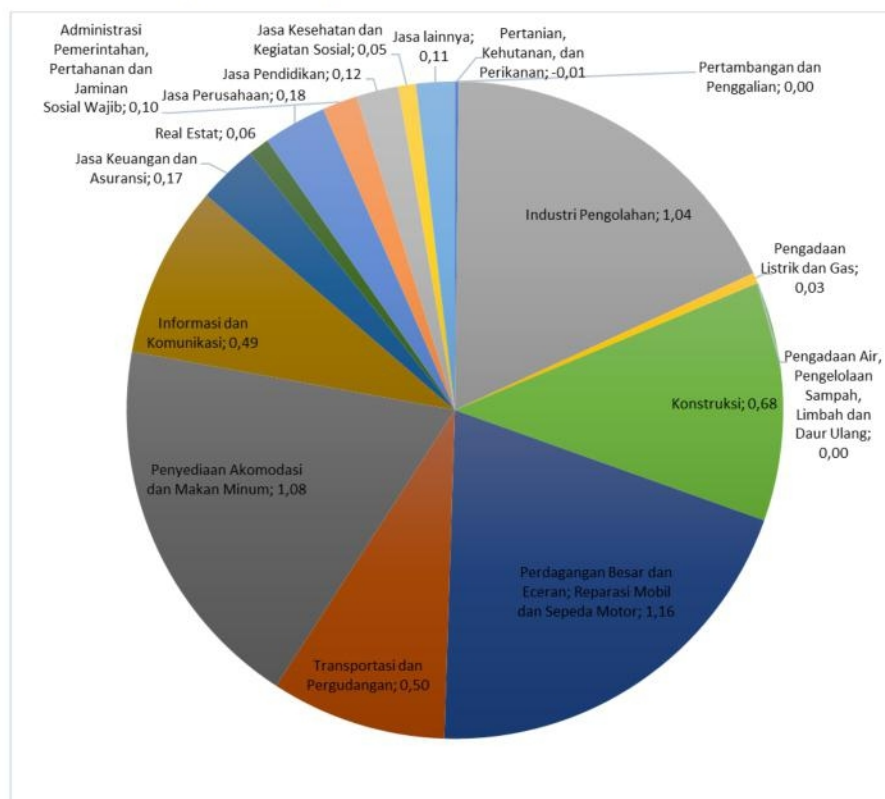


Gambar 1. 2 Produk Domestik Regional Bruto Kota Surabaya Tahun 2020-2024

Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2024

Laju pertumbuhan ekonomi Surabaya tahun 2024 dihitung menggunakan PDRB Harga Konstan (ADHK), yaitu sebesar 5,76%. Sementara itu, nilai total PDRB Surabaya pada tahun 2024, yang dihitung menggunakan PDRB Harga Berlaku (ADHB), mencapai Rp772,49 triliun. Angka ini menunjukkan peningkatan dibandingkan tahun 2023 yang memiliki nilai PDRB sebesar Rp715,29 triliun dengan laju pertumbuhan ekonomi 5,70%. (BPS Kota Surabaya).

Salah satu variabel yang diturunkan dari PDRB adalah variable sumber pertumbuhan. Sumber pertumbuhan digunakan untuk mengetahui peranan dari masing-masing lapangan usaha dalam pembentukan laju pertumbuhan ekonomi. Seiring dengan struktur pertumbuhan ekonomi, selama lima tahun terakhir sumber pertumbuhan ekonomi Kota Surabaya didominasi oleh 4 (empat) kategori lapangan usaha yaitu Perdagangan Besar dan Eceran, Reparasi Mobil, dan Sepeda Motor; Industri Pengolahan; Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum; serta Konstruksi yang dapat dilihat pada diagram di bawah ini.



Gambar 1. 3 Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2010 Kota Surabaya 2024 Menurut Lapangan Usaha (Persen)
Sumber : Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, 2024

Peranan terbesar dalam pembentukan laju pertumbuhan Kota Surabaya pada tahun 2024 dihasilkan oleh Lapangan Usaha Perdagangan Besar dan Eceran; Reparasi Mobil dan Sepeda Motor, yaitu mencapai 1,16 persen. Selanjutnya Lapangan Usaha Penyediaan Akomodasi dan Makan Minum memiliki peran sebesar 1,08 persen, disusul oleh Lapangan Usaha Industri Pengolahan sebesar 1,04 persen. Berikutnya Lapangan Usaha Konstruksi yang berperan sebesar 0,68 persen. Dari 17 lapangan usaha, hanya Lapangan Usaha Pertanian, Kehutanan, dan Perikanan yang memberikan peran negatif pada laju pertumbuhan ekonomi yaitu sebesar 0,01 persen.

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud penyusunan laporan hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca Kota Surabaya yaitu :

1. Memberikan database data aktivitas sumber-sumber emisi gas rumah kaca
2. Menyediakan gambaran tingkat, status, dan kecenderungan emisi/serapan gas rumah kaca
3. Menyediakan bahan laporan inventarisasi emisi gas rumah kaca tingkat nasional
4. Menjadi bahan perhitungan dan penetapan baseline emisi gas rumah kaca

Tujuan penyusunan laporan hasil inventarisasi emisi gas rumah kaca Kota Surabaya yaitu :

1. Menyusun database data aktivitas sumber-sumber emisi gas rumah kaca.
2. Mengetahui tingkat, status, dan kecenderungan emisi dan/atau serapan gas rumah kaca pada sektor energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan penggunaan lainnya serta sektor limbah

1.4 Tim Penyelenggara Inventarisasi Gas Rumah Kaca

1.4.1 Keterlibatan Lembaga/OPD dalam Inventarisasi GRK

Inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) memerlukan kolaborasi lintas sektor yang melibatkan Organisasi Perangkat Daerah (OPD) dan pelaku usaha dan/atau kegiatan terkait di Kota Surabaya. OPD berperan sebagai penyedia data sektoral dan pelaksana program mitigasi, sedangkan pelaku usaha berperan dalam menyediakan data primer emisi langsung dari kegiatan operasional. Instansi di luar kota Surabaya yang mendukung kebutuhan data untuk pelaporan inventarisasi emisi GRK adalah sebagai berikut :

1. Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Surabaya

Menyediakan data statistik sektoral yang digunakan sebagai data aktivitas dalam perhitungan emisi GRK untuk sektor pertanian, limbah, hingga jumlah kendaraan.

2. Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah XI

Menyediakan data perubahan tutupan lahan yang digunakan dalam perhitungan emisi dan serapan karbon sektor FOLU.

1.4.2 Keterlibatan OPD Kota Surabaya

1. Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kota Surabaya

Memberikan data aktivitas sektor pertanian, seperti data konsumsi pupuk, data sawah, dan data tanaman pangan. Selain itu Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kota Surabaya juga menyediakan data terkait peternakan diantaranya data populasi ternak diantaranya populasi sapi potong, sapi perah, kerbau, domba, kambing, kuda, unggas, dan lainnya. Data ini digunakan untuk menghitung emisi metana (CH_4) dan dinitrogen oksida (N_2O) dari enterik fermentasi dan pengelolaan kotoran hewan. Selain itu terdapat juga data mengenai perkebunan seperti data luas areal, produksi, dan penggunaan input perkebunan.

2. Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Kota Surabaya

Berperan dalam penyediaan data pengelolaan limbah cair domestik dan sanitasi yang digunakan dalam inventarisasi Gas Rumah Kaca sektor limbah.

3. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya

Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya sebagai pengampu dalam urusan lingkungan, memegang peranan penting dalam mendukung dan melakukan inventarisasi gas rumah kaca (GRK). DLH Kota Surabaya berfungsi sebagai pengumpul, penyedia, serta penghubung data aktivitas yang diperlukan untuk penyusunan inventarisasi GRK. Keterlibatan ini tidak hanya bersifat administratif, tetapi juga teknis, karena menyangkut kualitas, ketepatan, serta keterlacakan data yang dilaporkan ke tingkat provinsi maupun nasional. Secara umum, bentuk keterlibatan DLH Kota Surabaya dalam proses inventarisasi GRK dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Pengumpulan Data Aktivitas

DLH Kota Surabaya melakukan koordinasi dengan OPD sektoral, instansi terkait, serta pelaku usaha di wilayah masing-masing untuk memperoleh data aktivitas yang relevan. Data yang dikumpulkan meliputi sektor energi, industri, pertanian, kehutanan, limbah, serta perubahan penggunaan lahan.

b. Verifikasi Awal dan Validasi Data

Sebelum disampaikan ke DLH Provinsi, data yang diperoleh dilakukan verifikasi awal oleh tim internal DLH Kota Surabaya. Proses ini bertujuan memastikan konsistensi dan keterpaduan data dengan pedoman nasional inventarisasi GRK, sehingga mengurangi potensi terjadinya kesalahan input pada sistem SIGNSMART.

c. Pelaporan ke DLH Provinsi Kota Surabaya.

Data yang telah diverifikasi selanjutnya disampaikan kepada DLH Provinsi Kota Surabaya melalui mekanisme pelaporan yang ditetapkan, baik dalam bentuk dokumen manual (Excel) maupun

melalui input langsung ke sistem SIGNSMART dengan supervisi dari provinsi.

d. Peningkatan Kapasitas dan Sosialisasi.

DLH Kota Surabaya secara aktif mengikuti kegiatan sosialisasi, pelatihan, dan webinar yang diselenggarakan oleh DLH Provinsi Kota Surabaya terkait inventarisasi GRK dan nilai ekonomi karbon. Kegiatan ini menjadi sarana peningkatan kapasitas aparatur daerah, sehingga dapat memperkuat kemampuan teknis dalam pengolahan dan pelaporan data emisi. Peran sebagai Penghubung dengan Data Aktivitas Lokal.

DLH Kota Surabaya berperan sebagai fasilitator dalam pengumpulan data aktivitas lokal, misalnya data aktivitas IPPU dari pelaku usaha yang beroperasi di daerahnya, khususnya pada sektor energi, industri, dan pengelolaan limbah. Dengan demikian, DLH DLH Kota Surabaya menjadi simpul penting dalam memastikan keterlibatan pelaku usaha untuk penyediaan data emisi GRK Provinsi Kota Surabaya.

Melalui peran tersebut, DLH Kota Surabaya berkontribusi secara signifikan terhadap keberhasilan inventarisasi emisi GRK di tingkat provinsi. Keterlibatan mereka tidak hanya meningkatkan ketersediaan data yang akurat, tetapi juga mendukung sinkronisasi informasi dari tingkat daerah hingga nasional. Dengan demikian, partisipasi aktif DLH Kota Surabaya merupakan elemen strategis dalam mewujudkan sistem inventarisasi GRK yang terintegrasi, akuntabel, dan berkelanjutan.

1.4.3 Keterlibatan Pelaku Usaha di Kota Surabaya

Selain OPD, sejumlah perusahaan energi, dan migas di Kota Surabaya juga berperan dalam penyediaan data inventarisasi GRK. Perusahaan-perusahaan ini menjadi sumber data utama untuk sektor energi dan limbah, khususnya bahan baku produksi dan bahan bakarnya. Beberapa di antaranya pada daftar tabel di bawah ini.

Tabel 1. 2 Data Perusahaan yang Memberikan Data Pendukung GRK

NO.	NAMA PERUSAHAAN
1	PT PERTAMINA MOR V KOTA SURABAYA
2	PT CENTRAL PROTEINA PRIMA, Tbk
3	CV CANDI GASINDO
4	CV JAYA WIJAYA
5	CV KARATU ABADI JAYA
6	CV PERJUANGAN STEEL
7	CV RAFKO GAP
8	HENSON FARMA
9	PT ARJUNA UTAMA KIMIA (ARUKI)
10	PT BAMBOE INDONESIA
11	PT BONDY SYAD MULIA
12	PT CAMPINA ICE CREAM
13	PT CITRA TERANG ABADI
14	PT CONDUCTOR JASA
15	PT DAIKEN DHARMA INDONESIA
16	PT ISHIZUKA MASPION INDONESIA
17	PT JAPFA COMFEED INDONESIA, Tbk
18	PT KEDAWUNG SUBUR
19	PT KEDAWUNG SURYA INDUSTRIAL
20	PT NAGA SAKTI MAKMUR
21	PT NAGAMAS MAKMUR MANDIRI
22	PT SANDAI FARMA
23	PT SMART, Tbk
24	PT SURYA PUTRA BARUTAMA
25	PT VITAPHARM
26	PT WELCO
27	PT WISMILAK INTI MAKMUR
28	PT YOSOMULYO JAJAG
29	PT SURYA SARITAMA
30	PT USFI
31	PT KAN ISOTANK MANDIRI
32	PT SALIM IVOMAS
33	PT HARDCORINDO SEMESTA JAYA
34	PT UNISON INDONESIA INDUSTRIA
35	PT INDOWIRE PRIMA INDUSTRI

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2025

Keterlibatan aktif dunia usaha memungkinkan inventarisasi Gas Rumah Kaca di Kota Surabaya lebih akurat, transparan, dan sesuai dengan prinsip TACCC.

1.5 Tantangan dan Peluang Pengembangan Tim Inventarisasi Emisi GRK

Pelaksanaan Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Surabaya membutuhkan peran serta lintas sektor. Selain itu perlunya juga kerjasama yang sinergis yang memiliki kapasitas teknis serta berkoordinasi dengan pemangku kepentingan lainnya. Dalam proses penyusunannya terdapat tantangan yang dihadapi sekaligus peluang yang dapat dimanfaatkan untuk kelembagaan dan efektivitas tim inventarisasi GRK.

1.5.1 Tantangan

1. Ketersediaan dan Konsistensi Data

Perbedaan format, metodologi, serta periode penyediaan data antar-OPD dan pelaku usaha masih menjadi hambatan. Beberapa sektor, seperti limbah cair domestik, limbah cair industri, dan sektor IPPU, memiliki keterbatasan data aktivitas yang spesifik dan terukur sehingga berpotensi menimbulkan ketidakpastian dalam perhitungan emisi gas rumah kaca.

2. Koordinasi Lintas Sektor

Inventarisasi GRK mencakup banyak sektor yang berada di bawah kewenangan OPD berbeda. Perbedaan prioritas dan keterbatasan komunikasi antar instansi sering menyebabkan keterlambatan atau ketidakterpaduan data.

3. Pendanaan dan Dukungan Anggaran

Kegiatan inventarisasi membutuhkan alokasi dana yang berkelanjutan, baik untuk pengumpulan data, pelatihan, maupun sistem pelaporan. Keterbatasan anggaran di tingkat daerah dapat membatasi keberlanjutan inventarisasi yang dapat memenuhi prinsip TACCC.

4. Keterlibatan Dunia Usaha

Walaupun sejumlah perusahaan telah terlibat, masih terdapat tantangan dalam memastikan partisipasi menyeluruh dari seluruh pelaku usaha, terutama sektor swasta menengah dan kecil, yang juga berkontribusi terhadap emisi GRK di Kota Surabaya.

1.5.2 Peluang

1. Dukungan Kebijakan Nasional

Pemerintah pusat telah menetapkan target penurunan emisi melalui dokumen *Nationally Determined Contribution (NDC)*, *eNDC (Enhanced NDC)* dan FOLU Net Sink 2030. Hal ini menjadi payung kebijakan yang mendorong penguatan inventarisasi GRK di daerah, termasuk Kota Surabaya.

2. Ketersediaan Teknologi dan Sistem Informasi

Tersedianya platform dari Kementerian Lingkungan Hidup yaitu SIGNSMART mempermudah penyusunan dokumen inventarisasi gas rumah kaca. Ketersediaan platform tersebut memberi kemudahan untuk meningkatkan akurasi, efisiensi pengumpulan data, dan standar perhitungan yang sama.

3. Kolaborasi Lintas Sektor

Meningkatnya kesadaran akan isu perubahan iklim memungkinkan terbentuknya kerja sama yang lebih erat antara OPD, perguruan tinggi, lembaga penelitian, LSM, dunia usaha dan media massa dalam mendukung inventarisasi dan penurunan emisi GRK.

4. Potensi Integrasi dengan Program Pembangunan Daerah

Inventarisasi GRK dapat diintegrasikan dengan agenda pembangunan hijau dan kebijakan pengelolaan lingkungan di Kota Surabaya, sehingga memiliki nilai tambah tidak hanya bagi pelaporan emisi, tetapi juga perencanaan pembangunan rendah karbon. Selain itu kegiatan inventarisasi ini dapat menjadi dasar penentuan Rencana Aksi Daerah (RAD) penurunan emisi di Kota Surabaya.

5. Peluang Pendanaan dan Kerja Sama Internasional

Berbagai lembaga donor, program internasional, serta mekanisme perdagangan karbon membuka ruang pendanaan baru yang dapat mendukung peningkatan kapasitas, teknologi, dan keberlanjutan tim inventarisasi GRK.

1.6 Deskripsi ringkas proses persiapan inventarisasi emisi GRK

Inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan suatu proses sistematis yang memerlukan persiapan matang, terutama dalam hal penyediaan data aktivitas dari berbagai sektor. Data aktivitas adalah informasi kuantitatif yang mencerminkan tingkat kegiatan penyumbang emisi, seperti konsumsi energi, luas panen, jumlah ternak, volume limbah, perubahan penggunaan lahan, dan lainnya. Kualitas inventarisasi GRK sangat dipengaruhi oleh ketepatan, kelengkapan, dan konsistensi data aktivitas tersebut. Sebagai pelaksana inventarisasi GRK di tingkat provinsi, Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Surabaya telah melaksanakan sejumlah langkah persiapan yang bersifat kelembagaan, administratif, dan teknis. Proses persiapan tersebut meliputi :

1. Pembentukan Tim Internal DLH Kota Surabaya

Tim internal dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya terdiri dari semua bidang yang ada di Dinas Lingkungan Hidup. Hal ini karena data dukung diambil dari berbagai bidang di Dinas Lingkungan Hidup. Tujuan dari pembentukan tim ini bertujuan untuk memastikan adanya struktur organisasi yang jelas, pembagian tugas, serta koordinasi internal yang efektif dalam pelaksanaan inventarisasi GRK oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya. Adapun perbaikan kelembagaan diatur dan direncanakan bersama dengan Bappedalitbang Kota Surabaya beserta OPD terkait.

2. Penyusunan Surat Permohonan Data

Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya menyiapkan dan menyampaikan surat permohonan data kepada OPD terkait dan pelaku usaha. Surat permohonan ini dimaksudkan untuk memperoleh data aktivitas dari sektor-sektor penghasil emisi GRK, antara lain sektor energi, IPPU, AFOLU, serta limbah. Langkah ini merupakan bagian dari mekanisme formal untuk menjamin keterlibatan lintas sektor dalam mendukung inventarisasi GRK.

3. Inventarisasi Data Manual

Sebelum data dimasukkan ke dalam sistem SIGNSMART, Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya melakukan rekap data manual dengan menggunakan Excel. Proses ini merupakan tahapan awal untuk melakukan kompilasi, verifikasi awal, serta konsistensi data sebelum dilakukan input resmi pada sistem nasional.

Melalui tahapan-tahapan persiapan tersebut, Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya memastikan bahwa proses inventarisasi GRK dapat berjalan secara sistematis, terkoordinasi, dan sesuai dengan pedoman nasional. Pendekatan ini tidak hanya mendukung akurasi inventarisasi emisi, tetapi juga memperkuat kapasitas kelembagaan dalam mendukung kebijakan pembangunan rendah karbon dan mitigasi perubahan iklim di Kota Surabaya.

BAB II

METODELOGI DAN SUMBER DATA



BAB II

METODOLOGI DAN SUMBER DATA

2.1 Prinsip Umum

Prinsip umum dalam penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) harus memenuhi prinsip TACCC (*Transparency, Accurate, Completeness, Consistence, and Comparability*), yaitu :

1. **Transparan**

Semua dokumen dan sumber data yang digunakan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK harus disimpan dan didokumentasikan dengan baik sehingga orang lain yang tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK dapat memahami bagaimana hasil inventarisasi tersebut disusun.

2. **Akurat**

Perhitungan emisi dan serapan GRK merefleksikan emisi yang sebenarnya dan dengan tingkat kesalahan yang kecil.

3. **Kelengkapan**

Dugaan emisi dan serapan untuk semua jenis GRK dilaporkan secara lengkap dan apabila ada yang tidak diduga harus dijelaskan alasannya.

4. **Konsisten**

Estimasi emisi dan serapan GRK untuk semua tahun inventarisasi menggunakan metode yang sama dengan kategori sumber emisi/serapan yang sama sehingga merefleksikan perubahan emisi dari tahun ke tahun.

5. **Komparabel**

Dapat diperbandingkan dengan inventarisasi GRK dari wilayah atau negara lain, dengan mengikuti metode dan format yang telah disepakati.

Kelengkapan sebagaimana dimaksud pada angka 3:

- a. Dalam hal ada sumber emisi/serapan yang tidak dihitung atau dikeluarkan dari inventarisasi GRK, maka harus diberikan justifikasi alasan sumber atau serapan tersebut tidak dimasukkan;
- b. Inventarisasi GRK harus melaporkan dengan jelas batas (boundary) yang digunakan untuk menghindari adanya perhitungan ganda (double counting) atau adanya emisi yang tidak dilaporkan;
- c. Dalam hal ada diantara sumber emisi/serapan tidak dilaporkan karena kategori sumber/serapan tersebut tidak menghasilkan emisi atau serapan untuk jenis gas tertentu maka digunakan notasi NA (not applicable);
- d. Dalam hal emisi/serapan memang tidak terjadi maka digunakan notasi NO (not occurring).
- e. Dalam hal emisi/serapan belum dihitung karena ketidaktersediaan data maka digunakan notasi NE (not estimated);
- f. Dalam hal emisi/serapan dihitung tetapi perhitungannya masuk ke dalam kategori sumber/serapan yang tidak sesuai dengan yang sudah ditetapkan karena alasan tertentu maka digunakan notasi IE (including elsewhere);
- g. Dalam hal emisi/serapan tidak dilaporkan secara tersendiri dalam sub-kategori tertentu karena alasan kerahasiaan tetapi sudah dimasukkan di tempat lain atau digabungkan ke dalam kategori lain digunakan notasi C (confidential);
- h. Untuk memenuhi prinsip kelengkapan, maka setiap notasi yang digunakan harus disertai dengan penjelasannya dan didokumentasikan dengan baik.

Konsisten sebagaimana dimaksud pada angka 4:

- a. Dalam hal pada tahun inventarisasi tertentu ada perubahan yang dilakukan, misalnya perubahan metodologi atau merubah faktor emisi default IPCC dengan faktor emisi lokal, maka perlu dilakukan

perhitungan ulang (recalculation) untuk tahun inventarisasi lainnya sehingga kembali menjadi konsisten;

- b. Dalam hal perhitungan ulang tidak memungkinkan, misalnya adanya penambahan sumber emisi/serapan baru pada tahun inventarisasi tertentu, sementara pada tahun inventarisasi sebelumnya tidak ada data tersedia, maka pada tahun inventarisasi yang tidak ada data aktivitasnya harus diduga datanya dengan teknik interpolasi atau ekstrapolasi;
- c. Untuk memenuhi prinsip konsisten, maka setiap upaya yang dilakukan untuk mendapatkan inventarisasi yang konsisten harus dicatat dan didokumentasikan dengan baik.

Dalam hal terjadi ketidakkonsistenan data, maka perhitungan ulang dapat dilakukan apabila:

- 1) Data yang tersedia sudah berubah;
- 2) Metode yang digunakan sebelumnya tidak konsisten dengan metode IPCC untuk kategori tertentu;
- 3) Suatu kategori yang sebelumnya bukan kategori kunci berubah menjadi kategori kunci;
- 4) Metode sebelumnya tidak cukup untuk merefleksikan kegiatan mitigasi secara transparan;
- 5) Metode inventarisasi GRK yang baru sudah tersedia;
- 6) Ada perbaikan kesalahan.

2.2 Metodologi

2.2.1 Metodologi Umum

A. Rumusan Perhitungan GRK

Metodologi inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Surabaya mengacu pada pedoman yang ditetapkan oleh Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines serta Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim. Inventarisasi GRK dilakukan berdasarkan

pendekatan *emission by source* dan *removal by sink*, dengan menggunakan Persamaan 1:

$$\text{Emisi/serapan GRK} = \text{AD} \times \text{EF}$$

Di mana:

- Data Aktivitas (*Activity Data* - AD) merupakan data kuantitatif yang menggambarkan tingkat kegiatan yang berhubungan langsung dengan timbulnya emisi atau serapan GRK.
- Faktor Emisi (*Emission Factor* - EF) adalah koefisien yang menunjukkan besarnya emisi/serapan per satuan aktivitas, baik yang bersumber dari default IPCC ataupun database nasional (SIGN SMART, *Emission Factor Database*).

Inventarisasi GRK di Kota Surabaya menggunakan pendekatan bertingkat (*tier approach*) sesuai dengan tingkat ketersediaan data, yaitu:

- Tier 1 : Menggunakan data aktivitas nasional/daerah dan faktor emisi default IPCC.
- Tier 2 : Menggunakan data aktivitas Kota Surabaya dengan faktor emisi spesifik nasional/lokal.
- Tier 3 : Menggunakan data terukur, model, atau inventarisasi rinci dengan tingkat ketelitian lebih tinggi.

Semakin tinggi kedalaman metode yang dipergunakan maka hasil perhitungan emisi/serapan GRK yang dihasilkan semakin rinci dan akurat. Metodologi ini mendukung prinsip TACCC (*Transparency, Accuracy, Completeness, Consistency, and Comparability*) dalam penyusunan inventarisasi GRK di Kota Surabaya.

B. Global Warming Potential (GWP)

Nilai Global Warming Potential (GWP) digunakan untuk mengkonversi data emisi GRK non-CO₂ menjadi karbon dioksida ekuivalen (CO₂e), dengan mengikuti Second Assessment Report (2nd AR of IPCC). Nilai GWP dimaksud sebagaimana Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Nilai Global Warming Potential (GWP) 2nd AR of IPCC

No	Parameter Gas	GWP (CO ₂ e)
1.	Carbon Dioxide (CO ₂)	1
2.	Methane (CH ₄)	21

No	Parameter Gas	GWP (CO ₂ e)
3.	Nitrous Oxide (N ₂ O)	310
4.	PFC-14 (CF ₄)	6.500
5.	PFC-16 (C ₂ F ₆)	9.200
6.	Sulfur Hexafluoride (SF ₆)	23.900

Sumber : IPCC, 2006

C. Filling Data Gap

Dalam rangka implementasi prinsip TACCC (*Transparency, Accuracy, Consistency, Completeness, and Comparability*), khususnya aspek konsistensi, data yang digunakan dalam perhitungan emisi GRK harus tersedia secara menyeluruh dan berkesinambungan. Namun dalam praktiknya sering dijumpai keterbatasan berupa kesenjangan data (*data gap*) yang dapat memengaruhi kualitas inventarisasi. Kesenjangan data aktivitas dapat timbul karena beberapa hal, antara lain:

- Data tidak tersedia untuk setiap tahun (*incomplete*),
- Data pada tahun-tahun tertentu terhenti ketersediaannya (*discontinued*),
- Metodologi yang digunakan berbeda antar tahun (*inconsistent*), dan
- Terdapat kesalahan identifikasi atau ketidaksesuaian dalam data historis.

Untuk mengatasi kondisi tersebut, diperlukan metode pengisian data kosong agar rangkaian waktu (*time series*) tetap lengkap dan konsisten. Berdasarkan Lampiran I Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim terdapat beberapa pendekatan yang digunakan, antara lain sebagai berikut:

D. Tumpang Tindih (*Overlap*)

Metode tumpang tindih digunakan ketika terjadi peralihan dari metode lama ke metode baru, misalnya saat beralih dari Tier 1 menuju metode yang lebih rinci (Tier 2 atau Tier 3). Dalam hal metode baru tidak dapat diterapkan untuk semua tahun, maka hubungan antara metode lama

dan metode baru pada periode tahun tertentu yang tumpang tindih digunakan untuk menyesuaikan data. Pendekatan ini memungkinkan estimasi emisi atau serapan dengan cara menyesuaikan nilai hasil metode baru terhadap nilai metode lama, sehingga diperoleh kesesuaian tren data antar periode. Rumus yang digunakan dapat dituliskan pada Persamaan 2 sebagai berikut:

$$Y_0 = X_0 \times \left(\frac{1}{n - m + 1} \sum_{i=m}^n \frac{Y_i}{X_i} \right)$$

Dimana :

Y_0 = Nilai emisi/serapan dugaan dengan metode overlap

X_0 = Nilai emisi/serapan dengan metode sebelumnya

Y_i = Nilai estimasi metode baru pada tahun ke-i

X_i = Nilai estimasi metode lama pada tahun ke-i

$n - m$ = periode tahun overlap

Dengan pendekatan ini, rangkaian waktu dapat dipertahankan konsistensinya, walaupun terjadi perbaikan metodologi.

E. Penggantian Data (Surrogate Data)

Metode penggantian data digunakan ketika data aktivitas tidak tersedia, namun terdapat data lain yang memiliki keterkaitan erat serta korelasi tinggi ($R^2 > 0,5$). Misalnya emisi dari sektor limbah domestik dapat diperkirakan dari data jumlah penduduk, atau emisi dari sektor industri tertentu dapat diduga berdasarkan tingkat produksi komoditas yang relevan.

Rumus sederhana untuk pendekatan ini adalah Persamaan 3:

$$Y_0 = Y_t \times \frac{S_0}{S_t}$$

Dimana

Y_0 = estimasi emisi tahun ke – 0

Y_t = estimasi emisi tahun ke – t

S_0 = Parameter surrogate pada tahun ke – 0

S_t = Parameter surrogate pada tahun ke – t

Metode ini membantu menjaga kesinambungan data inventarisasi meskipun data primer tidak tersedia.

F. Interpolasi

Interpolasi digunakan ketika data tersedia pada tahun-tahun tertentu, namun tidak lengkap untuk seluruh rangkaian waktu. Teknik ini mengisi data kosong dengan menghitung nilai antara tahun awal dan tahun akhir yang tersedia.

Persamaan interpolasi linear, Persamaan 4:

$$Y_t = Y_{start} + \frac{(T_t - T_{start})}{(T_{end} - T_{start})} \times (Y_{end} - Y_{start})$$

Dimana :

Y_t = estimasi emisi pada tahun ke-t ;
 Y_{start}, Y_{end} = estimasi emisi pada tahun ke-t ;
 T_{start}, T_t, T_{end} = tahun awal, tahun ke-t, dan tahun akhir.

Interpolasi linear sesuai digunakan apabila tren perubahan relative stabil antar tahun.

G. Ekstrapolasi

Ekstrapolasi digunakan ketika data hanya tersedia hingga tahun tertentu, sedangkan inventarisasi membutuhkan data lebih panjang (baik mundur ke tahun dasar maupun maju ke tahun terbaru).

Persamaan ekstrapolasi linear, Persamaan 5:

$$Y_t = Y_{t-1} + (Y_{t-1} - Y_{t-2})$$

Dimana :

Y_t = estimasi emisi tahun ke t.
 Y_{t-1}, Y_{t-2} = estimasi emisi tahun ke (t-1) dan ke (t-2)

Ekstrapolasi hanya dapat digunakan jika tren historis menunjukkan pola yang konsisten, serta harus disertai uji kewajaran untuk menghindari bias estimasi.

2.2.2 Penerapan pada Inventarisasi GRK Kota Surabaya

Dalam penyusunan Inventarisasi GRK Kota Surabaya Tahun 2024, teknik pengisian data kosong dilakukan dengan memperhatikan karakteristik sektor dan ketersediaan data aktivitas.

1. Tumpang tindih digunakan ketika terjadi perbaikan metode perhitungan
2. Penggantian data (surrogate) digunakan jika data aktivitas tidak tersedia lengkap setiap tahun.
3. Interpolasi dan ekstrapolasi digunakan data yang hanya tersedia setiap beberapa tahun dan guna memperkirakan nilai tahun terbaru ketika data survei lapangan belum tersedia.

Dengan penerapan metode-metode ini, rangkaian data emisi GRK Kota Surabaya tetap konsisten, transparan, dan sesuai dengan peraturan yang berlaku dan sesuai standar global IPCC.

2.2.3 Metodologi Sektor

Inventarisasi GRK Kota Surabaya dilakukan dengan pembagian per sektor sesuai Pasal 19 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang ditetapkan Secara Nasional dalam Penanganan Perubahan Iklim, pedoman IPCC dan SIGNSMART, yang terdiri dari:

A. Sektor Energi

Data aktivitas sektor energi meliputi emisi dari pembakaran bahan bakar (fuel combustion) pada pembangkit listrik, refinery minyak & gas bumi, industry manufaktur & konstruksi, transportasi, area komersial & institusi, rumah tangga dan emisi fugitif dari kegiatan eksplorasi/eksploitasi energi. Perhitungan emisi gas rumah kaca dilakukan dengan aplikasi SIGNSMART.

Berdasarkan IPCC secara umum, Tier 1 menggunakan faktor emisi default IPCC; Tier 2 menggunakan factor emisi spesifik nasional, diantaranya yang ditetapkan oleh Kementerian ESDM, dapat juga memperhitungkan karbon yang tersimpan dalam abu, nilai kalor, serta efisiensi oksidasi; Tier 3 menggunakan data lebih rinci berdasarkan teknologi pembakaran, efisiensi alat, kondisi operasi, faktor oksidasi, umur peralatan, serta data Continuous Emission Monitoring System (CEMS). Salah satu Persamaan yang digunakan untuk perhitungan

emisi gas rumah kaca pada pembakaran bahan bakar sumber tidak bergerak Tier 1, Persamaan 6 :

$$Emisi\ GRK_{Bahan\ Bakar} = Konsumsi\ Bahan\ Bakar \times Faktor\ Emisi\ Bahan\ Bakar$$

Untuk menghitung total emisi berdasarkan gas dari kategori sumber, maka emisi yang diperoleh dari Persamaan 2.1 dijumlahkan untuk seluruh jenis bahan bakar menggunakan Persamaan 7 berikut :

$$Emisi\ GRK_{Bahan\ Bakar} = \sum Emisi\ GRK_{Bahan\ Bakar}$$

Pendekatan Tier 2 memerlukan :

- Data mengenai jumlah bahan bakar yang dikonsumsi pada kategori sumber;
- Faktor emisi spesifik negara untuk kategori sumber dan bahan bakar untuk setiap parameter gas.

Dalam Tier 2, faktor emisi default Tier 1 digantikan dengan faktor emisi spesifik negara. Faktor emisi spesifik negara dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan data-data nasional, misalnya kandungan karbon bahan bakar yang digunakan, faktor oksidasi karbon, kualitas bahan bakar, dan (khusus untuk gas selain CO₂) tingkat perkembangan teknologi. Faktor emisi dapat bervariasi dari waktu ke waktu, dan untuk bahan bakar padat harus memperhitungkan jumlah karbon yang tertahan dalam abu, yang juga dapat berubah seiring waktu.

Faktor emisi spesifik negara dapat identik dengan nilai default, atau dapat berbeda. Karena nilai spesifik negara umumnya lebih sesuai dengan kondisi nasional, diharapkan bahwa rentang ketidakpastian faktor emisi tersebut akan lebih kecil dibandingkan dengan ketidakpastian faktor emisi default. Dengan demikian, estimasi emisi menggunakan Tier 2 diharapkan menghasilkan tingkat ketidakpastian yang lebih rendah dibandingkan estimasi Tier 1. Selain itu, emisi juga dapat diestimasi sebagai hasil perkalian antara konsumsi bahan bakar

(dinyatakan dalam basis massa atau volume) dengan faktor emisi yang dinyatakan dalam satuan yang kompatibel.

Penggunaan pendekatan Tier 3 dalam estimasi emisi ini memerlukan:

- Data jumlah bahan bakar yang dikonsumsi untuk setiap kategori sumber berdasarkan jenis bahan bakar, teknologi pembakaran, kondisi operasi, teknologi pengendalian, faktor oksidasi karbon, serta umur peralatan.
- Faktor emisi spesifik untuk setiap teknologi.
- Data pengukuran tingkat fasilitas (facility-level measurements) apabila tersedia.

Untuk CO₂, penggunaan Tier 3 seringkali tidak diperlukan karena emisi CO₂ lebih bergantung pada kandungan karbon bahan bakar. Namun, untuk CH₄ dan N₂O, pendekatan Tier 3 sangat penting karena emisinya dipengaruhi teknologi pembakaran dan kondisi operasi.

B. Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU)

Emisi gas rumah kaca dihasilkan dari berbagai macam aktivitas industri. Sumber emisi utama adalah emisi dari proses industri yang mengubah material secara kimia atau fisik (misalnya, di industri besi dan baja, amonia dan produk kimia lainnya yang diproduksi dari bahan bakar fosil yang digunakan sebagai bahan baku kimia, dan industri semen merupakan contoh penting proses industri yang melepaskan CO₂ dalam jumlah signifikan). Selama proses ini berlangsung, berbagai gas rumah kaca, termasuk karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), hidrofluorokarbon (HFC), dan perfluorokarbon (PFC), dapat dihasilkan.

Selain itu, gas rumah kaca sering digunakan dalam produk seperti lemari es, busa, atau kaleng aerosol. Misalnya, HFC digunakan sebagai alternatif zat perusak ozon (ODS) dalam berbagai jenis aplikasi produk. Demikian pula, sulfur heksafluorida (SF₆) dan N₂O digunakan dalam sejumlah produk yang digunakan dalam industri (misalnya, SF₆

digunakan dalam peralatan listrik, N_2O digunakan sebagai propelan dalam produk aerosol terutama dalam industri makanan) atau oleh konsumen akhir (misalnya, SF_6 digunakan dalam sepatu lari, N_2O digunakan selama anestesi). Fitur penting dari penggunaan produk ini adalah bahwa, dalam hampir semua kasus, waktu yang signifikan dapat berlalu antara pembuatan produk dan pelepasan gas rumah kaca. Penundaan dapat bervariasi dari beberapa minggu (misalnya, untuk kaleng aerosol) hingga beberapa dekade seperti dalam kasus busa kaku. Dalam beberapa aplikasi (misalnya, pendinginan), sebagian gas rumah kaca yang digunakan dalam produk dapat dipulihkan di akhir masa pakai produk dan didaur ulang atau dimusnahkan. Selain itu, beberapa gas rumah kaca terfluorinasi lainnya dapat digunakan dalam proses khusus, misalnya dalam manufaktur semikonduktor:

- nitrogen trifluorida (NF)
- trifluorometil sulfur pentafluorida (SF_5CF_3)
- eter terhalogenasi (misalnya, $C_4F_9OC_2H_5$, $CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$, $CHF_2OCF_2OCHF_2$)
- dan halokarbon lain yang tidak tercakup dalam Protokol Montreal termasuk CF_3I , CH_2Br_2 , $CHCl_3$, CH_3Cl , CH_2Cl_2 .

Emisi GRK sektor IPPU pada Tier 1, menggunakan data volume produksi industri dengan default emission factor IPCC; Tier 2, menggunakan factor emisi spesifik nasional/industry berdasarkan bahan baku local dan teknologi produksi; Tier 3, berbasis data operasional Perusahaan secara rinci, termasuk neraca massa, monitoring stack emission atau pengukuran langsung di fasilitas industri. menghitung emisi CO_2 langsung dari produksi semen (yaitu, menggunakan faktor emisi berbasis semen yang tetap) tidak konsisten dengan praktik yang baik. Sebaliknya, jika tidak ada data masukan karbonat atau data produksi klinker provinsi, data produksi semen dapat digunakan untuk memperkirakan produksi klinker dengan memperhitungkan jumlah dan jenis semen yang diproduksi serta

kandungan klinkernya, dan termasuk koreksi untuk impor dan ekspor klinker. Memperhitungkan impor dan ekspor klinker merupakan faktor penting dalam estimasi emisi dari sumber ini. Emisi dari produksi klinker impor tidak boleh dimasukkan dalam estimasi emisi nasional karena emisi ini diproduksi dan diperhitungkan di negara lain. Demikian pula, emisi dari klinker yang akhirnya diekspor harus diperhitungkan dalam estimasi nasional negara tempat klinker diproduksi. Faktor emisi untuk klinker kemudian diterapkan dan emisi CO₂ dihitung sesuai Persamaan 8 berikut :

$$E_{CO_2} = \left[\sum_i (M_{ci} \times C_{cli}) - Im + Ex \right] EF_{clc}$$

Dimana :

- E_{CO_2} = Emisi CO₂ dari produksi semen (ton)
- M_{ci} = Berat (massa) semen yang diproduksi pada type i (ton)
- C_{cli} = Fraksi klinker semen type i (ton)
- Im = import untuk konsumsi klinker (ton)
- Ex = ekspor klinker (ton)
- EF_{clc} = Faktor emisi untuk klinker dalam semen tertentu (ton CO₂ / ton klinker)

Faktor emisi klinker default (EF_{clc}) dikoreksi untuk CKD pada Tier 2 menggunakan data produksi klinker, apabila data yang rinci dan lengkap (termasuk bobot dan komposisi) mengenai konsumsi karbonat dalam produksi klinker tidak tersedia (Tier 3), atau apabila pendekatan Tier 3 yang ketat dianggap tidak praktis, maka praktik yang baik adalah menggunakan data produksi klinker tingkat pabrik atau nasional yang teragregasi, serta data mengenai kandungan CaO dalam klinker. Data tersebut dinyatakan sebagai faktor emisi dalam Persamaan 9 berikut:

$$E_{CO_2} = M_{cl} \times EF_{cl} \times CF_{ckd}$$

Dimana :

- E_{CO_2} = Emisi CO₂ dari produksi semen (ton)
- M_{cl} = Berat (massa) dari produksi klinker (ton)
- EF_{cl} = Faktor emisi klinker (ton CO₂ / ton klinker), faktor emisi klinker ini tidak dikoreksi untuk CKD
- CF_{ckd} = faktor emisi koreksi untuk CKD (Cemen Kiln Dust), *dimensionless*

Pendekatan Tier 2 didasarkan pada asumsi-asumsi berikut terkait industri semen dan produksi klinker:

1. Sebagian besar semen hidrolik adalah semen portland atau semen serupa yang memerlukan klinker semen portland;
2. Rentang komposisi CaO dalam klinker sangat terbatas dan kandungan MgO dijaga tetap sangat rendah;
3. Pabrik umumnya mampu mengendalikan kandungan CaO pada bahan baku maupun pada klinker dalam batas toleransi yang ketat;
4. Bahkan ketika output klinker dihitung oleh pabrik dan bukan diukur secara langsung, umumnya terdapat kesesuaian yang dekat antara kedua metode penentuan tersebut ketika dilakukan audit;
5. Kandungan CaO pada klinker dari suatu pabrik tertentu cenderung tidak berubah secara signifikan dari tahun ke tahun;
6. Sumber utama CaO bagi sebagian besar pabrik adalah CaCO_3 dan, setidaknya pada tingkat pabrik, setiap sumber CaO non-karbonat yang signifikan dapat dikuantifikasi dengan mudah;
7. Faktor kalsinasi 100 persen (atau sangat mendekati) tercapai untuk masukan karbonat pada proses pembuatan klinker, termasuk (meskipun biasanya dalam derajat yang lebih rendah) material yang hilang dari sistem sebagai CKD yang tidak didaur ulang; dan
8. Dianggap pengumpul debu di pabrik menangkap hampir seluruh CKD, meskipun material ini tidak selalu didaur ulang kembali ke kiln.

Metode Tier 3: Penggunaan Data Input Karbonat

Tier 3 didasarkan pada pengumpulan data terdisagregasi mengenai jenis (komposisi) dan jumlah karbonat yang dikonsumsi untuk memproduksi klinker, serta faktor emisi masing-masing karbonat yang digunakan. Pendekatan Tier 3 mencakup penyesuaian untuk

mengurangkan setiap karbonat yang tidak terdekomposisi (uncalcined carbonate) di dalam CKD yang tidak dikembalikan ke kiln. Apabila CKD sepenuhnya terdekomposisi (fully calcined), atau seluruhnya dikembalikan ke kiln, maka faktor koreksi CKD menjadi nol. Tier 3 masih dianggap sebagai praktik yang baik dalam kasus di mana penyusun inventaris tidak memiliki akses ke data CKD yang tidak terdekomposisi. Namun, pengecualian terhadap CKD yang tidak terdekomposisi dapat sedikit melebihi estimasi emisi.

Batu kapur (limestone) dan serpih (shale) sebagai bahan baku juga dapat mengandung sebagian karbon organik (kerogen), dan bahan baku lain (misalnya abu terbang/fly ash) dapat mengandung residu karbon, yang akan menghasilkan CO₂ tambahan ketika dibakar. Emisi tersebut umumnya tidak diperhitungkan dalam Sektor Energi, namun, apabila digunakan secara luas, penyusun inventaris sebaiknya memastikan apakah emisi tersebut sudah termasuk dalam Sektor Energi. Saat ini, data tentang kandungan kerogen atau karbon pada bahan baku non-energi untuk proses mineral masih sangat terbatas, sehingga tidak memungkinkan untuk memberikan nilai default yang bermakna terkait rata-rata kandungan kerogen dalam bahan baku. Untuk perhitungan berbasis bahan baku pada tingkat pabrik (Tier 3) di mana kandungan kerogen tinggi (misalnya berkontribusi lebih dari 5 persen dari total panas), standar global adalah memasukkan kontribusi kerogen terhadap emisi.

Pendekatan Tier 3 kemungkinan hanya praktis untuk pabrik-pabrik atau negara-negara yang memiliki akses terhadap data rinci di tingkat pabrik mengenai bahan baku karbonat. Data emisi yang dikumpulkan di tingkat pabrik kemudian harus diagregasikan untuk tujuan pelaporan estimasi emisi nasional. Diakui bahwa perhitungan emisi secara berkala berdasarkan analisis langsung karbonat dapat menjadi beban bagi beberapa pabrik. Selama analisis kimia rinci atas input karbonat dilakukan dengan frekuensi yang memadai untuk membangun korelasi yang baik antara konsumsi karbonat di tingkat pabrik dan produksi

klinker yang dihasilkan, output klinker kemudian dapat digunakan sebagai proksi untuk karbonat dalam perhitungan emisi pada periode antar analisis. Dengan kata lain, sebuah pabrik dapat memperoleh faktor emisi yang terkalibrasi secara ketat untuk klinker yang diproduksi, berdasarkan kalibrasi berkala terhadap input karbonat. Emisi kemudian dihitung menggunakan Persamaan 10 berikut :

$$E_{CO_2} = \underbrace{\sum_i (EF_i \times M_i \times F_i)}_{\text{Emisi karbonat}} - \underbrace{M_d \times C_d \times (1 - F_d) \times EF_d}_{\text{Emisi dari CKD non kalsinasi yang tidak didaur ulang ke kiln}} + \underbrace{\sum_k (M_k \times X_k \times EF_k)}_{\text{Emisi dari material berkarbon non bahan bakar}}$$

Dimana :

- E_{CO_2} = Emisi CO₂ dari produksi semen (ton)
- EF_i = Faktor emisi karbonat tertentu-i (ton CO₂ / ton karbonat)
- M_i = Berat / massa karbonat -i yang digunakan dalam kiln (ton)
- F_i = fraksi kalsinasi yang dicapai untuk karbonat -i (fraction^a)
- M_d = Berat atau massa CKD yang tidak didaur ulang ke kiln (ton)
- C_d = fraksi berat dari karbonat asli dalam CKD yang tidak didaur ulang ke kiln, (fraksi^b)
- F_d = fraksi kalsinasi yang dicapai untuk CKD yang tidak didaur ulang ke kiln, (fraksi^a)
- EF_d = faktor emisi untuk karbonat yang tidak terdekomposisi (uncalcined) dalam CKD yang tidak didaur ulang ke kiln (ton CO₂/ton karbonat^b)
- M_k = berat atau massa bahan baku non-energi k yang mengandung karbon organik atau karbon lainnya (ton^c)
- X_k = fraksi total karbon organik atau karbon lain dalam bahan baku non-energi spesifik k (fraksi^c)
- EF_k = faktor emisi untuk kerogen (atau karbon lain) dalam bahan baku non-energi k (ton CO₂/ton karbonat^c)

Catatan Default untuk Persamaan 1

a. Fraksi Kalsinasi (*Calcination Fraction*)

Jika tidak tersedia data aktual, maka dapat diasumsikan bahwa pada suhu dan waktu tinggal (residence time) yang dicapai di kiln semen (klinker), tingkat kalsinasi yang dicapai untuk semua material yang masuk ke dalam klinker adalah 100% ($F_i = 1,00$)

atau sangat mendekati nilai tersebut. Untuk CKD (Cement Kiln Dust), kemungkinan nilai $F_d < 1,00$, tetapi data yang tersedia biasanya sangat bervariasi dan memiliki tingkat keandalan yang rendah. Jika tidak tersedia data yang dapat dipercaya untuk CKD, maka penggunaan asumsi $F_d = 1,00$ akan menghasilkan nilai koreksi CKD sama dengan nol (tidak ada penyesuaian emisi).

b. Komposisi Karbonat dalam CKD

Karena kalsium karbonat (CaCO_3) merupakan karbonat yang paling dominan dalam bahan baku, maka dapat diasumsikan bahwa 100% karbonat yang tersisa dalam CKD yang tidak didaur ulang ke kiln adalah kalsium karbonat. Dengan demikian, praktik yang baik adalah menetapkan nilai C_d sama dengan rasio kalsium karbonat dalam umpan bahan baku ke kiln. Demikian pula, dapat diterima untuk menggunakan faktor emisi CaCO_3 sebagai nilai EF_d .

c. Emisi CO_2 dari Karbon Non-Karbonat dalam Bahan Baku Non-Energi

Emisi CO_2 yang berasal dari karbon non-karbonat (misalnya karbon dalam kerogen, karbon dalam fly ash) di dalam bahan baku non-energi dapat diabaikan (diasumsikan $M_k \cdot X_k \cdot EF_k = 0$) jika kontribusi panas dari kerogen atau karbon tersebut kurang dari 5% dari total panas (yang berasal dari bahan bakar).

Asumsi umum:

- 1) Semua karbonat dalam klinker terdekomposisi sempurna ($F_i = 1,00$).
- 2) CKD: jika data tidak tersedia, dianggap sama dengan CaCO_3 dan dianggap sepenuhnya terdekomposisi ($F_d = 1,00$).
- 3) Karbon organik/kerogen: bisa diabaikan jika kontribusi panasnya $< 5\%$.

C. Sektor Pertanian

Estimasi emisi gas rumah kaca (GRK) pada sektor pertanian di Provinsi Kota Surabaya mencakup:

1. Emisi N_2O dari tanah pertanian terkelola – meliputi emisi yang berasal dari pemupukan anorganik, pupuk organik, residu tanaman, pengolahan tanah, serta proses biologis lain pada lahan pertanian.
2. Emisi CO_2 akibat aplikasi kapur dan urea pada lahan pertanian – yang terjadi karena penggunaan bahan tersebut dalam upaya meningkatkan produktivitas tanah.
3. Emisi CH_4 dari budidaya padi sawah – dihasilkan dari proses fermentasi anaerob di lahan sawah yang tergenang air.
4. Emisi CH_4 dari ternak melalui fermentasi enterik – berasal dari proses pencernaan hewan ruminansia (sapi, kerbau, kambing, domba, dan lainnya).
5. Emisi CH_4 dan N_2O dari sistem pengelolaan kotoran ternak – tergantung pada metode penanganan kotoran (misalnya, penumpukan, laguna, digester biogas, aplikasi langsung ke tanah).

Penjelasan salah satu penggunaan Tier 1, Tier 2, dan Tier 3 pada sektor pertanian menurut IPCC, sebagai berikut ;

Tier 1 (Metode Default Sederhana)

- a. Prinsip: menggunakan data aktivitas nasional (luas lahan) dikalikan dengan faktor default IPCC (nilai baku akumulasi dan kehilangan biomassa).
 - b. Metode: *Gain-Loss Method* (metode pertambahan dan kehilangan).
- 1) Estimasi pertambahan biomassa dari pertumbuhan tanaman tahunan/perennial.
 - 2) Dikurangi dengan kehilangan akibat panen, penebangan, gangguan atau mortalitas.

c. Asumsi default:

- 1) Semua karbon dalam biomassa yang ditebang dianggap dilepas pada tahun penebangan.
- 2) Tanaman tahunan/perennial hanya menyimpan karbon selama siklus tumbuh hingga panen atau mencapai keadaan stabil (*steady state*).

d. Keterbatasan: tidak memperhitungkan variasi spesifik wilayah, jenis tanaman, praktik pengelolaan, atau kondisi iklim.

Tier 2 (Metode Spesifik Negara/Regional)

a. Prinsip: menggunakan data nasional atau regional yang lebih rinci, menggantikan faktor default IPCC.

b. Metode:

- 1) *Gain-Loss Method* (sama seperti Tier 1, tetapi memakai data lokal).
- 2) *Stock-Difference Method* (menghitung perbedaan cadangan karbon antara dua titik waktu tertentu).

c. Data yang digunakan:

- 1) Laju akumulasi karbon spesifik per jenis tanaman kayu/perennial, per zona iklim, per sistem pengelolaan.
- 2) Estimasi cadangan karbon atas tanah (above-ground biomass) dan bawah tanah (below-ground biomass).

d. Kelebihan: hasil lebih representatif karena mempertimbangkan kondisi nyata di negara/daerah (misalnya, produktivitas kebun kopi di Kota Surabaya berbeda dengan default IPCC).

Tier 3 (Metode Tingkat Lanjut – Model/Inventarisasi)

a. Prinsip: menggunakan model proses atau sistem inventarisasi nasional yang terukur secara statistik.

b. Metode:

- 1) Model pertumbuhan spesifik tanaman/perkebunan (misalnya model produktivitas kopi, kelapa sawit, atau tebu).

- 2) Pengukuran lapangan jangka panjang (inventarisasi biomassa seperti pada hutan).

c. Karakteristik:

- 1) Data sangat terperinci: jenis tanaman, iklim, tanah, sistem pengelolaan, input pertanian (pupuk, irigasi, dll.).
 - 2) Model harus divalidasi dengan data pengukuran lokal agar hasilnya dapat dipertanggungjawabkan.
- d. Kelebihan: estimasi sangat akurat, dapat menangkap perubahan kecil sekalipun, serta mampu memproyeksikan perubahan cadangan karbon jangka panjang.
- e. Kekurangan: memerlukan sumber daya besar (data, waktu, kapasitas teknis).

Untuk penggunaan faktor emisi sektor pertanian sebagai berikut :

1. Tier 1 : menggunakan nilai default IPCC.
2. Tier 2 : menggunakan data spesifik nasional/regional, memperhitungkan pengelolaan dan variasi sistem pertanian.
3. Tier 3 : menggunakan model pertumbuhan dan inventaris lapangan yang detail, akurasi paling tinggi.

D. Sektor Kehutanan dan Lahan (FOLU – *Forestry and Other Land Use*)

Menurut IPCC Guidelines 2006, estimasi perubahan cadangan karbon dan emisi pada sektor kehutanan dapat dilakukan melalui tiga tingkatan metodologi (Tier 1, Tier 2, dan Tier 3). Tingkatan ini menunjukkan kompleksitas, ketersediaan data, serta tingkat akurasi dalam penghitungan.

Tier 1: Pendekatan Default (*Basic Approach*)

1. Metode Estimasi

Menggunakan pendekatan *Gain-Loss Method*, yaitu menghitung selisih antara karbon yang diperoleh (*annual biomass growth*) dan karbon yang hilang akibat tebangan, pemanfaatan kayu bakar,

maupun gangguan hutan (misalnya kebakaran atau serangan hama).

Secara matematis, cadangan karbon ditentukan dengan formula Persamaan 11:

$$\Delta C = G - L$$

dimana:

G = perolehan biomassa tahunan (*growth*),

L = kehilangan karbon akibat pemanfaatan atau gangguan (*losses*).

2. Data dan Asumsi

Menggunakan data default IPCC yang telah disediakan, meliputi:

- a. Faktor konversi biomassa (*Biomass Conversion and Expansion Factor/BCEF*).
- b. Rasio biomassa bawah tanah terhadap atas tanah (*Root-Shoot Ratio, R*).
- c. Densitas kayu (*Wood Density, D*).
- d. Fraksi karbon (*Carbon Fraction, CF*).
 - 1) Untuk biomassa bawah tanah, diasumsikan nol jika tidak tersedia data atau dihitung dengan rasio default.
 - 2) Semua biomassa pada area yang terkena gangguan diasumsikan hilang pada tahun kejadian.

3. Karakteristik

- a. Dapat diterapkan pada negara dengan data terbatas.
- b. Tidak memperhitungkan variasi lokal, sehingga memiliki tingkat ketidakpastian tinggi.

Tier 2: Pendekatan Spesifik Nasional (*Country-specific Approach*)

1. Metode Estimasi

- a. Masih menggunakan *Gain-Loss Method* atau *Stock-Difference Method*.

Stock-Difference Method menghitung perubahan cadangan karbon dari perbedaan stok karbon pada dua periode inventarisasi hutan, Persamaan 12:

$$\Delta C = C_{t2} - C_{t1}$$

di mana:

C_{t2} = cadangan karbon pada tahun akhir,

C_{t1} = cadangan karbon pada tahun awal.

2. Data dan Asumsi

- a. Menggunakan data spesifik nasional atau regional, seperti:
 - 1) Inventarisasi hutan nasional (luas, jenis, volume, biomassa).
 - 2) *Net annual increment* (NAI/IV) atau pertumbuhan volume tahunan spesifik per jenis hutan.
 - 3) Faktor konversi biomassa dan densitas kayu berdasarkan data penelitian lokal.
 - 4) Statistik resmi terkait tebangan kayu dan pemanfaatan kayu bakar.
- b. Kehilangan karbon akibat gangguan dihitung berdasarkan tipe gangguan, luas area terdampak, dan intensitas kerusakan.

3. Karakteristik

- a. Lebih akurat karena memperhitungkan kondisi ekologi, iklim, serta praktik pengelolaan hutan di tingkat nasional.
- b. Membutuhkan data inventarisasi hutan yang cukup lengkap dan terstandar.

Tier 3: Pendekatan Tingkat Lanjut (*Advanced/National Systems Approach*)

1. Metode Estimasi

- a. Dapat menggunakan baik *Gain-Loss Method* maupun *Stock-Difference Method*.

- b. Biasanya berbasis pada model proses ekologi atau sistem inventarisasi nasional berulang.
- c. Mengintegrasikan data spasial (GIS, penginderaan jauh, *permanent sample plots*) dengan model pertumbuhan hutan dan model gangguan (*disturbance models*).

2. Data dan Asumsi

- a. Data inventarisasi hutan nasional yang diperoleh secara periodik (berbasis plot permanen).
- b. Persamaan alometrik spesifik untuk setiap jenis pohon/vegetasi.
- c. Data geo-referensi dari citra satelit resolusi tinggi dan sistem pemantauan berbasis GIS.
- d. Model simulasi dinamis yang memperhitungkan faktor ekologi, iklim, siklus hidup hutan, serta aktivitas manusia.

3. Karakteristik

- a. Tingkat akurasi paling tinggi karena mencerminkan dinamika ekosistem hutan secara detail.
- b. Membutuhkan sumber daya manusia, teknologi, biaya, dan kelembagaan yang kuat untuk implementasi jangka panjang.

Perbandingan Tier 1, Tier 2, dan Tier 3 sektor kehutanan :

- Tier 1 : Mengandalkan data default IPCC, cocok untuk negara dengan keterbatasan data, namun memiliki ketidakpastian tinggi.
- Tier 2 : Menggunakan data nasional yang lebih rinci, memberikan hasil yang lebih akurat dan sesuai kondisi lokal.
- Tier 3 : Menggunakan sistem inventarisasi dan model nasional yang canggih, menghasilkan estimasi paling akurat, namun memerlukan dukungan teknis dan kelembagaan yang kuat.

E. Sektor Limbah

Sektor limbah mencakup seluruh kegiatan pengelolaan sampah dan air limbah domestik maupun industri yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK). Berdasarkan *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, sumber utama emisi dari sektor ini berasal dari tempat pembuangan akhir sampah (sanitary landfill dan open dumping), pengolahan air limbah domestik maupun industri, serta pembakaran limbah.

1. Emisi Metana (CH₄) dari Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah

Metana (CH₄) dihasilkan dari proses degradasi anaerobik bahan organik dalam air limbah domestik maupun industri. Emisi ini bergantung pada:

- a. Kandungan bahan organik limbah (diukur dengan BOD/COD),
- b. Sistem pengolahan (misalnya kolam stabilisasi, septic tank, instalasi pengolahan air limbah/IPAL, atau langsung dibuang ke badan air), serta
- c. Kondisi operasional (aerobik/anaerobik, suhu, dan tingkat perawatan fasilitas).

Di Kota Surabaya, mengingat masih dominannya penggunaan septic tank individual dan terbatasnya cakupan layanan IPAL domestik terpusat, sumber utama emisi CH₄ berasal dari septic tank dan pembuangan langsung ke perairan.

2. Emisi Karbon Dioksida (CO₂) dari Pembakaran Limbah

CO₂ dari sektor limbah terutama dihasilkan melalui pembakaran terbuka (*open burning*) maupun insinerasi limbah padat yang mengandung karbon fosil (misalnya plastik).

- a. CO₂ dari bahan bakar fosil (plastik, karet, tekstil sintetis) wajib dihitung dan dilaporkan pada sektor limbah.

- b. CO₂ dari bahan organik (biogenik) seperti kayu, sisa makanan, kertas, tidak termasuk dalam pelaporan sektor limbah, tetapi tetap dicatat sebagai informasi dalam sektor energi apabila digunakan untuk waste-to-energy.

Di Kota Surabaya, praktik pembakaran terbuka limbah rumah tangga di pedesaan masih terjadi, meskipun dalam skala kecil dan sulit didata secara sistematis.

3. Emisi Dinitrogen Oksida (N₂O) dari Pengelolaan Limbah

N₂O dihasilkan dari hampir seluruh sistem pengolahan limbah, baik padat maupun cair. Besaran emisi sangat dipengaruhi oleh:

- a. Jenis sistem pengolahan (komposting, kolam aerasi, IPAL anaerobik-aerobik),
- b. Kondisi oksigenasi, kelembaban, dan temperatur.

Dalam konteks Kota Surabaya, pengolahan limbah organik melalui komposting (skala rumah tangga maupun komunal) serta IPAL domestik dan industri merupakan sumber potensial N₂O.

4. Emisi dari Senyawa Non-Gas Rumah Kaca (Co-pollutants)

Selain CH₄, CO₂, dan N₂O, proses pengelolaan limbah juga menghasilkan non-methane volatile organic compounds (NMVOCs), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), dan amonia (NH₃).

- a. NO_x terutama berasal dari pembakaran terbuka limbah,
- b. NH₃ banyak dilepaskan dalam proses komposting.

Meskipun kontribusinya relatif kecil terhadap total emisi GRK Kota Surabaya, pencatatan senyawa ini penting karena dapat menimbulkan emisi tidak langsung N₂O.

Dibandingkan dengan pedoman 1996, *2006 IPCC Guidelines* menambahkan subkategori baru yang relevan untuk Kota Surabaya, yaitu:

- a. Pengolahan biologis limbah padat → termasuk komposting dan anaerobic digestion (biogas).
- b. Pembakaran terbuka limbah → mencakup emisi CH_4 , CO_2 fosil, dan N_2O dari insinerasi maupun pembakaran terbuka.
- c. Tangki septik dan jamban → metode estimasi CH_4 dan N_2O dari penggunaan septic tank, jamban, serta pembuangan limbah cair ke badan air.

Berikut metodologi per kategori pada sektor limbah

a. *Solid Waste Disposal Sites (SWDS)*

Emisi utama: CH_4 dari dekomposisi anaerobik bahan organik.

Tier 1:

- 1) Menggunakan *First Order Decay Model* (FOD) dengan parameter default IPCC.
- 2) Data aktivitas: total timbulan sampah tahunan, komposisi rata-rata, serta asumsi laju degradasi dan faktor koreksi metana (MCF).
- 3) Kelemahan: ketidakpastian tinggi, tidak mencerminkan kondisi iklim tropis Kota Surabaya dan variasi antar-TPA.

Tier 2:

- 1) Menggunakan data timbulan sampah dan komposisi spesifik Kota Surabaya berdasarkan survei timbulan sampah BPS/DLH.
- 2) Parameter DOC, DOC_f , MCF, dan faktor oksidasi disesuaikan dengan hasil penelitian lokal atau data nasional.
- 3) Emisi CH_4 lebih representatif untuk TPA di Surabaya, Sidoarjo, Malang, dan kota besar lainnya.

Tier 3:

- 1) Menggunakan monitoring langsung kandungan CH_4 di landfill gas (misalnya di TPA Benowo dengan sistem *landfill gas recovery*).
- 2) Model dinamis berbasis data umur landfill, laju penguraian, dan sistem pengelolaan (*sanitary landfill* vs *open dumping*).
- 3) Cocok untuk MRV (*Measurement, Reporting, Verification*) dan perdagangan karbon.

b. Biological Treatment of Solid Waste

Emisi utama: CH_4 dan N_2O dari proses komposting dan digester biogas.

Tier 1:

- 1) Menggunakan faktor emisi default per ton limbah organik terolah (IPCC).
- 2) Data aktivitas: volume sampah organik yang masuk ke fasilitas kompos/biogas.

Tier 2:

- 1) Menggunakan data spesifik fasilitas pengolahan di Kota Surabaya (misalnya TPST Surabaya, unit biogas desa).
- 2) Faktor emisi disesuaikan dengan jenis teknologi (windrow composting, anaerobic digester).

Tier 3:

- 1) Melibatkan pengukuran langsung fluks CH_4 dan N_2O dari fasilitas pengolahan (misalnya metode chamber flux).
- 2) Model bioproses digunakan untuk menghitung emisi secara dinamis berdasarkan kondisi operasi.

c. *Incineration and Open Burning of Waste*

Emisi utama: CO₂ (fossil), CH₄, dan N₂O.

Tier 1:

- 1) Menggunakan faktor emisi default IPCC per ton limbah dibakar.
- 2) CO₂ dihitung dari fraksi karbon fosil (plastik, karet, tekstil sintetis).

Tier 2:

- 1) Data aktivitas diperoleh dari jumlah sampah medis dan domestik yang diinsinerasi serta estimasi open burning per kabupaten/kota.
- 2) Komposisi sampah dibakar ditentukan dari survei lokal (proporsi plastik, organik, residu).

Tier 3:

- 1) Emisi dihitung dari data stack monitoring insinerator dan model dispersi polutan untuk open burning.
- 2) Membedakan faktor emisi berdasarkan efisiensi insinerator, suhu pembakaran, dan sistem pengendalian emisi.

d. *Wastewater Treatment and Discharge*

Emisi utama: CH₄ dan N₂O.

Tier 1:

- 1) Menggunakan Bo (maximum CH₄ producing capacity) dan MCF (methane correction factor) default.
- 2) N₂O dihitung dengan faktor emisi default berdasarkan nitrogen dalam effluent.
- 3) Data aktivitas: jumlah penduduk dengan sistem pembuangan (septic tank, IPAL komunal, pembuangan langsung).

Tier 2:

- 1) Menggunakan data spesifik Kota Surabaya (kadar BOD/COD air limbah domestik, persentase pengolahan air limbah).
- 2) Faktor emisi disesuaikan dengan jenis pengolahan (aerobik, anaerobik, kombinasi).

Tier 3:

- 1) Emisi dihitung dengan model proses (misalnya Activated Sludge Models) untuk N_2O .
- 2) Monitoring langsung CH_4 di septic tank, IPAL, dan saluran terbuka (misalnya dengan floating chamber).
- 3) Data laboratorium digunakan untuk menghitung nitrogen spesifik dalam effluent.

Pemilihan Tier di Kota Surabaya sebagai berikut :

- Tier 1 digunakan sebagai baseline awal jika data spesifik tidak tersedia.
- Tier 2 direkomendasikan untuk Kota Surabaya karena terdapat data timbulan sampah, komposisi, fasilitas pengolahan, dan jaringan IPAL.
- Tier 3 dapat diterapkan di lokasi prioritas seperti TPA Benowo (Surabaya), instalasi biogas besar, serta IPAL industri untuk mendukung MRV dan perdagangan karbon.

2.3 Sumber Data**2.3.1 Data Aktivitas**

Data aktivitas diperoleh dari berbagai instansi pemerintah daerah (OPD), lembaga statistik, kementerian teknis, hingga pelaku usaha. Data tersebut meliputi:

1. Konsumsi energi (BBM, listrik, gas)
2. Produksi industri (semen, pupuk, baja, dll.)
3. Luas lahan sawah, perkebunan, dan hutan

4. Jumlah populasi ternak
5. Volume sampah dan limbah cair
6. Data penggunaan lahan dan perubahan penutupan lahan

2.3.2 Sumber Data

Beberapa sumber utama penyedia data inventarisasi gas rumah kaca di Kota Surabaya antara lain :

1. Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Surabaya
2. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya
3. Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya
4. Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya Kota Surabaya
5. Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) Wilayah XI
6. Pelaku usaha energi dan industri (PT Pertamina, dan industri lainnya)

2.3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan oleh Kota Surabaya dalam perhitungan inventarisasi gas rumah kaca merupakan hasil perhitungan dari website SIGNSMART dengan cara memasukkan angka ke dalam website.

BAB III

HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GAS RUMAH KACA



BAB III

HASIL PERHITUNGAN EMISI GRK DAN/ATAU SERAPAN GRK

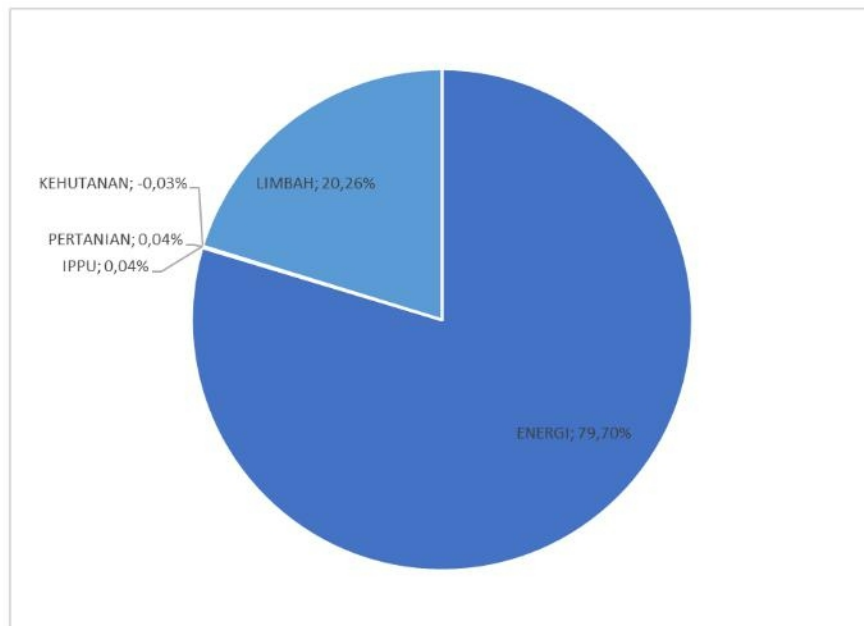
3.1 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi GRK dan/atau Serapan Emisi GRK

Menguraikan tingkat, status, dan kecenderungan emisi serta serapan Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya merupakan bagian penting dari proses inventarisasi tahun 2025. Analisis ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai dinamika emisi GRK baik secara agregat maupun sektoral, mencakup sektor energi, IPPU, pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan, serta pengelolaan limbah. Dengan membandingkan data historis dan tren terkini, subbab ini menyajikan informasi kuantitatif dan kualitatif yang diperlukan untuk menilai efektivitas kebijakan mitigasi yang telah diterapkan, sekaligus mengidentifikasi sektor-sektor prioritas yang membutuhkan intervensi lebih lanjut. Pendekatan ini tidak hanya memperkuat transparansi dan akuntabilitas pelaporan, tetapi juga menjadi dasar strategis dalam perencanaan aksi iklim daerah yang berbasis data

3.1.1 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi GRK dan/atau Serapan Emisi GRK Secara Agregat

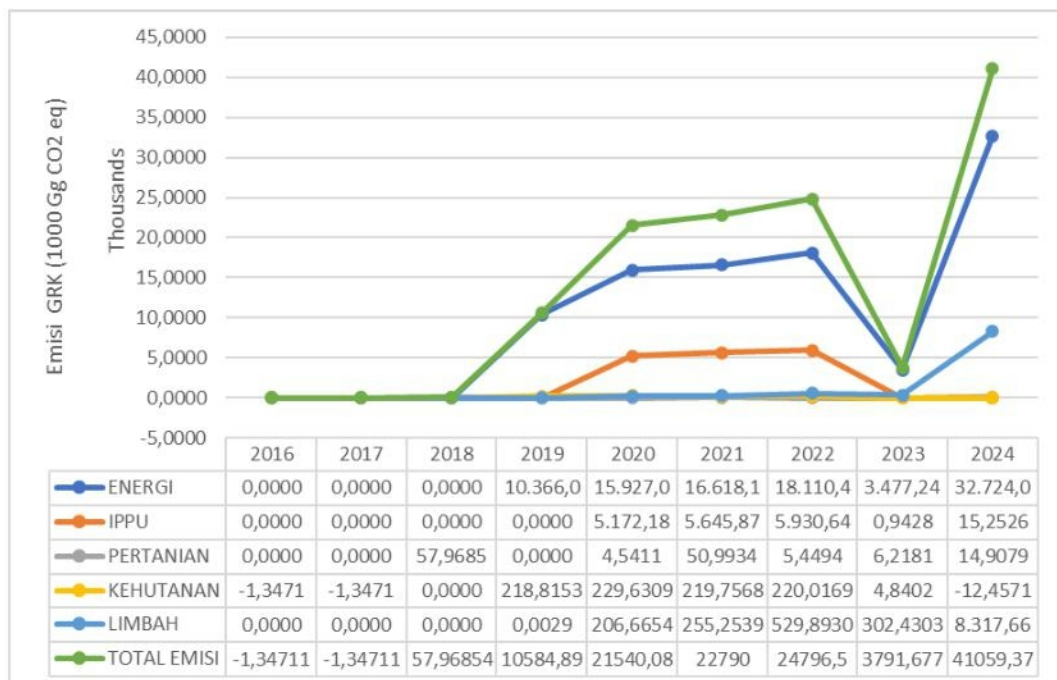
Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2024 didominasi oleh sektor energi, yang menyumbang emisi sebesar 32.724,0001 Gg CO₂eq atau 79,70% dari seluruh emisi. Sektor pertanian dan sektor Industrial Process and Product Use (IPPU) masing-masing berkontribusi sebesar 14.9079 Gg CO₂eq (0,04%) dan 15.2526 Gg CO₂eq (0,04%). Sektor limbah juga menyumbang emisi dengan peningkatan yang cukup signifikan terutama dari limbah industri, sebesar 8,317.6638 Gg CO₂eq (20,26%), Sektor kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (FOLU) menunjukkan nilai negatif sebesar -12.4571 Gg CO₂eq (-0.03%), yang mengindikasikan peran sektor ini sebagai penyerap bersih emisi GRK, terutama melalui rehabilitasi hutan dan mangrove. Komposisi ini menegaskan bahwa upaya penurunan emisi harus difokuskan pada sektor

energi sebagai prioritas utama, disertai penguatan peran FOLU sebagai penyeimbang emisi, serta peningkatan efisiensi dan teknologi rendah karbon di sektor pertanian, IPPU, dan limbah. Persentase emisi secara agregat tahun 2024 yang dijelaskan di atas ditunjukkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 Persentase Emisi GRK Secara Agregat Tahun 2024

Sumber : Hasil Analisa, 2025



Gambar 3. 2 Profil Emisi GRK Secara Agregat Tahun 2016-2024

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Pada gambar di atas, emisi gas rumah kaca (GRK) Kota Surabaya ditunjukkan pada rentang tahun 2016-2024, dimana pada tahun sebelum itu penyelenggaraan inventarisasi GRK belum efektif dilaksanakan sehingga menunjukkan belum ada pengolahan data. Tahun 2016 dan 2017, data yang tersedia terbatas pada data tutupan lahan yang disediakan oleh BPKH (Balai Pemantapan Kawasan Hutan) XI Yogyakarta. Tahun 2019 data yang tersedia hanya di sektor pertanian sehingga tidak dapat dibandingkan dengan tahun sebelum dan sesudahnya. Inkonsistensi ketersediaan data ini yang menyebabkan kesulitan untuk menghitung baseline inventarisasi GRK di Kota Surabaya.

Sejak tahun 2020 data dapat dipenuhi di semua sektor, grafik emisi di atas menunjukkan kecenderungan peningkatan emisi di setiap tahun dan didominasi di sektor energi hingga tahun 2024. Sektor energi merupakan kontributor terbesar dan paling fluktuatif, dimulai dari 10,366.0740 Gg CO₂eq pada 2019 hingga mencapai 32,724.0001 Gg CO₂eq pada 2024. Lonjakan ini mencerminkan peningkatan konsumsi energi fosil, pertumbuhan ekonomi, dan mobilitas, serta belum optimalnya transisi ke energi terbarukan.

3.1.2 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi GRK dan/atau Serapan Emisi GRK Secara Sektoral

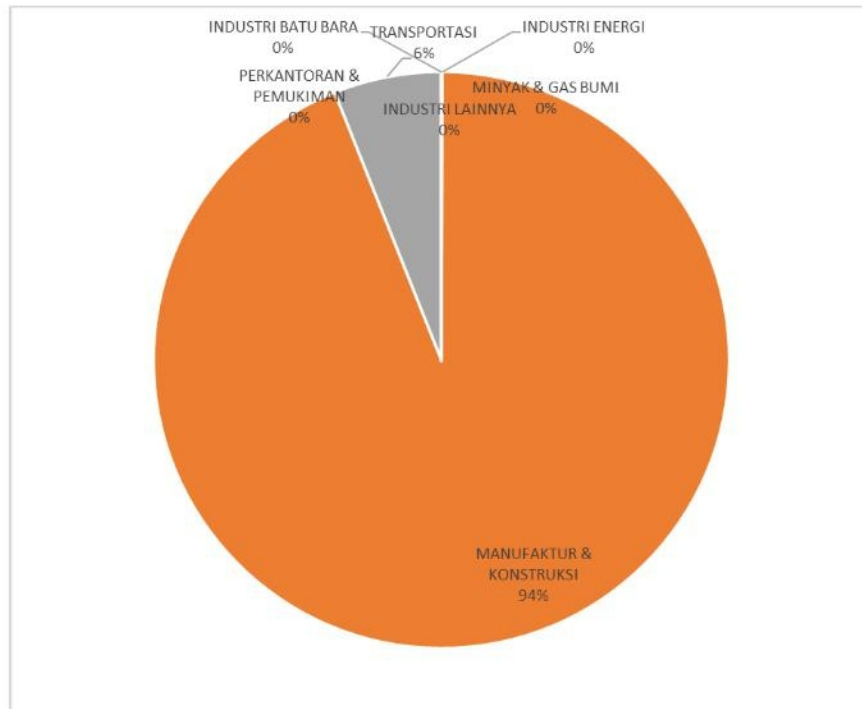
Analisis tingkat, status, dan kecenderungan emisi gas rumah kaca (GRK) secara sektoral dilakukan untuk memperoleh gambaran kontribusi relatif antar sektor dalam total emisi gas rumah kaca di Provinsi Kota Surabaya. Pendekatan sektoral mengikuti pedoman Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines 2006 - Refinement 2019 dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 12 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional Dalam Penanganan Perubahan Iklim. Secara umum, sektor energi menjadi penyumbang utama emisi GRK di Kota Surabaya, berikutnya sektor pertanian, limbah, dan kehutanan. Kecenderungan sektoral ini menunjukkan bahwa strategi penurunan emisi di Kota Surabaya perlu difokuskan pada peningkatan efisiensi energi, transisi menuju energi

terbarukan, serta sektor lainnya seperti penguatan praktik pertanian berkelanjutan dan konservasi lahan.

A. Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi

Sektor pengadaan dan penggunaan energi (kategori 1A IPCC) mencakup seluruh emisi GRK yang berasal dari pembakaran bahan bakar fosil hingga emisi fugitive dari kegiatan produksi dan distribusi energi. Sektor ini merupakan kontributor dominan terhadap total emisi GRK Kota Surabaya, dengan proporsi lebih dari 70% dari total emisi agregat kota pada tahun 2024. Secara keseluruhan, emisi gas rumah kaca (GRK) sektor energi di Kota Surabaya menunjukkan kecenderungan meningkat signifikan sejak tahun 2019 hingga 2024. Peningkatan emisi ini sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi final, serta ekspansi industri dan sektor transportasi. Namun, tren peningkatan tersebut tidak sepenuhnya linier yaitu terdapat fluktuasi signifikan pada periode 2023, yang menunjukkan anomali data pada grafik emisi tersebut.

Pada tahun 2024, total emisi GRK sektor energi Kota Surabaya tercatat sebesar 32.724,0001 Gg CO₂eq, meningkat dibandingkan tahun 2023 (3.477,2453 Gg CO₂eq) atau naik sekitar +941% year-on-year (YoY), dan angka ini menunjukkan anomali dibandingkan dengan peningkatan sektor industri di Kota Surabaya tidak mendekati angka tersebut. Dominasi pembakaran bahan bakar pada industri manufaktur dan konstruksi sebesar 94% dari total emisi sektor energi tahun 2024. Pembakaran bahan bakar pada sektor transportasi berada di urutan kedua sekitar 6%, dan selebihnya hanya sebagian kecil pembakaran energi di sub sektor lainnya. Persentase pembakaran pada sektor energi pada masing-masing sub sektor dapat dilihat pada gambar diagram di bawah ini.



Gambar 3. 3 Persentase Emisi GRK pada Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi di Kota Surabaya Tahun 2024

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan hasil perhitungan, total emisi GRK sektor energi Kota Surabaya tahun 2024 sebesar **32.743,406**. Komposisi emisi berdasarkan subsektor menunjukkan ketimpangan yang cukup signifikan antar sumber emisi.

Subsektor **manufaktur dan konstruksi** merupakan penyumbang emisi terbesar dengan kontribusi mencapai **93,90%** dari total emisi sektor energi. Dominasi ini mencerminkan tingginya intensitas penggunaan energi dalam kegiatan industri pengolahan dan pembangunan fisik di Kota Surabaya. Kondisi tersebut menegaskan bahwa kegiatan industri menjadi faktor utama pendorong emisi GRK di sektor energi perkotaan.

Subsektor **transportasi** memberikan kontribusi sebesar **6,04%** terhadap total emisi sektor energi. Emisi ini bersumber dari konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor akibat aktivitas mobilitas orang dan barang. Meskipun Surabaya dikenal sebagai kota metropolitan dengan aktivitas transportasi yang tinggi, kontribusi subsektor ini masih jauh lebih rendah dibandingkan subsektor industri, yang menunjukkan

bahwa sumber emisi utama sektor energi berada pada aktivitas produksi, bukan mobilitas.

Sementara itu, subsektor **industri energi** hanya berkontribusi sekitar **0,06%** dari total emisi sektor energi. Kontribusi yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa aktivitas pembangkitan atau pengolahan energi di dalam wilayah Kota Surabaya relatif terbatas, atau sebagian besar pasokan energi berasal dari luar wilayah administrasi kota.

Adapun subsektor **perkantoran dan pemukiman, industri lainnya, industri batu bara**, serta **minyak dan gas bumi** tercatat memberikan kontribusi **0%** terhadap total emisi sektor energi. Nilai nol ini menunjukkan bahwa emisi dari subsektor tersebut belum terinventarisasi atau tidak teridentifikasi dalam perhitungan tahun 2024, yang berpotensi menyebabkan rendahnya estimasi total emisi sektor energi secara keseluruhan.

Berdasarkan grafik inventarisasi emisi GRK sektor energi Kota Surabaya periode 2016–2024 di bawah ini, terlihat bahwa emisi GRK mulai tercatat secara signifikan sejak tahun 2019, dengan peningkatan dan fluktuasi yang cukup tajam pada tahun-tahun berikutnya. Pada periode 2016–2018, seluruh subsektor sektor energi menunjukkan nilai emisi nol, yang mengindikasikan belum tersedianya data aktivitas, belum dilakukannya perhitungan emisi, atau belum tercakupnya sektor energi dalam sistem inventarisasi daerah pada periode tersebut.

1) Perkembangan Emisi per Subsektor

a) Industri Energi

Emisi dari subsektor industri energi mulai muncul pada tahun 2021 sebesar 380,095, kemudian mengalami penurunan berturut-turut pada tahun 2022 (90,875), 2023 (17,607), dan sedikit meningkat kembali pada tahun 2024 menjadi 19,406. Pola ini menunjukkan bahwa kontribusi industri energi terhadap total emisi sektor energi relatif kecil dan cenderung menurun, yang dapat disebabkan oleh keterbatasan aktivitas industri

energi di wilayah Kota Surabaya, atau pasokan energi yang sebagian besar berasal dari luar wilayah administrasi kota.

b) Manufaktur dan Konstruksi

Subsektor manufaktur dan konstruksi menunjukkan tren peningkatan signifikan dan menjadi kontributor utama emisi sektor energi dalam periode pengamatan. Emisi mulai tercatat pada tahun 2020 sebesar 5.246,472, meningkat pada 2021 (6.720,974) dan 2022 (7.266,318).

Pada tahun 2023 terjadi penurunan tajam menjadi 814,791, namun kembali melonjak sangat signifikan pada tahun 2024 hingga mencapai 30.745,647. Lonjakan ini menunjukkan adanya peningkatan besar aktivitas industri dan konstruksi, intensitas penggunaan energi yang tinggi, atau penyempurnaan metode dan cakupan data inventarisasi pada tahun 2024. Kondisi ini menegaskan bahwa subsektor manufaktur dan konstruksi merupakan faktor penentu utama kecenderungan (trend) emisi GRK sektor energi di Kota Surabaya.

c) Transportasi

Subsektor transportasi mulai mencatat emisi pada tahun 2019 sebesar 10.366,074, kemudian relatif stabil pada kisaran 9.500–9.800 selama periode 2020–2022. Stabilitas ini mencerminkan konsistensi aktivitas mobilitas dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor di wilayah perkotaan.

Namun, pada tahun 2023 dan 2024 terjadi penurunan drastis, masing-masing menjadi 1.968,676 dan 1.978,353. Penurunan signifikan ini dapat disebabkan oleh: perubahan pendekatan perhitungan atau sumber data, pembatasan aktivitas transportasi, peningkatan efisiensi transportasi, atau belum terakomodasinya seluruh data aktivitas transportasi dalam inventarisasi terbaru.

d) Perkantoran dan Pemukiman

Emisi subsektor perkantoran dan pemukiman mulai tercatat pada tahun 2020 (1.116,844), kemudian berfluktuasi tajam: sangat rendah pada 2021 (0,358), meningkat kembali pada 2022 (979,311) dan 2023 (676,172), sebelum kembali menjadi nol pada tahun 2024.

Fluktuasi ekstrem ini menunjukkan ketidakstabilan ketersediaan dan konsistensi data konsumsi energi bangunan, khususnya listrik dan bahan bakar rumah tangga, sehingga subsektor ini berpotensi belum terestimasi secara optimal.

e) Subsektor Lainnya

Subsektor industri lainnya, industri batu bara, serta minyak dan gas bumi menunjukkan nilai emisi nol sepanjang periode 2016–2024. Hal ini mengindikasikan emisi dari subsektor tersebut berada di luar batas administrasi kota dan tidak masuk dalam cakupan inventarisasi daerah.

2) Analisis Kecenderungan (Trend Analysis)

Secara keseluruhan, kecenderungan emisi GRK sektor energi Kota Surabaya periode 2016–2024 menunjukkan bahwa aktivitas industri, khususnya manufaktur dan konstruksi, menjadi pendorong utama peningkatan emisi GRK. Emisi dari sektor transportasi cenderung stabil hingga 2022, namun mengalami penurunan drastis pada dua tahun terakhir, yang perlu ditelaah lebih lanjut dari sisi metodologi dan data aktivitas. Ketidakkonsistenan data pada sektor perkantoran dan pemukiman menunjukkan perlunya penguatan sistem pengumpulan data energi bangunan. Adanya lonjakan emisi pada tahun 2024 menandakan bahwa upaya mitigasi GRK di sektor energi perlu difokuskan pada subsektor industri, melalui efisiensi energi, penggunaan energi terbarukan, dan penerapan teknologi rendah karbon.



Gambar 3. 4 Emisi GRK pada Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi di Kota Surabaya Tahun 2016-2024

Sumber : Hasil Analisa, 2025

3) Konsistensi Penggunaan GWP dalam Pelaporan Emisi GRK

Dalam pelaporan emisi gas rumah kaca (GRK), penggunaan nilai Global Warming Potential (GWP) yang konsisten merupakan prinsip metodologis yang sangat penting. GWP adalah parameter ilmiah yang digunakan untuk mengonversi emisi gas selain karbon dioksida (CO_2) ke dalam satuan ekuivalen CO_2 ($\text{CO}_2\text{-eq}$), sehingga memungkinkan agregasi dan perbandingan antar gas. Nilai GWP ditetapkan oleh Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dalam setiap *Assessment Report* (AR), seperti AR4 (2007), AR5 (2013), dan AR6 (2021), berdasarkan perkembangan ilmu pengetahuan terbaru mengenai dinamika atmosfer dan interaksi gas rumah kaca dengan sistem iklim. Setiap AR menyajikan satu set nilai GWP yang dihitung secara konsisten berdasarkan horizon waktu tertentu (umumnya 100 tahun) dan asumsi ilmiah yang seragam, termasuk masa hidup gas di atmosfer, potensi penyerapan radiasi inframerah, serta interaksi dengan siklus karbon. Oleh karena itu, mencampurkan nilai GWP dari berbagai AR dalam satu sistem perhitungan emisi tidak dianjurkan karena akan menggabungkan asumsi ilmiah yang tidak kompatibel. Praktik ini dapat menyebabkan

distorsi dalam estimasi total emisi CO₂-eq dan mengurangi validitas serta keterbandingan hasil antar tahun atau antar wilayah.

Dalam konteks penggunaan aplikasi SIGNSMART untuk menghitung emisi GRK sektor energi (CRF 1A1a) tahun 2024, ditemukan indikasi bahwa sistem tersebut menggunakan kombinasi nilai GWP dari dua AR yang berbeda. Berdasarkan hasil akhir yang ditampilkan, SIGNSMART menggunakan GWP CH₄ sebesar 34, yang merupakan nilai dari IPCC AR5 dengan climate-carbon feedback, dan GWP N₂O sebesar 298, yang merupakan nilai dari IPCC AR4. Kombinasi ini menghasilkan total emisi CO₂-eq yang lebih tinggi dibandingkan jika hanya menggunakan satu set GWP dari AR4, AR5, atau AR6 secara konsisten. Hal ini terlihat dari perbedaan antara hasil perhitungan manual berdasarkan GWP AR5 (tanpa feedback) dan hasil akhir SIGNSMART, yang menunjukkan selisih pada konversi emisi CH₄ dan N₂O.

Secara metodologis, penggunaan GWP campuran seperti ini tidak sesuai dengan pedoman IPCC maupun GHG Protocol, yang menekankan pentingnya konsistensi dalam pemilihan parameter GWP. Dalam pelaporan resmi, seperti *National GHG Inventory, Biennial Update Report* (BUR), atau dokumen perencanaan mitigasi daerah, penggunaan satu set GWP yang seragam sangat dianjurkan untuk menjamin transparansi, akuntabilitas, dan keterbandingan. Jika terdapat kebutuhan untuk menyajikan hasil berdasarkan beberapa versi GWP, hal tersebut sebaiknya dilakukan dalam bentuk analisis sensitivitas, bukan sebagai hasil akhir yang dicampur.

Oleh karena itu, apabila hasil perhitungan dari SIGNSMART akan digunakan dalam pelaporan resmi, sangat disarankan untuk menyertakan penjelasan metodologis yang eksplisit mengenai nilai GWP yang digunakan. Jika memang sistem menggunakan GWP CH₄ = 34 dan N₂O = 298, maka hal ini perlu dinyatakan secara terbuka dalam dokumen pelaporan, disertai dengan catatan bahwa kombinasi tersebut tidak berasal dari satu sumber IPCC tunggal.

Alternatif yang lebih tepat adalah menyesuaikan sistem agar menggunakan satu set GWP yang konsisten, misalnya GWP AR4 (jika mengikuti standar UNFCCC saat ini), atau GWP AR6 (jika ingin mengadopsi pendekatan ilmiah terbaru).

Dengan demikian, menjaga konsistensi dalam penggunaan GWP bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga menyangkut integritas ilmiah dan kredibilitas pelaporan emisi GRK. Hal ini menjadi semakin penting dalam konteks pelaporan daerah Kota Surabaya, yang berupaya menyelaraskan inventarisasi GRK dengan standar nasional dan internasional.

1. Pembakaran Bahan Bakar di Pembangkit Listrik (1A1a) Kota Surabaya

a. Inventarisasi Data Aktivitas Pembakaran Bahan Bakar di Pembangkit Listrik (1A1a) Kota Surabaya

Sub-sektor ini mencakup emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari adanya aktivitas untuk menghasilkan listrik pada PSEL Benowo. Aktivitas ini mempunyai konsep waste to energy, yaitu pengolahan sampah menjadi energi. Bahan bakar yang digunakan adalah sampah domestik yang dikategorikan sebagai other biomass. Kapasitas pengolahan sampah pada PSEL Benowo adalah maksimal 1000 ton per hari, sehingga total dalam setahun sampah yang digunakan sebagai bahan bakar kurang lebih 350 juta ton.

Tabel 3. 1 Pembakaran Bahan Bakar di Pembangkit Listrik (1A1a) Kota Surabaya

TAHUN	HSD (kilo liter)	IDO (kilo liter)	MFO (kilo liter)	Batu Bara (ton)	Gas Alam (MMSCF)	Other Biomass (ton)
2024	0	0	0	0	0	355,400
2023	0	0	0	0	0	322,445
2022	0	0	0	0	1,534	0

Sumber: Signsmart, 2025

b. Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar pada Pembangkit Listrik (1A1a) di Kota Surabaya

Sub Sektor **1A1a** mencakup seluruh kegiatan pembakaran bahan bakar yang berlangsung dalam proses untuk menghasilkan panas dan listrik. Tabel perhitungan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di atas menunjukkan hasil kalkulasi emisi dari pembakaran bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan. Pada periode inventarisasi, bahan bakar fosil seperti HSD, IDO, MFO, batubara, dan gas alam tidak menunjukkan adanya konsumsi maupun emisi, yang mengindikasikan tidak adanya penggunaan langsung atau keterbatasan data aktivitas pada sumber emisi yang dihitung. Sementara itu, konsumsi energi tercatat berasal dari bahan bakar biomassa lainnya (*other biomass*) sebesar 355.400 unit yang setelah dikonversi menghasilkan konsumsi energi sebesar 10.377,68 TJ. Pembakaran biomassa tidak menghasilkan emisi CO₂ fosil sehingga emisi CO₂ tercatat sebesar 0,00 Gg, sesuai dengan pedoman IPCC yang menganggap CO₂ dari biomassa bersifat netral karbon. Namun demikian, pembakaran biomassa tetap menghasilkan emisi non-CO₂, yaitu CH₄ sebesar 0,31 Gg dan N₂O sebesar 0,04 Gg, yang berkontribusi terhadap pemanasan global karena memiliki nilai Global Warming Potential (GWP) yang tinggi. Dengan demikian, emisi GRK pada sumber ini didominasi oleh emisi CH₄ dan N₂O dari pembakaran biomassa, sehingga penilaian dampak iklim sangat bergantung pada konversi emisi tersebut ke dalam satuan CO₂-ekivalen (CO₂e) menggunakan nilai GWP yang konsisten.

Tabel 3. 2 Pembakaran Bahan Bakar pada Pembangkit Listrik (1A1a) di Kota Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO2		CH4		N2O	
	A	B	C = A x B	D	E = C x D / 10(6)	F	G = C x F / 10(6)	H	I = C x H / 10(6)
	Consumption	Conversion Factor	Consumption	CO2 Emission Factor	CO2 Emissions	CH4 Emission Factor	CH4 Emissions	N2O Emission Factor	N2O Emissions
	(Mass, Volume, or Energy Unit)	TJ / Unit	TJ	kg CO2 / TJ	Gg CO2	kg CH4 / TJ	Gg CH4	kg N2O / TJ	Gg N2O
HSD	0	0.04	0.00	74,100	0.00	3	0.00	0.60	0.00
IDO	0	0.03	0.00	74,100	0.00	3	0.00	0.60	0.00
MFO	0	0.04	0.00	77,400	0.00	3	0.00	0.60	0.00
COAL	0	0.03	0.00	96,100	0.00	1	0.00	1.50	0.00
NATURAL_GAS	0	1.06	0.00	56,100	0.00	1	0.00	0.10	0.00
OTHER_BIOMASS	355,400	0.03	10,377.68	0	0.00	30	0.31	4.00	0.04

Sumber: Signsmart, 2025

2. Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2) Kota Surabaya

a. Inventarisasi Data Aktivitas Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2) Kota Surabaya

Pada tabel 3.3, sub-sektor ini mencakup emisi dari penggunaan bahan bakar dalam proses produksi di berbagai industri seperti kaca, baja, kimia, tekstil, dan makanan-minuman, serta aktivitas konstruksi. Keterisian data penggunaan bahan bakar pada industri dan manufaktur dapat diperoleh sejak tahun 2020. Pertumbuhan industri di Kota Surabaya juga cenderung stabil karena fokus perekonomian Kota Surabaya lebih pada perdagangan dan jasa. Efisiensi energi serta substitusi bahan bakar menjadi faktor penting dalam menurunkan intensitas emisi sektor ini.

Pada gambar 3.5 dapat dilihat bahwa mulai tahun 2024 sudah tidak digunakan RON 88 atau bahan bakar premium di industri. Terjadi peningkatan penggunaan solar pada tahun dari tahun sebesar 361.871 kilo liter. Kenaikan paling besar terdapat pada penggunaan gas alam yang tertinggi sejak tahun 2020 yaitu sebesar 500.539 MMSCF. Adapun untuk batu bara dan LPG mengalami penurunan konsumsi bahan bakar yang cukup signifikan yaitu 27.689 ton dan 553 ton pada LPG.

Tabel 3. 3 Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2) Kota Surabaya

TAHUN	RON 88 (kilo liter)	Solar (kilo liter)	Minyak Diesel (kilo liter)	Marine Fuel Oil (kilo liter)	Minyak Tanah (kilo liter)	Gas Alam (MMSCF)	LPG (Ton)	Batu Bara (Ton)	Biomass Lainnya (Ton)
2024	0	361,871	0	0	0	500,539	553	27,689	4,091
2023	10,595	279,168	0	0	106	0	0	0	0
2022	13,072	853,954	0	0	107	19,435	6,692	1,501,114	1,209
2021	13,050	681,459	0	0	81	18,490	6,382	1,501,114	1,149
2020	0	560,650	0	0	0	217	97	1,501,114	1,092

Sumber: Signsmart, 2025



Gambar 3. 5 Grafik Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi

Sumber: Diolah Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2025

b. Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2) Kota Surabaya

Kalkulasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari pembakaran bahan bakar pada subsektor industri manufaktur dan konstruksi (Kategori 1A2) di Kota Surabaya dilakukan berdasarkan data konsumsi bahan bakar dan pelumas yang digunakan dalam kegiatan produksi dan pembangunan. Jenis bahan bakar yang teridentifikasi dalam subsektor ini meliputi solar, gas alam (natural gas), LPG, batubara, serta biomassa lainnya, dengan tingkat konsumsi yang bervariasi sesuai intensitas aktivitas industri dan konstruksi.

Data konsumsi bahan bakar dan pelumas tersebut kemudian dikonversi ke dalam satuan energi (terajoule/TJ) menggunakan faktor konversi yang sesuai, dan selanjutnya dikalikan dengan faktor emisi masing-masing gas rumah kaca, yaitu CO₂, CH₄, dan N₂O, untuk memperoleh besaran emisi GRK. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gas alam dan solar

merupakan bahan bakar dengan konsumsi energi terbesar, sehingga menjadi kontributor utama emisi GRK pada subsektor manufaktur dan konstruksi di Kota Surabaya. Perhitungan ini mengacu pada metodologi IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, sehingga hasil estimasi emisi dapat digunakan sebagai dasar analisis kontribusi subsektor industri terhadap total emisi GRK.

Berdasarkan tabel 3.4 perhitungan emisi GRK subsektor manufaktur dan konstruksi di atas (1A2), jenis bahan bakar yang berkontribusi nyata terhadap emisi GRK adalah Solar (diesel), Gas Alam (Natural Gas), LPG, Batubara, dan biomassa lainnya. Sementara itu, bahan bakar seperti Premium, Diesel Oil, Marine Fuel Oil, dan Kerosene tidak menunjukkan konsumsi dan emisi pada periode perhitungan.

**Tabel 3. 4 Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2)
Kota Surabaya**

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO2		CH4		N2O	
	A	B	C = A x B	D	E = C x D / 10(6)	F	G = C x F / 10(6)	H	I = C x H / 10(6)
	Consumption	Conversion Factor	Consumption	CO2 Emission Factor	CO2 Emissions	CH4 Emission Factor	CH4 Emissions	N2O Emission Factor	N2O Emissions
	(Mass, Volume, or Energy Unit)	TJ / Unit	TJ	kg CO2 / TJ	Gg CO2	kg CH4 / TJ	Gg CH4	kg N2O / TJ	Gg N2O
PREMIUM	0	0.03	0.00	69,300	0.00	3	0.00	0.60	0.00
SOLAR	361,871	0.04	13,787.29	74,100	1,021.64	4	0.05	0.36	0.00
DIESEL_OIL	0	0.04	0.00	74,100	0.00	3	0.00	0.60	0.00
MARINE_FUEL_OIL	0	0.04	0.00	77,400	0.00	3	0.00	0.60	0.00
KEROSENE	0	0.03	0.00	71,900	0.00	3	0.00	0.60	0.00
NATURAL_GAS	500,539	1.06	528,068.65	56,100	29,624.65	1	0.53	0.10	0.05
LPG	553	0.05	27.71	63,100	1.75	1	0.00	0.10	0.00
COAL	27,689	0.03	694.99	96,100	66.79	10	0.01	1.50	0.00
OTHER_BIOMASS	4,091	0.03	119.46	0	0.00	30	0.00	4.00	0.00

Sumber: Signsmart, 2025

Secara umum, Gas Alam (Natural Gas) merupakan sumber emisi GRK terbesar, diikuti oleh Solar dan Batubara, terutama untuk emisi CO₂, sebagai gas rumah kaca dominan pada subsektor ini. Adapun analisis Emisi per Jenis Bahan Bakar :

1) Solar (Diesel)

Solar dengan konsumsi energi sebesar 13.787,29 TJ menghasilkan emisi CO₂ sebesar 1.021,64 Gg CO₂, menjadikannya salah satu penyumbang besar emisi GRK subsektor manufaktur dan konstruksi. Selain CO₂, Solar juga menghasilkan emisi CH₄ (0,05 Gg) dan N₂O dalam jumlah sangat kecil. Walaupun kontribusi CH₄ dan N₂O relatif kecil secara massa, kedua gas ini memiliki GWP yang jauh lebih tinggi dibanding CO₂, sehingga tetap berkontribusi terhadap total emisi setara CO₂ (CO₂e).

2) Natural Gas (Gas Alam)

Natural Gas merupakan kontributor emisi GRK terbesar pada tabel ini. Dengan konsumsi energi sebesar 528.068,65 TJ, emisi yang dihasilkan mencapai 29.624,65 Gg CO₂. Emisi CH₄ sebesar 0,53 Gg dan N₂O sebesar 0,05 Gg juga tercatat, terutama berasal dari proses pembakaran dan potensi kebocoran gas. Besarnya kontribusi gas alam disebabkan oleh: tingginya volume konsumsi energi, penggunaan luas dalam proses produksi industri dan konstruksi, intensitas energi yang tinggi meskipun faktor emisi CO₂ per TJ lebih rendah dibanding batubara.

3) LPG

LPG menunjukkan konsumsi energi relatif kecil (27,71 TJ) dengan emisi CO₂ sebesar 1,75 Gg CO₂ dan emisi CH₄ serta N₂O yang sangat minimal. LPG berkontribusi kecil terhadap total emisi GRK subsektor ini dan tergolong sebagai bahan bakar dengan intensitas emisi yang lebih rendah dibanding solar dan batubara.

4) Batubara

Batubara dengan konsumsi energi 694,99 TJ menghasilkan emisi CO_2 sebesar 66,79 Gg CO_2 . Meskipun konsumsi energinya tidak sebesar gas alam, batubara memiliki faktor emisi CO_2 tertinggi (96.100 kg CO_2 /TJ) serta faktor emisi CH_4 dan N_2O yang lebih besar dibanding bahan bakar fosil lainnya. Hal ini menjadikan batubara sebagai bahan bakar dengan intensitas pemanasan global paling tinggi per satuan energi.

5) Biomassa Lainnya

Biomassa menghasilkan emisi CH_4 dan N_2O , namun tidak menghasilkan emisi CO_2 fosil. Dalam inventarisasi GRK, CO_2 dari biomassa umumnya dianggap netral karbon, meskipun emisi CH_4 dan N_2O tetap diperhitungkan karena berkontribusi terhadap pemanasan global.

c. Kaitan dengan Global Warming Potential (GWP)

Dalam perhitungan dampak emisi GRK terhadap perubahan iklim, emisi masing-masing gas dikonversi ke dalam CO_2 ekuivalen (CO_2e) menggunakan nilai Global Warming Potential (GWP) 100 tahun IPCC:

$$\text{CO}_2 = 1$$

$$\text{CH}_4 = 28$$

$$\text{N}_2\text{O} = 265$$

Dengan GWP tersebut:

- CO_2 tetap menjadi kontributor utama CO_2e karena jumlah emisinya sangat besar, terutama dari gas alam dan solar.
- CH_4 , meskipun emisinya jauh lebih kecil secara massa, memiliki dampak pemanasan global yang signifikan karena GWP-nya 28 kali CO_2 .

- N_2O , walaupun volumenya sangat kecil, memiliki efek pemanasan global paling besar per satuan massa akibat nilai GWP yang sangat tinggi (265).

Konsekuensinya, sumber emisi dari batubara dan gas alam tidak hanya signifikan dari sisi CO_2 , tetapi juga dari kontribusi CH_4 dan N_2O terhadap total CO_2e , terutama pada pembakaran energi skala industri.

3. Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya

a. Inventarisasi Data Aktivitas Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya

Inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sektor energi Kota Surabaya menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar minyak (BBM) merupakan faktor utama pembentuk emisi GRK, khususnya dari subsektor transportasi dan aktivitas energi berbasis pembakaran fosil. Dalam periode 2000–2003, konsumsi BBM dan emisi GRK masih relatif rendah, seiring dengan terbatasnya aktivitas transportasi dan pertumbuhan perkotaan.

Memasuki periode 2019–2022, terjadi peningkatan signifikan penggunaan BBM yang sejalan dengan tingginya aktivitas ekonomi, mobilitas penduduk, dan pertumbuhan kendaraan bermotor. Kondisi ini berdampak langsung pada meningkatnya emisi GRK sektor energi, terutama dari subsektor transportasi, yang menjadi salah satu penyumbang utama emisi kota.

Pada periode 2023–2024, meskipun konsumsi BBM masih berada pada tingkat yang tinggi, emisi GRK sektor energi—khususnya subsektor transportasi—menunjukkan penurunan yang cukup tajam. Hal ini mengindikasikan adanya perubahan pola konsumsi energi, peningkatan efisiensi penggunaan BBM, perbaikan teknologi kendaraan, serta kemungkinan perbedaan

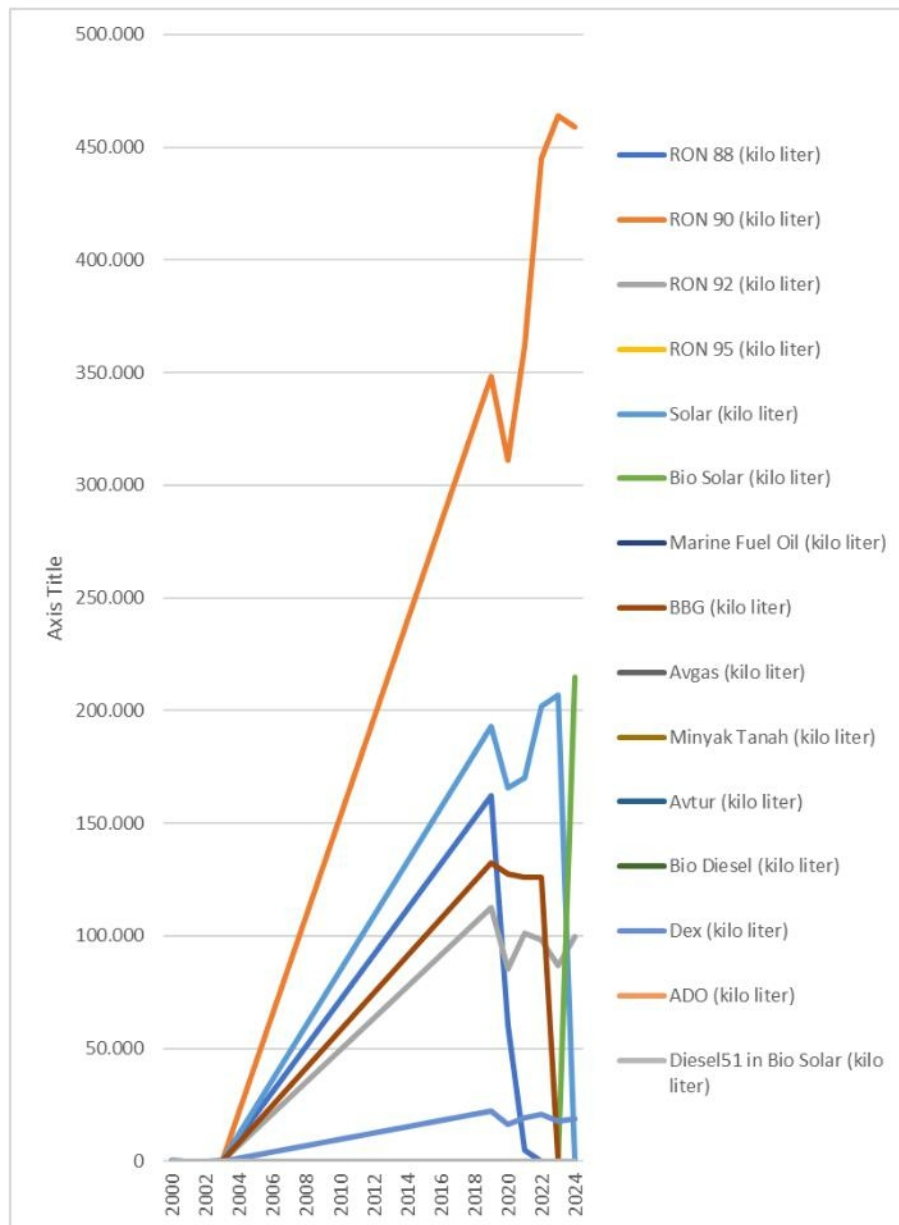
cakupan dan metode perhitungan emisi dalam inventarisasi GRK.

Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan bahwa ketergantungan Kota Surabaya terhadap BBM fosil masih cukup tinggi dan berpotensi terus mendorong emisi GRK apabila tidak diimbangi dengan upaya mitigasi. Oleh karena itu, pengendalian emisi GRK kota perlu diarahkan pada pengurangan penggunaan BBM fosil melalui pengembangan transportasi berkelanjutan, peningkatan efisiensi energi, serta transisi menuju energi yang lebih rendah karbon.

Tabel 3. 5 Analisis Statistik Data Aktivitas Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya

TAHUN	RON 88 (kilo liter)	RON 90 (kilo liter)	RON 92 (kilo liter)	RON 95 (kilo liter)	Solar (kilo liter)	Bio Solar (kilo liter)	Marine Fuel Oil (kilo liter)	BBG (kilo liter)	Avgas (kilo liter)	Minyak Tanah (kilo liter)	Avtur (kilo liter)	Bio Diesel (kilo liter)	Dex (kilo liter)	ADO (kilo liter)	Diesel51 in Bio Solar (kilo liter)
2024	0	459,024	99,815	0	0	214,921	0	0	0	0	0	0	18,593	0	0
2023	0	464,100	86,600	0	207,000	0	0	0	0	0	0	0	17,800	0	0
2022	0	445,000	98,000	0	201,800	0	0	125,900	0	0	0	0	20,600	0	0
2021	5,100	361,800	101,100	0	170,300	0	0	126,200	0	0	0	0	19,100	0	0
2020	60,300	311,100	85,100	0	165,900	0	0	127,700	0	100	0	0	16,300	0	0
2019	162,200	348,400	112,500	0	193,200	0	0	132,600	0	100	0	0	22,400	0	0
2003	234	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber: Signsmart, 2025



Gambar 3. 6 Grafik Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi

Sumber: Diolah Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2025

b. Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya

Sektor 1A2 mencakup seluruh kegiatan pembakaran bahan bakar yang berlangsung dalam proses transportasi, baik transportasi darat, laut dan udara. Untuk Kota Surabaya, transportasi terbatas hanya di darat sehingga pada Tabel 3.6 di atas kalkulasi emisi gas rumah kaca menyajikan data konsumsi energi dari dua belas jenis bahan bakar yang

digunakan dalam sektor ini, yaitu Premium, Pertalite, Pertamina, Pertamina Plus, Solar, Bio Solar, Marine Fuel Oil, Bahan bakar Gas, Kerosene, Bio Diesel, Dex, Ado, Diesel51 Bio Solar. Setiap jenis bahan bakar dikonversi ke satuan energi terajoule (TJ) menggunakan koefisien konversi spesifik, yang kemudian menjadi dasar untuk menghitung emisi masing-masing gas rumah kaca: karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Perhitungan emisi CO_2 dilakukan dengan mengalikan total konsumsi energi (TJ) dengan faktor emisi CO_2 ($\text{kg CO}_2/\text{TJ}$), lalu dikonversi ke satuan gigagram (Gg). Hasilnya menunjukkan bahwa total emisi CO_2 dari sektor ini mencapai 1935,63 Gg. Emisi CH_4 dan N_2O dihitung secara terpisah menggunakan faktor emisi masing-masing gas, menghasilkan total emisi CH_4 sebesar 0.66 Gg dan N_2O sebesar 0.09 Gg.

Tabel 3. 6 Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca Pembakaran Bahan Bakar Untuk Transportasi (1A3) Kota Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO2		CH4		N2O	
	A	B	C = A x B	D	E = C x D / 10(6)	F	G = C x F / 10(6)	H	I = C x H / 10(6)
	Consumption	Conversion Factor	Consumption	CO2 Emission Factor	CO2 Emissions	CH4 Emission Factor	CH4 Emissions	N2O Emission Factor	N2O Emissions
	(Mass, Volume, or Energy Unit)	TJ / Unit	TJ	kg CO2 / TJ	Gg CO2	kg CH4 / TJ	Gg CH4	kg N2O / TJ	Gg N2O
PREMIUM	0	0.03	0.00	69,3	0.00	33	0.00	3.20	0.00
PERTALITE	459,024	0.03	15,606.82	69,3	1,081.55	33	0.52	3.20	0.05
PERTAMAX	99,815	0.03	3,293.90	69,3	228.27	33	0.11	3.20	0.01
PERTAMAX_PLUS	0	0.03	0.00	69,3	0.00	33	0.00	3.20	0.00
SOLAR	0	0.04	0.00	74,1	0.00	4	0.00	3.90	0.00
BIO_SOLAR	214,921	0.04	7,737.16	74,1	573.32	4	0.03	3.90	0.03
MARINE_FUEL_OIL	0	0.04	0.00	77,4	0.00	1	0.00	2.00	0.00
BBG	0	1.06	0.00	56,1	0.00	92	0.00	3.00	0.00
AVGAS	0	0.03	0.00	69,3	0.00	1	0.00	2.00	0.00
KEROSENE	0	0.03	0.00	71,9	0.00	1	0.00	2.00	0.00
JET_KEROSENE	0	0.03	0.00	71,5	0.00	1	0.00	2.00	0.00
BIO_DIESEL	0	0.03	0.00	0	0.00	30	0.00	4.00	0.00
DEX	18,593	0.04	708.39	74,1	52.49	4	0.00	3.90	0.00
ADO	0	0.04	0.00	74,1	0.00	74,1	0.00	3.90	0.00
DIESEL51_BIO_SOLAR	0	0.04	0.00	74,1	0.00	4	0.00	3.90	0.00

Sumber : Signsmart, 2025

4. CRF dan KCA Sektor Energi

a. *Common Reporting Format (CRF)*

Subbab ini menyajikan inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor energi di Kota Surabaya dengan menggunakan pendekatan *Common Reporting Format (CRF)* sebagaimana diadopsi dalam sistem pelaporan nasional. Tabel yang disajikan mengklasifikasikan emisi berdasarkan dua kategori utama, yaitu 1A. *Fuel Combustion Activities* dan 1B. *Fugitive Emissions from Fuels*, masing-masing mencerminkan sumber emisi dari pembakaran bahan bakar dan dari pelepasan tak terkendali selama proses ekstraksi, pemrosesan, dan distribusi bahan bakar fosil. Setiap subkategori dilaporkan dalam satuan gigagram (Gg) untuk tiga jenis gas utama—karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan dinitrogen oksida (N₂O)—serta total ekuivalen CO₂ (CO₂Eq) yang dihitung berdasarkan hasil perhitungan pada subbab sebelumnya.

Tabel 3. 7 *Common Reporting Format (CRF) Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Energi Kota Surabaya Tahun 2024*

Kategori	CO2 (Gg)	CH4 (Gg)	N2O (Gg)	CO2 Eq (Gg)
1A. Fuel Combustion Activities				
1A1a. Electricity and Heat Production	0.00	0.31	0.04	19.41
1A1b. Oil and Gas Industries	0.00	0.00	0.00	0.00
1A1c. Coal Processing	0.00	0.00	0.00	0.00
1A2. Manufacturing Industries and Construction	30,714.83	0.59	0.06	30,745.65
1A3. Transport	1,935.63	0.66	0.09	1,978.35
1A4a. Commercial / Institutional	0.00	0.00	0.00	0.00
1A4b. Residential	0.00	0.00	0.00	0.00
1A5. Non-Specified	0.00	0.00	0.00	0.00
1B. Fugitive Emissions from Fuels				
1B1. Solid Fuel		0.00		0.00
1B2a. Fugitive Emissions: Oil and Natural Gas	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	32,650.46	1.56	0.19	32,743.41

Sumber : Signsmart, 2025

Secara keseluruhan, total emisi GRK dari sektor energi Kota Surabaya pada tahun pelaporan mencapai 32.743,41Gg CO₂

Eq yang keseluruhan 100% merupakan kontribusi dari kategori *Fuel Combustion Activities* dari total emisi sektor energi. Subkategori 1A2. *Manufacturing Industries and Construction* merupakan kontributor dominan dengan emisi sebesar 30,745.65 GgCO₂eq, atau sekitar 93,89% dari total sektor energi. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas industri dan konstruksi di Kota Surabaya masih sangat bergantung pada energi berbasis fosil, terutama solar dan gas alam, yang menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar.

Subkategori berikutnya sektor Transportasi (1A3) menyumbang 1,978.35 Gg CO₂ Eq (6,04%), dengan kontribusi signifikan dari CH₄ dan N₂O yang berasal dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, terutama bensin dan solar. Sektor produksi panas dan listrik (1A. *Electricity and Heat Production*) menghasilkan emisi sebesar 19.41 GgCO₂eq, yang meskipun relatif kecil (0.059%), tetap penting dalam konteks efisiensi energi dan transisi ke energi bersih di tingkat individu.

b. Key Category Analysis (KCA) pada Sektor Energi

Key Category Analysis (KCA) merupakan metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi **kategori sumber emisi GRK yang paling berkontribusi** terhadap total emisi, sehingga menjadi prioritas dalam perencanaan mitigasi. Tabel KCA sektor energi Kota Surabaya menunjukkan kontribusi emisi non-LULUCF berdasarkan kategori sumber IPCC, dengan analisis dalam bentuk persentase kontribusi dan akumulasi (*assessment* dan *cumulative*). Hasil KCA memperlihatkan bahwa **seluruh emisi sektor energi berasal dari emisi non-LULUCF**, sementara emisi dari sektor LULUCF tidak tercatat pada periode inventarisasi. Dengan demikian, penilaian kontribusi kategori sumber dilakukan sepenuhnya berdasarkan emisi non-LULUCF.

Tabel 3. 8 Key Category Analysis (KCA) Sektor Energi

No.	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	1A2	Manufacturing Industry and Construction	30,745.65		30,745.65	93.90	0.00	93.90	0.00
2	1A3	Transport	1,978.35		1,978.35	6.04	93.90	6.04	93.90
3	1A1a	Main activity electricity and heat production	19.41		19.41	0.06	99.94	0.06	99.94
4	1A1b	Oil and Gas Industries (Upstream and Petroleum & Gas Refinery)	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
5	1A1c	Coal Processing	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
6	1A4a	Commercial / Institutional	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
7	1A4b	Residential	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
8	1A5	Non-specified	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
9	1B1	Underground and surface coal mining and handling	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
10	1B2	Fugitive emissions: oil	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : Signs smart, 2025

Struktur dan Kontributor Utama Emisi (*Key Categories*) sebagaimana pada tabel di atas dijelaskan di bawah ini :

1) Industri Manufaktur dan Konstruksi (1A2)

Kategori **1A2 (*Manufacturing Industry and Construction*)** merupakan **key category utama**, dengan emisi sebesar **30.745,65** atau **93,90%** dari total emisi sektor energi. Dominasi kategori ini menunjukkan bahwa aktivitas industri dan konstruksi di Kota Surabaya memiliki intensitas penggunaan energi yang sangat tinggi, terutama dari pembakaran bahan bakar pada proses produksi, penggunaan mesin, serta kegiatan pembangunan fisik.

Secara spasial dan ekonomi, Surabaya berperan sebagai pusat industri, perdagangan, dan logistik di Jawa Timur, dengan konsentrasi kegiatan manufaktur skala besar dan menengah. Kondisi ini menjelaskan tingginya kontribusi 1A2 terhadap total emisi GRK sektor energi. Dalam konteks inventarisasi, kategori ini memiliki **posisi kunci (*key category*)** karena perubahan kecil dalam tingkat emisinya akan berdampak besar pada total emisi kota.

2) Transportasi (1A3)

Kategori **1A3 (*Transport*)** menjadi kontributor terbesar kedua dengan emisi sebesar **1.978,35** atau **6,04%** dari total emisi sektor energi. Emisi ini berasal dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor untuk mobilitas orang dan barang.

Meskipun Surabaya merupakan kota metropolitan dengan tingkat mobilitas tinggi, kontribusi transportasi relatif lebih kecil dibandingkan industri. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

- Konsentrasi emisi industri yang jauh lebih besar,

- Implementasi kebijakan transportasi perkotaan seperti pengembangan angkutan umum, manajemen lalu lintas, dan program efisiensi energi,
- Keterbatasan cakupan data konsumsi bahan bakar tertentu dalam inventarisasi transportasi.

Namun demikian, karena transportasi menyumbang lebih dari 5% total emisi sektor energi, kategori ini tetap diklasifikasikan sebagai **key category** dan relevan untuk strategi mitigasi jangka menengah.

3) Pembangkitan Listrik dan Panas (1A1a)

Kategori **1A1a (*Main activity electricity and heat production*)** hanya menyumbang emisi sebesar **19,41** atau sekitar **0,06%**. Kontribusi yang sangat kecil ini mengindikasikan bahwa sebagian besar aktivitas pembangkitan listrik dan panas **tidak berada dalam batas administrasi Kota Surabaya**, melainkan disuplai dari sistem kelistrikan regional di luar wilayah kota. Oleh karena itu, emisi dari pembangkitan energi tidak menjadi faktor dominan dalam struktur emisi energi kota.

4) Kategori Lainnya

Kategori sumber emisi lain dalam sektor energi, seperti **industri minyak dan gas (1A1b), pengolahan batubara (1A1c), komersial dan institusional (1A4a), permukiman (1A4b), aktivitas non-spesifik (1A5), serta emisi fugitif dan pertambangan (1B1 dan 1B2)** tercatat memiliki emisi **noI**. Hal ini menunjukkan bahwa:

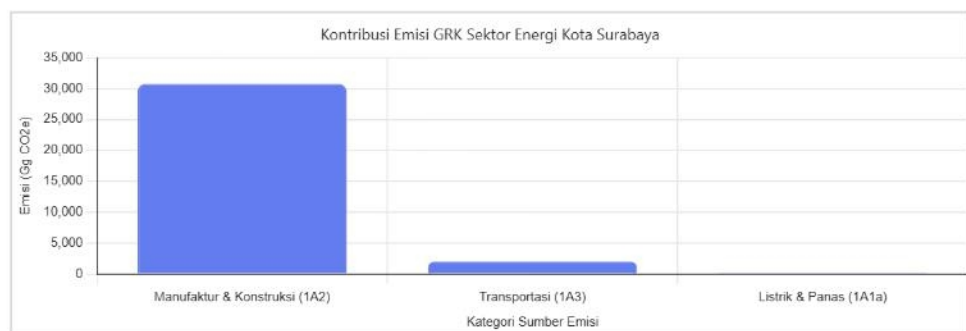
- Aktivitas tersebut tidak signifikan di wilayah Surabaya, atau
- Data aktivitas belum tercakup dalam sistem inventarisasi pada tahun pelaporan.

5) Analisis Kumulatif dan Implikasi KCA

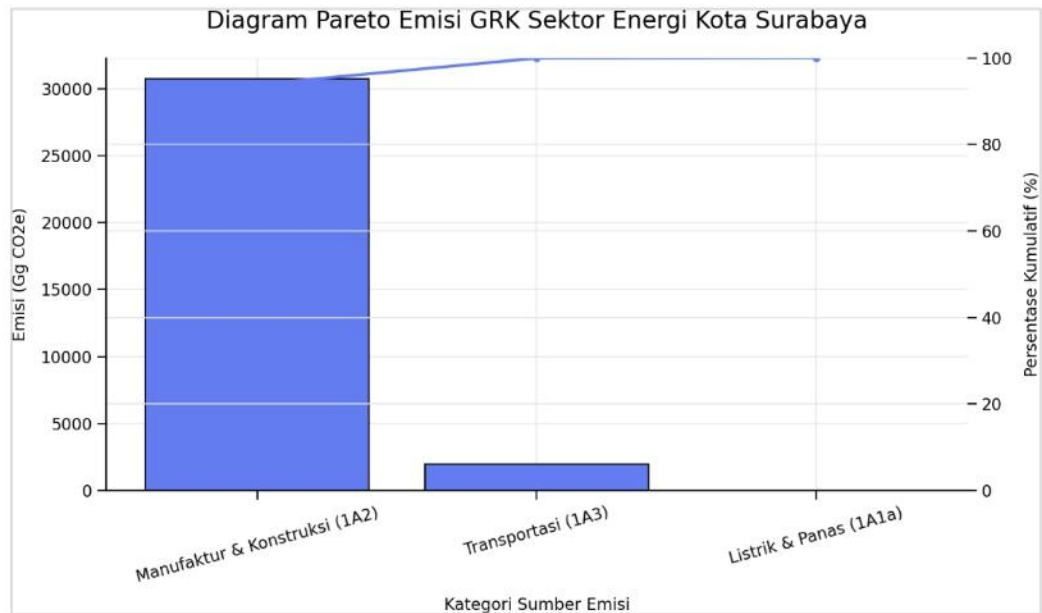
Secara kumulatif, **dua kategori teratas (1A2 dan 1A3)** telah mencakup **lebih dari 99% total emisi sektor energi**. Pola ini menunjukkan bahwa struktur emisi sektor energi Kota Surabaya **sangat terkonsentrasi**, sehingga pendekatan mitigasi yang terfokus pada sedikit kategori sumber dapat memberikan dampak pengurangan emisi yang signifikan. Dalam konteks KCA, kondisi ini menguntungkan dari sisi perencanaan kebijakan, karena:

- Prioritas mitigasi dapat diarahkan secara lebih efisien,
- Sumber daya kebijakan dan pendanaan dapat difokuskan pada subsektor dengan dampak terbesar.

Berdasarkan *Key Category Analysis*, sektor energi Kota Surabaya didominasi oleh **emisi dari industri manufaktur dan konstruksi (1A2)**, diikuti oleh **transportasi (1A3)**. Kedua kategori tersebut merupakan **key categories utama** yang menentukan arah tren emisi GRK sektor energi. Oleh karena itu, kebijakan mitigasi emisi GRK Kota Surabaya perlu diprioritaskan pada pengendalian emisi industri dan transportasi agar upaya penurunan emisi dapat dilakukan secara efektif dan terukur.



Gambar 3. 7 Kontribusi Emisi GRK Sektor Energi Kota Surabaya
Sumber : Hasil Analisis, 2025



Gambar 3. 8 Diagram Pareti Emisi GRK Sektor Energi Kota Surabaya

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Diagram Pareto menunjukkan bahwa emisi GRK sektor energi Kota Surabaya sangat terkonsentrasi pada dua kategori sumber utama, yaitu industri manufaktur dan konstruksi (1A2) serta transportasi (1A3). Kedua kategori tersebut secara kumulatif menyumbang lebih dari 99% total emisi sektor energi, sehingga keduanya diklasifikasikan sebagai *key categories* dan menjadi prioritas utama dalam perencanaan serta implementasi kebijakan mitigasi emisi GRK kota

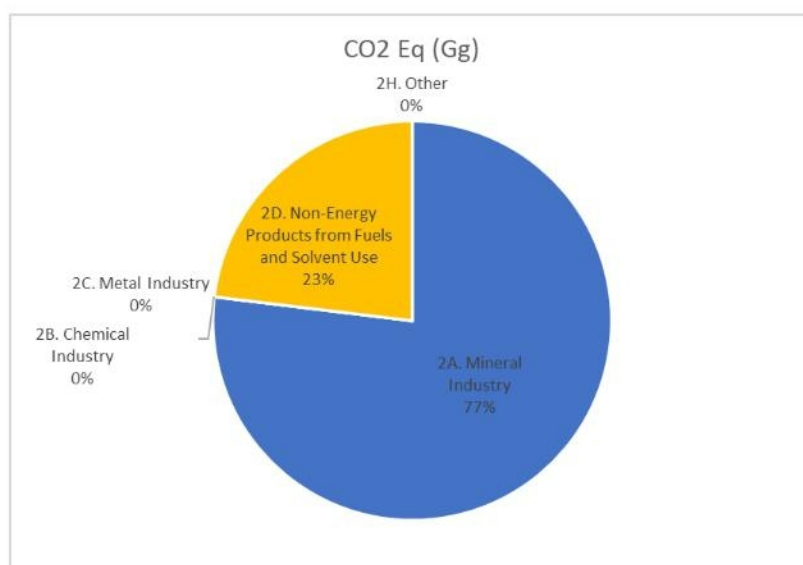
B. Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk

Kontribusi emisi gas rumah kaca (GRK) yang berasal dari aktivitas proses industri dan penggunaan produk di Kota Surabaya menghasilkan emisi melalui transformasi kimiawi bahan baku, reaksi dekarbonasi, dan penggunaan produk tertentu yang melepaskan gas emisi secara difus. Emisi dari sektor ini bersifat non-energi dan umumnya berasal dari proses produksi material seperti semen, kaca, keramik, pulp dan kertas, serta dari konsumsi pelumas, parafin, dan senyawa karbonat lainnya.

Pendekatan metodologis dalam inventarisasi sektor ini mengacu pada pedoman IPCC dan KLH, dengan mempertimbangkan data aktivitas berupa volume produksi dan konsumsi bahan kimia yang relevan. Pengumpulan dan analisis data pada bagian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh sumber emisi proses industri teridentifikasi secara komprehensif, transparan, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dalam kerangka pelaporan GRK Emisi yang dihasilkan dari sektor industri berasal dari bahan baku yang digunakan pihak industri.

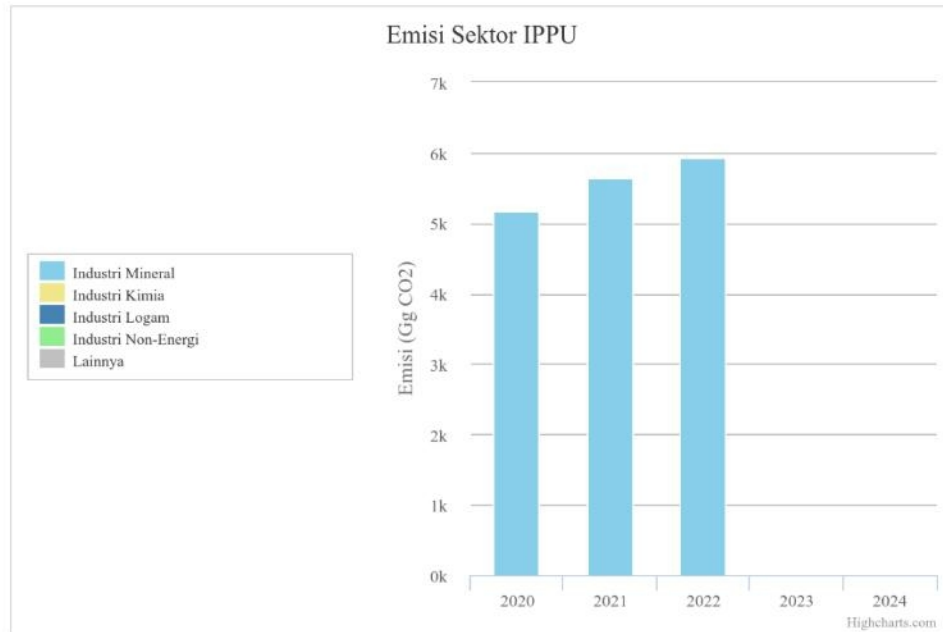
1. Emisi GRK Sektor IPPU Kota Surabaya

Emisi GRK sektor Industrial Processes and Product Use (IPPU) Kota Surabaya tahun 2023 dapat dilihat pada gambar chart di bawah ini, tercatat sebesar 15,25 Gg CO₂e, yang didominasi oleh sektor mineral dan industri sebesar 11,73 Gg CO₂e atau sekitar 77% dari total emisi sektor. Sub-sektor lainnya meliputi industri *Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use* (3,52 Gg CO₂e; 23%). Emisi dari sektor IPPU berasal dari proses produksi yang melibatkan reaksi kimia non-energi, seperti dekarbonisasi batu kapur dalam produksi semen dan kapur, serta penggunaan bahan kimia dan logam yang menghasilkan emisi langsung.



Gambar 3. 9 Profil Emisi Gas Rumah Kaca Sektor IPPU

Sumber : Hasil Analisis, 2026



Gambar 3. 10 Emisi Sektor IPPU

Sumber : Hasil Analisis, 2026

Grafik emisi sektor **Industrial Processes and Product Use (IPPU)** menggambarkan kontribusi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang berasal dari proses industri dan penggunaan produk di Kota Surabaya. Emisi pada sektor ini dihasilkan bukan dari pembakaran bahan bakar untuk energi, melainkan dari **reaksi kimia, penggunaan bahan baku tertentu, serta penggunaan produk yang melepaskan gas rumah kaca**. Total emisi GRK sektor IPPU yang tercatat sebesar **15,25 Gg CO₂-ekivalen**, seluruhnya berasal dari emisi **CO₂**, sementara emisi **CH₄** dan **N₂O** tidak teridentifikasi pada periode inventarisasi.

Subsektor **industri mineral (2A)** memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi IPPU, khususnya dari kategori **penggunaan soda ash untuk keperluan lain (2A4b)** sebesar **5,93 Gg CO₂-ekivalen** dan kategori **industri lainnya (2A4d)** sebesar **5,80 Gg CO₂-ekivalen**. Emisi ini umumnya berasal dari proses kimia penggunaan bahan berbasis karbonat yang melepaskan CO₂ selama proses industri. Sementara itu, kategori produksi semen, kapur, kaca, dan keramik tidak menunjukkan emisi, yang

mengindikasikan tidak adanya aktivitas signifikan atau tidak adanya fasilitas industri tersebut dalam batas administrasi Kota Surabaya.

Kontribusi emisi berikutnya berasal dari subsektor **produk non-energi dari bahan bakar dan penggunaan pelarut (2D)**, khususnya **penggunaan pelumas (2D1)** dengan emisi sebesar **3,52 Gg CO₂-ekivalen**. Emisi ini berasal dari degradasi dan pemanfaatan produk pelumas yang melepaskan karbon selama masa penggunaannya. Kategori penggunaan parafin dan pelarut lainnya tidak tercatat menghasilkan emisi pada periode pelaporan.

Pada subsektor **industri kimia (2B)** dan **industri logam (2C)**, seluruh kategori tercatat memiliki emisi nol. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas industri kimia berat, logam dasar, serta proses kimia spesifik yang menghasilkan emisi GRK tidak berkembang atau berada di luar ruang lingkup kegiatan industri di Kota Surabaya. Demikian pula pada kategori **lainnya (2H)** seperti industri pulp dan kertas serta pangan dan minuman, tidak teridentifikasi emisi IPPU yang signifikan.

Secara keseluruhan, struktur emisi sektor IPPU Kota Surabaya menunjukkan bahwa **kontribusinya relatif kecil dibandingkan sektor energi**, serta didominasi oleh **emisi CO₂ dari proses penggunaan bahan dan produk tertentu**, bukan dari proses industri skala besar. Meskipun demikian, emisi IPPU tetap perlu diperhitungkan secara konsisten karena mencerminkan karakteristik kegiatan industri perkotaan dan berpotensi meningkat seiring perkembangan aktivitas manufaktur dan jasa di Kota Surabaya.

2. Data Produksi

Subbab ini menyajikan data produksi dari berbagai subsektor industri yang relevan terhadap potensi emisi gas rumah kaca (GRK). Informasi ini mencakup volume output tahunan dari proses industri utama di Kota Surabaya, yang menjadi dasar perhitungan emisi proses non-energi, terutama dari transformasi kimia dan fisik bahan baku. Data produksi digunakan untuk mengestimasi emisi

berdasarkan faktor emisi spesifik per jenis proses dan produk. Di tahun 2024 ini tidak ada jenis produksi yang relevan yang diperoleh datanya.

3. Konsumsi Bahan baku dan pelumas

Pada subbab ini disampaikan bahwa data aktivitas pada industri di Kota Surabaya terbatas yang menimbulkan emisi GRK sangat terbatas. Data yang diperoleh adalah konsumsi pelumas pada berbagai sektor industri dan penggunaan konsumsi batu kapur, kalsium karbonat dan natrium karbonat soda abu pada sub sektor Industri Lainnya yang terdapat pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 di bawah ini

Gambar 3. 11 Pelumas dan Parafin pada berbagai Industri

Tahun	Konsumsi Pelumas (Ton)	Konsumsi Parafin (Ton)
2024	240	0
2023	24	0

Sumber: Signsmart, 2025

Gambar 3. 12 Konsumsi Karbonat pada Industri Lainnya

TAHUN	Batu Kapur (Ton)	Dolomit (Ton)	Kalsium Karbonat (Ton)	Natrium Karbonat Soda Abu (Ton)
2024	6,477	0	6,712	14,300
2023	0	0	147	1,268
2022	0	0	4,401	1,209
2021	0	0	8,567	1,052
2020	0	0	8,650	998

Sumber: Signsmart, 2025

4. Kalkulasi Emisi pada Sektor IPPU

Penggunaan pelumas industri di Provinsi Jawa Timur menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) sebesar 5,49 Gg. Meskipun kontribusinya relatif kecil dibandingkan subsektor industri berat lainnya, pencatatan emisi dari pelumas tetap penting dalam rangka menjaga kelengkapan dan akurasi inventarisasi gas rumah kaca (GRK) daerah. Berdasarkan data konsumsi sebesar 374 terajoule (TJ), serta kandungan karbon pelumas sebesar 20 ton-C/TJ, perhitungan emisi dilakukan dengan mempertimbangkan fraksi

oksidasi selama pemakaian (ODU factor) sebesar 0,20. Formula yang digunakan mengacu pada pendekatan IPCC 2006 (Vol.2, Ch.3), yaitu:

Emisi CO₂ = (Energi × Kandungan C × Fraksi Oksidasi) × (44/12). Pelumas industri, meskipun tidak sepenuhnya teroksidasi selama penggunaan, tetap menyumbang emisi proses melalui degradasi termal dan kontak dengan permukaan mesin. Oleh karena itu, fraksi oksidasi sebesar 20% mencerminkan proporsi karbon yang dilepaskan ke atmosfer dalam bentuk CO₂. Total emisi yang dihasilkan dari proses ini adalah 3,52 Gg CO₂ setelah konversi satuan yang tercantum apda tabel 3.9 di bawah ini. Dalam konteks pelaporan GRK, pelumas sering kali dikategorikan sebagai sumber emisi tidak langsung dari sektor energi dan industri. Meskipun volumenya kecil, pelumas memiliki karakteristik emisi yang tersebar dan sulit dikendalikan, sehingga pencatatannya memerlukan pendekatan konservatif dan berbasis asumsi standar.

Tabel 3. 9 Total Penggunaan Pelumas pada Sektor IPPU

A	B	C	D	E
Amount of Lubricant Consumed	Lubricant Carbon Content	Fraction Oxidized During Use (ODU factor)	CO2 Emissions	CO2 Emissions
(TJ)	(tonne-C / TJ)	(fraction)	(tonne CO2)	(Gg CO2)
240	20	0.20	3.520.00	3.52
Total				3,52

Sumber: Signsmart, 2025

Tabel 3. 10 Kalkulasi emisi pada Sektor IPPU

Type of Carbonate Use (tonne)	A	B	C	D
	Mass of Carbonate Consumed (tonne)	Emission Factor for Carbonate Consumption (tonne CO2 / tonne carbonate)	CO2 Emissions (tonne CO2)	CO2 Emissions (Gg CO2)
			C = A * B	D = C / 10 ^ 3
CALCIUM OXIDE	6.477	0.4397	2.847.94	2.85
CALCIUM CARBONATE	6.712	0.4397	2.951.27	2.95
DOLOMITE	0	0.4773	0.00	0.00
Total				5.80

Sumber: Signsmart, 2025

Tabel 3. 11 Total Penggunaan Sodium Carbonate Sektor IPPU

Type of Carbonate Use (tonne)	A	B	C	D
	Mass of Carbonate Consumed (tonne)	Emission Factor for Carbonate Consumption (tonne CO ₂ / tonne carbonate)	CO ₂ Emissions (tonne CO ₂) $C = A * B$	CO ₂ Emissions (Gg CO ₂) $D = C / 10^3$
SODIUM CARBONATE	14.300	0.4149	5.933.36	5.93
Total				5.93

Sumber: Signsmart, 2025

5. CRF dan KCA Sektor *Industrial Process and Product Use* (IPPU)

a. *Common Reporting Format* (CRF)

Tabel CRF IPPU Surabaya 2024 di bawah ini menunjukkan bahwa total emisi gas rumah kaca dari sektor proses industri dan penggunaan produk di Surabaya sebesar 15,25 Gg CO₂ ekuivalen, seluruhnya berasal dari emisi CO₂ tanpa kontribusi CH₄ dan N₂O. Emisi terutama bersumber dari industri mineral, khususnya penggunaan soda ash lainnya (5,93 Gg CO₂) dan kategori mineral lainnya (5,80 Gg CO₂), serta dari penggunaan pelumas (3,52 Gg CO₂) pada subsektor non-energi dari bahan bakar. Subkategori lain seperti produksi semen, industri kimia, logam, serta industri pulp, kertas, makanan, dan minuman tidak mencatat emisi IPPU yang signifikan, mencerminkan tidak adanya atau minimnya aktivitas industri proses berat di Surabaya pada tahun 2024.

Tabel 3. 12 Common Reporting Format (CRF) pada sektor IPPU

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
2A. Mineral Industry				
2A1. Cement Production	0.00			0.00
2A2. Lime Production	0.00			0.00
2A3. Glass Production	0.00			0.00
2A4a. Ceramics	0.00			0.00
2A4b. Other Uses of Soda Ash	5.93			5.93

Kategori	CO2 (Gg)	CH4 (Gg)	N2O (Gg)	CO2 Eq (Gg)
2A4c. Non-Metallurgical Magnesia Production				
2A4d. Other	5.80			5.80
2A5. Other				
2B. Chemical Industry				
2B1. Ammonia Production	0.00			0.00
2B2. Nitric Acid Production			0.00	0.00
2B3. Adipic Acid Production				
2B4. Caprolactam, Glyoxal, and Glyoxylic Acid Production				
2B5. Carbide Production	0.00			0.00
2B6. Titanium Dioxide Production				
2B7. Soda Ash Production				
2B8a. Methanol	0.00	0.00		0.00
2B8b. Ethylene	0.00	0.00		0.00
2B8c. Ethylene Dichloride and Vinyl Chloride Monomer	0.00	0.00		0.00
2B8d. Ethylene Oxide				
2B8e. Acrylonitrile				
2B8f. Carbon Black	0.00	0.00		0.00
2C. Metal Industry				
2C1. Iron and Steel Production	0.00	0.00		0.00
2C2. Ferroalloys Production				
2C3. Aluminium Production	0.00			0.00
2C4. Magnesium Production				
2C5. Lead Production	0.00			0.00
2C6. Zinc Production	0.00			0.00
2D. Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use				
2D1. Lubricant Use	3.52			3.52
2D2. Paraffin Wax Use	0.00			0.00
2D3. Solvent Use				
2H. Other				
2H1. Pulp & Paper Industry	0.00			0.00
2H2. Food and Beverages Industry	0.00			0.00
TOTAL	15.25	0.00	0.00	15.25

Sumber: Signsmart, 2025

b. Key Category Analysis (KCA) pada Sektor IPPU

Analisis kategori kunci pada tabel di bawah ini menunjukkan bahwa dari seluruh subsektor IPPU yang dinilai, hanya tiga kategori yang berkontribusi nyata terhadap total emisi

Non-LULUCF Surabaya, sementara kategori lainnya bernilai nol dan tidak berpengaruh terhadap penentuan kategori kunci. Kategori dengan kontribusi terbesar adalah 2A4b – *Mineral Industry: Other Process Uses of Carbonates* (2) dengan emisi 5,93 Gg CO₂, menyumbang 38,90% dari total emisi IPPU. Kategori ini menjadi kategori kunci utama karena secara individual memberikan porsi emisi paling besar. Posisi kedua adalah 2A4d – *Mineral Industry: Other Process Uses of Carbonates* (4) dengan emisi 5,80 Gg CO₂ atau 38,02%, sehingga secara kumulatif dua kategori industri mineral ini telah mencakup sekitar 76,92% dari total emisi IPPU. Hal ini menunjukkan bahwa emisi IPPU Surabaya sangat terkonsentrasi pada aktivitas penggunaan karbonat di industri mineral non-semen.

Kategori kunci ketiga adalah 2D1 – *Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use: Lubricant Use* dengan emisi 3,52 Gg CO₂ atau 23,08%. Setelah menambahkan kategori ini, cakupan kumulatif emisi mencapai 100%, sehingga ketiga kategori tersebut sepenuhnya mewakili profil emisi IPPU Surabaya.

Seluruh kategori lainnya, baik dari industri kimia, logam, maupun subsektor lainnya, memiliki emisi 0,00 Gg, sehingga tidak memengaruhi penentuan kategori kunci. Dengan demikian, hasil analisis menegaskan bahwa kategori kunci IPPU Surabaya 2024 terbatas pada industri mineral (penggunaan karbonat) dan penggunaan pelumas, sementara tidak terdapat kontribusi signifikan dari industri proses berat seperti semen, kimia besar, atau metal primer.

Tabel 3. 13 Key Category Analysis (KCA) pada Sektor IPPU

No.	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	2A4b	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 2	5.93		5.93	38.90	0.00	38.90	0.00
2	2A4d	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 4	5.80		5.80	38.02	38.90	38.02	38.90
3	2D1	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Lubricant Use	3.52		3.52	23.08	76.92	23.08	76.92
4	2B8b	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
5	2H2	Others - Food and Beverages	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
6	2H1	Others - Pulp and Paper	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
7	2D2	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Paraffin Wax Use	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
8	2C6	Metal Industry - Zinc Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
9	2C5	Metal Industry - Lead Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
10	2C3	Metal Industry - Aluminium Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
11	2C1	Metal Industry - Iron and Steel Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
12	2B8f	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
13	2B8c	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
14	2A1	Mineral Industry - Cement Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
15	2B8a	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
16	2B5	Chemical Industry - Carbide Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
17	2B2	Chemical Industry - Nitric Acid Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
18	2B1	Chemical Industry - Ammonia Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
19	2A4a	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 1	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
20	2A3	Mineral Industry - Glass Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
21	2A2	Mineral Industry - Lime Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

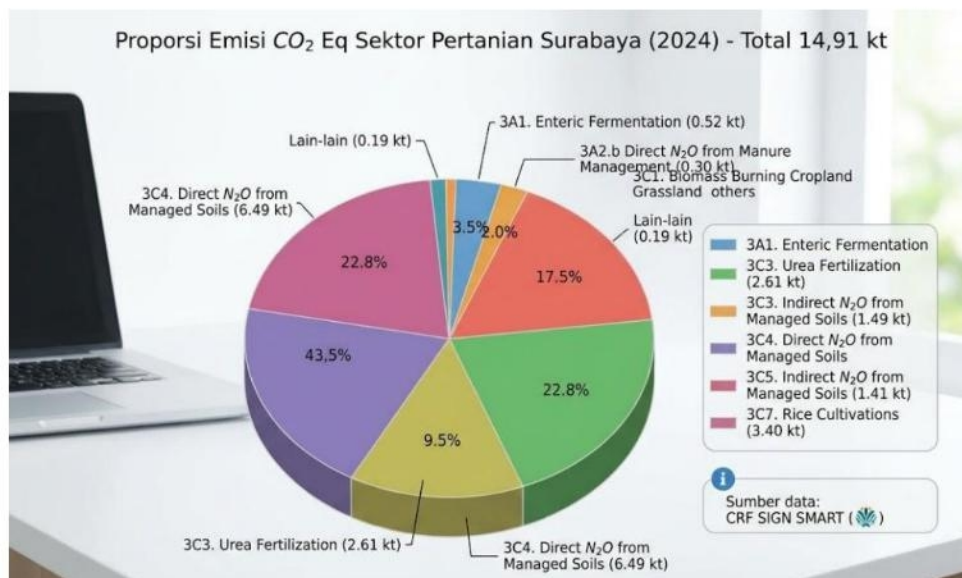
Sumber: Signs smart,

C. Sektor Pertanian

Dengan karakter sebagai kota metropolitan yang didominasi kawasan terbangun, sektor pertanian di Kota Surabaya memiliki peran yang relatif terbatas dibandingkan sektor perkotaan lainnya. Aktivitas pertanian umumnya berskala kecil, tersebar, dan lebih banyak berupa pertanian perkotaan, lahan sawah tersisa, peternakan rakyat skala kecil, serta kegiatan perikanan darat. Kondisi ini menyebabkan kontribusi emisi GRK sektor pertanian di Surabaya cenderung rendah, baik dari fermentasi enterik, pengelolaan kotoran ternak, maupun pengelolaan lahan pertanian. Meskipun demikian, inventarisasi emisi GRK sektor pertanian tetap penting untuk memberikan gambaran menyeluruh terhadap profil emisi kota, menjaga akurasi perhitungan emisi lintas sektor, serta mengidentifikasi potensi penguatan praktik pertanian rendah emisi yang selaras dengan pembangunan kota berkelanjutan.

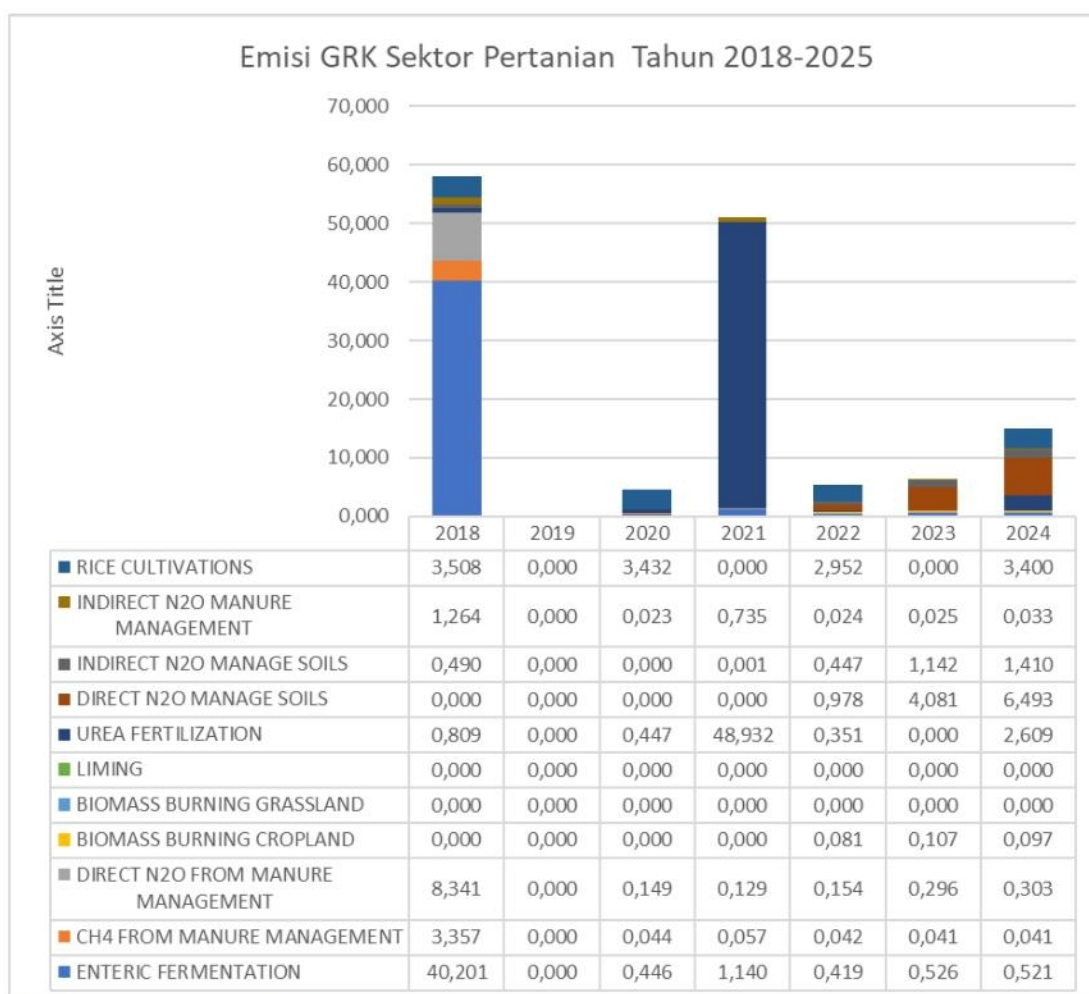
1. Emisi GRK Sektor Pertanian Kota Surabaya

Berdasarkan data yang disajikan, total emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian di Surabaya pada tahun 2024 mencapai 14,91 kt CO₂ Eq, di mana kontribusi terbesar berasal dari kategori 3C4. Direct N₂O from Managed Soils yang mendominasi sebesar 43,5% (6,49 kt). Posisi kedua ditempati oleh 3C7. Rice Cultivations dengan proporsi 22,8% (3,40 kt), disusul oleh 3C3. Urea Fertilization sebesar 17,5% (2,61 kt) dan 3C5. Indirect N₂O from Managed Soils sebesar 9,5% (1,41 kt). Sementara itu, kategori lainnya seperti fermentasi enterik (3A1) serta pengelolaan kotoran ternak dan pembakaran biomassa memiliki kontribusi yang jauh lebih kecil, yakni masing-masing di bawah 4%. Secara keseluruhan, diagram ini menunjukkan bahwa pengelolaan tanah dan budidaya padi merupakan sumber emisi karbon utama dalam aktivitas pertanian di wilayah Surabaya.



Gambar 3. 13 Emisi GRK Sektor Pertanian Kota Surabaya Tahun 2024

Sumber : Data Diolah, 2026



Sumber : Signsmart, 2025

Pada tabel di atas Selama periode **2018–2024**, emisi GRK sektor pertanian di Kota Surabaya menunjukkan **pola fluktuatif dengan kecenderungan rendah**, sejalan dengan karakter Surabaya sebagai kota metropolitan dengan keterbatasan lahan pertanian. Tahun **2018** merupakan tahun dengan emisi relatif paling tinggi pada beberapa sumber, sementara pada **2019** hampir seluruh sumber emisi tercatat **nol**, yang kemungkinan mencerminkan ketiadaan aktivitas, keterbatasan data, atau transisi metode pencatatan. Setelah 2020, emisi kembali muncul dalam skala kecil dan stabil hingga 2024.

a. Emisi dari Peternakan

- ***Enteric Fermentation*** merupakan sumber utama emisi pertanian pada 2018 (40,201), namun turun drastis pada tahun-tahun berikutnya dan relatif stabil pada kisaran **0,4–1,1** sejak 2020. Hal ini menunjukkan **penurunan signifikan populasi ternak besar** atau beralihnya aktivitas peternakan keluar wilayah kota.
- ***CH₄ dari Manure Management*** dan ***Direct/Indirect N₂O dari Manure Management*** mengikuti pola serupa: cukup tinggi di 2018, nol pada 2019, lalu kembali muncul dengan nilai kecil dan stabil hingga 2024. Ini menandakan bahwa peternakan yang tersisa bersifat **skala kecil dan tersebar**.

b. Emisi dari Pengelolaan Lahan Pertanian

- ***Rice Cultivations*** menunjukkan keberadaan **lahan sawah terbatas** di Surabaya, dengan emisi muncul pada 2018, 2020, 2022, dan 2024. Nilainya relatif konsisten (sekitar 3–3,5), mencerminkan luas sawah yang kecil dan tidak berkembang.
- ***Direct dan Indirect N₂O dari Managed Soils*** baru muncul signifikan mulai **2022 hingga 2024**, dengan

peningkatan cukup tajam terutama pada Direct N₂O (hingga 6,493 pada 2024). Ini mengindikasikan adanya **intensifikasi penggunaan pupuk nitrogen** pada lahan pertanian yang tersisa.

c. Pemupukan dan Aktivitas Lain

- **Urea Fertilization** menunjukkan lonjakan sangat tinggi pada **2021 (48,932)** yang bersifat anomali dibandingkan tahun lain. Lonjakan ini kemungkinan disebabkan oleh **kejadian spesifik**, seperti pemakaian urea dalam jumlah besar pada satu periode atau perbedaan pendekatan data. Setelah itu, nilainya kembali turun drastis.
- **Biomass Burning Cropland** baru tercatat sejak 2022 dengan nilai kecil ($<0,11$), menunjukkan adanya **pembakaran residu tanaman berskala sangat terbatas**.
- **Biomass Burning Grassland** dan **Liming** tidak menunjukkan emisi sepanjang periode, menandakan **tidak adanya praktik signifikan** pada kategori tersebut di Surabaya.

Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa **kontribusi sektor pertanian terhadap emisi GRK Kota Surabaya relatif kecil dan cenderung menurun**, dengan sumber emisi utama berasal dari **peternakan skala kecil, pengelolaan pupuk nitrogen, dan lahan sawah terbatas**. Pola ini konsisten dengan karakter Surabaya sebagai kota besar non-agraris, di mana pertanian bukan sektor dominan, namun tetap perlu dicatat dalam inventarisasi GRK untuk menjaga **kelengkapan, konsistensi deret waktu, dan akurasi total emisi kota**.

2. Populasi Ternak

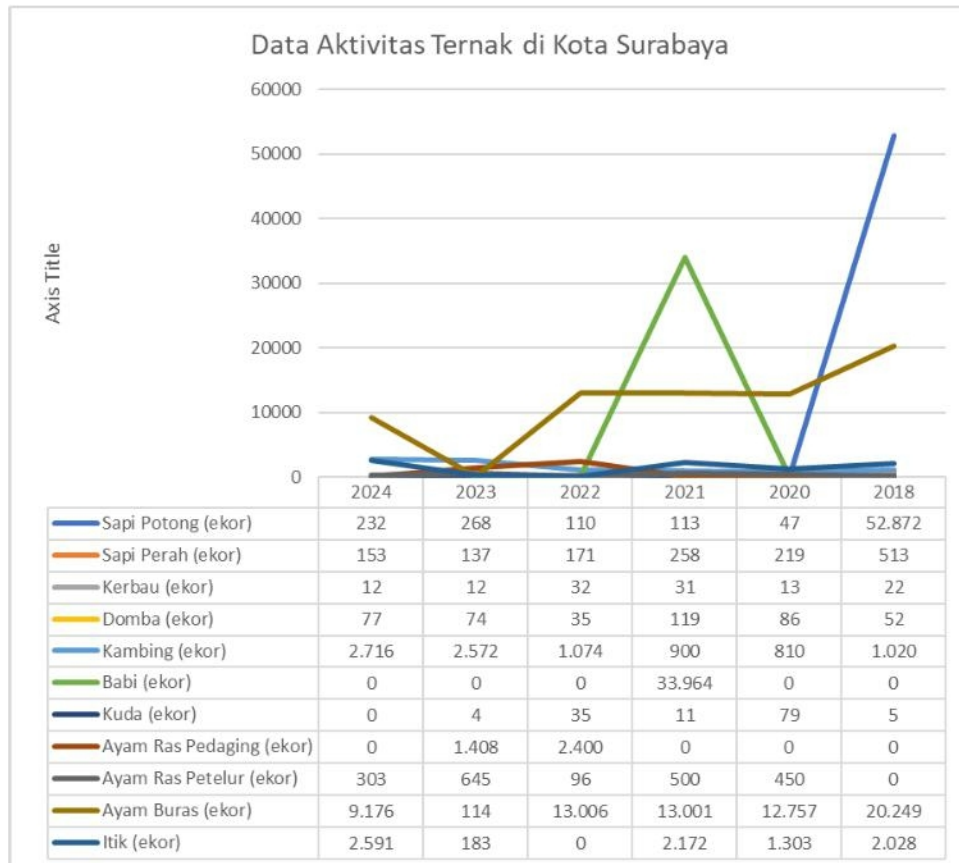
a. Inventarisasi Data Aktivitas

Berdasarkan data historis pada *SIGN SMART* pada tabel 3.14 dan grafik gambar 3.14, dinamika populasi ternak di Kota Surabaya mencerminkan pergeseran drastis dari pola peternakan konvensional menuju adaptasi ruang perkotaan yang sangat terbatas. Transformasi ini paling terlihat pada sektor ruminansia besar, di mana populasi sapi potong yang pada tahun 2018 masih mencapai angka masif sebanyak 52.872 ekor, kini menyusut tajam menjadi hanya 232 ekor pada tahun 2024, diikuti dengan hilangnya populasi babi secara total sejak tahun 2022 yang sebelumnya sempat mendominasi di angka 33.964 ekor. Sebaliknya, Surabaya kini justru memperkuat posisinya pada komoditas ternak kecil dan unggas yang lebih efisien lahan, terlihat dari pertumbuhan konsisten populasi kambing yang melonjak dari 900 ekor di tahun 2021 menjadi 2.716 ekor di tahun 2024, serta dominasi ayam buras yang mencapai puncaknya di angka 16.959 ekor. Tren ini diperlengkap dengan pemulihan populasi itik yang naik signifikan dari angka nihil di tahun 2022 menjadi 2.591 ekor di tahun 2025, mengindikasikan bahwa struktur agribisnis kota telah sepenuhnya beralih ke komoditas yang memiliki siklus produksi cepat dan beban lingkungan yang lebih rendah bagi ekosistem perkotaan.

Tabel 3. 14 Data Aktivitas Populasi Ternak Kota Surabaya

TAHUN	Sapi Potong (ekor)	Sapi Perah (ekor)	Kerbau (ekor)	Domba (ekor)	Kambing (ekor)	Babi (ekor)	Kuda (ekor)	Ayam Ras Pedaging (ekor)	Ayam Ras Petelur (ekor)	Ayam Buras (ekor)	Itik (ekor)
2024	232	153	12	77	2,716	0	0	0	303	9,176	2,591
2023	268	137	12	74	2,572	0	4	1,408	645	114	183
2022	110	171	32	35	1,074	0	35	2,400	96	13,006	0
2021	113	258	31	119	900	33,964	11	0	500	13,001	2,172
2020	47	219	13	86	810	0	79	0	450	12,757	1,303
2018	52,872	513	22	52	1,020	0	5	0	0	20,249	2,028

Sumber : Signs smart, 2025



Gambar 3. 14 Grafik Data Aktivitas Populasi Ternak di Kota Surabaya

Sumber : Data diolah, 2025

b. Kalkulasi Emisi Gas Rumah Kaca

Berdasarkan data aktivitas ternak pada Tabel di atas yang telah diinput pada *SIGN SMART*, kalkulasi emisi dari fermentasi enterik pada tabel di bawah ini dilakukan menggunakan metodologi yang mengalikan populasi ternak dengan faktor emisi spesifik. Secara teknis, emisi metana (CH_4) dihasilkan dari proses pencernaan hewan ruminansia, di mana karbohidrat dipecah oleh mikroorganisme dalam lambung hewan. Berikut adalah penjelasan mendalam mengenai alur kalkulasinya:

1) Persamaan Dasar Kalkulasi

Sistem menggunakan formula standar IPCC untuk menentukan total emisi tahunan sebagai berikut:

$$CH_4_{Enteric} = \sum (N_{(T)} \times EF_{(T)}) \times 10^{-6}$$

Keterangan:

- $N_{(T)}$ = Jumlah populasi ternak berdasarkan kategori (misal: *Beef Cattle Mature*, *Goat Weaning*, dll)
- $EF_{(T)}$ = Faktor Emisi (Emission Factor) dalam satuan Kg CH_4 /ekor/tahun
- 10^{-6} = faktor konversi dari kilogram (kg) ke kiloton (kt)

2) Analisis Data Aktual (Tahun 2024)

Berdasarkan *worksheet* yang sedang ditampilkan, berikut adalah rincian kalkulasinya:

- **Intensitas Emisi per Kategori:** Setiap jenis ternak memiliki bobot emisi yang berbeda. Contohnya, **Sapi Potong Dewasa (*Beef Cattle Mature*)** memiliki faktor emisi sebesar **55,90 kg CH_4 /ekor/tahun**, jauh lebih tinggi dibandingkan **Kambing Dewasa (*Goat Mature*)** yang hanya sebesar **3,27 kg CH_4 /ekor/tahun**. Hal ini menjelaskan mengapa meskipun jumlah kambing sangat banyak (1.301 ekor), kontribusi emisinya tidak sebesar sapi secara proporsional per individu.
- **Kontribusi Terbesar:** Meskipun populasi ayam buras paling dominan (**9.176 ekor**), dalam tabel terlihat faktor emisinya adalah **0,00**. Ini karena unggas bukan hewan ruminansia, sehingga emisi dari fermentasi enterik mereka dianggap tidak signifikan atau nol dalam metodologi ini. Kontribusi emisi utama di Surabaya saat ini beralih ke kategori **Kambing** (Total 2.716 ekor dari berbagai kategori umur).

3) Output Emisi Total dan GWP

Setelah semua kategori dikalikan dan dijumlahkan, sistem menghasilkan ringkasan emisi di bagian bawah tabel:

- **Total Emisi Aktual (CH₄):** Tercatat sebesar **0,02 kt CH₄/tahun.**
- **Total CO₂ Equivalen (CO₂eq):**
- Konversi ke CO₂ Equivalen (CO₂eq) adalah sistem menampilkan total CO₂eq sebesar 0,52. Sehingga jika Total CH₄ = 0,02 kt, maka GWP (Global Warming Potential) yang digunakan adalah:
 $0,52 / 0,02 = 26.$

Catatan: Nilai GWP metana sebesar 26 atau 28 adalah standar IPCC AR5/AR6. Jadi, perhitungan konversi dari metana ke unit karbon dioksida di sistem tersebut sudah sudah tepat secara metodologi.

4) Kesimpulan & Saran:

Secara matematis tidak ada yang salah pada hasil akhirnya (0,02 kt CH₄/ **0,52 kt CO₂eq**), namun secara penyajian data, baris-baris individu mengalami "*loss of detail*" akibat pembulatan sebagaimana pada Tabel di bawah ini

Tabel 3. 15 Kalkulasi Emisi Metana dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Pupuk Kota Surabaya

Species / Livestock Category	Number of Animals	Emission Factor for Enteric Fermentation	CH ₄ Emissions from Enteric Fermentation
	(head)	(kg head-(1) yr-(1))	(Gg CH ₄ yr-(1))
			CH(4) Enteric = N(T) * EF(T) * 10 ⁻⁽⁶⁾
BEEF CATTLE WEANING	48	18.18	0.0009
BEEF CATTLE YEARLING	59	27.18	0.0016
BEEF CATTLE YOUNG	36	41.77	0.0015
BEEF CATTLE MATURE	60	55.90	0.0034
BEEF CATTLE IMPORTED	28	25.49	0.0007
DAIRY CATTLE WEANING	31	16.55	0.0005
DAIRY CATTLE YEARLING	27	35.06	0.0010
DAIRY CATTLE YOUNG	33	51.96	0.0017

Species / Livestock Category	Number of Animals	Emission Factor for Enteric Fermentation	CH ₄ Emissions from Enteric Fermentation
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
			CH ₄ (4) Enteric = N(T) * EF(T) * 10 ⁻⁶
DAIRY CATTLE MATURE	62	77.14	0.0048
BUFFALO WEANING	2	20.55	0.0000
BUFFALO YEARLING	3	41.11	0.0001
BUFFALO YOUNG	2	61.66	0.0001
BUFFALO MATURE	6	82.21	0.0005
SHEEP WEANING	19	1.31	0.0000
SHEEP YEARLING	21	4.33	0.0001
SHEEP MATURE	38	5.25	0.0002
GOAT WEANING	702	2.30	0.0016
GOAT YEARLING	713	2.65	0.0019
GOAT MATURE	1.301	3.27	0.0043
SWINE WEANING	0	0.43	0.0000
SWINE MARKETING	0	1.03	0.0000
SWINE BREEDING	0	1.28	0.0000
HORSE WEANING	0	25.99	0.0000
HORSE YEARLING	0	53.27	0.0000
HORSE MATURE	0	74.85	0.0000
BROILER	0	0.00	0.0000
LAYER	303	0.00	0.0000
NATIVE CHICKEN	9.176	0.00	0.0000
DUCK	2.591	0.00	0.0000
Total			0.0248

Sumber: Signsmart, 2025

Berdasarkan data pada *Worksheet 3A2a SIGN SMART* atau pada Tabel di bawah ini, tabel tersebut menghitung **Emisi Metana (CH₄) dari Manajemen Kotoran Ternak (Manure Management)** untuk wilayah Surabaya tahun 2024.

Berbeda dengan "Fermentasi Enterik" yang berasal dari sistem pencernaan hewan, emisi ini dihitung berdasarkan bagaimana kotoran ternak dikelola (misalnya dibiarkan di kandang, ditumpuk, atau melalui biogas). Berikut adalah penjelasan detail kalkulasinya:

a) Rumus Utama yang Digunakan

Sistem menggunakan persamaan standar IPCC yang tertera pada tabel:

$$CH_4Manure = N_{(T)} \times EF_{(T)} \times 10^{-6}$$

Keterangan:

- $N_{(T)}$ (Number of Animals) = Jumlah populasi per kategori (misal : Beef Cattle Mature sebanyak 60 ekor)
- $EF_{(T)}$ (Emission Factor) = Faktor emisi manajemen kotoran (kg CH_4 /ekor/tahun)
Angka ini sangat bervariasi tergantung jenis ternak dan sistem pembuangannya
- 10^{-6} + konversi dari satuan kilogram ke kiloton (kt)

b) Analisis Perbandingan Emisi

Jika kita perhatikan data aktivitasnya, terdapat perbedaan signifikan pada nilai faktor emisi (EF):

- **Sapi Perah Dewasa (*Dairy Cattle Mature*):** Memiliki EF (*Emission Factor*) paling tinggi yaitu **12,18**. Dengan populasi hanya 62 ekor, emisinya mencapai **0,0008 kt**, jauh lebih besar dibandingkan kategori sapi lainnya.
- **Kambing (*Goat*):** Meskipun populasinya sangat banyak (Total 2.716 ekor), faktor emisinya sangat rendah (hanya **0,02 - 0,03**). Akibatnya, kontribusi emisi dari kotoran kambing sangat kecil hingga tertulis **0,0000 kt** (pembulatan).
- **Unggas (*Ayam & Itik*):** Memiliki EF sebesar **0,00**. Dalam metodologi ini, manajemen kotoran unggas di wilayah tersebut dianggap tidak menghasilkan emisi metana yang signifikan secara perhitungan.

c) Skenario Mitigasi (Sapi Biogas)

Pada baris **BEEF CATTLE BIOGAS**, terlihat ada input 60 ekor dengan EF 3,64. Ini menunjukkan adanya upaya pencatatan mitigasi. Jika kotoran ternak dikelola melalui

reaktor biogas, emisi metana yang seharusnya terlepas ke atmosfer dapat ditangkap dan dimanfaatkan, sehingga mengurangi angka total emisi aktual.

d) Ringkasan Output Emisi

Di bagian bawah tabel, sistem menjumlahkan seluruh hasil perkalian per baris:

- **Total BAU (*Business As Usual*):** Total emisi metana tanpa intervensi tambahan.
- **Total CO₂eq (0,04 kt CO₂eq):** Ini adalah angka paling penting untuk laporan GRK. Metana hasil manajemen kotoran dikonversi menjadi setara Karbon Dioksida (CO₂).

e) Kesimpulan:

Emisi dari manajemen kotoran di Surabaya (0,04 kt CO₂eq) jauh lebih kecil dibandingkan emisi dari fermentasi enterik (0,52 kt CO₂eq). Hal ini wajar karena secara alami, gas metana yang dihasilkan dari proses pencernaan (sendawa/buang angin ternak) biasanya jauh lebih besar volumenya daripada yang dihasilkan dari tumpukan kotorannya.

Tabel 3. 16 Kalkulasi Emisi Metana dari Sistem Manajemen Pupuk Kandang Provinsi Jawa Timur

Species / Livestock Category	Number of Animals	Emission Factor for Manure Management	CH ₄ Emissions from Manure Management
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
			CH ₄ (T) Manure = N(T) * EF(T) * 10 ⁻⁶
BEEF CATTLE WEANING	48	0.78	0.0000
BEEF CATTLE YEARLING	59	1.62	0.0001
BEEF CATTLE YOUNG	36	3.47	0.0001
BEEF CATTLE MATURE	60	3.64	0.0002
BEEF CATTLE IMPORTED	28	7.97	0.0002
DAIRY CATTLE WEANING	31	0.52	0.0000
DAIRY CATTLE YEARLING	27	2.52	0.0001

Species / Livestock Category	Number of Animals	Emission Factor for Manure Management	CH ₄ Emissions from Manure Management
	(head)	(kg head ⁻¹ yr ⁻¹)	(Gg CH ₄ yr ⁻¹)
			CH ₄ (T) Manure = N(T) * EF(T) * 10 ⁻⁶
DAIRY CATTLE YOUNG	33	5.53	0.0002
DAIRY CATTLE MATURE	62	12.18	0.0008
BUFFALO WEANING	2	0.75	0.0000
BUFFALO YEARLING	3	3.99	0.0000
BUFFALO YOUNG	2	8.97	0.0000
BUFFALO MATURE	6	15.95	0.0001
SHEEP WEANING	19	0.01	0.0000
SHEEP YEARLING	21	0.05	0.0000
SHEEP MATURE	38	0.08	0.0000
GOAT WEANING	702	0.03	0.0000
GOAT YEARLING	713	0.02	0.0000
GOAT MATURE	1,301	0.03	0.0000
SWINE WEANING	0	0.00	0.0000
SWINE MARKETING	0	0.01	0.0000
SWINE BREEDING	0	0.01	0.0000
HORSE WEANING	0	0.60	0.0000
HORSE YEARLING	0	2.51	0.0000
HORSE MATURE	0	4.95	0.0000
BROILER	0	0.00	0.0000
LAYER	303	0.00	0.0000
NATIVE CHICKEN	9,176	0.00	0.0000
DUCK	2,591	0.00	0.0000
Total			0.0020

Sumber : Signs smart, 2025

Berdasarkan data pada *Worksheet 3A2b SIGN SMART*, tabel tersebut menghitung **Emisi Langsung Dinitrogen Oksida (N₂O) dari Manajemen Kotoran Ternak**.

Berbeda dengan dua tabel sebelumnya (CH₄), tabel ini fokus pada emisi N₂O yang dihasilkan dari kandungan Nitrogen (N) dalam kotoran ternak. Berikut adalah alur kalkulasinya:

a) Menghitung Nitrogen yang Dikeluarkan (N_{ex})

Sebelum menghitung emisi, sistem mencari tahu berapa banyak Nitrogen yang dikeluarkan per ekor hewan dalam setahun dengan rumus:

$$Nex_{(T)} = Nrate_{(T)} \times T AM \times 10^{-3} \times 365$$

Keterangan:

- $N rate_{(T)}$ = Laju ekskresi defalut (kg N per 1000 kg bobot hewan)
- $T AM$ = bobot rata-rata hewan (kg)
- Contoh pada sapi potong dewasa (Beef Cattle Mature): Dengan bobot 400 kg, dihasilkan 49,64 kg N/ekor/tahun

b) Menghitung Total Nitrogen dalam Sistem Manajemen (N E_{MMS})

Langkah selanjutnya adalah menghitung total nitrogen berdasarkan populasi dan jenis kandang/pengelolaan:

$$NE_{MMS} = N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times MS_{(T,S)}$$

Keterangan:

- MS = Fraksi Nitrogen yang dikelola dalam sistem tertentu (misal: Pastura atau Dry Lot)
- Pada data Surabaya, terlihat pembagian untuk Sapi Potong : 30% diPastura (Padang rumput) dan 70% di Dry Lot (Kandang terbuka)

c) Kalkulasi Emisi Akhir (N₂O)

Setelah jumlah Nitrogen diketahui, sistem mengalikannya dengan Faktor Emisi (EF) untuk mendapatkan total gas N₂O

$$N_2O_{(mm)} = NE_{(MMS)} \times EF_{3(S)} \times \frac{44}{28}$$

Keterangan :

- EF_{3(S)} = Faktor emisi spesifik sistem. Perhatikan bahwa pada sistem Pastura, faktor emisi 0,00, sedangkan pada Dry Lot, faktor emisinya 0,01 atau 0,02
- 44/28 = Rasio konversi dari Nitrogen (N) menjadi Dinitrogen Oksida (N₂O)

d) Ringkasan Hasil (Total CO₂eq)

Data yang paling krusial ada di bagian bawah tabel:

- **Total BAU: 976,22 kg N₂O/tahun.**
- **Total CO₂eq: 20.500,66 kt CO₂eq.**

Poin Penting: bahwa angka **20.500,66** ini jauh lebih tinggi dibandingkan emisi metana sebelumnya. Hal ini disebabkan karena **Global Warming Potential (GWP) dari N₂O sangat tinggi** (sekitar 265-298 kali lebih kuat dari CO₂). Meskipun jumlah gas yang dihasilkan kecil secara volume (kg), dampak pemanasannya sangat besar secara kalkulasi equivalen karbon.

e) Kesimpulan:

Penyumbang emisi N₂O terbesar di Surabaya pada tabel ini berasal dari kategori **Kambing Dewasa (Goat Mature)** dengan **511,14 kg N₂O**, karena populasinya yang besar (1.301 ekor) digabungkan dengan faktor emisi manajemen kotoran yang mencapai 0,02.

Tabel 3. 17 Kalkulasi Emisi Langsung Dinitrogen Oksida (N₂O) dari Manajemen Kotoran Ternak

Species / Livestock Category	Number of Animals	Default N Excretion Rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species / livestock category	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species / livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
	(head)	[kg N (1000 kg animal) ⁻¹ day ⁻¹]	(kg)	(kg N animal ⁻¹ year ⁻¹)	(-)	(kg N yr ⁻¹)	[kg N ₂ O-N (kg N in MMS) ⁻¹]	kg N ₂ O yr ⁻¹
				$N_{ex}(T) = N_{rate}(T) * TAM * 10^{-3} * 365$		$NEMMS = N(T) * N_{ex}(T) * MS(T,S)$		$N(2)O(mm) = NEMMS * EF(3)(S) * 44/28$
T	N(T)	N _{rate} (T)	TAM	N _{ex} (T)	MS(T,S)	NEMMS	EF ₃ (S)	N ₂ OD(mm)
BEEF CATTLE WEANING PASTURA	48	0.34	63.00	7.82	30.00	112.75	0.00	0.0000
BEEF CATTLE WEANING DRY LOT	48	0.34	63.00	7.82	70.00	263.08	0.01	5.9531
BEEF CATTLE YEARLING PASTURA	59	0.34	134.48	16.69	30.00	295.27	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YEARLING DRY LOT	59	0.34	134.48	16.69	70.00	688.96	0.01	15.5901
BEEF CATTLE YOUNG PASTURA	36	0.34	286.00	35.49	30.00	384.13	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YOUNG DRY LOT	36	0.34	286.00	35.49	70.00	896.30	0.01	20.2820
BEEF CATTLE MATURE PASTURA	60	0.34	400.00	49.64	30.00	900.36	0.00	0.0000
BEEF CATTLE MATURE DRY LOT	60	0.34	400.00	49.64	70.00	2,100.84	0.01	47.5389

Species / Livestock Category	Number of Animals	Default N Excretion Rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species / livestock category	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species / livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
	(head)	[kg N (1000 kg animal)-(1) day-(1)]	(kg)	(kg N animal-(1) year-(1))	(-)	(kg N yr-1)	[kg N(2)O-N (kg N in MMS)-(1)]	kg N(2)O yr-(1)
				$N_{ex}(T) = N_{rate}(T) * TAM * 10^{-3} * 365$		$NEMMS = N(T) * N_{ex}(T) * MS(T,S)$		$N(2)O(mm) = NEMMS * EF(3)(S) * \frac{44}{28}$
T	N(T)	Nrate(T)	TAM	Nex(T)	MS(T,S)	NEMMS	EF3(S)	N2OD(mm)
BEEF CATTLE IMPORTED PASTURA	28	0.34	500.00	62.05	30.00	529.04	0.00	0.0000
BEEF CATTLE IMPORTED DRY LOT	28	0.34	500.00	62.05	70.00	1,234.42	0.01	27.9332
DAIRY CATTLE WEANING	31	0.47	46.00	7.89	100.00	245.22	0.00	0.0000
DAIRY CATTLE YEARLING	27	0.47	198.64	34.08	100.00	929.61	0.00	0.0000
DAIRY CATTLE YOUNG	33	0.47	275.00	47.18	100.00	1,556.92	0.00	0.0000
DAIRY CATTLE MATURE	62	0.47	402.50	69.05	100.00	4,256.43	0.00	0.0000
BUFFALO WEANING	2	0.32	100.00	11.68	100.00	24.77	0.01	0.5604
BUFFALO YEARLING	3	0.32	200.00	23.36	100.00	59.88	0.01	1.3549
BUFFALO YOUNG	2	0.32	300.00	35.04	100.00	57.73	0.01	1.3064
BUFFALO MATURE	6	0.32	400.00	46.72	100.00	264.85	0.01	5.9931
SHEEP WEANING	19	1.17	8.00	3.42	100.00	64.35	0.02	2.0223
SHEEP YEARLING	21	1.17	20.00	8.54	100.00	175.53	0.02	5.5166

Species / Livestock Category	Number of Animals	Default N Excretion Rate	Typical animal mass for livestock category	Annual N excretion per head of species / livestock category	Fraction of total annual nitrogen excretion managed in MMS for each species / livestock category	Total nitrogen excretion for the MMS	Emission factor for direct N ₂ O-N emissions from MMS	Annual direct N ₂ O emissions from Manure Management
	(head)	[kg N (1000 kg animal)-(1) day-(1)]	(kg)	(kg N animal-(1) year-(1))	(-)	(kg N yr ⁻¹)	[kg N(2)O-N (kg N in MMS)-(1)]	kg N(2)O yr ⁻¹)
				$N_{ex}(T) = N_{rate}(T) * TAM * 10^{-3} * 365$		$NEMMS = N(T) * N_{ex}(T) * MS(T,S)$		$N(2)O(mm) = NEMMS * EF(3)(S) * \frac{44}{28}$
T	N(T)	Nrate(T)	TAM	Nex(T)	MS(T,S)	NEMMS	EF3(S)	N2OD(mm)
SHEEP MATURE	38	1.17	25.00	10.68	100.00	401.58	0.02	12.6211
GOAT WEANING	702	1.37	8.00	4.00	100.00	2,807.54	0.02	88.2369
GOAT YEARLING	713	1.37	20.00	10.00	100.00	7,132.93	0.02	224.1780
GOAT MATURE	1,301	1.37	25.00	12.50	100.00	16,263.70	0.02	511.1440
SWINE WEANING	0	0.50	60.00	10.95	100.00	0.00	0.00	0.0000
SWINE MARKETING	0	0.50	15.00	2.74	100.00	0.00	0.00	0.0000
SWINE BREEDING	0	0.50	80.00	14.60	100.00	0.00	0.00	0.0000
HORSE WEANING	0	0.46	200.00	33.58	100.00	0.00	0.02	0.0000
HORSE YEARLING	0	0.46	350.00	58.77	100.00	0.00	0.02	0.0000
HORSE MATURE	0	0.46	500.00	83.95	100.00	0.00	0.02	0.0000
BROILER	0	1.10	1.20	0.48	100.00	0.00	0.00	0.0000
LAYER	303	0.82	1.80	0.54	100.00	163.24	0.00	0.2565
NATIVE CHICKEN	9,176	0.82	0.90	0.27	100.00	2,471.74	0.00	3.8842
DUCK	2,591	0.83	1.50	0.45	100.00	1,177.42	0.00	1.8502
Total								976.2219

Sumber: Sighnmart, 2025

3. Data Aktivitas Sawah, Perkebunan dan Penggunaan Pupuk

Laporan inventarisasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sektor pertanian Kota Surabaya tahun 2024 disusun dengan mengacu pada ketersediaan data aktivitas lahan yang tercatat secara periodik dalam sistem SIGN SMART. Meskipun terdapat keterbatasan catatan pada beberapa parameter historis dan varietas spesifik, pelaporan tetap difokuskan pada pemanfaatan data luas panen padi sawah yang tersedia untuk memastikan estimasi emisi metana tetap representatif terhadap kondisi lapangan terkini.

Di bawah ini adalah data aktivitas berdasarkan luas lahan sawah, hasil tanaman pangan dan penggunaan konsumsi pupuk di Kota Surabaya yang menjadi dasar perhitungan emisi GRK sektor pertanian. Untuk perkebunan dan tanaan perkebunan dan hortikultura, data yang ada sangat kecil sehingga tidak menghasilkan emisi GRK yang signifikan.

Tabel 3. 18 Inventarisasi Data Aktivitas Sawah Kota Surabaya

TAHUN	Luas Panen Padi Sawah (Ha)	Produktivitas Padi Sawah (Kw/Ha)	Produksi Padi Sawah (Ton)	Luas Panen Padi Ladang (Ha)	Produktivitas Padi Ladang (Kw/Ha)	Luas Baku Sawah Irigasi (Ha)	Luas Baku Sawah Non-Irigasi (Ha)	Luas Panen Sawah SPLTT (Ha)	Luas Panen Sawah SRI (Ha)	Luas Panen Sawah Varietas Lain (Ha)	Luas Panen Sawah IR 64 (Ha)	Luas Panen Sawah Margasari (Ha)	Luas Panen Sawah Cisanggarung (Ha)	Luas Panen Sawah Ciherang (Ha)	Luas Panen Sawah Limboto (Ha)	Luas Panen Sawah Wayrareng (Ha)	Luas Panen Sawah Maros (Ha)
2025	1,294	67	8,698	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	1,100	67	7,388	0	0	0	1,151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2023	1,506	54	8,069	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	955	64	6,156	0	0	0	1,169	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,164	0	0	0
2018	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	1,190	0	0	0

Sumber: Signsmart, 2025

Tabel 3. 19 Inventarisasi Data Tanaman Pangan Kota Surabaya

TAHUN	Luas Panen Jagung	Luas Panen Kacang Hijau	Luas Panen Kacang Tanah	Luas Panen Kedelai	Luas Panen Ubi Jalar	Luas Panen Ubi Kayu
2025	146	21	0	0	0	2
2024	93	22	1	0	0	1
2023	1	0	0	0	1	1
2022	44	0	0	0	0	0
2021	0	0	0	0	0	0

Sumber: Signsmart, 2025

Tabel 3. 20 Data Konsumsi Pupuk Surabaya

TAHUN	Urea (Ton)	NPK (Ton)	ZA (Ton)
2025	333	279	0
2024	3,558	818	500
2022	479	30	242
2021	66,725	22,995	10,515
2020	609	162	64
2018	1,103	170	122

Sumber: Signsmart, 2025

4. Kalkulasi Emisi Sektor Pertanian

Berdasarkan data pada *Worksheet 3C3 SIGN SMART*, tabel tersebut menghitung **Emisi Karbon Dioksida (CO₂) yang berasal dari penggunaan pupuk Urea** di sektor pertanian (Cropland) Kota Surabaya tahun 2024. Berikut adalah penjelasan detail mengenai logika kalkulasinya:

a. Variabel Utama

Sistem menggunakan dua input utama untuk menghasilkan angka emisi:

- **M (Annual amount of Urea Fertilization):** Jumlah total penggunaan pupuk urea dalam setahun. Pada data Anda, tercatat sebesar **3.558 ton urea/tahun**.
- **EF (Emission Factor):** Faktor emisi karbon untuk urea. Sistem menggunakan nilai *default* IPCC sebesar **0,20**. Angka ini merepresentasikan fraksi karbon dalam molekul urea [CO(NH₂)₂] yang akan terlepas sebagai CO₂ saat diaplikasikan ke tanah.

b. Rumus Kalkulasi

Sistem menggunakan persamaan konversi kimia untuk mengubah berat karbon menjadi berat molekul CO₂ utuh:

$$CO_2 \text{ Emission} = (M \times EF) \times \frac{44}{12}$$

Keterangan:

- Penjelasan angka 44/22 : 12 adalah berat atom Karbon (C), 44 adalah berat molekul Karbon Dioksida (CO₂)
Rasio ini digunakan untuk mengonversi satuan Karbon menjadi satuan setara Karbon Dioksida (CO₂)

Hasil ini sesuai dengan angka yang tertera di kolom paling kanan tabel Anda (**2.609,2000**).

c. Kesimpulan Hasil

Total emisi dari pemupukan urea di Surabaya untuk kategori *Cropland* adalah **2.609,20 ton CO₂ per tahun**.

- Penting untuk dicatat bahwa emisi ini berbeda dengan emisi N₂O (Dinitrogen Oksida) yang biasanya muncul dari pupuk nitrogen. Tabel ini khusus menghitung **pelepasan karbon** yang terkandung dalam struktur kimia urea itu sendiri saat bereaksi dengan air dan enzim di tanah.
- Kategori **OIL PALM ESTATE** bernilai **0**, yang menunjukkan bahwa di Surabaya tidak terdapat aktivitas perkebunan kelapa sawit yang menggunakan urea dalam skala yang tercatat di sistem ini.

Tabel 3. 21 Emisi CO₂ yang berasal dari penggunaan pupuk Urea

Subcategories for reporting year	Annual amount of Urea Fertilization	Emission factor	Annual CO ₂ -C emissions from Urea Fertilization
	(tonnes urea yr-1)	[tonnes of C (tonne of urea)-1]	(tonnes C yr-1)
		default is 0.20	CO ₂ Emission =(M * EF) * 44 / 12
	M	EF	CO ₂ Emission
CROPLAND	4	0.20	2,609.2000
OIL PALM ESTATE	0	0.20	0.0000
Total			2,609.2000

Sumber: Signsmart, 2025

Berdasarkan tampilan *Worksheet 3C4 SIGN SMART*, tabel tersebut menghitung **Emisi Langsung Dinitrogen Oksida (N₂O) dari Tanah yang Dikelola** (*Direct N₂O Emissions from Managed Soils*).

Berbeda dengan tabel sebelumnya yang menghitung Karbon (CO₂), kalkulasi ini jauh lebih kompleks karena melibatkan input Nitrogen (N) dari berbagai sumber. Berikut adalah penjelasannya:

a. Sumber Input Nitrogen (F)

Sistem membagi sumber nitrogen menjadi dua kategori besar berdasarkan ekosistemnya:

- **Managed Soils (Lahan Kering/Umum):** Mencakup penggunaan pupuk sintetis (F_{SN}) sebesar **718.671,62 kg N/tahun** dan pupuk organik/manure (F_{ON}) sebesar **160.320,00 kg N/tahun**.
- **Flooded Rice (Sawah Tergenang):** Khusus untuk lahan sawah, dengan input pupuk sintetis yang jauh lebih besar yaitu **1.145.708,38 kg N/tahun**, serta tambahan dari sisa tanaman (F_{CR}) sebesar **15.514,80 kg N/tahun**.

b. Faktor Emisi (EF)

Sistem menggunakan konstanta yang berbeda untuk setiap kondisi lahan:

- **EF₁ (0,01):** Digunakan untuk lahan kering. Artinya, 1% dari nitrogen yang diberikan ke tanah akan terlepas ke atmosfer sebagai N_2O .
- **EF_{1FR} (0,00):** Digunakan untuk lahan sawah tergenang (*flooded rice*). Dalam tabel Anda, faktor emisi ini tertulis **0,00** (atau sangat kecil mendekati nol). Hal ini karena dalam kondisi tergenang (anaerob), proses denitrifikasi lebih dominan menghasilkan gas nitrogen (N_2) daripada N_2O .

c. Rumus Kalkulasi

Formula yang digunakan untuk setiap baris adalah:

$$N_2O - N_{inputs} = F \times EF$$

Contoh Perhitungan pada baris pertama (*Synthetic Fertilizers*):

$$718.671,62 \times 0,01 = 7.186,7162 \text{ kg } N_2O - N/t$$

d. Total Emisi Akhir

Di bagian bawah tabel, sistem menjumlahkan seluruh hasil kalkulasi tersebut menjadi **Total 20.946,4919 kg N₂O - N /tahun**.

Catatan Penting untuk Pelaporan:

- Angka tersebut masih dalam satuan berat Nitrogen dalam N₂O (N₂O - N).
- Untuk mendapatkan nilai emisi N₂O total, angka tersebut biasanya dikalikan dengan rasio **44/28**.
- Setelah itu, untuk mendapatkan nilai **CO₂ Equivalen**, hasilnya dikalikan dengan nilai GWP N₂O (sekitar 265-298).

Melihat besarnya angka input nitrogen (mencapai jutaan kg), sektor ini kemungkinan besar menjadi penyumbang emisi GRK terbesar di kategori pertanian Kota Surabaya dibandingkan sektor peternakan atau penggunaan urea.

Tabel 3. 22 Emisi Nitrogen

Anthropogenic N input type		Annual amount of N applied		Emission factor for N ₂ O emissions from N inputs		Annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils
		(kg N yr ⁻¹)		[kg N ₂ O-N (kg N input) ⁻¹]		(kg N ₂ O-N yr ⁻¹)
						N ₂ O-NN inputs = F * EF
		F		EF		N ₂ O-NN inputs
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from managed soils	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers	718.671,62	EF ₁	0,01	7.186,7162
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	160.320,00		0,01	1.603,2000
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues				
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N ₂ O-N emissions produced from flooded rice	synthetic fertilizers	F _{SN} : N in synthetic fertilizers	1.145.708,38	EF _{1FR}	0,00	3.437,1251
	animal manure, compost, sewage sludge	F _{ON} : N in animal manure, compost, sewage sludge, other	352.000,00		0,00	1.056,0000
	crop residues	F _{CR} : N in crop residues	15.514,80		0,00	46,5444
	changes to land use or management	F _{SOM} : N in mineral soils that is mineralised, in association with loss of soil C from soil organic matter as a result of changes to land use or management				
Total						20.946,4919

Sumber: Signsart, 2025

- **F_{SN} (Synthetic Fertilizer):** Jumlah nitrogen dari pupuk sintetis.
- **F_{ON} (Organic Nitrogen):** Jumlah nitrogen dari pupuk organik (kompos, kotoran, dll).
- **F_{PRP} (Urine & Dung):** Nitrogen dari urin dan kotoran ternak yang digembalakan di padang rumput (*Pasture, Range, and Paddock*).

b. Fraksi Penguapan (*Volatilisation*)

Tidak semua nitrogen menguap. Sistem menggunakan koefisien fraksi untuk menentukan berapa banyak yang lari ke atmosfer:

- *FracGASF (0,10): artinya 10% dari pupuk sintetis dianggap menguap*
- *FracGASM (0,20): artinya 20% dari pupuk organik dan kotoran ternak dianggap menguap*

c. Rumus Kalkulasi

Persamaan yang digunakan untuk menentukan jumlah **N₂O** yang dihasilkan adalah:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} \times F_{racGASF}) + (F_{ON} \times F_{PRP}) \times F_{racGASF}] \times EF_4$$

d. Pembacaan Tabel Data Laporan (Kota Surabaya 2024) pada baris Cropland (Lahan Pertanian) di bawah yaitu :

- Pupuk sintetis yang digunakan (F_{SN}) sebesar 1.145.708,38 kg N/tahun. Dengan penguapan 10% ($Frac_{GASF} = 0,10$), Nitrogen yang menguap adalah 114.570,84 kg N.
- Pupuk organik yang digunakan (F_{ON}) sebesar 352.000,00 kg N/tahun (sedangkan kotoran hewan gembala bernilai 0). Dengan penguapan 20% ($Frac_{GASM} = 0,20$), Nitrogen organik yang menguap adalah 70.400,00 kg N.
- Total Nitrogen yang menguap ke atmosfer dari Cropland adalah
- Setelah dikalikan faktor emisi sebesar 0,01 (EF_4), maka diperoleh nilai emisi untuk Cropland sebesar 2.906,6846 kg - N/tahun.

e. Ringkasan Hasil

Total emisi tidak langsung dari deposisi atmosfer di Surabaya (tahun 2024) adalah **4.546,87 kg N₂O –N**.

- Emisi dari **Cropland** (2.906,68 kg) lebih tinggi daripada **Grassland** (1.640,18 kg) karena penggunaan pupuk sintetis di lahan pertanian Surabaya jauh lebih masif dibandingkan di lahan rumput/penggembalaan.
- Meskipun ini disebut emisi "tidak langsung", dampaknya terhadap pemanasan global tetap dihitung secara akumulatif dalam inventarisasi GRK karena nitrogen yang menguap tersebut tetap berakhir menjadi gas rumah kaca yang kuat.

Tabel 3. 23 Kalkulasi Emisi Tidak Langsung Dinitrogen Oksida N₂O dari Deposisi Atmosfer

Anthropogenic N input type	Annual amount of synthetic fertilizer N applied to soils	Fraction of synthetic fertilizer N that volatilises	Annual amount of animal manure, compost, sewage sludge and other organic N additions intentionally applied to soils	Annual amount of urine and dung N deposited by grazing animals on pasture, range and paddock	Fraction of applied organic N fertilizer materials (FON) and of urine and dung N deposited by grazing animals (FPRP) that volatilises	Emission factor for N ₂ O emission from atmospheric deposition of N on soils and water surfaces	Annual amount of N ₂ O-N produced from atmospheric deposition of N volatilised from managed soils
	(kg N yr ⁻¹)	(kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg of N applied) ⁻¹	(kg N yr ⁻¹)	(kg N yr ⁻¹)	(kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg of N applied or deposited) ⁻¹	(kg N ₂ O-N) (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilized) ⁻¹	(kg N ₂ O-N yr ⁻¹)
							N ₂ O(ATD)-N = [(FSN * FracGASF) + (FON + FPRP) * FracGASM] * EF ₄
	FSN	FracGASF	FON	FPRP	FracGASM	EF ₄	N ₂ O(ATD)-N
GRASSLAND	718,671.62	0.10	160,320.00	2,221.54	0.20	0.01	1,640.1860
CROPLAND	1,145,708.38	0.10	352,000.00	0.00	0.20	0.01	2,906.6846
Total							4,546.8706

Sumber: Signmart, 2025

Tabel 3. 24 Kalkulasi Emisi Emisi Tidak Langsung Dinitrogen Oksida N2O dari Manajemen Kotoran Ternak

Species / Livestock Category	Total nitrogen excretion for the MMS	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is loss due to volatilisation of NH3 and NOx	Emission factor for N2O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N2O emissions due to volatilization from Manure Management
	kg N yr-1	(-)	kg N yr-1	[kg N2O-N (kg NH3-N + NOx-N volatilised)-1]	kg N2O yr-1
			Nvolatilization-MMS = NEMMS * Frac(GasMS)		N2OG(mm) = NEvolatilization-MMS * EF4 * 44/28
T	NEMMS	Frac(GasMS)	Nvolatilization-MMS	EF4	N2OG(mm)
BEEF CATTLE WEANING PASTURA	112.75	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE WEANING DRY LOT	263.08	30.00	78.92	0.01	0.8930
BEEF CATTLE YEARLING PASTURA	295.27	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YEARLING DRY LOT	688.96	30.00	206.69	0.01	2.3385
BEEF CATTLE YOUNG PASTURA	384.13	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YOUNG DRY LOT	896.30	30.00	268.89	0.01	3.0423
BEEF CATTLE MATURE PASTURA	900.36	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE MATURE DRY LOT	2,100.84	30.00	630.25	0.01	7.1309
BEEF CATTLE IMPORTED PASTURA	529.04	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE IMPORTED DRY LOT	1,234.42	30.00	370.33	0.01	4.1900
DAIRY CATTLE WEANING	245.22	7.00	17.17	0.01	0.2023
DAIRY CATTLE YEARLING	929.61	7.00	65.07	0.01	0.7669
DAIRY CATTLE YOUNG	1,556.92	7.00	108.98	0.01	1.2845
DAIRY CATTLE MATURE	4,256.43	7.00	297.95	0.01	3.5116

Species / Livestock Category	Total nitrogen excretion for the MMS	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is loss due to volatilisation of NH3 and NOx	Emission factor for N2O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N2O emissions due to volatilization from Manure Management
	kg N yr-1	(-)	kg N yr-1	[kg N2O-N (kg NH3-N + NOx-N volatilised)-1]	kg N2O yr-1
			Nvolatilization-MMS = NEMMS * Frac(GasMS)		N2OG(mm) = NEvolatilization-MMS * EF4 * 44/28
T	NEMMS	Frac(GasMS)	Nvolatilization-MMS	EF4	N2OG(mm)
BUFFALO WEANING	24.77	12.00	2.97	0.01	0.0336
BUFFALO YEARLING	59.88	12.00	7.19	0.01	0.0813
BUFFALO YOUNG	57.73	12.00	6.93	0.01	0.0784
BUFFALO MATURE	264.85	12.00	31.78	0.01	0.3596
SHEEP WEANING	64.35	12.00	7.72	0.01	0.1213
SHEEP YEARLING	175.53	12.00	21.06	0.01	0.3310
SHEEP MATURE	401.58	12.00	48.19	0.01	0.7573
GOAT WEANING	2,807.54	12.00	336.91	0.01	5.2942
GOAT YEARLING	7,132.93	12.00	855.95	0.01	13.4507
GOAT MATURE	16,263.70	12.00	1,951.64	0.01	30.6687
SWINE WEANING	0.00	45.00	0.00	0.01	0.0000
SWINE MARKETING	0.00	45.00	0.00	0.01	0.0000
SWINE BREEDING	0.00	45.00	0.00	0.01	0.0000
HORSE WEANING	0.00	12.00	0.00	0.01	0.0000
HORSE YEARLING	0.00	12.00	0.00	0.01	0.0000
HORSE MATURE	0.00	12.00	0.00	0.01	0.0000

Species / Livestock Category	Total nitrogen excretion for the MMS	Fraction of managed livestock manure nitrogen that volatilises	Amount of manure nitrogen that is loss due to volatilisation of NH3 and NOx	Emission factor for N2O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N2O emissions due to volatilization from Manure Management
	kg N yr-1	(-)	kg N yr-1	[kg N2O-N (kg NH3-N + NOx-N volatilised)-1]	kg N2O yr-1
			Nvolatilization-MMS = NEMMS * Frac(GasMS)		N2OG(mm) = NEvolatilization-MMS * EF4 * 44/28
T	NEMMS	Frac(GasMS)	Nvolatilization-MMS	EF4	N2OG(mm)
BROILER	0.00	40.00	0.00	0.01	0.0000
LAYER	163.24	40.00	65.30	0.01	1.0261
NATIVE CHICKEN	2,471.74	55.00	1,359.46	0.01	21.3629
DUCK	1,177.42	55.00	647.58	0.01	10.1763
Total					107.1012

Sumber: Signmart, 2025

Berdasarkan data pada *Worksheet 3C6 SIGN SMART*, tabel tersebut menghitung **Emisi Tidak Langsung Dinitrogen Oksida (N_2O) dari Manajemen Kotoran Ternak** akibat proses penguapan (volatilisasi).

Berbeda dengan emisi langsung di kandang, kalkulasi ini fokus pada Nitrogen (N) yang menguap dari kotoran dalam bentuk gas amonia (NH_3) dan NO_x , yang kemudian jatuh kembali ke permukaan bumi dan berubah menjadi gas rumah kaca. Berikut adalah alur logis kalkulasinya:

a. Total Ekskresi Nitrogen (NE_{MMS})

Sistem mengambil data jumlah total nitrogen yang dikeluarkan oleh setiap kategori ternak berdasarkan sistem manajemen kotorannya (MMS). Misalnya, untuk **Goat Mature**, tercatat sebesar **16.263,70 kg N/tahun**.

b. Fraksi Penguapan ($Frac_{GasMS}$)

Setiap jenis ternak dan sistem kandang memiliki persentase penguapan yang berbeda:

- **Beef Cattle (Dry Lot):** 30% dari nitrogennya menguap.
- **Goat/Sheep:** 12% dari nitrogennya menguap.
- **Native Chicken/Duck:** 55% dari nitrogennya menguap (paling tinggi karena karakteristik kotoran unggas).
- **Sistem Pastura (Padang Rumput):** Memiliki nilai **0,00** karena kotoran yang jatuh di padang rumput dianggap tidak masuk dalam kategori manajemen kotoran terpusat yang dihitung di sini.

c. Jumlah Nitrogen yang Hilang ($N_{volatilization-MMS}$)

Sistem mengalikan total ekskresi dengan fraksi penguapan untuk mendapatkan berat Nitrogen yang benar-benar lari ke atmosfer:

$$NE_{MMS} \times Frac_{GasMS} = N_{volatilization} - MMS$$

d. Faktor Emisi (EF_4) dan Konversi Akhir

Setelah Nitrogen yang menguap diketahui, sistem menerapkan faktor emisi EF_4 sebesar **0,01** (artinya 1% dari gas yang menguap akan berubah menjadi **N_2O**). Terakhir, angka tersebut dikalikan dengan rasio **44/28** untuk mengubah satuan Nitrogen (N) menjadi senyawa Dinitrogen Oksida (**N_2O**).

$$N_2O_{G(mm)} = N_{volatilization} - MMS \times EF_4 \times \frac{44}{28}$$

e. Analisis Hasil Surabaya (2024)

Dari tabel tersebut, kita bisa melihat beberapa poin penting:

- **Penyumbang Terbesar:** Meskipun populasi sapi penting, **Goat Mature (Kambing Dewasa)** menyumbang emisi tidak langsung tertinggi sebesar **30,67 kg N_2O / tahun** karena populasi dan total nitrogennya yang besar.
- **Unggas: Ayam Buras (Native Chicken)** juga memberikan kontribusi signifikan (**21,36 kg N_2O**) karena faktor penguapannya yang sangat tinggi (55%).
- **Total Akhir:** Total emisi tidak langsung dari sektor peternakan Surabaya adalah **107,10 kg N_2O per tahun**.

f. Kesimpulan:

Angka **107,10 kg N_2O** ini nantinya akan dikonversi ke satuan CO_2 Equivalen dalam laporan akhir IGRK. Meskipun volumenya terlihat kecil, karena N_2O memiliki potensi pemanasan global yang sangat kuat, kontribusi ini tetap krusial dalam profil emisi pertanian kota.

Tabel 3. 25 Emisi Emisi Metana (CH4) dari Budidaya Padi Sawah

Rice Ecosystem	Annual harvested area	Cultivation period of rice	Baseline emission factor for continuously flooded fields without organic amendments	Scaling factor to account for the differences in water regime during the cultivation period	Scaling factor to account for the differences in water regime in the pre-regime in the pre-	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Scaling factor for both types and amount of organic amendment applied	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Adjusted daily emission factor for a particular harvested area	Annual CH4 emission from Rice Cultivation
	(ha yr-1)	(day)	kg CH4 ha-1 day-1	(-)	(-)	(tonnes ha-1)	(-)	(tonnes ha-1)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg CH4 ha-1 day-1)	Gg CH4 yr-1
										$SF_o = (1 + ROA_i * CFOA_i)0.59$			$EF_i = EF_c * SF_w * SF_p * SF_o * SF_{s,r}$	$CH4Rice = A * t * EF_i * 10^{-6}$
	A	t	EF _c	SF _w	SF _p	ROA _i	CFOA _i	ROA _i	CFOA _i	SF _o	SF _r	SF _s	EF _i	CH4Rice
CIHERANG AREA	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.57	1.15	1.22	0.0000
CISANGGARUNG AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.57	1.15	1.22	0.0000
CISANTANA AREA	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.92	1.15	1.97	0.0000
DODOKAN AREA	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.72	1.15	1.54	0.0000
IRRIGATION AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	2.25	0.29	1.48	0.74	1.15	2.02	0.0000
IR 36 AREA	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.73	1.15	1.56	0.0000
IR 64 AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	1.00	1.15	2.14	0.0000

Rice Ecosystem	Annual harvested area	Cultivation period of rice	Baseline emission factor for continuously flooded fields without organic amendments	Scaling factor to account for the differences in water regime during the cultivation period	Scaling factor to account for the differences in water regime in the pre-regime in the pre-	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Scaling factor for both types and amount of organic amendment applied	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Adjusted daily emission factor for a particular harvested area	Annual CH4 emission from Rice Cultivation
	(ha yr-1)	(day)	kg CH4 ha-1 day-1	(-)	(-)	(tonnes ha-1)	(-)	(tonnes ha-1)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg CH4 ha-1 day-1)	Gg CH4 yr-1
										$SF_o = (1 + ROA_i * CFOA_i)0.59$			$EF_i = EF_c * SF_w * SF_p * SF_o * SF_{s,r}$	$CH_4Rice = A * t * EF_i * 10^{-6}$
	A	t	EF _c	SF _w	SF _p	ROA _i	CFOA _i	ROA _i	CFOA _i	SF _o	SF _r	SF _s	EF _i	CH ₄ Rice
LIMBOTO AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.49	1.15	1.05	0.0000
MARGASARI AREA	0	120.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.93	1.15	1.99	0.0000
MAROS AREA	0	118.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.37	1.15	0.79	0.0000
MEMBERAMO AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.72	1.15	1.54	0.0000
NON IRRIGATION AREA	1,100	110.00	1.61	0.49	1.00	2.00	0.14	2.25	0.29	1.48	1.00	1.15	1.34	0.1619
OTHER AREA	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	2.25	0.29	1.48	0.74	1.15	2.02	0.0000
SPLTT AREA	0	110.00	1.61	0.46	1.00	2.00	0.14	2.25	0.29	1.48	1.00	1.15	1.26	0.0000

Rice Ecosystem	Annual harvested area	Cultivation period of rice	Baseline emission factor for continuously flooded fields without organic amendments	Scaling factor to account for the differences in water regime during the cultivation period	Scaling factor to account for the differences in water regime in the pre-regime in the pre-	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Application rate of organic amendment in fresh weight	Conversion factor for organic amendment	Scaling factor for both types and amount of organic amendment applied	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Scaling factor for soil type, rice cultivar, etc., if available	Adjusted daily emission factor for a particular harvested area	Annual CH4 emission from Rice Cultivation
	(ha yr-1)	(day)	kg CH4 ha-1 day-1	(-)	(-)	(tonnes ha-1)	(-)	(tonnes ha-1)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg CH4 ha-1 day-1)	Gg CH4 yr-1
										$SF_o = (1 + ROA_i * CFOA_i)0.59$			$EF_i = EF_c * SF_w * SF_p * SF_o * SF_{s,r}$	$CH_4Rice = A * t * EF_i * 10^{-6}$
	A	t	EF _c	SF _w	SF _p	ROA _i	CFOA _i	ROA _i	CFOA _i	SF _o	SF _r	SF _s	EF _i	CH ₄ Rice
SRI AREA	0	110.00	1.61	0.71	1.00	2.00	0.14	2.25	0.29	1.48	1.00	1.15	1.94	0.0000
TUKAD BALIAN AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.57	1.15	1.22	0.0000
TUKAD PENTANU AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.78	1.15	1.67	0.0000
WAYRAREM AREA	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.45	1.15	0.96	0.0000
WAY APOBURU AREA	0	105.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.16	0.72	1.15	1.54	0.0000
Total														0.1619
Total CO2 eq														3.4004

Sumber: Signsmart, 2025

Berdasarkan data pada *Worksheet 3C7 SIGN SMART*, tabel tersebut menghitung **Emisi Metana (CH₄) dari Budidaya Padi Sawah** di Kota Surabaya tahun 2024.

Kalkulasi ini cukup kompleks karena menggunakan banyak faktor koreksi (*scaling factors*) untuk menyesuaikan kondisi lapangan yang sebenarnya. Berikut adalah penjelasannya:

a. Persamaan Utama

Sistem menggunakan formula standar untuk menentukan emisi tahunan dari sawah:

$$CH_{4Rice} = A \times t \times EF_i \times 10^{-6}$$

- **A (Annual Harvested Area):** Luas panen tahunan. Dalam data Anda, hanya kategori **NON IRRIGATION AREA** yang memiliki luas panen sebesar **1.100 ha**, sementara varietas spesifik lainnya bernilai 0.
- **t (Cultivation Period):** Durasi masa tanam (rata-rata 110 hari).
- **EF_i (Adjusted Daily Emission Factor):** Faktor emisi harian yang telah disesuaikan (kg **CH₄** /ha/hari).

b. Menentukan Faktor Emisi yang Disesuaikan (EF_i)

Nilai **EF_i** (sebesar **1,34** pada baris Non-Irigasi) didapatkan dari perkalian faktor-faktor berikut:

- **EF_c (Baseline EF):** Nilai dasar emisi sawah tergenang terus-menerus (1,61).
- **SF_w (Scaling Factor Water):** Koreksi untuk rezim air selama masa tanam. Pada lahan non-irigasi, nilainya adalah **0,49** (lebih rendah karena lahan tidak selalu tergenang).
- **SF_p (Scaling Factor Pre-season):** Koreksi untuk kondisi lahan sebelum masa tanam (1,00).

- **SF_o (Scaling Factor Organic):** Koreksi jika ada pemberian pupuk organik/jerami. Di sini nilainya **1,48** (meningkatkan emisi karena adanya material organik yang membusuk).
- **SF_s (Scaling Factor Soil/Cultivar):** Koreksi untuk jenis tanah atau varietas padi (1,15).

c. Analisis Hasil Surabaya (2024)

Jika dimasukkan angka dari baris **NON IRRIGATION AREA**:

- **Kalkulasi CH₄:** $1.100 \text{ ha} \times 110 \text{ hari} \times 1,34 \text{ kg/ ha/ hari} \times 10^{-6} = 0,1619 \text{ kt CH}_4$
- **Konversi ke CO₂eq:** Angka metana tersebut dikalikan dengan GWP (*Global Warming Potential*) metana untuk mendapatkan total dampak pemanasan global, yaitu sebesar **3,4004 kt CO₂eq**.

d. Kesimpulan

Meskipun ada banyak varietas padi yang terdaftar (Ciherang, IR64, dll.), emisi di Surabaya tahun 2024 terkonsentrasi pada **Lahan Non-Irigasi** dengan total emisi **3,4 kiloton setara CO₂**. Hal ini menunjukkan bahwa di Surabaya, pengelolaan air pada lahan sawah tadah hujan/non-irigasi menjadi faktor penentu utama besaran emisi metana yang dihasilkan.

D. Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Kota Surabaya yang merupakan kota metropolitan dengan kepadatan bangunan yang tinggi, maka perubahan lahan terjadi dengan cepat. Adapun jenis hutan yang ada di Kota Surabaya adalah hutan raya kota dan tutupan mangrove di pantai utara dan timur Kota Surabaya. Adapun data tutupan lahan yang dicantumkan adalah data dari BPKHL XI Yogyakarta sebagai walidata untuk wilayah Jawa Timur termasuk Kota Surabaya dan Jawa Tengah.

Pada sektor ini, dapat terjadi emisi karobon atau sebaiknya serapan karbon dari setiap perubahan penggunaan lahan dan perubahan

biomassa atau tampungan karbon untuk: (1) lahan yang tetap/tersisa dalam jenis tutupan lahan yang sama, dan (2) jenis tutupan lahan yang berubah ke tutupan lahan lainnya. Selain itu, emisi juga diduga dari kehilangan karbon dari produksi kayu bulat. Sehubungan karakter Kota Surabaya sebagai kota metropolitan maka tidak ada kegiatan produksi kayu dan tidak ada kejadian kebakaran hutan yang mempengaruhi emisi/serapan gas rumah kaca.

1. Data Aktivitas Perubahan Lahan

Pada tabel 3. 26 di bawah ini adalah data perubahan tutupan lahan Kota Surabaya dari tahun 2023 ke tahun 2024 atau dapat disebut Matriks Transisi Perubahan Tutupan Lahan pada Tanah Mineral. Berdasarkan Tabel 3.26 Matriks Transisi Perubahan Tutupan Lahan pada Tanah Mineral Kota Surabaya tahun 2024 yang diinput di data *SIGN SMART*. Dalam matriks ini, kita membagi menjadi dua kategori utama: lahan yang tetap (tidak berubah) dan lahan yang mengalami transisi/perubahan.

- Total Lahan Tetap (Garis Diagonal): 35.044,34 Ha (Hasil penjumlahan dari Pm-Pm, Tm-Tm, Sw-Sw, Hms-Hms, Pt-Pt, Bdr-Bdr, S-S, B-B, Ht-Ht, A-A, Pc-Pc)
- Total Lahan yang Mengalami Perubahan: 45,35 Ha
- Hms (Hutan Mangrove Sekunder) menjadi A (Badan Air): 37,54 Ha
- Hms (Hutan Mangrove Sekunder) menjadi Bdr (Bandara): 7,81 Ha

Secara keseluruhan, struktur tutupan lahan di Kota Surabaya pada periode 2023–2024 menunjukkan stabilitas yang sangat tinggi, di mana lebih dari 99,8% area tidak mengalami perubahan fungsi. Dominasi lahan tetap berada pada sektor Pemukiman (24.153,10 Ha) dan Tambak (5.926,91 Ha).

Namun, terdapat dinamika minor namun penting pada kawasan pesisir. Tercatat seluas 37,54 Ha kawasan Hutan Mangrove

Sekunder (Hms) telah berubah menjadi Tubuh Air (A), yang secara teknis mengindikasikan adanya fenomena abrasi atau peningkatan genangan air laut. Selain itu, terdapat konversi lahan mangrove seluas 7,81 Ha menjadi kawasan Bandara (Bdr). Meskipun angka perubahan ini tergolong kecil dibandingkan total luas wilayah, pergeseran ini mencerminkan adanya tekanan pada ekosistem mangrove akibat faktor alam maupun pengembangan infrastruktur transportasi di Surabaya.

Selain data aktivitas di atas, di Kota Surabaya tidak tercatat data aktivitas pada Perubahan Tutupan Lahan pada Tanah Gambut, Data Produksi Kayu dan Data Luas Kebakaran Hutan.

:

Tabel 3. 26 Matriks Transisi Perubahan Tutupan Lahan Tahun 2023-2024 pada Tanah Mineral di Kota Surabaya

2024																							
2023	HP	HS	HMP	HRP	HT	B	PK	PM	T	AW	S	A	HMS	HRS	BR	PT	PC	SW	TM	BDR	TR	TB	RW
HP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HMP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HRP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HT	0	0	0	0	94.8 6604	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	0	0	0	126. 9612	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PK	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PM	0	0	0	0	0	0	0	24153 .097	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	308.3 1397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69.6 5646	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HMS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37.5 4061	876.4 4899	0	0	0	0	0	0	7.808 63	0	0	0
HRS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	507.7 8479	0	0	0	0	0	0	0
PC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.36 536	0	0	0	0	0	0
SW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1409. 1251	0	0	0	0	0

2024																								
2023	HP	HS	HMP	HRP	HT	B	PK	PM	T	AW	S	A	HMS	HRS	BR	PT	PC	SW	TM	BDR	TR	TB	RW	
TM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5926 .907	0	0	0	0	
BDR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	332.7 5567	0	0	0	0
TR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber: BPKHL XI Yogyakarta, 2025

2. Kalkulasi Emisi Perubahan Lahan

Secara keseluruhan dari matriks perubahan tutupan lahan di atas, maka kalkulasi emisi dapat dilihat pada Tabel 3.27 *Common Reporting Format (CRF)* Perubahan Lahan.

Tabel 3. 27 Common Reporting Format (CRF) Perubahan Lahan Tahun 2023-2024

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
3B. Forest and Other Land Use				
3B1a. Forest Remaining Forest	-13.74			-13.74
3B1b. Non-Forest to Forest	0.00			0.00
3B2a. Cropland Remaining Cropland	-0.38			-0.38
3B2b. Non-Cropland to Cropland	0.00			0.00
3B3a. Grassland Remaining Grassland	0.00			0.00
3B3b. Non-Grassland to Grassland	0.00			0.00
3B4a. Wetland Remaining Wetland	0,00			0,00
3B4b. Non-Wetland to Wetland	0,00			0,00
3B5a. Settlement Remaining Settlement	0,00			0,00
3B5b. Non-Settlement to Settlement	0.00			0.00
3B6a. Otherland Remaining Otherland	0,00			0,00
3B6b. Non-Otherland to Otherland	1.67			1.67
3C1. Biomass Burning				
3C1a. Biomass Burning in Forest Land		0.00	0.00	0.00
3C1b. Biomass Burning in Crop Land		0.00	0.00	0.00
3C1c. Biomass Burning in Grass Land		0.00	0.00	0.00
Other: Peat Decomposition	0.00			0.00
Other: Peat Fire	0.00			0.00
TOTAL	-12.46	0.00	0.00	-12.46

Sumber: Signsmart, 2025

Berdasarkan tabel **Common Reporting Format (CRF)** di atas untuk sektor **Kehutanan** di Kota Surabaya tahun 2024 yang Anda tampilkan, tabel tersebut merangkum hasil akhir dari perhitungan emisi dan penyerapan (sekuestrasi) gas rumah kaca akibat perubahan tutupan lahan.

Berikut adalah penjelasan mengenai kalkulasi dan angka-angka yang muncul:

a. Angka Negatif (CO₂ -13,74): Penyerapan Karbon

Pada baris **3B1a. Forest Remaining Forest**, terdapat angka -13,74 kt CO₂

- **Makna:** Tanda negatif (-) menunjukkan bahwa kategori ini bukan penyumbang emisi, melainkan **penyerap karbon (Net Sink)**.
- **Kalkulasi:** Angka ini didapat dari perhitungan pertumbuhan tegakan pohon (biomassa) pada lahan hutan yang tetap menjadi hutan (seperti Hutan Mangrove Sekunder di Surabaya). Sistem menghitung berapa banyak karbon yang diserap oleh pertumbuhan pohon dalam setahun dikurangi dengan kehilangan karbon alami.

b. Angka Positif (CO₂ 1,67): Emisi Karbon

Pada baris **3B6b. Non-Otherland to Otherland**, terdapat angka 1,67 kt CO₂.

- **Makna:** Tanda positif menunjukkan adanya **pelepasan emisi (Net Source)**.
- **Kalkulasi:** Emisi ini terjadi karena adanya perubahan fungsi lahan dari kategori lain menjadi "Lahan Lainnya" (*Otherland*). Biasanya, ketika lahan bervegetasi dikonversi, simpanan karbon yang ada di vegetasi dan tanah tersebut dianggap terlepas ke atmosfer. Angka 1,67 kt ini adalah hasil perkalian luas lahan yang berubah (dalam hektar) dengan faktor emisi atau selisih stok karbon antar jenis lahan.

c. Kategori Lain Bernilai 0,00

Banyak baris seperti **3B1b (Non-Forest to Forest)** atau **3B5 (Settlement)** bernilai 0,00.

- **Penyebab:** Berdasarkan data matriks transisi sebelumnya, Surabaya memiliki struktur lahan yang sangat stabil. Jika tidak ada luas lahan yang berpindah kategori (misalnya tidak ada sawah yang berubah jadi hutan), maka nilai perubahan stok karbonnya otomatis menjadi nol.

d. Total Emisi Sektor Kehutanan Surabaya

Di baris paling bawah (**TOTAL**), tercatat angka **-12,46 kt CO₂**

- **Cara Hitung:** Ini adalah penjumlahan aljabar dari seluruh kategori:

$$(-13,74) + (-0,38) + 1,67 = -12,45$$
 (dibulatkan menjadi -12,46 oleh sistem)
- **Kesimpulan Akhir:** Secara keseluruhan, sektor Kehutanan di Kota Surabaya pada tahun 2024 berfungsi sebagai **Penyerap Emisi**. Kemampuan hutan mangrove dan tutupan lahan di Surabaya dalam menyerap karbon lebih besar (13,74 kt) dibandingkan emisi yang dihasilkan dari perubahan lahan yang ada (1,67 kt).

Tabel 3.28 menunjukkan bahwa keberadaan hutan yang tersisa di Surabaya (terutama mangrove) sangat krusial karena mampu mengompensasi emisi dari sektor penggunaan lahan lainnya. Perhitungan emisi atau serapan pada lahan hutan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 28 Kalkulasi Emisi / Serapan Karbon Tutupan Hutan – Tutupan Hutan Tahun 2024 Surabaya

Equation			Equation 2.2	Equation 2.9	Equation 2.10			Equation 2.9	
Kabupaten / Kota	Land-use category		Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	Average annual above-ground biomass growth	Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes bg dm (tonne ag dm)-1]	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C yr-1)
				National statistics or international data sources	Tables	zero (0) or	GTOTAL = GW * (1+R)	0.5 or	Delta CG = A * GTOTAL * CF
					4.9, 4.10, and 4.12	Table 4.4		Table 4.3	
					A	GW		R	
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN PRIMER (HP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN TANAMAN (HT)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN PRIMER (HP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00

Equation			Equation 2.2	Equation 2.9	Equation 2.10			Equation 2.9	
Kabupaten / Kota	Land-use category		Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	Average annual above-ground biomass growth	Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes bg dm (tonne ag dm)-1] zero (0) or	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C yr-1)
				National statistics or international data sources	Tables	GTOTAL = GW * (1+R)	0.5 or	Delta CG = A * GTOTAL * CF	
					4.9, 4.10, and 4.12				Table 4.4
					A				GW
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN TANAMAN (HT)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN PRIMER (HP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN TANAMAN (HT)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00

Equation			Equation 2.2	Equation 2.9	Equation 2.10			Equation 2.9	
Kabupaten / Kota	Land-use category		Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	Average annual above-ground biomass growth	Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes bg dm (tonne ag dm)-1]	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C yr-1)
				National statistics or international data sources	Tables	zero (0) or Table 4.4	GTOTAL = GW * (1+R)	0.5 or Table 4.3	Delta CG = A * GTOTAL * CF
					4.9, 4.10, and 4.12				
					A			GW	
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN PRIMER (HP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN TANAMAN (HT)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN PRIMER (HP)		0	9.60	0.37	13.15	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	9.60	0.37	13.15	0.47	0.00

Equation			Equation 2.2	Equation 2.9	Equation 2.10			Equation 2.9	
Kabupaten / Kota	Land-use category		Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	Average annual above-ground biomass growth	Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes bg dm (tonne ag dm)-1]	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C yr-1)
				National statistics or international data sources	Tables	zero (0) or	GTOTAL = GW * (1+R)	0.5 or	Delta CG = A * GTOTAL * CF
					4.9, 4.10, and 4.12	Table 4.4		Table 4.3	
					A	GW		R	
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	9.60	0.37	13.15	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	9.60	0.37	13.15	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN TANAMAN (HT)		95	9.60	0.37	13.15	0.47	586.41
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		0	9.60	0.37	13.15	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	9.60	0.37	13.15	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN PRIMER (HP)		0	5.60	0.37	7.67	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	5.60	0.37	7.67	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	5.60	0.37	7.67	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	5.60	0.37	7.67	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN TANAMAN (HT)		0	5.60	0.37	7.67	0.47	0.00

Equation			Equation 2.2	Equation 2.9	Equation 2.10			Equation 2.9	
Kabupaten / Kota	Land-use category		Subcategories for reporting year	Area of Forest Land Remaining Forest Land	Average annual above-ground biomass growth	Ratio of below-ground biomass to above-ground biomass	Average annual biomass growth above- and below-ground	Carbon fraction of dry matter	Annual increase in biomass carbon stocks due to biomass growth
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes bg dm (tonne ag dm)-1]	(tonnes dm ha-1 yr -1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C yr-1)
				National statistics or international data sources	Tables	zero (0) or	GTOTAL = GW * (1+R)	0.5 or	Delta CG = A * GTOTAL * CF
					4.9, 4.10, and 4.12	Table 4.4	Table 4.3		
					A	GW	R	GTotal	
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		876	5.60	0.37	7.67	0.47	3,160.33
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	5.60	0.37	7.67	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN PRIMER (HP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN SEKUNDER (HS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN TANAMAN (HT)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)		0	2.15	0.37	2.95	0.47	0.00
Total									3,746.74

Sumber: Signsmart, 2025

Berdasarkan data pada *Worksheet 3B1a SIGN SMART*, tabel... di atas menghitung **Peningkatan Stok Karbon Tahunan (Carbon Gain)** pada lahan hutan yang tetap menjadi hutan (*Forest Land Remaining Forest Land*) di tanah mineral.

Berikut adalah penjelasan detail kalkulasinya dan kaitannya dengan tabel CRF (Common Reporting Format) sebelumnya:

a. Komponen Kalkulasi (Metode Gain-Loss)

Sistem menggunakan **Equation 2.9 dan 2.10** dari pedoman IPCC untuk menghitung seberapa banyak biomassa yang tumbuh dalam satu tahun:

- **Area (A):** Luas lahan hutan yang tetap. Di Surabaya, terdapat dua kategori utama:
 - **Hutan Tanaman (Ht):** 95 Ha
 - **Hutan Mangrove Sekunder (Hms):** 876 Ha
- **Total Pertumbuhan (G_{Total}):** Ini adalah hasil penjumlahan pertumbuhan di atas tanah (G_w) dan di bawah tanah (akar/R).
 - Untuk Mangrove Sekunder, G_w harian adalah 5,60 ton dm/ha/tahun. Dengan rasio akar ($\$R\$$) 0,37, maka total pertumbuhan per hektar (G_{Total}) adalah **7,67 ton dm/ha/tahun**.
- **Fraksi Karbon (CF):** Sistem menggunakan konstanta **0,47**, yang berarti 47% dari berat kering biomassa adalah karbon murni.

Rumus Akhir:

$$\Delta C_G = A \times G_{Total} \times CF$$

b. Hasil Perhitungan (Delta C-Gain)

- **Hutan Mangrove Sekunder:** $876 \text{ Ha} \times 7,67 \times 0,47 = 3.160,33 \text{ Ton C / Tahun}$
- **Hutan Tanaman:** $95 \text{ Ha} \times 13,15 \times 0,47 = 586,41 \text{ Ton C/Tahun}$

- **Total Seluruh Kategori: 3.746,74 Ton C/tahun.**

c. Kaitan dengan Tabel CRF Sebelumnya

Angka **3.746,74 Ton C** inilah yang menjadi bahan baku utama untuk angka pada baris **3B1a (Forest Remaining Forest)** di tabel CRF yang Anda tanyakan sebelumnya. Berikut adalah alur hubungan konversinya:

1. Konversi Ton C ke kt CO₂ :

- Hasil dari worksheet ini adalah dalam satuan **Karbon (C)**. Untuk masuk ke laporan CRF, angka ini harus dikonversi menjadi **Karbon Dioksida (CO₂)** dengan dikalikan rasio berat molekul **44/12**, sehingga :

$$3.746,74 \text{ Ton C} \times \frac{44}{12} = 13.738,05 \text{ Ton CO}_2$$

2. Perubahan Satuan ke Kiloton (kt):

$$13.738,05 \text{ Ton CO}_2 / 1000 = 13.738 \text{ kt CO}_2$$

3. Tampilan di CRF:

Karena ini adalah **Gain** (pertumbuhan/penyerapan), maka dalam tabel CRF angka ini ditulis sebagai **negatif (-)** karena sifatnya mengurangi emisi di atmosfer, sehingga di tabel CRF sebelumnya muncul angka **-13,74 kt CO₂**

d. Kesimpulan

Worksheet 3B1a ini adalah "dapur" perhitungannya. Angka penyerapan sebesar **-13,74 kt CO₂** pada laporan utama Anda merupakan hasil langsung dari pertumbuhan alami **971 hektar** hutan (mayoritas Mangrove) di Surabaya yang berhasil mengikat karbon ke dalam batang dan akar pohon mereka selama tahun 2024

Tabel 3. 29 Kalkulasi Emisi / Serapan pada Biomassa Tanah Mineral Lahan Pertanian tetap menjadi Lahan Pertanian Kota Surabaya Tahun 2024

Equation			Equation 2.2	Equation 2.7			
Administration	Land-use category		Subcategories for reporting year	Annual area of Cropland with perennial woody biomass	Annual growth rate of perennial woody biomass	Annual carbon stock in biomass removed (removal or harvest)	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
					National estimates, or Table 5.1	National estimates, or Table 5.1	Delta CB = A * (Delta CG - Delta CL)
				A	Delta CG	Delta CL	Delta CB
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	PERKEBUNAN (PK)		0	2.52	67.02	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)		0	0.20	0.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)		0	0.60	0.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	SAWAH (SW)		0	0.00	0.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	TRANSMIGRASI (TR)		0	1.32	10.64	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	PERKEBUNAN (PK)		0	2.52	67.02	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)		508	0.20	0.00	101.56
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)		0	0.60	0.00	0.00

Equation			Equation 2.2	Equation 2.7			
Administration	Land-use category		Subcategories for reporting year	Annual area of Cropland with perennial woody biomass	Annual growth rate of perennial woody biomass	Annual carbon stock in biomass removed (removal or harvest)	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
					National estimates, or Table 5.1	National estimates, or Table 5.1	Delta CB = A * (Delta CG - Delta CL)
				A	Delta CG	Delta CL	Delta CB
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	SAWAH (SW)		0	0.00	0.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	TRANSMIGRASI (TR)		0	1.32	10.64	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	PERKEBUNAN (PK)		0	2.52	67.02	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)		0	0.20	0.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)		5	0.60	0.00	3.22
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	SAWAH (SW)		0	0.00	0.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	TRANSMIGRASI (TR)		0	1.32	10.64	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	PERKEBUNAN (PK)		0	2.52	67.02	0.00

Equation			Equation 2.2	Equation 2.7			
Administration	Land-use category		Subcategories for reporting year	Annual area of Cropland with perennial woody biomass	Annual growth rate of perennial woody biomass	Annual carbon stock in biomass removed (removal or harvest)	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year		(ha)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
					National estimates, or Table 5.1	National estimates, or Table 5.1	Delta CB = A * (Delta CG - Delta CL)
				A	Delta CG	Delta CL	Delta CB
SURABAYA	SAWAH (SW)	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)		0	0.20	0.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)		0	0.60	0.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	SAWAH (SW)		1,409	0.00	0.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	TRANSMIGRASI (TR)		0	1.32	10.64	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	PERKEBUNAN (PK)		0	2.52	67.02	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)		0	0.20	0.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)		0	0.60	0.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	SAWAH (SW)		0	0.00	0.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	TRANSMIGRASI (TR)		0	1.32	10.64	0.00
Total							104,78

Sumber: Signsmart, 2025

Berdasarkan tampilan terbaru pada Worksheet 3B2a Biomass 1 Tabel 3.29 Kalkulasi Emisi / Serapan pada Biomassa Tanah Mineral Lahan Pertanian tetap menjadi Lahan Pertanian Kota Surabaya Tahun 2024 di atas, berikut adalah penjelasan kalkulasi pada tabel tersebut dan kaitannya dengan angka **-0,38** pada tabel CRF:

a. Analisis Kalkulasi pada Worksheet (Biomassa)

Tabel ini menghitung perubahan stok karbon pada vegetasi (biomassa) di lahan pertanian. Fokusnya ada pada dua baris yang memiliki nilai **Delta C_B**:

- **Pertanian Lahan Kering (Pt):**
 - **Luas (A):** 508 Ha.
 - **Laju Pertumbuhan (ΔC_G):** 0,20 ton C/ha/tahun.
 - **Hasil (ΔC_B):** $508 \times 0,20 = 101,56$ Ton C/ Tahun
- **Pertanian Lahan Kering Campur (Pc):**
 - **Luas (A):** 5 Ha.
 - **Laju Pertumbuhan (ΔC_G):** 0,60 ton C/ha/tahun.
 - **Hasil (ΔC_G) :** $5 \times 0,60 = 3,22$ Ton C / Tahun
- **Total Keseluruhan: 104,78 Ton C/tahun.**

Catatan Penting: Sawah (Sw) seluas 1.409 Ha memiliki nilai pertumbuhan **0,00**. Ini karena tanaman padi adalah tanaman semusim, sehingga dalam metodologi kehutanan, akumulasi biomassa tahunannya dianggap nol (berbeda dengan pohon/tanaman tahunan pada lahan kering).

b. Kaitan dengan Tabel CRF

Untuk mengkaitkan dengan tabel CRF maka dihitung dengan konversi sebagaimana di bawah ini :

Konversi Ton C ke Ton CO₂ :

Gunakan rasio berat molekul 44/12:

$$104,78 \times \frac{44}{12} = 384,19 \text{ Ton } CO_2$$

Konversi ke Kiloton (kt) :

$$\frac{384,19}{1000} = 0,384 \text{ kt } CO_2$$

c. **Tampilan di CRF:** Karena angka ini merupakan **serapan** (pertumbuhan tanaman yang menyerap karbon dari atmosfer), maka di tabel CRF angka tersebut diberi tanda **negatif (-)**, sehingga **Hasil Akhir di CRF: -0,38 kt** .

- **Worksheet Biomassa** (yang ini) menghasilkan penyerapan sebesar **-0,38** (dari pertumbuhan tanaman di lahan kering seluas 513 Ha) sehingga pada **Tabel CRF** muncul angka **-0,38** pada baris **3B2a**.
- **Cropland Remaining Cropland**. Jadi, angka **-0,38** tersebut murni berasal dari kemampuan pohon atau tanaman keras di lahan pertanian kering Surabaya dalam menyerap karbon selama tahun 2024.

**Tabel 3. 30 Emisi / Kehilangan Stok Karbon (Carbon Loss) akibat konversi lahan menjadi Lahan Lainnya
(Other Land/OL) (3B6b) Surabaya Tahun 2024**

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategori es for previous year	Subcateg ories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha- 1 yr-1)	(tonnes C yr- 1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHE RS) * CF - DCL
					DATO_OTHE S	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	TANAH TERBUKA (T)			0	291.24	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	AWAN (AW)			0	291.24	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	TAMBAK (TM)			0	291.24	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	291.24	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN PRIMER (HP)	PERTAMBANGAN (TB)			0	291.24	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	TANAH TERBUKA (T)			0	204.10	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	AWAN (AW)			0	204.10	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	TAMBAK (TM)			0	204.10	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	204.10	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN SEKUNDER (HS)	PERTAMBANGAN (TB)			0	204.10	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	TANAH TERBUKA (T)			0	236.17	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	AWAN (AW)			0	236.17	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	TAMBAK (TM)			0	236.17	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	236.17	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE PRIMER (HMP)	PERTAMBANGAN (TB)			0	236.17	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	TANAH TERBUKA (T)			0	248.80	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	AWAN (AW)			0	248.80	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	TAMBAK (TM)			0	248.80	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	248.80	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA PRIMER (HRP)	PERTAMBANGAN (TB)			0	248.80	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	TANAH TERBUKA (T)			0	161.23	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	AWAN (AW)			0	161.23	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	TAMBAK (TM)			0	161.23	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	161.23	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN TANAMAN (HT)	PERTAMBANGAN (TB)			0	161.23	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategori es for previous year	Subcateg ories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha- 1 yr-1)	(tonnes C yr- 1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHE RS) * CF - DCL
					DATO_OTHE S	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	BELUKAR (B)	TANAH TERBUKA (T)			0	128.49	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR (B)	AWAN (AW)			0	128.49	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR (B)	TAMBAK (TM)			0	128.49	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR (B)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	128.49	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR (B)	PERTAMBANGAN (TB)			0	128.49	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	TANAH TERBUKA (T)			0	102.35	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	AWAN (AW)			0	102.35	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	TAMBAK (TM)			0	102.35	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	102.35	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERKEBUNAN (PK)	PERTAMBANGAN (TB)			0	102.35	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	PEMUKIMAN (PM)	TANAH TERBUKA (T)			0	4.61	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	PEMUKIMAN (PM)	AWAN (AW)			0	4.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PEMUKIMAN (PM)	TAMBAK (TM)			0	4.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PEMUKIMAN (PM)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	4.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PEMUKIMAN (PM)	PERTAMBANGAN (TB)			0	4.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAVANA / PADANG RUMPUT (S)	TANAH TERBUKA (T)			0	8.64	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	SAVANA / PADANG RUMPUT (S)	AWAN (AW)			0	8.64	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAVANA / PADANG RUMPUT (S)	TAMBAK (TM)			0	8.64	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategori es for previous year	Subcateg ories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha- 1 yr-1)	(tonnes C yr- 1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHE RS) * CF - DCL
					DATO_OTHER S	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	SAVANA / PADANG RUMPUT (S)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	8.64	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAVANA / PADANG RUMPUT (S)	PERTAMBANGAN (TB)			0	8.64	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	TANAH TERBUKA (T)			0	118.02	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	AWAN (AW)			0	118.02	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	TAMBAK (TM)			0	118.02	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN MANGROVE	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			8	118.02	0.47	0.00	21.00	-454.14

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
	SEKUNDER (HMS)									
SURABAYA	HUTAN MANGROVE SEKUNDER (HMS)	PERTAMBANGAN (TB)			0	118.02	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	TANAH TERBUKA (T)			0	204.61	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	AWAN (AW)			0	204.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	TAMBAK (TM)			0	204.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	204.61	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	HUTAN RAWA SEKUNDER (HRS)	PERTAMBANGAN (TB)			0	204.61	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR RAWA (BR)	TANAH TERBUKA (T)			0	41.15	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR RAWA (BR)	AWAN (AW)			0	41.15	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR RAWA (BR)	TAMBAK (TM)			0	41.15	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR RAWA (BR)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	41.15	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BELUKAR RAWA (BR)	PERTAMBANGAN (TB)			0	41.15	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	TANAH TERBUKA (T)			0	29.95	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	AWAN (AW)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	TAMBAK (TM)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING (PT)	PERTAMBANGAN (TB)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	TANAH TERBUKA (T)			0	137.52	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	AWAN (AW)			0	137.52	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	TAMBAK (TM)			0	137.52	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	137.52	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	PERTANIAN LAHAN KERING CAMPUR (PC)	PERTAMBANGAN (TB)			0	137.52	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	TANAH TERBUKA (T)			0	21.27	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	AWAN (AW)			0	21.27	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	TAMBAK (TM)			0	21.27	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	21.27	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	SAWAH (SW)	PERTAMBANGAN (TB)			0	21.27	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	TANAH TERBUKA (T)			0	29.95	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	AWAN (AW)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategories for previous year	Subcategories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C yr-1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHERS) * CF - DCL
					DATO_OTHERS	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	TAMBAK (TM)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	TRANSMIGRASI (TR)	PERTAMBANGAN (TB)			0	29.95	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	RAWA (RW)	TANAH TERBUKA (T)			0	0.00	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	RAWA (RW)	AWAN (AW)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	RAWA (RW)	TAMBAK (TM)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	RAWA (RW)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	RAWA (RW)	PERTAMBANGAN (TB)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BADAN AIR (A)	TANAH TERBUKA (T)			0	0.00	0.47	0.10	21.00	0.00
SURABAYA	BADAN AIR (A)	AWAN (AW)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BADAN AIR (A)	TAMBAK (TM)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00

Equation			Equation 2.2		Equation 2.16			Equation 2.16		
Administration	Land-use category		Subcategori es for previous year	Subcateg ories for reporting year	Annual area of Land Converted to Other Land	Biomass stocks before the conversion	Carbon fraction of dry matter	Annual biomass carbon growth	Annual loss of biomass carbon	Annual change in carbon stocks in biomass
	Initial land use	Land use during reporting year			(ha)	(tonnes dm ha-1)	[tonnes C (tonne dm)-1]	(tonnes C ha-1 yr-1)	(tonnes C ha- 1 yr-1)	(tonnes C yr- 1)
						Table 5.8	0,5	Table 5.9	National estimates, or Table 5.1	DCB = DCG + ((0 - BBEFORE) * DATO_OTHE RS) * CF - DCL
					DATO_OTHER S	BBEFORE	CF	DCG	DCL	DCB
SURABAYA	BADAN AIR (A)	BANDARA / PELABUHAN (BDR)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
SURABAYA	BADAN AIR (A)	PERTAMBANGAN (TB)			0	0.00	0.47	0.00	21.00	0.00
Total										-454.14

Sumber: Signs smart, 2025

Berdasarkan data pada *Worksheet 3B6b SIGN SMART*, tabel ini menghitung **Kehilangan Stok Karbon (Carbon Loss)** akibat konversi lahan menjadi **Lahan Lainnya (Other Land/OL)** di tanah mineral Kota Surabaya tahun 2024.

Berikut adalah penjelasan kalkulasinya dan kaitannya dengan tabel CRF sebelumnya:

a. Logika Kalkulasi Konversi Lahan

Tabel ini menggunakan metode **Gain-Loss** untuk menghitung perubahan stok karbon ketika suatu lahan bervegetasi berubah fungsinya. Poin kuncinya adalah:

- **Area ($DA_{TO\ OTHERS}$)** Fokus utama ada pada baris **Hutan Mangrove Sekunder (Hms)** yang berubah menjadi **Bandara / Pelabuhan (Bdr)** seluas **8 Ha**.
- **Stok Sebelum Konversi (B_{BEFORE})**: Untuk Mangrove Sekunder, sistem mencatat cadangan biomassa sebesar **118,02 ton dm/ha**.
- **Proses Kehilangan**: Ketika lahan ini dikonversi menjadi "Lahan Lainnya" (seperti infrastruktur bandara), diasumsikan seluruh cadangan karbon yang ada di biomassa tersebut **hilang atau terlepas** ke atmosfer.
- **Rumus**:

$$\Delta C_B = (Area \times B_{BEFORE} \times CF \times -1)$$

Keterangan:

CF atau Carbon Fraction adalah 0,47

b. Hasil Perhitungan (Delta C-Loss)

Untuk konversi Mangrove ke Bandara:

$$8\text{ Ha} \times 118,02 \times 0,47 = 443,75\text{ Ton C}$$

Terdapat sedikit penyesuaian angka di tabel menjadi **-454,14 Ton C/tahun**, kemungkinan karena adanya tambahan faktor emisi dari kehilangan pertumbuhan tahunan/ DC_L sebesar 21,00). Tanda **negatif (-)** pada kolom DC_B menunjukkan bahwa

terjadi pengurangan stok karbon di lapangan, yang berarti terjadi **emisi** ke atmosfer.

c. Kaitan dengan Tabel CRF Sebelumnya

Angka **-454,14 Ton C** dari worksheet ini adalah "sumber" bagi angka emisi yang muncul di tabel CRF pada baris **3B6b. Non-Otherland to Otherland**. Berikut alur konversinya:

1. Konversi ke CO₂:

Sama seperti sebelumnya, satuan Karbon (C) harus diubah menjadi Karbon Dioksida(**CO₂**) untuk laporan nasional:

$$454,14 \text{ ton C} \times \frac{44}{12} = 1665,18 \text{ Ton CO}_2$$

2. Perubahan Satuan ke Kiloton (kt):

$$1665,18 \text{ ton CO}_2 / 1000 = 1,665 \text{ kt CO}_2$$

3. Tampilan di CRF:

Pada tabel CRF sebelumnya, angka ini muncul sebagai **1,67 kt CO₂** (pembulatan dari 1,665).

Berbeda dengan Hutan yang bersifat menyerap (negatif), angka ini di CRF bersifat **positif** karena merupakan emisi (pelepasan gas ke atmosfer).

d. Kesimpulan:

Jika Worksheet 3B1a (sebelumnya) menjelaskan mengapa Surabaya mendapatkan "bonus" penyerapan dari hutan yang tetap, Worksheet 3B6b ini menjelaskan "dosa" emisi sebesar **1,67 kt CO₂** yang timbul akibat adanya pembukaan lahan mangrove seluas **8 hektar** untuk pembangunan atau perluasan area bandara/pelabuhan.

E. Key Category Analisis sektor Kehutanan

KCA adalah metode untuk mengidentifikasi kategori sumber emisi atau penyerapan (sink) yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap total inventarisasi gas rumah kaca (GRK) suatu wilayah, baik dari segi jumlah absolut maupun trennya.

Tabel 3. 31 Key Category Analysis pada Sektor Kehutanan

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi LULUCF	Total Absolute	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	3B1a	FORESTRY	FL Remaining FL Mineral - Biomass 1	-13.74	13.74	0.00	87.02	0.00
2	3B6b	FORESTRY	Land Converted to OL Mineral - Biomass 1	1.67	1.67	0.00	10.55	87.02
3	3B2a	FORESTRY	CL Remaining CL Mineral - Biomass 1	-0.38	0.38	0.00	2.43	97.57
4	3B1b	FORESTRY	Land Converted to FL Mineral - Biomass 1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
5	3B2b	FORESTRY	Land Converted to CL Island - Biomass 1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
6	3B3a	FORESTRY	GL Remaining GL Mineral - Soils 1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
7	3B3b	FORESTRY	Land Converted to GL Mineral - Biomass 1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
8	3B5b	FORESTRY	Land Converted to SL Mineral - Biomass 1	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
9	3C1c	FORESTRY	Biomass Burning in Forest Land	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
10	3C1d	FORESTRY	Biomass Burning in Crop Land	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
11	3C1e	FORESTRY	Biomass Burning in Grass Land	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
12	3Z1	FORESTRY	Dekomposisi Gambut	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
13	3Z2	FORESTRY	Peat Fire	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00

Sumber: Signsmart, 2025

1. Memahami Kolom Utama

- **Absolute (kt CO₂ eq):** Ini adalah nilai mutlak (tanpa melihat tanda +/-) dari emisi atau penyerapan. Di sini, sistem menjumlahkan kontribusi tiap kategori untuk melihat mana yang paling "berpengaruh" terhadap profil karbon kota.
- **Kontribusi (%):** Menunjukkan seberapa besar porsi kategori tersebut terhadap total aktivitas GRK di sektor Kehutanan.
- **Kumulatif (%):** Digunakan untuk menentukan *Key Category*. Biasanya, kategori yang masuk dalam akumulasi hingga 95% dianggap sebagai kategori kunci yang harus diprioritaskan akurasi datanya.

2. Analisis Kategori Teratas (Key Categories)

Berdasarkan data tersebut, ada 3 kategori yang menguasai 100% profil kehutanan Surabaya:

Tabel 3. 32 Analisis Kategori Kunci Teratas Sektor Kehutanan 2024

No	Kode	Kategori	Kontribusi	Penjelasan
1	3B1a	FL Remaining FL	87,02%	Kategori Paling Kunci. Ini adalah aktivitas di lahan hutan yang tetap menjadi hutan (Mangrove). Nilai absolutnya 13,74 kt (yang di CRF bernilai negatif/penyerapan). Artinya, keberadaan hutan mangrove adalah faktor paling dominan dalam menentukan angka GRK sektor kehutanan Surabaya.
2	3B6b	Converted to OL	10,55%	Ini adalah emisi dari konversi lahan menjadi "Lahan Lainnya" (seperti bandara). Menjadi kategori kunci kedua karena dampak emisinya yang mencapai 1,67 kt.
3	3B2a	CL Remaining CL	2,43%	Aktivitas di lahan pertanian yang tetap. Kontribusinya kecil (0,38 kt), namun tetap tercatat sebagai kategori yang memberikan dampak terakhir pada angka kumulatif 100%.

Sumber : Hasil Analisis, 2025

3. Penjelasan Nilai yang Bernilai 0,00%

Kategori nomor 4 sampai 13 (seperti *Biomass Burning* atau *Dekomposisi Gambut*) memiliki kontribusi **0,00%**. Hal ini dikarenakan:

- **Tidak ada aktivitas:** Misalnya Surabaya tidak memiliki lahan gambut, sehingga kategori **3Z1** dan **3Z2** otomatis nol.
- **Stabilitas Lahan:** Tidak adanya kejadian kebakaran hutan (*Biomass Burning*) atau konversi lahan ke kategori lain selain yang disebutkan di atas.

4. Kesimpulan

Tabel KCA ini menegaskan bahwa jika Kota Surabaya ingin menjaga profil emisi sektor kehutanan tetap rendah (tetap menjadi penyerap/net sink), maka fokus utama kebijakan harus diletakkan pada **Pelestarian Hutan Mangrove (Kode 3B1a)**. Sebab, kategori inilah yang memegang **87% kendali** atas naik-turunnya angka inventarisasi GRK di sektor kehutanan kota. Kehilangan sedikit saja luasan di kategori ini akan berdampak jauh lebih besar daripada kategori lainnya.

F. Sektor Pengelolaan Limbah

Pada sektor limbah, emisi gas rumah kaca berdasarkan sumber produksi limbah adalah dari rumah tangga dan dari industri, jenis limbah adalah limbah padat (sampah) dan limbah cair. Pada persampahan, jumlah timbulan sampah setiap hari diasumsikan bahwa setiap hari penduduk menghasilkan 0,6 kg sampah, dengan jumlah penduduk sebesar 3.018.022 jiwa, maka timbulan sampah diasumsikan sebagai berikut :

$$3.018.022 \times 0.6 = 1.810.813,2 \text{ kg/hari atau sama dengan } 660.946,81 \text{ toh/tahun}$$

Adapun data timbulan sampah berdasar SIPSN, kurang lebih sama yaitu 1.810.813,2 kg/hari atau 660.946,81 ton/tahun

Apabila menggunakan data dari SIPSN, maka laju timbunan sampah dapat dihitung sebagai berikut :

Jumlah timbunan sampah

$$= \text{Laju pembentukan sampah per kapita} \times \text{Jumlah penduduk}$$

$$660.946,81 \text{ ton/tahun} = \text{Laju pembentukan sampah per kapita} \times 3.009.286$$

Sehingga laju pembentukan sampah setiap tahunnya adalah 0,2183 ton/tahun atau dibulatkan menjadi 0,22 ton/tahun. Laju timbunan sampah ini lebih kecil daripada laju timbunan sampah kota metropolitan (dengan jumlah penduduk >1 juta) yaitu 0,28 ton/tahun.

Distribusi sampah di Kota Surabaya adalah diangkut ke TPA yaitu 85,32% diangkut ke TPA dengan jenis TPA Benowo adalah managed anaerobik, sedangkan sisanya sebesar 5,02% diolah menjadi kompos dan 1,28% didaur ulang di TPS 3R. Adapun dominasi emisi yang dihasilkan oleh sektor limbah berasal dari limbah cair industri dan limbah cair domestik.

Tabel 3. 33 emisi berdasarkan sumber produksi limbah

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	4D2	WASTE	CH4 Industrial Wastewater	8.007.41	8.007.41	96.27	0.00	96.27	0.00
2	4D1	WASTE	CH4 Domestic Waste Water	310.25	310.25	3.73	96.27	3.73	96.27
3	4A1	WASTE	CH4 Pembuangan Akhir Sampah Padat	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4	4A2	WASTE	CH4 Pembuangan Limbah Padat Industri	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
5	4B1	WASTE	CH4 Composting	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
6	4B2	WASTE	N20 Composting	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
7	4C2	WASTE	CO2 Open Burning	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber: Signsmart, 2025

Pada limbah cair, hanya didapat data pada limbah cair domestik, Kota Surabaya yang sudah mencapai status ODF (*Open Derfecation Free*) atau Bebas BABS, maka hampir seluruh limbah cair diolah dengan distribusi sebagai berikut :

- Limbah cair ke tangkiseptik sebanyak 90%
- Pengolahan dengan IPAL Komunal sebesar 8,8%
- Sisanya yaitu MCK dan tangkiseptik komunal sebesar 1,2%

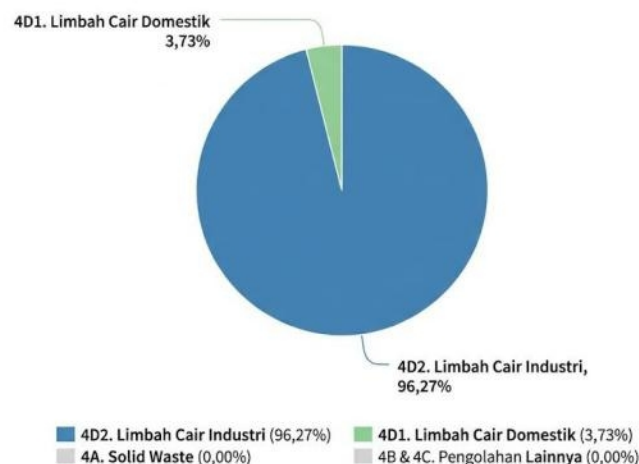
Berdasarkan data di atas, dengan aplikasi SIGNSMART, maka emisi gas rumah kaca secara CRF (*Common Reporting Format*) adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 34 emisi gas rumah kaca secara CRF

Kategori	CO2 (Gg)	CH4 (Gg)	N2O (Gg)	CO2 Eq (Gg)
4A. Pembuangan Akhir Sampah Padat		0.00		0.00
4B. Pengolahan Limbah Padat secara Biologi		0.00	0.00	0.00
4C. Pembakaran Sampah melalui Insinerator dan Pembakaran Sampah secara Terbuka	0.00	0.00	0.00	0.00
4D. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah				
4D1. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah Rumah Tangga		13.01	0.12	310.25
4D2. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah Industri		381.31		8.007.41
TOTAL	0.00	394.31	0.12	8.317.66

Sumber: Signsmart, 2025

Proporsi Emisi GRK Sektor Limbah Surabaya 2024 (%)



Gambar 3. 15 Proporsi Emisi GRK Sektor Limbah Surabaya 2024

Sumber: Signsmart, 2025

Pie chart tersebut merupakan visualisasi dari data **Common Reporting Format (CRF)** Sektor **Limbah** Kota Surabaya tahun 2024 yang bersumber dari portal *SIGN SMART*.

Gambar tersebut dirancang untuk memberikan pemahaman cepat mengenai komposisi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan dari aktivitas pengelolaan limbah. Berikut adalah poin-poin penjelasannya:

1. Dominasi Mutlak Limbah Cair Industri (Warna Biru)

Kategori **4D2. Limbah Cair Industri** mencakup **96,27%** dari total emisi sektor limbah.

- **Makna:** Angka sebesar **8.007,41 kt \$CO₂\$ Eq** menunjukkan bahwa kontribusi emisi dari proses pengolahan limbah di area industri Surabaya sangat masif.
- **Penyebab:** Hal ini biasanya dipicu oleh tingginya beban organik dalam air limbah industri yang diolah secara anaerobik (tanpa oksigen), sehingga menghasilkan gas metana (**\$CH₄\$**) dalam jumlah besar.

2. Porsi Kecil Limbah Cair Domestik (Warna Hijau)

Kategori **4D1. Limbah Cair Domestik** hanya menyumbang **3,73%**.

- **Makna:** Meskipun Surabaya adalah kota padat penduduk, emisi dari limbah rumah tangga (seperti dari *septic tank* atau IPAL komunal) tercatat jauh lebih rendah (**310,25 kt \$CO₂\$ Eq**) dibandingkan sektor industri.

3. Kategori yang Tidak Muncul (0,00%)

Kategori seperti **4A (Solid Waste/Sampah Padat)** dan **4B/4C (Pengolahan Biologi/Insinerasi)** tidak terlihat di grafik atau bernilai nol.

- **Analisis:** Hal ini menunjukkan bahwa dalam laporan tahun 2024 ini, fokus emisi GRK sektor limbah Surabaya

terkonsentrasi sepenuhnya pada **Limbah Cair (Wastewater)**. Sektor sampah padat mungkin tidak menghasilkan emisi karena sistem pengelolaan di TPA (seperti TPA Benowo) sudah menggunakan teknologi *Landfill Gas to Energy* yang menangkap metana untuk listrik, sehingga emisinya dianggap netral atau sangat kecil.

4. Kesimpulan

Visualisasi ini dengan jelas menunjukkan bahwa jika Pemerintah Kota Surabaya ingin melakukan langkah mitigasi penurunan emisi di sektor limbah, prioritas utama (96%) harus ditujukan pada perbaikan teknologi pengolahan air limbah di sektor industri, karena di situlah sumber emisi terbesar berada.

3.2 Analisis Ketidakpastian dan Kategori Kunci

3.2.1 Analisis Ketidakpastian

Analisis ketidakpastian merupakan analisis untuk menilai sebesar apa kesalahan hasil dugaan emisi/serapan (*tingkat uncertainty*). Kemunculan analisis ketidakpastian dimulai dari konseptualisasi asumsi, pemilihan model dan input data serta asumsi-asumsinya. Asumsi dan metode yang dipilih akan menentukan banyak dan jenis kebutuhan data yang diperlukan. Secara umum, sumber penyebab atau penyumbang terhadap besarnya tingkat ketidakpastian adalah : kelengkapan data, model pendugaan emisi, ketersediaan data, kesalahan acak, kesalahan pengukuran, kesalahan pelaporan dan kehilangan data. Pengumpulan data sekunder sederhana namun tidak mudah. Data tersebut terkadang tidak tersedia ataupun tersedia namun belum dalam format yang sesuai.

Dalam penghitungan emisi GRK terdapat banyak sumber ketidakpastian, hal ini disebabkan karena parameter data aktivitas dan faktor emisi bukan merupakan besaran yang diketahui secara pasti. Oleh karena itu, nilai emisi GRK tidak dapat ditentukan secara absolut, artinya terdapat kemungkinan nilai emisi GRK tersebut tidaklah 100% benar. Konsekuensinya, nilai emisi GRK harus dihitung dengan tetap

mempertimbangkan nilai ketidakpastiannya. Ketidakpastian dalam menghitung emisi GRK disebabkan beberapa hal diantaranya:

- a. Ketidakpastian fisik, berkaitan dengan kuantitas fenomena acak, seperti ketidakpastian pada volume konsumsi bahan bakar.
- b. Ketidakpastian dalam pengukuran, berhubungan dengan ketidaksempurnaan alat pengukuran dan pengambilan

Analisis ketidakpastian dalam inventarisasi GRK Kota Surabaya relatif tidak dilakukan karena data-data telah tersedia pada dokumen sekunder. Adapun kegiatan ini membatasi dari pelaksanaan survey primer dan lebih berpegang pada pendekatan koleksi data top down approach. Dokumen inventarisasi GRK Kota Surabaya ini secara keseluruhan belum dapat menilai tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) karena ketiadaan data dasar (baseline data) emisi GRK (IPCC, 2006). Selain itu metodologi perhitungan tergantung pada sistem Signsmart, sehingga Tier untuk penentuan faktor emisi juga disesuaikan pada sistem sebagai metode sederhana dalam perhitungan emisi GRK di daerah. Dokumen ini diharapkan sebagai tahun dasar perhitungan inventarisasi emisi GRK oleh pemerintah kota karena sudah menyesuaikan dengan sistem yang disediakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup.

3.2.2 Kategori Kunci

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, kategori kunci adalah sumber/rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena sumbangan yang besar terhadap total inventarisasi baik dari nilai absolut, tren dan tingkat ketidakpastian. Tahapan analisis kategori kunci harus dilakukan untuk mengidentifikasi sumber/serapan yang perlu mendapat prioritas dalam pelaksanaan program perbaikan kualitas data aktifitas maupun faktor emisi, perlu menggunakan metode dengan tingkat ketelitian (tier) yang lebih tinggi, dan perlu menjadi perhatian utama dalam sistem penjamin dan pengendalian

mutu data. Untuk kategori kunci agregat ini, seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa emisi gas rumah kaca yang telah di inventarisasi tahun 2024 didominasi dari sektor energi. Sektor energi sebagai penyumbang emisi utaa di Kota Surabaya memberi dampak signifikan bagi kualitas udara Kota Surabaya. Berdasarkan olah data dari Signsmart, berikut tabel Analisis Kategori Kunci di bawah ini.

Tabel 3. 35 Analisis Kategori Kunci Emisi GRK Surabaya Tahun 2024

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	1A2	ENERGY	Manufacturing Industry and Construction	30,745.65		30,745.65	74.82	0.00	74.79	0.00
2	4D2	WASTE	CH4 Industrial Wastewater	8,007.41		8,007.41	19.49	74.82	19.48	74.79
3	1A3	ENERGY	Transport	1,978.35		1,978.35	4.81	94.31	4.81	94.27
4	4D1	WASTE	CH4 Domestic Waste Water	310.25		310.25	0.76	99.12	0.75	99.09
5	1A1a	ENERGY	Main activity electricity and heat production	19.41		19.41	0.05	99.88	0.05	99.84
6	3B1a	FORESTRY	FL Remaining FL Mineral - Biomass 1		-13.74	13.74		99.93	0.03	99.89
7	3C4	AGRICULTURE	Direct N2O Emissions from Managed Soils	6.49		6.49	0.02	99.93	0.02	99.92
8	2A4b	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 2	5.93		5.93	0.01	99.94	0.01	99.94
9	2A4d	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 4	5.80		5.80	0.01	99.96	0.01	99.95
10	2D1	IPPU	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Lubricant Use	3.52		3.52	0.01	99.97	0.01	99.97
11	3C7	AGRICULTURE	Rice Cultivation: Annual CH4 Emission from Rice	3.40		3.40	0.01	99.98	0.01	99.97
12	3C3	AGRICULTURE	Urea Fertilization: Annual CO2 Emissions from Urea Fertilization	2.61		2.61	0.01	99.99	0.01	99.98
13	3B6b	FORESTRY	Land Converted to OL Mineral - Biomass 1		1.67	1.67		99.99	0.00	99.99
14	3C5	AGRICULTURE	Indirect N2O Emissions from Managed Soils: N2O from Atmospheric Deposition of N Volatilised from Managed Soils	1.41		1.41	0.00	99.99	0.00	99.99
15	3A1	AGRICULTURE	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management	0.56		0.56	0.00	100.00	0.00	100.00
16	3B2a	FORESTRY	CL Remaining CL Mineral - Biomass 1		-0.38	0.38		100.00	0.00	100.00
17	3A2b	AGRICULTURE	Manure Management: Direct N2O Emissions from Manure Management Systems	0.30		0.30	0.00	100.00	0.00	100.00
18	3C1a	AGRICULTURE	Emissions from Biomass Burning in Cropland	0.10		0.10	0.00	100.00	0.00	100.00
19	3C6	AGRICULTURE	Indirect N2O Emissions from Manure Management	0.03		0.03	0.00	100.00	0.00	100.00

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
20	2C6	IPPU	Metal Industry - Zinc Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
21	2B2	IPPU	Chemical Industry - Nitric Acid Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
22	2B5	IPPU	Chemical Industry - Carbide Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
23	2B8a	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
24	2B8b	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
25	2B8c	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
26	2B8f	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
27	2C1	IPPU	Metal Industry - Iron and Steel Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
28	2C3	IPPU	Metal Industry - Aluminium Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
29	2C5	IPPU	Metal Industry - Lead Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
30	3C2	AGRICULTURE	Liming: Annual CO2-C Emissions from Liming	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
31	2B1	IPPU	Chemical Industry - Ammonia Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
32	2D2	IPPU	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Paraffin Wax Use	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
33	2H1	IPPU	Others - Pulp and Paper	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
34	2H2	IPPU	Others - Food and Beverages	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
35	4A1	WASTE	CH4 Pembuangan Akhir Sampah Padat	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
36	4A2	WASTE	CH4 Pembuangan Limbah Padat Industri	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
37	4B1	WASTE	CH4 Composting	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
38	4B2	WASTE	N2O Composting	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
39	4C2	WASTE	CO2 Open Burning	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
40	3C1d	FORESTRY	Biomass Burning in Crop Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
41	1B2	ENERGY	Fugitive emissions: oil	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
42	1A5	ENERGY	Non-specified	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
43	3B1b	FORESTRY	Land Converted to FL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
44	1A4b	ENERGY	Residential	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
45	3B2b	FORESTRY	Land Converted to CL Island - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
46	3B3a	FORESTRY	GL Remaining GL Mineral - Soils 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
47	3B3b	FORESTRY	Land Converted to GL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
48	3B5b	FORESTRY	Land Converted to SL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
49	1A4a	ENERGY	Commercial / Institutional	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
50	3C1c	FORESTRY	Biomass Burning in Forest Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
51	1B1	ENERGY	Underground and surface coal mining and handling	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
52	3C1e	FORESTRY	Biomass Burning in Grass Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
53	3Z1	FORESTRY	Dekomposisi Gambut		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
54	3Z2	FORESTRY	Peat Fire		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
55	2A1	IPPU	Mineral Industry - Cement Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
56	2A2	IPPU	Mineral Industry - Lime Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
57	2A3	IPPU	Mineral Industry - Glass Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
58	2A4a	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 1	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : Signsmart, 2025

Analisis Kategori Utama (Key Categories) pada tabel di atas dijelaskan sebagai berikut :

Berdasarkan kriteria kumulatif 95%, terdapat dua sektor yang menjadi "raksasa" emisi di Surabaya:

1. Sektor Industri (Kode 1A2 & 4D2):

- **1A2 - Energy (*Manufacturing Industry*):** Menjadi penyumbang terbesar dengan **74,79%** emisi (**30.745,65 kt CO₂ eq**). Ini berasal dari penggunaan bahan bakar fosil untuk mesin-mesin pabrik dan konstruksi.
- **4D2 - Waste (*Industrial Wastewater*):** Menyumbang **19,48%** emisi. Ini menunjukkan bahwa proses pengolahan limbah cair industri di Surabaya menghasilkan gas metana (CH₄) yang sangat tinggi.
- **Total:** Gabungan energi dan limbah industri menguasai **94,27%** profil emisi kota.

2. Sektor Transportasi (Kode 1A3):

- Berada di urutan ketiga dengan kontribusi **4,81%**. Meskipun terlihat kecil secara persentase dibandingkan industri, angka mutlaknya tetap signifikan (**1.978,35 kt CO₂ eq**).

Melihat data di mana sektor industri mendominasi hampir **95%** emisi kota, rekomendasi kebijakan harus difokuskan pada "**Industrial Decarbonization**":

1. Audit Energi dan Transisi Bahan Bakar Industri (Sektor 1A2)

- Pemerintah Kota perlu mendorong industri manufaktur untuk melakukan audit energi secara ketat.
- Pemberian insentif bagi industri yang beralih dari batu bara atau minyak bakar ke gas alam (yang lebih rendah emisi) atau mulai mengadopsi energi terbarukan (seperti panel surya atap pabrik).

2. Modernisasi IPAL Industri (Sektor 4D2)

- Karena limbah cair industri menyumbang hampir 20% emisi, rekomendasinya adalah mendorong transisi dari sistem

pengolahan limbah terbuka (*open lagoon*) ke sistem tertutup (*anaerobic digester*) yang dilengkapi dengan unit penangkap gas metana (*Methane Capture*).

- Gas metana yang ditangkap dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber energi panas di pabrik tersebut (prinsip ekonomi sirkular).

3. Penguatan Sinergi Data Sektor Swasta

Dominasi angka industri yang sangat besar ini menunjukkan pentingnya pelaporan data aktivitas yang lebih akurat dari pihak perusahaan. Rekomendasinya adalah penguatan sistem pelaporan daring (seperti integrasi dengan SIMPEL/SIGN SMART) agar pemerintah dapat memantau titik-titik efisiensi karbon pada setiap klaster industri di Surabaya.

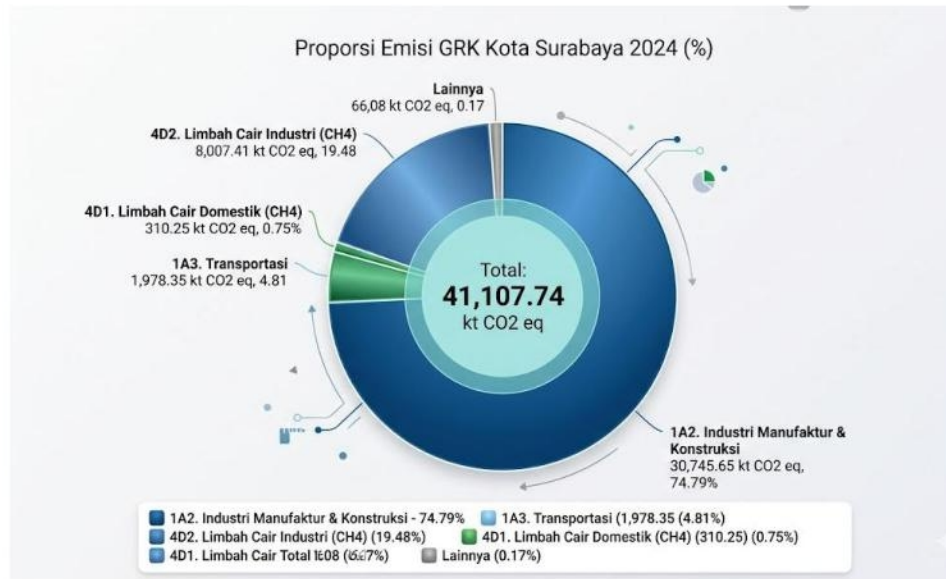
4. Mempertahankan Sektor Kehutanan/Mangrove (Sektor 3B1a)

Meskipun kontribusinya hanya **0,03%**, sektor ini adalah satu-satunya penyerap (*sink*). Rekomendasinya tetap mempertahankan luas hutan mangrove karena ia adalah satu-satunya instrumen alami yang dimiliki kota untuk menetralkan emisi dari sektor energi dan limbah di atas.

Kesimpulan:

Strategi penurunan emisi Surabaya tahun-tahun mendatang **tidak lagi cukup** hanya dengan menanam pohon atau mengatur lalu lintas, melainkan harus berfokus pada **efisiensi energi dan teknologi pengolahan limbah di sektor manufaktur**.

Berikut adalah visualisasi **Pie Chart** berdasarkan data KCA (*Key Category Analysis*) Kota Surabaya tahun 2024. Untuk menjaga kejelasan grafik, kategori dengan kontribusi sangat kecil (di bawah 0,1%) digabungkan ke dalam kelompok "**Lainnya**".



Gambar 3. 16 Proporsi Emisi GRK Kota Surabaya 2024

Sumber : Data diolah, 2025

Analisis Singkat dari Grafik:

- Sektor Industri sebagai "Heavy Hitter":** Jika digabungkan antara penggunaan energi (1A2) dan limbah cairnya (4D2), sektor industri bertanggung jawab atas **94,27%** total emisi di Surabaya. Ini menunjukkan profil Surabaya sebagai kota industri yang sangat kuat.
- Transportasi vs Limbah Domestik:** Emisi dari sektor transportasi (4,81%) ternyata jauh lebih signifikan (sekitar 6 kali lipat) dibandingkan emisi yang dihasilkan dari limbah cair rumah tangga penduduk (0,75%).
- Dominasi Gas Metana di Limbah:** Kontribusi 19,48% dari limbah cair industri menunjukkan adanya potensi besar untuk mitigasi melalui teknologi penangkapan gas metana (*methane capture*) pada pabrik-pabrik besar.

3.3 Pengendalian dan Penjaminan Mutu

Pengumpulan data yang diperoleh merupakan hasil permintaan data ke berbagai pihak yang berkaitan dengan kegiatan maupun aktivitas yang mempengaruhi gas rumah kaca di Kota Surabaya. Penjaminan mutu yang telah diupayakan yaitu mengambil data dari sumbernya atau dari pihak

tertentu secara langsung, antara lain pihak industri perseorangan, PT Pertamina, dan sebagainya. Adapaun setelahnya data yang telah terkumpul di seleksi dan dilakukan inventarisasi oleh tim internal untuk kemudian dijumlahkan secara total dari bahan-bahan yang menjadi dasar perhitungan pada website SIGN SMART. Adapun perhitungan yang dilakukan merupakan hasil perhitungan otomatis dari websiten SIGN SMART dengan menggunakan metode IPCC. Mengenai serapan serapan gas rumah kaca kami sertakan data dari sektor kehutanan sebagai media dalam penyerapan dan pengurangan emisi gas rumah kaca.

BAB IV

RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI EMISI GRK



BAB IV

RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI EMISI GRK

4.1 Rencana Perbaikan Secara Umum

Inventarisasi GRK adalah kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status, dan kecenderungan perubahan emisi GRK. Sejak lima tahun terakhir dimulainya inventarisasi emisi GRK di Kota Surabaya, pengumpulan data belum memadai. Kendala pengumpulan data yang melibatkan sektor swasta terutama industri belum optimal karena partisipasi yang rendah. Selain itu kelembagaan yang terstruktur dan melibatkan semua organisasi pemerintah daerah juga belum terbentuk dengan baik. Oleh karena itu tantangan dalam inventarisasi emisi GRK di Kota Surabaya sangat besar, data yang ada belum dapat diandalkan.

Pada kesempatan ini rencana perbaikan penyelenggaraan inventarisasi emisi GRK yang mendasar adalah membentuk kelembagaan dan peningkatan kapasitas organisasi pemerintah daerah. Salah satu bentuk peningkatan kapasitas adalah penggunaan aplikasi SIGN-SMART. SIGN-SMART adalah sistem inventarisasi GRK nasional yang dikembangkan oleh KLHK. Sistem ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas inventarisasi GRK dan pengembangan sistem manajemen inventarisasi yang berkelanjutan.

Selain itu berikut adalah beberapa hal yang dapat dilakukan untuk memperbaiki penyelenggaraan inventarisasi GRK:

1. Mempersiapkan kelembagaan penyelenggara inventarisasi dan rencana aksi penurunan emisi GRK
2. Meningkatkan kapasitas pemerintah daerah melalui bimbingan teknis
3. Mengumpulkan data aktivitas, faktor emisi, metode perhitungan, dan pelaksanaan inventarisasi GRK
4. Memastikan OPD dan stakeholder terkait sektor GRK dapat terlibat aktif untuk pengumpulan data, seperti sektor pertanian oleh Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan, sektor limbah oleh Dinas

- Sumber Daya Air dan Bina Marga dan Dinas Lingkungan Hidup, sektor industri oleh Dinas Perindustrian dan Tenaga Kerja, sektor energi pada transportasi oleh Dinas Perhubungan dan Pertamina
5. Mengkoordinasikan, menyampaikan, dan menerima data serta informasi tentang sumber-sumber emisi

Secara berjenjang, penggunaan aplikasi SIGNSMART secara tidak langsung merupakan bentuk pelaporan emisi di tingkat daerah ke tingkat yang lebih tinggi, oleh karena itu perlu untuk meningkatkan kapasitas daerah dan provinsi dalam menggunakan aplikasi SIGN-SMART. Selanjutnya mengkoordinasikan dan menyampaikan hasil inventarisasi emisi GRK ke tingkat yang lebih tinggi

Untuk memfasilitasi proses dan meningkatkan kualitas inventarisasi emisi GRK, diperlukan kelembagaan yang baik. Kelembagaan tersebut juga akan berperan penting dalam proses penjaminan dan pengendalian mutu (Quality Assurance dan Quality Control (QA/QC)). Kelembagaan untuk penyelenggaraan IGRK berfungsi untuk :

1. Praktik Berkelanjutan

Melalui kelembagaan tingkat daerah yang memiliki payung hukum, struktur, personel, dan anggaran, proses IGRK dan pelaporannya dapat dilakukan secara rutin dan berkelanjutan.

2. Kualitas Data dan Pelaporan

Proses IGRK dapat meningkatkan kualitas data terkait perubahan iklim yang terkumpul dan dapat dilaporkan dari suatu kabupaten termasuk terkait proses perencanaan dan implementasi.

3. Koordinasi Pusat – Daerah

Rancang bangun kelembagaan daerah yang terintegrasi dari tingkat kabupaten, provinsi, dan nasional terkait IGRK berpotensi mempererat koordinasi antara pusat dan daerah terkait perubahan iklim dan upaya IGRK.

Kelembagaan penyelenggaraan inventarisasi emisi GRK (IGRK) di tingkat nasional telah diatur dalam Lampiran I Peraturan Menteri

Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 73 Tahun 2017 dimana pada Pasal 7 yang menyebutkan bahwa penyelenggara IGRK meliputi: Pemerintah daerah kabupaten/kota. Sementara Pasal 8 menyebutkan bahwa “Penyelenggara Inventarisasi Gas Rumah Kaca kabupaten/kota melaporkan hasil penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca kepada penyelenggara di tingkat provinsi

Hingga saat ini kelembagaan penyelenggaraan IGRK di provinsi, kabupaten, dan kota masih banyak yang bersifat *business as usual*. Di masa mendatang perlu dibangun kelembagaan yang bersifat mengikat pada masing-masing instansi OPD sebagai wali data untuk meningkatkan kualitas data aktivitas yang digunakan serta pendokumentasian data dan informasi. Hal penting dalam merancang kelembagaan IGRK adalah pelibatan para pemangku kepentingan yang relevan secara multi pihak dengan harapan dapat menciptakan proses yang transparan, akurat, konsisten, lengkap, dan selaras dari tingkat kabupaten ke provinsi hingga nasional.

Adapun tahapan penyelenggaraan IGRK untuk menghasilkan perhitungan emisi yang berkualitas adalah sebagai berikut :

1. Tahap Pertama: Pengambilan Data

Merupakan aktivitas identifikasi pemilik dan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam proses IGRK. Pemerintah daerah diharapkan dapat bekerja sama dengan para pemilik data untuk membentuk Tim Pengumpul Data. Tahap ini dilakukan di tingkat kabupaten/kota.

Contoh:

Harus ada Tim Pengumpul Data. Tim ini bersifat multi,pihak dan multi sektor, antara lain terdiri dari Badan Pusat Statistik, Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan, Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga, Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perindustrian dan Tenaga Kerja, Dinas Perhubungan dan Pertamina dan lainnya.

2. Tahap Kedua: Kompilasi Data Per Sektor

Merupakan aktivitas pengelompokan data yang terkumpul ke dalam sektor-sektor IGRK. Tahap ini dilakukan oleh dinas yang relevan pada tiap sektornya, seperti Dinas Kesehatan untuk sektor limbah di rumah sakit. Aktivitas ini dilaksanakan di tingkat kabupaten/kota.

Contoh:

Tahap ini dilakukan oleh pemangku kepentingan kunci per sektor. Di antaranya, kompilasi data di sektor pertanian dilakukan oleh Dinas Pertanian, sektor transportasi oleh Dinas Perhubungan, sektor limbah oleh Dinas Kesehatan serta Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga, sektor industri dan produk oleh Dinas Perindustrian dan Tenaga Kerja, sedangkan sektor energi oleh Dinas Lingkungan Hidup

3. Tahap Ketiga: Kompilasi Data Kabupaten/Kota

Merupakan aktivitas pengumpulan, verifikasi, perhitungan, dan pengisian SIGN SMART yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup di kabupaten/kota sebagai coordinator teknis yang bekerja sama dengan instansi/ahli seperti akademisi dalam melakukan verifikasi data.

Proses pengumpulan data untuk IGRK tidaklah mudah; banyak faktor yang menjadi kendala proses ini. Dibutuhkan Lima Pilar Penyelenggaraan sebuah kelembagaan yang efektif dan efisien sehingga dapat menjalankan tidak hanya fungsi pengumpulan data tetapi juga fungsi lainnya, seperti koordinasi antar pihak, peningkatan kapasitas, dan pendanaan.

4.2 Rencana Perbaikan Sektoral

Perbaikan dalam penanganan emisi dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya, baik dari mitigasi hingga penancangan program. Adapun aksi yang dilakukan seperti pembangunan yang memprioritaskan rendah emisi. Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya sebagai perangkat daerah yang menangani dalam limbah berfokus pada penanganan limbah baik dari

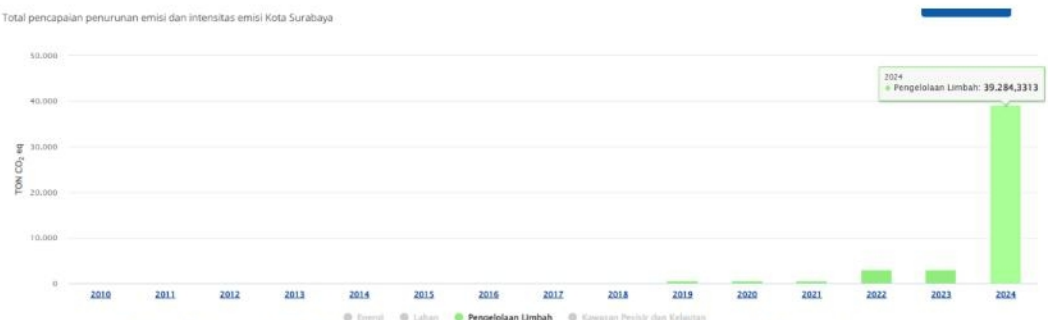
sumber hingga ke TPA. Kegiatan penurunan emisi yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya terinventarisasi dalam website AKSARA milik BAPPENAS. Untuk sektor limbah, upaya yang telah dilakukan diantaranya, pengelolaan sampah di TPS3R, sosialisasi dan pembentukan bank sampah induk untuk mengurangi sampah dari sumber. Selain itu pengelolaan sampah di TPA juga sudah dilakukan. Berikut rincian kegiatan atau upaya yang telah dilakukan Kota Surabaya dalam menurunkan emisi dari sektor limbah.

Status	Tipe Kegiatan	Nama Kegiatan	Tahun	Bidang PRK	Sub-bidang PRK	Kategori	Penurunan Emisi	Revisi
DISETUJUI ⑦	Aksi daerah	Koordinasi dan Sinkronisasi Pengelolaan Limbah B3 dengan Pemerintah Provinsi dalam rangka Pengangkutan, Pemanfaatan, Pengolahan, dan/atau Penimbunan	2024	Pengelolaan Limbah	Persampahan	Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu TPST / TPS3R	24.447,51	—
DISETUJUI ⑦	Aksi daerah	Penyusunan Kajian Revitalisasi TPS3R dan Pengembangan TPST Kota Surabaya dan Kajian RTH Makam	2024	Pengelolaan Limbah	Persampahan	Pendukung	—	—
DISETUJUI ⑦	Aksi daerah	BSIS (Bank Sampah Induk Surabaya)	2024	Pengelolaan Limbah	Persampahan	Bank Sampah	44,92	—
DISETUJUI ⑦	Aksi daerah	Landfill Gas Power Plant dan Gasifikasi Power Plant	2024	Pengelolaan Limbah	Persampahan	Tempat Pembuangan Akhir TPA	—	—

Gambar 4. 1 Upaya penurunan emisi Kota Surabaya

Sumber: Pemerintah Kota Surabaya, 2025

Penurunan emisi yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya perlu dukungan pihak lain, seperti dukungan masyarakat dan perangkat daerah lainnya. Hal ini karena masalah emisi menjadi masalah bersama. Dari sektor pengelolaan limbah, total emisi yang berhasil diturunkan mencapai 39.284,33 ton CO₂ eq. Grafik berikut menunjukkan upaya penurunan emisi yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya.

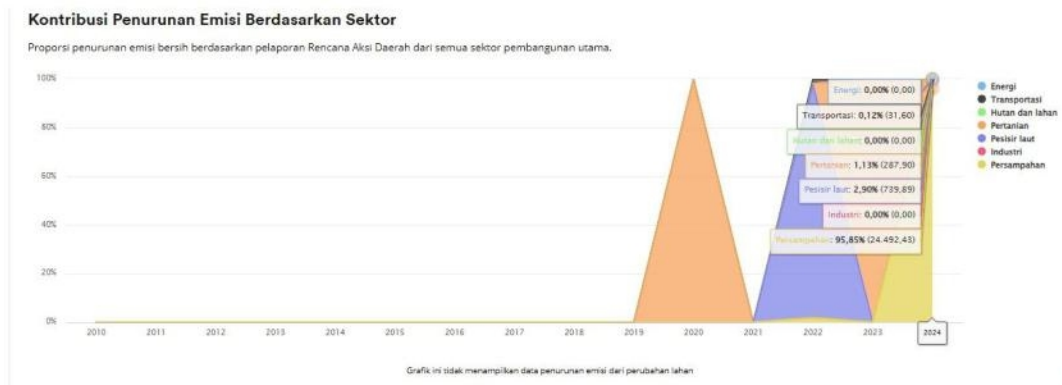


Gambar 4. 2 Upaya penurunan emisi Kota Surabaya

Sumber: Pemerintah Kota Surabaya, 2025

Emisi yang ada di Kota Surabaya menjadi tanggung jawab bersama. Perlu adanya kontribusi nyata dari semua sektor. Diharapkan seluruh pihak berkontribusi dalam menurunkan emisi yang ada, karena emisi yang ada di

lingkungan memberi kerugian bagi kita semua. Dari grafik berikut dapat dilihat bahwa sektor persampahan/pengelolaan limbah memiliki kontribusi tertinggi dalam penurunan emisi hingga mencapai 95,85%. Dari grafik ini juga dapat diketahui bahwa perlunya dukungan dari sektor lain dalam menurunkan emisi. Pihak swasta juga perlu memberi kontribusi penurunan emisi karena sektor industri sebagai sektor yang menyumbang emisi tertinggi.



Gambar 4. 3 Upaya penurunan emisi Kota Surabaya

Sumber: Pemerintah Kota Surabaya, 2025

BAB V

PENUTUP



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Perhitungan inventarisasi gas rumah kaca di tahun ini dapat dilihat bahwa dominasi tetap terdapat pada sektor energi yang didominasi pada penggunaan bahan bakar di transportasi dan industri manufaktur. Kecenderungan yang muncul disini yaitu bahwa penggunaan bahan bakar masih menjadi masalah utama dari beberapa tahun terakhir baik untuk transportasi maupun untuk industri manufaktur. Selain itu tingkat emisi yang dihasilkan dari sektor limbah di tahun ini juga mengalami kenaikan dari tahun sebelumnya. Adanya kenaikan yang signifikan ini didapat dari data limbah cair maupun limbah padat di sektor industri. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak data yang didapat maka semakin menunjukkan kondisi nyata emisi gas rumah kaca di lingkungan udara Kota Surabaya.

Kemajuan pelaksanaan inventarisasi ini mengalami kenaikan kondisi dimana lebih banyaknya data yang dapat dihimpun dari sektor swasta. Hal ini tidak lepas dari peran serta Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur yang juga turut mendorong dan membantu pengumpulan data bagi Pemerintah Daerah, termasuk Kota Surabaya. Selain itu peran serta industri perseorangan yang bersedia memberikan data kegiatan pengolahan industri mulai dari bahan baku, bahan bakar, hingga produk hasilnya.

Kendala dan hambatan yang sering dialami yaitu sulitnya pengumpulan data primer dari berbagai pihak, utamanya yaitu industri perseorangan. Adapaun perbaikan yang kami rencanakan yaitu terus mengupayakan pengumpulan data primer dari berbagai pihak serta kemungkinan menggunakan data sekunder dari dokumen-dokumen resmi yang dikeluarkan oleh lembaga atau pihak tertentu.

5.2 Saran

Jika dilihat dari hasil perhitungan dan Kesimpulan yang diberikan, menunjukkan bahwa terjadi penurunan emisi yang terinventarisasi. Namun

hal tersebut perlu dilakukan evaluasi karena data yang terakumulasi di tahun penyusunan ini dirasa masih belum maksimal dalam mewakili kondisi lingkungan Kota Surabaya yang sesungguhnya. Semakin banyak data yang dimiliki, semakin akurat informasi emisi GRK yang dihasilkan. Mengingat tidak mudah memperoleh data dari industri karena kurangnya respon dari industri serta penolakan karena satu dan lain hal, maka perlu upaya *follow up* secara intensif agar data yang dapat diolah lebih banyak.

Adanya data yang terkumpul juga memberi petunjuk bahwa sumber data yang digunakan pada tahun ini juga berbeda dengan tahun sebelumnya. Hal ini juga memberi pengaruh pada pengolahan data. Karena perbedaan sumber data maka agak kurang relevan jika dilakukan perbandingan data untuk mengetahui kenaikan/penurunan emisi gas rumah kaca dari tahun-tahun sebelumnya. Adanya *baseline* dan *database* dapat membantu dan memudahkan penyusunan kajian untuk tahun selanjutnya agar diharapkan lebih presisi. Perlu diketahui bahwa perhitungan yang telah dilakukan di Bab 3 merupakan hasil kalkulasi dari website SIGNSMART milik Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Maka untuk faktor emisi yang digunakan mengacu pada faktor emisi yang telah ditentukan oleh pihak Kementerian.

