



KAJIAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK) KOTA SURABAYA TAHUN 2023



P E M E R I N T A H K O T A S U R A B A Y A

DINAS LINGKUNGAN HIDUP

TIM PENYUSUN

Penyusun:

Pemerintah Kota Surabaya

Dinas Lingkungan Hidup

Editor:

Agus Hebi Djuniantoro, S.T, M.T

Andhini Kusumawardani, S.T.

Dina Novira, ST, MT

Desi Mustiyorini, A.Md.Kes.Ling

M. Safii

Yudistira Larung Tino, S.Kom

Dwi Rahayu Setiyawati, S.Si

Dionysius H.K, S.PWK

Mia Ulfa Januandari, S.T

Pangki Andi Candra, S.E

Amita Richtiar, S.Kom

R. Cipta Anugerah P, S.T

Desain Sampul dan Tata Letak:

Amita Richtiar, S.Kom

Penerbit:

Pemerintah Kota Surabaya

Dinas Lingkungan Hidup

Jalan Menur No. 31 Surabaya 60285

Telepon (031) 5967387

Cetakan Pertama, Desember 2023

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT karena telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Laporan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2023 di Surabaya ini dapat diselesaikan.

Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) disusun dengan tujuan untuk mengetahui inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) di Kota Surabaya yang terdiri dari Sektor Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya (*Agriculture, Forestry and Land Use/AFOLU*), Sektor Energi, Sektor Limbah, serta Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk (*Industrial Process and Product Usage/IPPU*) dalam skala Kota Surabaya. Pada pelaporan ini, perhitungan emisi didasarkan pada sistem aplikasi SIGNSMART yaitu Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional-Sederhana, Mudah, Akurat, Ringkas, dan Transparan. Sistem dengan menggunakan default *Tier-1* dan *Tier-2* pada aplikasi tersebut. *Tier 1* merupakan metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan dasar dan faktor emisi *default* dari IPCC, sedangkan *Tier-2* lebih disesuaikan dengan kondisi di Indonesia. Hasil dari perhitungan ini yaitu total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari keempat sektor di atas yang secara nasional akan memberikan kontribusi pada inventarisasi gas rumah kaca secara nasional. Hasil inventarisasi ini juga menjadi salah satu landasan bagi Pemerintah Kota Surabaya dalam menentukan kebijakan dan rencana aksi daerah dalam upayanya menjaga kualitas udara, utamanya dalam menurunkan emisi gas rumah kaca.

Laporan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2023 ini berisi pendahuluan, tinjauan kebijakan, metodologi, gambaran umum, analisis dan pembahasan, rekomendasi upaya pengurangan GRK, serta kesimpulan dan saran. Selain itu, hasil perhitungan juga tercantum dalam laporan ini dimana data yang diolah merupakan data primer dan sekunder yang di dapat dari berbagai pihak baik dari perangkat daerah maupun industri/swasta.

Ucapan terima kasih kami sampaikan atas bantuan dari semua pihak dalam penyusunan Laporan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya Tahun 2023 ini mulai dari pelaksanaan pengumpulan, perhitungan data, dan informasi hingga penyusunan kajian ini. Kritik dan saran kami harapkan demi kesempurnaan laporan ini dan semoga laporan ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Desember 2023

Kepala Dinas Lingkungan Hidup

Kota Surabaya,

Agus Hebi Djuniantoro, S.T., M.T

DAFTAR ISI

TIM PENYUSUN.....	i
KATA PENGANTAR	ii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan dan Sasaran.....	3
1.3 Dasar Hukum.....	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
1.6 Jadwal Pelaksanaan	6
BAB II GAMBARAN UMUM.....	8
2.1 Gambaran Umum Kota Surabaya	8
2.2 Sektor-Sektor Emisi Gas Rumah Kaca Kota Surabaya	8
2.2.1 Sektor Energi.....	8
2.2.2 Sektor Limbah	9
2.2.3 Sektor AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use).....	12
2.2.4 Sektor IPPU (Industrial Process and Product Uses)	15
BAB III METODOLOGI.....	17
3.1 Jenis Gas Rumah Kaca	17
3.2 Sumber Emisi	18
3.3 Pemilihan Metodologi.....	21
3.4 Sektor Sumber Emisi Gas Rumah Kaca	a 23
3.4.1 Sektor Penyediaan dan Penggunaan Energi	23
3.4.2 Sektor IPPU (Industrial Product and Process Use)	30
3.4.3 Sektor Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan lainnya atau AFOLU (Agricultural, Forestry and Other Land Use).....	32
3.4.4 Sektor Limbah	38
BAB IV HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GRK.....	50
4.1 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi dan Serapan GRK.....	50
4.1.1 Sektor Energi.....	50
4.1.2 SEKTOR IPPU (Industrial Process and Product Use).....	56
4.1.3 SEKTOR AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use.....)	) 59
4.1.4 Sektor Limbah	82
4.2 Kecenderungan Emisi Gas Rumah Kaca	83
4.2.1 Sektor Energi.....	84
4.2.2 Sektor Industri atau IPPU (Industrial Product and Process Use)...	85
4.2.3 Sektor Limbah	85
4.2.4 Sektor Pertanian dan Peternakan (AFOLU).....	86
4.2.5 Sektor Kehutanan.....	88
BAB V ANALISIS KETIDAKPASTIAN DAN KATEGORI KUNCI.....	89
5.1 Analisis Ketidakpastian	89
5.2 Kategori Kunci	90
5.2.1 Sektor Energi.....	91
5.2.2 Sektor Industri / IPPU (Industrial Process dan Production Use)....	91
5.2.3 Sektor Pertanian dan Kehutanan / AFOLU (Agricultural, Forestry and	

Other Land Use).....	92
5.2.4 Sektor Penggunaan Lahan dan Kehutanan	93
5.2.5 Sektor Limbah	94
BAB VI REKOMENDASI UPAYA PENGENDALIAN GAS RUMAH KACA (GRK)	103
6.1 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor Energi.....	104
6.2 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor Limbah	105
6.3 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor AFOLU	106
6.4 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor IPPU.....	106
6.5 Rencana Aksi Daerah (RAD) Penurunan GRK berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 67 Tahun 2012.....	107
6.5.1 Bidang Energi.....	107
6.5.2 Bidang IPPU.....	108
6.5.3 Bidang Pengelolaan Limbah.....	108
6.5.4 Bidang AFOLU.....	109
6.6 Rekomendasi berdasarkan Peraturan Walikota Kota Surabaya Nomor 36 Tahun 2020 tentang Rencana Kerja Pemerintah Kota Surabaya Tahun 2021	109
6.7 Rekomendasi berdasarkan RPJMN 2020-2024	110
6.8 Penanaman Pohon Sebagai Agen Pereduksi CO2	110
6.9 Lahan Mangrove sebagai Simpanan Karbon	111
6.10 Klasifikasi Rencana Aksi Daerah sebagai Kegiatan Inti dan Kegiatan Pendukung.....	112
6.10.1 Rencana Aksi Daerah sebagai Kegiatan Inti	112
6.10.2 Rencana Aksi Daerah sebagai Kegiatan Pendukung	116
DAFTAR PUSTAKA	viii

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jadwal Pelaksanaan Penyusunan Laporan Kajian Inventarisasi GRK Kota Surabaya Tahun 2023	6
Tabel 2. 1 Data Konsumsi Gas Tahun 2022	9
Tabel 2. 2 Data Konsumsi Bahan Bakar Sumber Bergerak Tahun 2022....	9
Tabel 2. 3 Komposisi Sampah TPA Benowo Tahun 2022	10
Tabel 2. 4 Data Sampah yang Masuk ke TPA Benowo Tahun 2022	10
Tabel 2. 5 Data Jumlah Penduduk dengan Akses Sanitasi Layak di Kota Surabaya Tahun 2022	11
Tabel 2. 6 Data Populasi Hewan Ternak di Kota Surabaya Tahun 2022 ...	13
Tabel 2. 7 Luas Lahan Pertanian Sawah Menurut Sistem Pengairan Surabaya Tahun 2022	13
Tabel 2. 8 Luas Lahan Pertanian Sawah Menurut Jenis Sawah Kota Surabaya Tahun 2022	14
Tabel 2. 9 Jumlah Konsumsi dan Jenis Pupuk di Kota Surabaya Tahun 2022	14
Tabel 2. 10 Data Konsumsi Karbonat untuk Industri Kaca di Surabaya	16
Tabel 2. 11 Data Konsumsi Karbonat untuk Industri Keramik di Surabaya	16
Tabel 2. 12 Data Konsumsi Karbonat untuk Industri Lainnya di Surabaya	16
Tabel 3. 1 Jenis Gas Rumah Kaca dan Nilai Potensi Pemanasan Global.	18
Tabel 3. 2 Kategori Sumber/Rosot Penyumbang GRK	19
Tabel 3. 3 Sumber Data Tiap Sektor Emisi GRK	20
Tabel 3. 4 Sumber Kategori Emisi Sektor Energi	24
Tabel 3. 5 Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar	25
Tabel 3. 6 Distribusi bahan bakar untuk transportasi	26
Tabel 3. 7 Penggunaan Bahan Bakar untuk Industri Manufaktur Tahun 2022	27
Tabel 3. 8 Bahan bakar pada area komersial dan Industri	27
Tabel 3. 9 Kategori Sumber Emisi GRK dari Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk	30
Tabel 3. 10 Penggunaan karbonat pada sektor Industri di	31
Tabel 3. 11 Faktor Emisi GRK untuk Kegiatan Pengolahan Biologi Sampah	41
Tabel 3. 12 Laju Pembentukan Sampah Domestik Rata-rata di Indonesia	42
Tabel 3. 13 Timbulan Sampah Di Kota Surabaya	43
Tabel 3. 14 Distribusi Pengelolaan Sampah Domestik Di Kota Surabaya.	43
Tabel 3. 15 Kebutuhan Data Aktivitas TPA	44
Tabel 3. 16 Sistem Pengelolaan Sampah	45
Tabel 3. 17 Faktor Oksidasi	47
Tabel 3. 18 Faktor Emisi Air Limbah Domestik	47
Tabel 3. 19 Limbah Cair Industri berdasarkan volume dan jenis produksi	48
Tabel 3. 20 Faktor Emisi GRK pada Limbah Cair Industri	49
Tabel 4. 1 Emisi pada Pembangkit dengan Bahan Bakar Gas Alam di Surabaya	51

Tabel 4. 2 Emisi berdasarkan Konsumsi Bahan Bakar pada Industri di Surabaya	51
Tabel 4. 3 Emisi pada Penggunaan Bahan Bakar pada sektor Transportasi di Kota Surabaya	53
Tabel 4. 4 Emisi dari Penggunaan Gas Alam pada Tempat Komersial di kota Surabaya.....	54
Tabel 4. 5 Emisi dari Penggunaan Gas Alam pada Tempat Komersial di kota Surabaya.....	55
Tabel 4. 6 Emisi Gas CO ₂ pada Sektor Energi di Kota Surabaya.....	55
Tabel 4. 7 Emisi pada Proses Produksi Keramik di Kota Surabaya	57
Tabel 4. 8 Emisi Gas CO ₂ pada Proses Produksi dengan Penggunaan Soda di Kota Surabaya	57
Tabel 4. 9 Emisi pada Proses Produksi Pengolahan Karet di Kota Surabaya	58
Tabel 4. 10 Emisi GRK pada Sektor IPPU di Kota Surabaya.....	58
Tabel 4. 11 Emisi CH ₄ dari Fermentasi Enterik pada Ternak di Kota Surabaya	60
Tabel 4. 12 Emisi CH ₄ dari Pengelolaan Kotoran pada Ternak di Kota Surabaya	62
Tabel 4. 13 Emisi CH ₄ dari Pengelolaan Kotoran pada Ternak di Kota Surabaya	64
Tabel 4. 14 Emisi N ₂ O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran pada Ternak	67
Tabel 4. 15 Emisi dari Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian	71
Tabel 4. 16 Emisi dari Penggunaan Pupuk Urea pada Lahan Pertanian	72
Tabel 4. 17 Emisi dari N ₂ O Langsung dari Pengelolaan Tanah Pertanian	72
Tabel 4. 18 Emisi dari N ₂ O Tidak Langsung dari Pengelolaan Tanah Pertanian	75
Tabel 4. 19 Emisi CH ₄ pada Budidaya Pertanian.....	77
Tabel 4. 20 Emisi pada Sektor Pertanian dan Peternakan	80
Tabel 4. 21 Emisi pada Sektor Kehutanan dan Perubahan Lahan di Kota Surabaya	81
Tabel 4. 22 Emisi pada Sektor Limbah di Kota Surabaya	82
Tabel 4. 23 Emisi Gas Rumah Kaca (CO ₂) di Kota Surabaya Tahun 2022	83
Tabel 4. 24 Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂).....	84
Tabel 4. 25 Emisi GRK Sektor Industri Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂).....	85
Tabel 4. 26 Emisi GRK Sektor Limbah Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂ eq).....	86
Tabel 4. 27 Emisi GRK Sektor Pertanian dan Peternakan Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂ eq).....	86
Tabel 5. 1 Analisa Kategori Kunci Sektor Energi Di Kota Surabaya 2022 ..	91
Tabel 5. 2 Analisa Kategori Kunci Sektor IPPU Di Kota Surabaya 2022	91
Tabel 5. 3 Analisa Kategori Kunci Sektor Pertanian Di Kota Surabaya 2022 ..	92
Tabel 5. 4 Analisa Kategori Kunci Sektor Kehutanan Di Kota Surabaya 2022 ..	93
Tabel 5. 5 Analisa Kategori Kunci Sektor Limbah Di Kota Surabaya 2022 ..	94

Tabel 5. 6 Analisi Kategori Kunci Emisi Gas Rumah Kaca Di Kota Surabaya 2022	94
Tabel 5. 7 Analisi Kategori Kunci Emisi Gas Rumah Kaca Di Kota Surabaya 2021	98
Tabel 6. 1 Jenis-jenis tanaman dan kemampuan daya serap CO2.....	110
Tabel 6.2 Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti dan Pelaksana Kegiatan	112
Tabel 6.3 Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Pendukung dan Pelaksana Kegiatan	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Pendekatan sektoral sumber emisi energi pada Industri.....	27
Gambar 3. 2 Sumber Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Limbah	39
Gambar 3. 3 Grafik Perkembangan Penduduk Kota Surabaya	42
Gambar 3. 4 Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik Di Kota Surabaya	47
Gambar 4. 1 Persentase Emisi pada Sektor Energi di Kota Surabaya Tahun 2022	56
Gambar 4. 2 Grafik Emisi Sektor Energi, IPPU, Pertanian, Kehutanan dan Limbah Nasional.....	60
Gambar 4. 3 Persentase Emisi Gas Rumah Kaca (CO ₂) di Kota Surabaya Tahun 2022	83
Gambar 4. 4 Grafik Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂)	84
Gambar 4. 5 Grafik Emisi GRK Sektor Industri Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂)	85
Gambar 4. 6 Grafik Emisi GRK Sektor Limbah Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂)	86
Gambar 4. 7 Grafik Emisi GRK Sektor Pertanian dan Peternakan Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO ₂).....	87
Gambar 4. 8 Sektor Kehutanan	88

BAB I

PENDAHULUAN



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena perubahan iklim yang terjadi secara global adalah hal yang tidak dapat dihindari. Fenomena perubahan iklim ini dapat terjadi secara alami yang disebabkan adanya gas rumah kaca pada lapisan atmosfer. Gas rumah kaca ini timbul dari berbagai aktivitas manusia dan makhluk hidup lainnya. Pada dekade terakhir ini perubahan iklim mulai berlangsung lebih cepat dan dampaknya semakin dirasakan oleh seluruh makhluk bumi. Seluruh negara saat ini sedang melakukan berbagai upaya, untuk meminimalisasi dampak yang kemungkinan timbul akibat perubahan iklim. Fenomena alam yang tidak biasa mulai terjadi seperti siklus musim yang mulai bergeser, musim kering yang berkepanjangan atau sebaliknya musim hujan yang terus menerus dan naiknya tinggi permukaan air lebih dari biasa. Hal ini menunjukkan bahwa bumi mengalami perubahan, dan memperlihatkan fenomena-fenomena baru yang tidak sewajarnya.

Pada 2015 lalu, sejumlah 171 negara berkomitmen untuk menghentikan peningkatan suhu bumi agar tidak lebih dari 2 derajat celcius yang dituangkan dalam Paris Agreement (Perjanjian Paris) . Masing-masing negara yang menandatangani komitmen tersebut akan mengupayakan pengendalian dan pencegahan perubahan iklim dengan cara mengendalikan emisi gas rumah kaca dan dituangkan dalam Nationally Determined Contribution (NDC) periode 2020—2030.

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.

Di Indonesia, pemerintah bergerak dengan cepat untuk mengeluarkan Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016, tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change. Komitmen Indonesia diperkuat melalui dokumen Nationally Determined Contribution (NDC) pertama pada November 2016 dengan penetapan target tanpa dukungan sebesar 29% dan target dengan dukungan internasional hingga 41% dibandingkan dengan

skenario business as usual (BAU) pada tahun 2030. Penurunan emisi ini ditargetkan pada 4 (empat) sektor yaitu : Sektor Energi, Sektor Limbah, Sektor Industri / IPPU (Industrial Process and Production Use) dan Sektor Pertanian Kehutanan dan Penggunaan Lahan / AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use)

Permasalahan perubahan iklim menjadi salah satu fokus utama pemerintah Indonesia. Dalam Konferensi Tingkat Tinggi Climate Adaptation Summit (KTT CAS) 2021, Presiden menyampaikan empat langkah strategis dalam menangani perubahan iklim. Pertama, memastikan seluruh negara berkontribusi bagi penanganan perubahan iklim. Kedua, menggerakkan potensi masyarakat untuk menumbuhkan kesadaran dalam menangani dan melakukan aksi terkait perubahan iklim. Ketiga, penguatan kemitraan global dengan memprioritaskan kerja sama peningkatan kapasitas dalam menghadapi perubahan iklim bagi negara-negara di kawasan Pasifik. Keempat, terus melanjutkan pembangunan hijau agar menjadikan dunia yang lebih baik.

Bulan September Tahun 2023 Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) selaku *National Focal Point United Nations Framework Convention On Climate Change*, menyampaikan peningkatan ambisi penurunan emisi gas rumah kaca melalui dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution (ENDC)* Indonesia. Dalam ENDC tersebut, Indonesia secara optimis menaikkan target pengurangan emisi menjadi 31,89% di tahun 2030 apabila tanpa dukungan, dan target sebesar 43,20% dengan dukungan internasional. Ambisi peningkatan pengurangan target emisi ini sejalan dengan rencana transisi energi bersih oleh pemerintah Indonesia, sektor industri perlu inovatif dalam akuisisi teknologi dan investasi. Dengan investasi dan teknologi yang tepat, Indonesia dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sehingga dapat berkontribusi mengurangi dampak perubahan iklim global.

Kota Surabaya sebagai salah satu kota perdagangan dan jasa yang besar di Indonesia, dan ditambah dengan posisinya terletak di pesisir pantai utara pulau Jawa, tidak dapat dihindari dirasakannya dampak perubahan iklim. Peningkatan permukaan air laut, peningkatan suhu perkotaan dan pergeseran cuaca merupakan dampak perubahan iklim di Kota Surabaya. Oleh karena itu Pemerintah Kota Surabaya saat ini sedang dalam upaya melakukan mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Untuk itu perlu diketahui seberapa besar inventarisasi emisi gas rumah kaca dan kecenderungannya dalam beberapa tahun

terakhir di Kota Surabaya, sehingga berdasarkan data-data tersebut, dapat diambil kebijakan dan rencana aksi yang diperlukan.

Proses penyiapan inventarisasi emisi gas rumah kaca adalah proses pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan melalui perangkat-perangkat daerah pengampu dan stakeholder terkait serta pihak swasta, terutama di sektor industri yang terkait langsung. Data yang terkumpul akan disusun pada kertas kerja yang kemudian diinput pada aplikasi SIGNSMART.

Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Tahun 2023 ini akan menggunakan data tahun 2022 sehingga menunjukkan kondisi yang saat ini terjadi. Dalam dokumen tersebut nantinya akan dikaji mengenai sumber emisi gas rumah kaca, perhitungan emisi dan serapan gas rumah kaca, serta upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan adanya Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) tahun 2023 ini diharapkan pemantauan kondisi GRK dapat dilakukan secara berkala dan target penurunan emisi GRK dapat optimal.

1.2 Tujuan dan Sasaran

Adapun tujuan dari kegiatan penyusunan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) adalah sebagai berikut:

1. Kegiatan kajian inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya memiliki maksud dan tujuan:
 - a. Melakukan inventarisasi data sumber emisi dari sektor limbah, IPPU, energi, dan AFOLU skala kota.
 - b. Melakukan perhitungan emisi dan serapan gas rumah kaca (GRK)
 - c. Memberikan rekomendasi upaya penanganan terhadap emisi gas rumah kaca
2. Sasaran yang hendak dicapai dalam kegiatan inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surabaya meliputi:
 - a. Inventarisasi emisi gas rumah kaca dapat dijadikan sebagai bahan pembandingan inventarisasi di tahun-tahun mendatang.
 - b. Sebagai bahan pertimbangan untuk pembuatan kebijakan yang terkait dengan strategi dan rencana aksi penurunan emisi di Kota Surabaya.

1.3 Dasar Hukum

Dari studi dan data terdahulu diambil dari berbagai sumber yang dapat digunakan sebagai dasar hukum dalam penyusunan inventarisasi emisi gas rumah

kaca ini, baik dari pemerintah pusat, provinsi maupun kota/kabupaten serta sumber lainnya. Peraturan perundang-undangan yang dapat dijadikan acuan penyusunan kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Undang-undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
2. Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement on Climate Change*
3. Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang (Perpu) Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja
4. Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional
5. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
6. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional
7. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2019 tentang Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi
8. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 67 Tahun 2012 tentang Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi Jawa Timur

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari laporan kajian ini meliputi lingkup wilayah dan lingkup kegiatan sebagai berikut:

1. Lingkup Wilayah

Lingkup wilayah inventarisasi emisi meliputi wilayah Kota Surabaya dengan luas wilayah 334,51 km² yang terdiri atas 31 kecamatan dan 154 kelurahan. Dengan batas wilayah Kota Surabaya sebelah utara dan timur adalah selat Madura, sebelah selatan kabupaten Sidoarjo dan sebelah barat adalah kabupaten Gresik.

2. Lingkup Kegiatan

Adapun ruang lingkup kegiatan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Surabaya adalah sebagai berikut:

a. Tahap Persiapan

Melakukan persiapan yang dibutuhkan untuk inventarisasi gas rumah kaca (GRK) meliputi melakukan studi literatur terkait GRK, penentuan metode yang digunakan, dan penentuan list data yang dibutuhkan

b. Tahap Pengumpulan Data

Melakukan inventarisasi dan kompilasi data yang dibutuhkan dalam perhitungan emisi dan serapan gas rumah kaca (GRK) meliputi sektor *Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*, *Industrial Process and Product Uses (IPPU)*, Limbah serta Energi.

c. Tahap Verifikasi Data

Melakukan pengecekan ulang terhadap hasil inventarisasi data GRK, apabila data sudah tersedia dan sesuai format langsung diinput ke dalam persamaan emisi GRK masing-masing sektor.

d. Tahap Analisis Data

Melakukan analisis data untuk perhitungan emisi dan serapan GRK sehingga dapat dilaporkan dan memantau tingkat serta status emisi GRK. Dalam melakukan perhitungan total emisi yang dihasilkan dari sumber emisi GRK ini dibantu dengan pengisian website SIGN SMART yang telah disediakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

e. Tahap Penentuan Rekomendasi

Tahap penyusunan upaya penanganan yang dapat dilakukan untuk mengatasi emisi GRK berdasarkan kebijakan yang berlaku maupun *best practice* yang pernah dilakukan.

f. Penyusunan Laporan

Melakukan penyusunan laporan Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kota Surabaya.

1.5 Sistematika Penulisan

Dokumen Kajian Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK), berdasarkan Permen LHK No. 73 tahun 2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional dan Pedoman Penyusunan

Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan Kementerian Lingkungan hidup tahun 2013, dimana dalam penyusunannya memiliki sistem penulisan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, terdiri dari :

1. Latar Belakang
2. Tujuan dan Sasaran
3. Dasar Hukum
4. Ruang Lingkup
5. Sistematika Penulisan
6. Jadwal pelaksanaan

BAB II Gambaran Umum

BAB III Metodologi

BAB IV Hasil Perhitungan Emisi Dan Serapan GRK

BAB V Analisa Dan Pembahasan / Analisis Ketidakpastian dan Kategori Kunci

BAB VI Rekomendasi Upaya Pengendalian Gas Rumah Kaca (GRK)

1.6 Jadwal Pelaksanaan

Penyusunan laporan Inventarisasi Emisi Gas Rumah kaca di Kota Surabaya ini disusun dalam waktu 4 (empat) bulan sesuai dengan tabel jadwal di bawah ini.

Tabel 1. 1 Jadwal Pelaksanaan Penyusunan Laporan Kajian Inventarisasi GRK Kota Surabaya Tahun 2023

NO	Kegiatan	Bulan													
		Juli			Agustus			September			Oktober		November		
1	Tahap persiapan														
2	Tahap pengumpulan data														
3	Tahap analisis data														
4	Tahap penyusunan laporan														
5	Bab 1														
6	Bab 2														
7	Bab 3														
8	Bab 4														
9	Bab 5														

NO	Kegiatan	Bulan															
		Juli			Agustus			September			Oktober			November			
10	Bab 6																
11	Bab 7																
12	Finalisasi laporan																

Sumber: Tim Penyusun Inventarisasi GRK, 2023

BAB II

GAMBARAN UMUM



BAB II GAMBARAN UMUM

2.1 Gambaran Umum Kota Surabaya

Letak Kota Surabaya berada diantara $112^{\circ} 38'$ - $112^{\circ} 54'$ Bujur Timur dan $70^{\circ} 21'$ Lintang Selatan. Kota Surabaya memiliki perbatasan dengan selat Madura di sebelah utara dan di sebelah timur, di sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo dan di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Gresik. Kota Surabaya umumnya merupakan dataran rendah dengan ketinggian antara 3 – 6 meter diatas permukaan laut, kecuali daerah di sebelah selatan dengan ketinggian antara 25 – 50 meter di atas permukaan laut.

Kota Surabaya memiliki rata-rata temperatur antara $22,60 - 34,10$ dengan tekanan udara rata-rata antara $1.005,2 - 1.013,9$ milibar dan kelembaban antara $42\% - 97\%$. Kecepatan angin rata-rata per jam mencapai $12 - 23$ km, curah hujan rata-rata antara $120 - 190$ mm. Jenis tanah yang terdapat di Wilayah Kota Surabaya terdiri atas jenis tanah aluvial dan grumusol. Pada jenis tanah aluvial terdiri atas 3 karakteristik yaitu aluvial hidromorf, aluvial kelabu tua, dan aluvial kelabu. Kota Surabaya memiliki 31 kecamatan dengan pengelompokan 5 (lima) wilayah pembantu walikota yaitu Surabaya Utara, Surabaya Timur, Surabaya Selatan, Surabaya Barat, dan Surabaya Pusat. Total luas wilayah Surabaya adalah $334,51 \text{ km}^2$.

2.2 Sektor-Sektor Emisi Gas Rumah Kaca Kota Surabaya

Kota Surabaya sebagai Kota Metropolitan tentu menjadi pusat kegiatan baik perdagangan, industri, dan pendidikan di Indonesia Timur. Sebagai pusat bisnis, tentu juga Kota Surabaya memiliki jalur maritim untuk menunjang perdagangan internasional. Sebagai kota perdagangan, Surabaya memiliki beberapa pilar-pilar penyangga. Desain kota perdagangan sejalan dengan Pelabuhan Perak yang langsung terhubung dengan daerah industri dan pergudangan seperti SIER, Berbek, dan Margomulyo.

2.2.1 Sektor Energi

Sektor energi yang menghasilkan emisi di Kota Surabaya berasal dari penggunaan transportasi, industri manufaktur dan konstruksi, penggunaan bahan bakar pada pembangkit listrik dan tentunya dari kegiatan komersial. Semua kegiatan tersebut menggunakan bahan bakar yang tentunya digunakan untuk

kegiatan sumber tidak bergerak dan kegiatan sumber bergerak. Berikut merupakan data penggunaan listrik, data konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk kegiatan sumber tidak bergerak maupun sumber bergerak.

Tabel 2. 1 Data Konsumsi Gas Tahun 2022

No	Sektor	Jumlah Konsumsi (MMSCF)
1	Bahan Bakar Pembangkit	1.534,68
2	Bahan Bakar Komersial Industri	16.243,80
3	Pelanggan Kecil (UMKM, dll)	26,61
4	Pelanggan Rumah Tangga	265,48
Total		18.070,57

Sumber: PT PGN, 2023

Tabel 2. 2 Data Konsumsi Bahan Bakar Sumber Bergerak Tahun 2022

No	Perusahaan	Bahan bakar	Konsumsi bahan bakar (Kliter/tahun)
1	Pertamina distribusi	Solar	151.800
		Pertalite	340.800
		Premium	-
		Pertamax	64.800
		Pertamax Turbo	5.600
		Dexlite	7.200
		Pertamina Dex	6.700
		LPG 3KG (MT)	86.800
		LPG RT (MT)	6.8000

Sumber: Pertamina Distribusi, 2023

2.2.2 Sektor Limbah

A. Sektor Limbah Padat

Pengelolaan sampah di TPA Benowo dikelola menggunakan sistem pengelolaan *sanitary landfill* dan gasifikasi sehingga menghasilkan energi. Jumlah sampah Kota Surabaya yang masuk ke TPA Benowo pada tahun 2022 sebesar 651.043 ton/tahun dengan laju timbunan sampah yaitu 0,217 ton/jiwa/tahun. Untuk dapat menghitung emisi GRK diperlukan komposisi sampah sesuai jenisnya. Komposisi sampah yang masuk di TPA Benowo adalah sampah organik, kayu, kulit, karet, plastik, kertas, kain, kaca, keramik, logam, B3 dan lain-lain. Untuk lebih jelasnya, komposisi sampah dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2. 3 Komposisi Sampah TPA Benowo Tahun 2022

No	Komposisi Sampah	Prosentase
1	Sampah organik	55.48%
2	Kayu / produk kayu	2.25%
3	Karet	1.35%
4	Plastik	22.01%
5	Kertas / bahan kertas	3.05%
6	Kain / tekstil	5.75%
7	Kaca	0.50%
8	Diapers	5.75%
9	Logam	0.25%
10	B3	0.08%
11	Limbah Infeksius	0.07%
12	Lain-lain	3.46%
Total		100%

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2022

Tabel 2. 4 Data Sampah yang Masuk ke TPA Benowo Tahun 2022

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Timbulan Sampah (kg/hari)
Surabaya Pusat			
1	Tegalsari	98.484	79.187.42
2	Simokerto	92.832	74.958.66
3	Genteng	58.601	42.980.19
4	Bubutan	97.707	37.542.79
Surabaya Timur			
5	Gubeng	133.900	106.219.70
6	Gunung Anyar	60.535	24.191.29
7	Sukolilo	113.876	51.356.68
8	Tambaksari	226.136	39.665.29
9	Mulyorejo	86.824	60.813.81
10	Rungkut	120.067	73.561.48
11	Tenggiling Mejoyo	58.695	47.121.84
Surabaya Barat			
12	Benowo	71.033	37.424.36
13	Pakal	60.877	17.204.03
14	Asemrowo	47.437	24.528.08
15	Sukomanunggal	104.271	63.222.99
16	Tandes	91.784	50.137.01
17	Sambikerep	66.796	59.261.64
18	Lakarsantri	63.017	32.935.40

No	Kecamatan	Jumlah Penduduk	Timbunan Sampah (kg/hari)
Surabaya Utara			
19	Bulak	46.350	16.020.49
20	Kenjeran	177.561	74.806.66
21	Semampir	181.226	57.509.40
22	Pabean Cantian	74.810	77.769.01
23	Krembangan	114.674	60.701.18
Surabaya Selatan			
24	Wonokromo	155.559	109.120.33
25	Wonocolo	79.559	43.133.34
26	Wiyung	74.224	26.879.40
27	Karangpilang	74.931	31.619.81
28	Jambangan	53.639	36.905.21
29	Gayungan	43.617	25.212.03
30	Dukuh Pakis	59.293	16.101.81
31	Sawahan	199.548	102.490.11
	Jumlah	2.987.863	1.600.581.42

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya dan Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil, 2022

B. Sektor Limbah Cair

Wilayah di Kota Surabaya hampir seluruhnya sudah mendapatkan akses sanitasi layak, yaitu fasilitas sanitasi yang memenuhi syarat kesehatan seperti jamban, tangki septik, sewer, dan sistem pengolahan air limbah berupa IPLT. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Kota Surabaya tahun 2022, sebanyak 961.675 keluarga di Kota Surabaya yang dihitung dalam perhitungan Gas Emisi Rumah Kaca tahun ini terlayani dengan akses sanitasi. Berikut tabel 4.6 merupakan data jumlah penduduk dengan akses sanitasi layak di Kota Surabaya Tahun 2022.

Tabel 2. 5 Data Jumlah Penduduk dengan Akses Sanitasi Layak di Kota Surabaya Tahun 2022

No	Kecamatan	Jumlah KK	Penduduk Dengan Akses Sanitasi Layak	
			Jumlah	Persentase (%)
1	Sukomanunggal	33996	33491	98,51
2	Tandes	30007	30007	100
3	Asemrowo	14355	13916	91,93
4	Benowo	18397	18397	100
5	Pakal	18397	18397	100

No	Kecamatan	Jumlah KK	Penduduk Dengan Akses Sanitasi Layak	
			Jumlah	Persentase (%)
6	Lakarsantri	19678	19678	100
7	Sambikerep	21076	21076	100
8	Genteng	20218	19835	98,11
9	Tegalsari	33392	33392	100
10	Bubutan	33150	33033	99,65
11	Simokerto	31695	31140	98,25
12	Pabean Cantikan	25066	24409	97,38
13	Semampir	56800	55394	97,52
14	Krembangan	37577	36687	97,68
15	Bulak	14519	14519	100
16	Kenjeran	53196	53047	99,72
17	Tambaksari	75306	74500	98,93
18	Gubeng	46214	46214	100
19	Rungkut	38062	38062	100
20	Tenggilis Mejoyo	19263	19263	100
21	Gunung Anyar	19191	19191	100
22	Sukolilo	36384	36384	100
23	Mulyorejo	28581	28581	100
24	Sawahan	66328	65973	99,46
25	Wonokromo	52571	52415	99,70
26	Karangpilang	24276	24276	100
27	Dukuh Pakis	19657	19657	100
28	Wiyung	23623	23623	100
29	Gayungan	14334	14334	100
30	Wonocolo	25737	25737	100
31	Jambangan	17047	17047	100

Sumber: Dinas Kesehatan Kota Surabaya, 2022

2.2.3 Sektor AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use)

Kota Surabaya memiliki rumah potong hewan serta masih memiliki beberapa pemeliharaan hewan ternak, sehingga dapat dihitung emisi gas rumah kaca dari peternakan. Emisi gas rumah kaca dapat dihitung dengan data jumlah hewan yang dipotong di Rumah Potong Hewan Kota Surabaya dan jumlah hewan ternak yang ada di Kota Surabaya. Berikut merupakan data yang diperlukan untuk menghitung emisi dari sub sektor peternakan.

Tabel 2. 6 Data Populasi Hewan Ternak di Kota Surabaya Tahun 2022

No	Jenis Hewan	Jumlah Hewan (ekor)
1	Jumlah sapi potong (ekor)	110
2	Jumlah sapi perah (ekor)	171
3	Jumlah Kerbau (ekor)	32
4	Jumlah domba (ekor)	35
5	Jumlah kambing (ekor)	1074
6	Jumlah babi (ekor)	-
7	Jumlah kuda (ekor)	35
8	Jumlah ayam ras pedaging (ekor)	2400
9	Jumlah ayam ras petelur (ekor)	96
10	Jumlah ayam buras (ekor)	13008
11	Jumlah Itik (ekor)	-

Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya, 2022

Di Kota Surabaya dari sektor pertaniannya mengalami pergeseran yang cepat. Itu disebabkan karena alih fungsi lahan yang dari sebelumnya untuk lahan pertanian menjadi lahan perumahan. Berikut merupakan data luas lahan pertanian di Kota Surabaya pada tahun 2022.

Tabel 2. 7 Luas Lahan Pertanian Sawah Menurut Sistem Pengairan Surabaya Tahun 2022

No.	Kecamatan	Luas Sawah Sistem Pengairan	
		Irigasi (Ha)	Tadah Hujan (Ha)
1	Sukomanunggal	0	0
2	Tandes	0	4.1
3	Asemrowo	0	0
4	Benowo	0	92.5
5	Pakal	0	216.3
6	Lakarsantri	0	275.2
7	Sambikrep	0	304.8
8	Genteng	0	0
9	Tegalsari	0	0
10	Bubutan	0	0
11	Simokerto	0	0
12	Pabean Cantian	0	0
13	Semampir	0	0
14	Krembangan	0	0
15	Bulak	0	107
16	Kenjeran	0	0

No.	Kecamatan	Luas Sawah Sistem Pengairan	
		Irigasi (Ha)	Tadah Hujan (Ha)
17	Tambaksari	0	0
18	Gubeng	0	0
19	Rungkut	0	6
20	Tenggiling Mejoyo	0	0
21	Gunung Anyar	0	0
22	Sukolilo	0	68
23	Mulyorejo	0	0
24	Sawahan	0	0
25	Wonokromo	0	0
26	Karang Pilang	0	44
27	Dukuh Pakis	0	0
28	Wiyung	0	44
29	Gayungan	0	4.8
30	Wonocolo	0	2
31	Jambangan	0	0.8

Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya, 2022

Tabel 2. 8 Luas Lahan Pertanian Sawah Menurut Jenis Sawah Kota Surabaya Tahun 2022

No	Jenis sawah	Luasan
1	Luas panen padi sawah (Ha)	955.15
2	Produktivitas padi sawah (Kwintal/Ha)	64.46
3	Produksi padi sawah (ton)	6156.66
4	Luas Panen padi ladang (ha)	-
5	Luas baku sawah irigasi (Ha)	-
6	Luas baku sawah non irigasi (Ha)	1169.5
7	Luas panen sawah SPLTT (Ha)	-
8	Luas panen sawah SRI (Ha)	-
9	Luas panen sawah Varietas Lain(Ha)	-
10	Luas panen sawah IR64 (Ha)	-
11	Luas panen sawah menurut masing-masing varietasnya (ha)	-

Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya, 2022

Diperlukan juga data konsumsi pupuk beserta jenisnya untuk menghitung nilai emisi gas rumah kaca dari pertanian. Berikut merupakan data konsumsi pupuk di Kota Surabaya tahun 2022.

Tabel 2. 9 Jumlah Konsumsi dan Jenis Pupuk di Kota Surabaya Tahun 2022

No	Nama Pupuk	Total (Ton)
1	Konsumsi pupuk urea (Ton)	479.30

No	Nama Pupuk	Total (Ton)
2	Konsumsi Pupuk ZA (Ton)	30.90
3	Konsumsi Pupuk NPK (Ton)	242

Sumber: Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
Kota Surabaya, 2022

2.2.4 Sektor IPPU (Industrial Process and Product Uses)

Kota Surabaya memiliki 2 kategori untuk kawasan Perindustrian yaitu :

- A. Kawasan Industri (komplek industri), dimana kawasan ini tersebar di beberapa wilayah yaitu:
 1. Surabaya Utara, industri perkapalan (PT PAL) yang terletak di Kawasan Pelabuhan;
 2. Surabaya Timur, PT SIER yang terletak di Kecamatan Rungkut, Tenggilis Mejoyo, dan Karangpilang;
 3. Surabaya Selatan, kompleks industri Warugunung yang terletak di Kecamatan Karangpilang;
 4. Surabaya Barat, kompleks industri Margomulyo yang terletak di Kecamatan Tandes.
 - B. Industri Non Kawasan, yang merupakan industri individu dan sentra individu berupa industri kecil yang dikembangkan di wilayah permukiman dan sentra industri pinggiran kota. Industri tersebut seperti industri pangan dan sandang, mebel kayu, rotan, barang-barang elektronik, serta barang yang meliputi nilai seni. Di tahun 2022 ini, sebanyak 38 industri telah mengirim data yang kami butuhkan untuk proses perhitungan. Adapun untuk sektor IPPU data yang kami butuhkan merupakan penggunaan karbonat dan turunannya dalam proses produksi. Adapun penggunaan batu kapur mencapai total 13.129.138 ton dan kalsium karbonat 357.666 ton serta 1.209 ton soda abu atau natrium karbonat.
- Pada sektor industri, perhitungan emisi GRK berdasarkan pada jenis dan jumlah penggunaan bahan baku utama dan jenis dan jumlah hasil produksi utama. Penggunaan bahan baku utama terbatas pada penggunaan bahan pelumas, parafin dan bahan baku yang berbahan dasar karbonat. Sedangkan hasil produksi yang dapat dihitung emisi GRK sesuai dengan sistem pada Signsmart adalah hasil produksi industri yang berbahan dasar klinker, kapur, urea, asam nitrat, asam nitrat tambahan, silikon karbida, metanol, etilen, etilen diklorida, vinil klorida, *carbo black*, *basic oxygen*

furnace, pig iron, electric arc furnace, aluminium, timbal dan zinc. Kota Surabaya adalah kota yang aktivitas ekonomi didominasi oleh sektor jasa dan perdagangan, sehingga data yang diperlukan untuk perhitungan emisi GRK pada sektor industri masih terbatas.

Data yang dapat dikumpulkan untuk laporan ini adalah data penggunaan karbonat pada industri yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 10 Data Konsumsi Karbonat untuk Industri Kaca di Surabaya

TAHUN	Batu Kapur (Ton)			Natrium Karbonat Soda Abu (Ton)
2020	2,673	0	0	2,066

Sumber : Hasil analisis DLH, 2022

Tabel 2. 11 Data Konsumsi Karbonat untuk Industri Keramik di Surabaya

TAHUN	Batu Kapur (Ton)	Dolomit (Ton)	Kalsium Karbonat (Ton)	Natrium Karbonat Soda Abu (Ton)
2022	13,129,138	0	353,265	0
2021	12,503,942	0	326,443	0
2020	11,433,326	3,505	311,647	0

Sumber : Hasil analisis DLH, 2022

Tabel 2. 12 Data Konsumsi Karbonat untuk Industri Lainnya di Surabaya

TAHUN	Batu Kapur (Ton)	Dolomit (Ton)	Kalsium Karbonat (Ton)	Natrium Karbonat Soda Abu (Ton)
2022	0	0	4,401	1,209
2021	0	0	8,567	1,052
2020	0	0	8,650	998

Sumber : Hasil analisis DLH, 2022

BAB III

METODELOGI



BAB III METODOLOGI

Kegiatan manusia (antropogenik) telah meningkatkan konsentrasi GRK yang sebelumnya secara alami telah ada. Bahkan kegiatan manusia telah menimbulkan jenis-jenis gas baru di dalam lapisan atas atmosfer. Chloro fluoro carbon (CFC) dan beberapa jenis gas refrigeran lainnya, merupakan unsur-unsur baru atmosferik yang dikeluarkan oleh aktifitas manusia. Golongan ini bahkan mempunyai potensi pemanasan bumi yang sangat besar, dibandingkan pemanasan karbon dioksida.

3.1 Jenis Gas Rumah Kaca

Jenis/tipe GRK yang keberadaanya di atmosfer berpotensi menyebabkan perubahan iklim global adalah CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6 , NF_3 , SF_5CF_3 , $\text{C}_4\text{F}_9\text{OC}_2\text{H}_5$, dan senyawa holocarbon lainnya. Dari semua jenis gas rumah kaca tersebut yang konsentrasinya tertinggi di udara adalah CO_2 sekitar 0.0383% volume atmosfer. Sedangkan CH_4 sekitar 0.000175% dan N_2O sekitar 0.0000314% volume atmosfer. Meskipun begitu CO_2 adalah jenis GRK yang mempunyai kemampuan potensi pemanasan global atau *Global Warming Potensial* (GWP) gas rumah kaca terkecil seperti tercantum pada **Tabel 3.1**.

Adanya peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan menimbulkan masalah pemanasan global. Adanya peningkatan suhu global ini akan mempengaruhi proses fisik dan kimia yang ada baik di bumi maupun atmosfer dan pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim. Jadi perubahan iklim merupakan perubahan yang terjadi pada sistem iklim global akibat langsung atau tidak langsung dari aktivitas manusia yang merubah komposisi atmosfer secara global dan kegaraman iklim yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan. Perubahan yang terjadi akibat fenomena ini diantaranya kenaikan tinggi muka air laut, perubahan pola angin, meningkatnya badai atmosferik, perubahan pola hujan dan siklus hidrologi dan lain-lain dan akhirnya berdampak pada ekosistem hutan, daratan, dan ekosistem alam lainnya.

Tabel 3. 1 Jenis Gas Rumah Kaca dan Nilai Potensi Pemanasan Global

Gas Rumah Kaca	Rumus Kimia	Nilai Potensi Pemanasan Global
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
Hydrofluorocarbons (HFCs)		
HFC-23	CHF ₃	14,800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
HFC-41	CH ₃ F	92
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	1,640
HFC-125	C ₂ HF ₅	3,500
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄ (CHF ₂ CHF ₂)	1,100
HFC-134a	C ₂ H ₂ F ₄ (CH ₂ FCF ₃)	1,430
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃ (CHF ₂ CH ₂ F)	353
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃ (CF ₃ CH ₃)	4,470
HFC-152	CH ₂ FCH ₂ F	53
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂ (CH ₃ CHF ₂)	38
HFC-161	CH ₃ CH ₂ F	12
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	3,220
HFC-236cb	CH ₂ FCF ₂ CF ₃	1,340
HFC-236ea	CHF ₂ CHFCF ₃	1,370
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	9,810
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	693
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	1,030
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	794
Perfluorocarbons		
Perfluoromethane - PFC-14	CF ₄	7,390
Perfluoroethane - PFC-116	C ₂ F ₆	12,200
Perfluoropropane - PFC-218	C ₃ F ₈	8,830
Perfluorobutane - PFC-3-1-10	C ₄ F ₁₀	8,860
Perfluorocyclobutane - PFC-318	c-C ₄ F ₈	10,300
Perfluoropentane - PFC-4-1-12	C ₅ F ₁₂	9,160
Perfluorohexane - PFC-5-1-14	C ₆ F ₁₄	9,300
Perfluorodecalin - PFC-9-1-18	C ₁₀ F ₁₈	>7,500
Sulphur hexafluoride		
Sulphur hexafluoride	SF ₆	22,800
Nitrogen trifluoride (NF ₃)		
Nitrogen trifluoride	NF ₃	17,200

Sumber: Panel Antarpemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC)

3.2 Sumber Emisi

Berdasarkan kesepakatan para pihak, sumber emisi dan rosot (sink) yang masuk dalam inventarisasi GRK ialah dari 4 sektor yaitu :

1. Pengadaan dan penggunaan energi
2. Proses industri dan penggunaan produk
3. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya (*Agricultural, Forestry and Other Land Use, AFOLU*)
4. Limbah cair dan padat

Pada tabel berikut adalah kategori sumber/rosot penyumbang emisi gas rumah kaca, yaitu :

Tabel 3. 2 Kategori Sumber/Rosot Penyumbang GRK

NO	KATEGORI	SUB KATEGORI SUMBER / ROSOT
1	PENGADAAN DAN PENGGUNAAN ENERGI	Kategori ini mencakup seluruh emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaan dan pengadaan energi: • Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar (Fuel Combustion Activities) • Emisi Fugitive (Fugitive Emissions from Fuels) • Transportasi dan Penyimpanan Karbondioksida (Carbon Dioxide Transport and Storage)
2	PROSES INDUSTRI DAN PENGGUNAAN PRODUK (INDUSTRIAL PROCESSES AND PRODUCT USE)	Emisi dari Proses Industri Dan Penggunaan Produk: • Industri Mineral (Mineral Industry) • Industri Kimia (Chemical Industry) • Industri Logam (Metal Industry) • Produk-produk Non Energi dan Penggunaan Solvent/ Pelarut (NonEnergy Products from Fuels and Solvent Use) • Industri Elektronik (Electronics Industry) • Penggunaan produk yang mengandung senyawa pengganti bahan perusak ozon (Product Uses as Substitutes for Ozone Depleting Substances) • Produk Manufacture lain dan Penggunaannya (Other Product Manufacture and Use)
3	PERTANIAN, KEHUTANAN, DAN PENGGUNAAN LAHAN LAINNYA (AGRICULTURE, FORESTRY, AND OTHER LAND USE)	Termasuk di dalamnya emisi dari: • Peternakan (<i>Livestock</i>) • Lahan (<i>Land</i>): Lahan Hutan (<i>Forest Land</i>), Lahan Pertanian (<i>Cropland</i>), Padang Rumput (<i>Grassland</i>), Lahan basah (<i>Wetlands</i>), Pemukiman (<i>Settlements</i>) • Emisi dari pembakaran biomasa (<i>Biomass Burning</i>) • Pengapuran (<i>Liming</i>) • Penggunaan Urea (<i>Urea Application</i>) pada pertanian • Emisi N₂O langsung dari pengelolaan tanah (<i>Direct N₂O Emissions from Managed Soils</i>) • Emisi N₂O tidak langsung dari pengelolaan tanah (<i>Managed Soils</i>) dan pengelolaan pupuk (<i>Manure Management</i>) • Pengelolaan sawah (<i>Rice Cultivations</i>)
4	WASTE	• Emisi berasal dari kegiatan pengelolaan limbah: • Pembuangan Akhir Sampah Padat (<i>Solid Waste Disposal</i>) • Pengolahan Limbah Padat secara Biologi (<i>Biological Treatment of Solid Waste</i>) • Pembakaran Sampah melalui Insinerator dan Pembakaran Sampah secara Terbuka (<i>Incineration and Open Burning of Waste</i>)

		• Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah (<i>Wastewater Treatment and Discharge</i>)
5	Lainnya (e.g., emisi tidak langsung dari deposisi nitrogen dari sumber nonpertanian)	Semua dugaan emisi termasuk emisi N₂O dari deposisi nitrogen (N) dari NO_x/NH₃ dimana saja ada deposit dan dari sumber apa saja tetapi tidak dihitung di sektor tersebut di atas, termasuk N yang dideposit di lautan. Dugaan emisi ini diperlukan karena faktor emisi untuk deposit Nitrogen hampir sama besarnya dengan emisi nitrogen dari sumber-sumber emisi pertanian lainnya

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku I Pedoman Umum, 2012

Untuk penyusunan laporan ini, pengumpulan data didapatkan dari sumber-sumber yang tertera pada tabel berikut ini.

Tabel 3. 3 Sumber Data Tiap Sektor Emisi GRK

NO	SEKTOR	SUB SEKTOR	SUMBER DATA
1	Energi	Pembakaran Bahan Bakar pada Industri Manufaktur & Konstruksi	Berbagai jenis industri yang ada di Kota Surabaya,
		Bahan Bakar untuk Transportasi	Pertamina Distribusi Wilayah Surabaya
		Bahan Bakar pada Area Komersial dan Institusi	PT. Perusahaan Gas Negara
		Bahan Bakar pada Rumah Tangga	PT. Perusahaan Gas Negara
2	IPPU (<i>Industrial Processes and Product Use</i>)	Konsumsi Karbonat untuk Industri Keramik	Industri yang terkait
		Konsumsi Karbonat untuk Lainnya	Industri yang terkait
3	AFOLU (<i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i>)	Pertanian	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya
		Peternakan	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya
		Kehutanan	Tidak ada data
		Penggunaan Lahan Lainnya	Berdasarkan hasil pengolahan data secara spasial
4	Limbah	Limbah domestik	Dinas Lingkungan Hidup
		Limbah Industri	Industri yang terkait

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2022

3.3 Pemilihan Metodologi

Secara umum, tingkat ketelitian (TIER) dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK dibagi menjadi tiga yaitu:

- A. Tier 1: metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan dasar (basic equation) dan faktor emisi default atau IPCC default values (yaitu faktor emisi yang disediakan dalam IPCC Guideline) dan data aktivitas yang digunakan sebagian bersumber dari sumber data global
- B. Tier 2: perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan yang lebih rinci misalnya persamaan reaksi atau neraca material dan menggunakan faktor emisi lokal yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung dan data aktivitas berasal dari sumber data nasional dan/atau daerah.
- C. Tier 3: metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan metode yang paling rinci (dengan pendekatan modeling dan sampling). Dengan pendekatan modeling faktor emisi lokal dapat divariasikan sesuai dengan keberagaman kondisi yang ada sehingga emisi dan serapan akan memiliki tingkat kesalahan lebih rendah.

Untuk penyusunan pelaporan GRK 2023 Kota Surabaya metodologi yang digunakan adalah menggunakan alat bantu Sign Smart, Sistem Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional-Sederhana, Mudah, Akurat, Ringkas, dan Transparan (SIGN-SMART). Aplikasi SIGN-SMART di rancang sebagai database management sistem yang bertujuan untuk meningkatkan efektifitas dalam pengelolaan data dan estimasi emisi GRK. Aplikasi tersebut dapat diakses secara online melalui website <https://signsmart.menlhk.go.id>. Berbeda dengan tahu-tahun sebelumnya dimana penyusunan laporan dilakukan perhitungan secara manual menggunakan Tier I, untuk tahun ini penyelenggaraan inventarisasi GRK dilaksanakan melalui aplikasi SIGN SMART untuk mewujudkan monitoring, pelaporan dan verifikasi penurunan emisi GRK yang memenuhi kriteria transparansi, akurasi, konsistensi, lengkap, dan komparabel (TACCC), yaitu :

A. Transparansi (*Transparency*)

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

inventori tersebut disusun. Dalam hal ini metodologi, sumber data, faktor emisi, asumsi yang digunakan untuk menduga data aktivitas tertentu dari data lain yang tersedia dan referensi yang digunakan dalam penyusunan inventarisasi GRK harus dicatat sehingga bisa disampaikan secara transparan.

B. Akurasi (*Accuracy*)

Dalam menduga emisi atau serapan GRK harus diupayakan sedapat mungkin tidak menghasilkan dugaan emisi yang terlalu tinggi (*over estimate*) atau terlalu rendah (*under estimate*). Jadi segala upaya untuk mengurangi bias perlu dilakukan sehingga inventori GRK yang dihasilkan benar merefleksikan emisi yang sebenarnya dan tingkat kesalahannya kecil. Segala upaya yang dilakukan untuk meningkatkan ketepatan dugaan emisi dan serapan GRK juga harus dicatat dan didokumentasikan dengan baik untuk memenuhi prinsip transparansi.

C. Kelengkapan (*Completeness*)

Semua dugaan emisi dan serapan untuk semua jenis GRK dilaporkan dengan lengkap dan apabila ada yang tidak diduga harus dijelaskan alasannya, demikian juga kalau ada sumber emisi atau rosot yang tidak dihitung atau dikeluarkan dari inventarisasi GRK maka harus diberikan justifikasinya kenapa sumber atau rosot tersebut tidak dimasukkan. Selain itu, inventarisasi GRK harus melaporkan dengan jelas batas (*boundary*) yang digunakan untuk menghindari adanya perhitungan ganda (*double counting*) atau adanya emisi yang tidak dilaporkan.

D. Konsistensi (*Consistency*)

Semua estimasi emisi dan serapan dari sumber/rosot untuk semua tahun inventarisasi harus menggunakan metode yang sama dengan kategori sumber dan rosot yang sama juga sehingga perbedaan emisi antar tahun benar merefleksikan perubahan emisi dari tahun ke tahun bukan sebagai akibat perubahan metode yang digunakan atau bertambah/berkurangnya kategori sumber atau serapan yang digunakan. Apabila pada tahun inventarisasi tertentu ada perubahan yang dilakukan, misalnya perubahan metodologi atau merubah faktor emisi default IPCC dengan faktor emisi local, maka perlu dilakukan perhitungan ulang (*recalculation*) untuk tahun inventarisasi lainnya sehingga kembali menjadi konsisten.

Apabila tidak memungkinkan, misalnya adanya penambahan sumber emisi/rosot 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. Untuk memenuhi prinsip transparansi maka setiap upaya yang dilakukan untuk mendapatkan inventarisasi yang konsisten harus dicatat dan didokumentasikan dengan baik.

E. Komparabel (*Comparability*)

Inventarisasi GRK harus dilaporkan sedemikian rupa sehingga dapat diperbandingkan dengan inventarisasi GRK dari daerah lain atau dengan negara lain. Untuk tujuan ini, inventarisasi GRK harus dilaporkan dengan mengikuti format yang telah disepakati oleh COP dan semua kategori sumber/rosot dilaporkan mengikuti Format Pelaporan Umum (*Common Reporting Format* atau CRF) yang telah disepakati.

Pada tiap sektor emisi gas rumah kaca, terdapat 3 hal yang mempengaruhi perhitungan emisi/tampungan gas rumah kaca yaitu kategori sumber emisi, jenis gas rumah kaca dan faktor emisi yang digunakan dengan pendekatan Tier-1, Tier-2 dan Tier-3.

3.4 Sektor Sumber Emisi Gas Rumah Kaca

3.4.1 Sektor Penyediaan dan Penggunaan Energi

A. Kategori Sumber Emisi

Kategori sumber emisi sektor energi merupakan cakupan inventarisasi meliputi kegiatan penyediaan dan penggunaan energi. Penyediaan energi meliputi kegiatan-kegiatan:

1. eksplorasi dan eksploitasi sumber-sumber energi primer (misal minyak mentah, batubara),
2. konversi energi primer menjadi energi sekunder yaitu energi yang siap pakai (konversi minyak mentah menjadi BBM di kilang minyak, konversi batubara menjadi tenaga listrik di pembangkit tenaga listrik), dan
3. kegiatan penyaluran dan distribusi energi.

Kegiatan penggunaan energi meliputi:

1. penggunaan bahan bakar di peralatan-peralatan stasioner (di industri, komersial, dan rumah tangga), dan
2. peralatan-peralatan yang bergerak (transportasi).

Kegiatan di atas menurut IPCC Guideline 2006, diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama yang disajikan pada tabel berikut ini :

Tabel 3. 4 Sumber Kategori Emisi Sektor Energi

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
1	Energi	
1A	Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar (<i>Fuel Combustion Activities</i>)	Emisi berasal dari pembakaran/oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses. Pembakaran bahan bakar terjadi di berbagai sektor kegiatan, diantaranya industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga. Penggunaan bahan bakar di industri yang bukan untuk keperluan energi namun sebagai bahan baku proses (misal penggunaan gas bumi pada proses produksi pupuk atau pada proses produksi besi baja) atau sebagai produk (misal penggunaan hidrokarbon sebagai pelarut) tidak termasuk dalam kategori aktivitas energi.
1B	Emisi Fugitive (<i>Fugitive Emissions from Fuels</i>)	Emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi. Emisi fugitive terjadi di kegiatan produksi dan penyaluran migas dan batubara diantaranya di lapangan migas, kilang minyak, tambang batubara, dan lain-lain. Pada sistem migas emisi fugitive terjadi pada operasi flaring dan venting, serta kebocoran-kebocoran pada pipa-pipa dan peralatan-peralatan pengolahan dan penanganan migas. Di sistem batubara emisi fugitive terjadi dari lepasnya seam gas (gas yang semula terperangkap dalam lapisan batubara) pada saat penambangan dan pengangkutan.
1C	CO ₂ Transport & Storage	Emisi GRK dari kegiatan pengangkutan dan injeksi CO ₂ pada kegiatan penyimpanan CO ₂ di formasi geologi

Sumber : Permen LHK No 73 Tahun 2017, Lampiran II

Di Kota Surabaya kategori sumber emisi yang didapatkan adalah pada kode 1A, dimana bahan bakar sebagai energi untuk pembakaran pada industri manufaktur dan transportasi. Untuk lebih jelasnya sumber energi GRK dari pembakaran bahan bakar, dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 3. 5 Sumber Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
1A1	Industri Penghasil Energi (Energy Industries)	Emisi dari pembakaran bahan bakar yang terjadi di industri-industri yang menghasilkan energi, seperti lapangan migas, tambang batubara, kilang minyak, dan pembangkit listrik (Pembangkit Listrik Tenaga Uap/PLTU, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir/PLTN, Pembangkit Listrik Tenaga Gas/PLTG).
1A2	Industri Manufaktur dan Konstruksi (Manufacturing Industries and Construction)	Emisi dari pembakaran bahan bakar yang terjadi di industri konsumen energi (industri manufaktur, konstruksi dan sejenisnya). Juga termasuk pembakaran untuk pembangkit listrik dan panas untuk digunakan sendiri di industri. Emisi dari pembakaran bahan bakar dalam oven kokas (coke ovens) dalam industri besi dan baja harus dilaporkan di bawah 1A1c dan tidak dalam industri manufaktur.
1A3	Transportasi (Transport)	Emisi dari pembakaran dan penguapan bahan bakar untuk seluruh kegiatan transportasi (kecuali transportasi militer). Emisi dari bahan bakar yang dijual kepada setiap penerbangan dan pelayaran internasional (1 A 3 a i dan 1 A 3 d i) sebisa mungkin untuk dikecualikan dari total dan sub total dalam kategori ini dan harus dilaporkan secara terpisah.
1A4	Konsumen energi lainnya (Other Sectors)	Emisi dari aktivitas pembakaran bahan bakar berikut ini termasuk pembakaran untuk pembangkitan listrik dan panas untuk penggunaan sendiri
1A5	Lain lain (NonSpecified)	Semua jenis emisi dari pembakaran bahan bakar yang belum tercakup pada 1A1 s.d. 1A4

Sumber : Permen LHK No 73 Tahun 2017, Lampiran II

B. Tipe/Jenis Emisi Gas Rumah Kaca

Jenis GRK yang diemisikan oleh kegiatan-kegiatan penyediaan dan penggunaan energi meliputi 3 (tiga) utama yaitu: (i) karbondioksida (CO_2), (ii) metana (CH_4); dan (iii) dinitrous-okida (N_2O). Jenis GRK utama hasil proses pembakaran bahan bakar adalah karbon dioksida (CO_2). Adapun jenis GRK utama dari emisi fugitive adalah metana.

Jenis GRK lain yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar adalah karbon monoksida (CO), metana (CH₄), N₂O dan senyawa organik volatil nonmelana (NMVOCs). Emisi gas SF₆ (termasuk kategori GRK) yang terjadi pada sistem transmisi dan distribusi listrik tidak merupakan cakupan inventarisasi GRK energi melainkan masuk dalam cakupan inventarisasi IPPU (*industrial process and product uses*).

C. Pendekatan Inventarisasi Emisi GRK

Terdapat 2 (dua) pendekatan dalam penghitungan emisi GRK pada sektor energi yaitu Pendekatan Sektorial (*Sectoral Approach*) dan Pendekatan Referensi (*Reference Approach*). Pendekatan Sektorial dikenal juga sebagai Pendekatan "Bottom-Up" sedangkan Pendekatan Referensi dikenal juga sebagai Pendekatan "Top-Down".

1. Bahan Bakar untuk Transportasi

Sumber energi bergerak terbatas pada bahan bakar yang dikonsumsi pada transportasi, diperoleh dengan pendekatan top down dari data konsumsi BBM tahun 2022 di Kota Surabaya untuk transportasi didapat dari Pertamina MOR V (Marketing Operation Region V) yang dirinci pada tabel sebagai berikut :

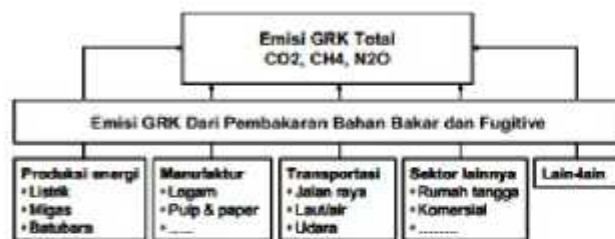
Tabel 3. 6 Distribusi bahan bakar untuk transportasi di Kota Surabaya

Jenis Bahan Bakar	Volume (kiloliter)
Ron 90	445.000
Ron 92	98.000
Solar	201.800
BBG	125.900
Dex	20.600

Sumber : Pertamina Surabaya, 2022

2. Bahan Bakar untuk Industri Manufaktur dan Konstruksi

Pendekatan sektoral secara bottom up ini memperoleh data dari berbagai industri yang berada di wilayah Kota Surabaya , dari 196 perusahaan yang didata, sejumlah 28 perusahaan yang menyampaikan data konsumsi bahan bakar yang diperlukan untuk perhitungan emisi GRK. Kerangka pendekatan ini digambarkan sebagai berikut:



Pendekatan Sektoral (Bottom Up)

Gambar 3. 1 Pendekatan sektoral sumber emisi energi pada Industri

Sumber : Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, KLHK 2012

Berdasarkan data tersebut, dirangkum menurut jenis penggunaan bahan bakar selama 3 tahun terakhir adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 7 Penggunaan Bahan Bakar untuk Industri Manufaktur Tahun 2022

Jenis BBM	Satuan	Tahun		
		2020	2021	2022
Solar	Kiloliter	560.650	681.459	853.954
Gas Alam	MMSFC	217	18.490	19.435
LPG	Ton	97	6.382	6.692
Batubara	Ton	1.501.114	1.501.114	1.501.114
Biomass lainnya	Ton	1.092	1.149	1.209

Sumber : Berbagai industri, diolah, 2022

3. Bahan Bakar pada Area Komersial dan Institusi

Bahan bakar di area komersial dan institusi diperoleh dari PT PGN yang dipantau dari jalur distribusi gas ke area tersebut. Hasil perolehan data adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Bahan bakar pada area komersial dan Industri

Tahun	Gas Alam (MMSFC)
2020	18
2021	
2022	16.243

Sumber : PT Perusahaan Gas Negara, 2022

D. Model Dasar Perhitungan Emisi GRK

Model Dasar perhitungan emisi GRK adalah mengikuti sistem aplikasi signsmart sebagai sistem pelaporan inventarisasi emisi yang disederhanakan dan mudah untuk dioperasikan sesuai dengan IPCC guideline tahun 2006 menggunakan tier-1 atau tier-2 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Emisi GRK} = \text{Data Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi}$$

Dengan penjelasan sebagai berikut :

- Data aktivitas sektor energi = volume BBM atau berat batubara yang dikonsumsi (*fuel combustion*) atau banyaknya minyak yang diproduksi di lapangan migas (*fugitive emission*).
- Faktor Emisi = koefisien yang menunjukkan banyaknya emisi per unit aktivitas (unit aktivitas dapat berupa volume yang diproduksi atau volume yang dikonsumsi). Untuk Tier-1 faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi default (IPCC 2006 Guideline).

1. Metodologi Penghitungan Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Pada Sumber Tidak Bergerak

Sumber emisi yang stasioner dibedakan dari sumber emisi bergerak karena faktor emisi GRK, khususnya GRK yang non-CO₂, bergantung kepada jenis bahan bakar dan teknologi penggunaan bahan bakar tersebut. GRK yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar pada sumber stasioner adalah CO₂, CH₄ dan N₂O. Besarnya emisi GRK hasil pembakaran bahan bakar fosil bergantung pada banyak dan jenis bahan bakar yang dibakar. Banyaknya bahan bakar direpresentasikan sebagai data aktivitas sedangkan jenis bahan bakar direpresentasikan oleh faktor emisi. Persamaan yang digunakan adalah :

$$\text{Emisi GRK} \left(\frac{\text{kg}}{\text{thn}} \right) = \text{Konsumsi Energi} \left(\frac{\text{Tj}}{\text{thn}} \right) \times \text{Faktor Emisi} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Tj}} \right)$$

Faktor emisi menurut default IPCC dinyatakan dalam satuan emisi per unit energi yang dikonsumsi (kg GRK/TJ). Di sisi lain data konsumsi energi yang tersedia umumnya dalam satuan fisik (ton batubara, kilo liter minyak diesel dll). Oleh karena itu sebelum digunakan pada persamaan di atas, data konsumsi energi harus dikonversi terlebih

dahulu ke dalam satuan energi TJ (Terra Joule) dengan Persamaan berikut ini :

Konsumsi Energi(Tj)

$$= \text{Konsumsi energi(sat fisik)} \times \text{Nilai Kalor} \left(\frac{Tj}{\text{Sat fisik}} \right)$$

Pilihan metodologi untuk pelaporan ini adalah Tier-1 yaitu penghitungan emisi GRK Tier 1 memerlukan data banyaknya bahan bakar yang dibakar, dikelompokkan menurut jenis bahan bakar untuk masingmasing kategori sumber emisi (produsen energi, manufaktur, transportasi dll.)

Perhitungan emisi GRK Tier 1 menggunakan faktor emisi default IPCC untuk masing-masing jenis bahan bakar dan penggunaan (stasioner atau mobile).

$$\text{Emisi GRK} = \text{Konsumsi GRK } bb \times \text{faktor emisi GRK } bb$$

Dimana :

bb : Singkatan dari jenis Bahan Bakar (misal premium, batubara)

Emisi GRK : Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg GRK)

Konsumsi bb : Banyaknya bahan bakar yang dibakar menurut jenis bahan bakar (dalam TJ)

Faktor Emisi GRK bb : Faktor emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg gas /TJ)

2. Metodologi Penghitungan Emisi GRK dari Pembakaran Bahan Bakar Pada Sumber Bergerak

Emisi GRK dari pembakaran bahan bakar pada sumber bergerak adalah emisi GRK dari kegiatan transportasi, meliputi transportasi darat (jalan raya, off road, kereta api), transportasi melalui air (sungai atau laut) dan transportasi melalui udara (pesawat terbang). GRK yang diemisikan oleh pembakaran bahan bakar di sektor transportasi adalah CO₂, CH₄ dan N₂O.

Emisi CO₂, CH₄ dan N₂O menggunakan metodologi perhitungan menggunakan Tier-1, dengan persamaan dasar yang sama sebagai berikut :

$$\text{Emisi GRK} = \sum \text{konsumsi } bb \times \text{Faktor emisib } bb$$

Dimana:

Emisi : Emisi CO₂

Konsumsi BB : Bahan bakar dikonsumsi = dijual (data dari penjual Pertamina untuk kendaraan angkutan)

Faktor Emisi : Faktor emisi CO₂ menurut jenis bahan bakar (kg gas/TJ), (default IPCC 2006)

3.4.2 Sektor IPPU (Industrial Product and Process Use)

A. Kategori Emisi

Emisi GRK dari kegiatan proses industri dan penggunaan produk atau IPPU mencakup :

1. emisi GRK yang terjadi selama proses/reaksi kimia di industri,
2. penggunaan gas-gas kategori GRK di dalam produk, dan
3. penggunaan karbon bahan bakar fosil untuk kegiatan (non-energi), yaitu bukan untuk penyediaan energi namun untuk kegiatan produksi.

Tabel 3. 9 Kategori Sumber Emisi GRK dari Sektor Proses Industri dan Penggunaan Produk

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
2A	Industri Mineral	Produksi Semen, Kapur, Kaca, Proses lain yang menggunakan karbonat, Keramik, Penggunaan lain Soda Abu, Produksi NonMetallurgical Mg, dan Lainnya
2B	Industri Kimia	Produksi Ammonia, Asam Nitrat, Asam Adipat, Caprolactam, Glyoxal & Glyoxylic Acid, Produksi Karbida, Titanium Dioksida, Soda Abu, Petrokima/Carbon Black, Fluorochemical, dan Lainnya
2C	Industri Logam	Produksi Besi dan Baja, Ferroalloys, Aluminium, Magnesium, Timbal, Produksi Seng, dan Lainnya
2D	Non-Energy Produk dari Bahan Bakar dan Penggunaan Solvent	Penggunaan Pelumas, Lilin Paraffin, Penggunaan Pelarut, dan Lainnya
2E	Industri Elektronik	Integrated Circuit/Semiconductor, TFT Flat Panel Display, Fotovoltaik, Heat Transfer Fluid, dan Lainnya
2F	Penggunaan Produk sebagai Bahan Peluruhan Lapisan Ozon	Refrigeran dan AC, Foam Blowing Agent, Alat Pemadam Kebakaran, Aerosols, Pelarut, dan Aplikasi lainnya
2G	Pembuatan Produk-produk Lainnya dan Penggunaannya	Peralatan Listrik, SF ₆ /PFCs Penggunaan Produk Lain, N ₂ O dari Penggunaan Produk, dan Lainnya

Kode	Kategori	Cakupan Kategori
2H	Lainnya	Industri Pulp dan Kertas, Industri Makanan dan Minuman, dan Lainnya

Sumber : Permen LHK No 73 Tahun 2017, Lampiran III

Pada sektor IPPU, data diperoleh dari survey berbagai industri di Kota Surabaya. Sama dengan jumlah perusahaan yang memberikan data di Sektor Energi pada Industri Manufaktur dan Konstruksi, terdapat 28 perusahaan yang menyampaikan konsumsi bahan baku dan jenis produksi. Untuk menghitung emisi GRK yang paling sederhana adalah menggunakan aplikasi SIGNSMART berdasarkan pada kuantitas produksi dan konsumsi bahan baku yang digunakan. Berdasarkan kategori sumber emisi tersebut, data konsumsi karbonat terbanyak terdapat pada industri keramik sudah diinput ke sistem SIGNSMART pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 10 Penggunaan karbonat pada sektor Industri di Kota Surabaya

Tahun	Batu Kapur (Ton)	Dolomit (Ton)	Kalsium karbonat (Ton)
2022	13.129.138		353.265
2021	12.503.942		326.443
2020	11.433.326	3.505	311.647

Sumber : Data diolah , 2022

B. Jenis Emisi

Proses Industri dan Penggunaan Produk tersebut dapat menghasilkan berbagai gas rumah kaca diantaranya karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4), nitrous oksida (N_2O), hidrofluorokarbon (HFC) dan perfluorokarbon (PFC).

Selain itu, gas rumah kaca juga digunakan sebagai bahan baku di dalam produk-produk seperti pada refrigerator, busa atau kaleng aerosol. Sebagai contoh, HFC yang digunakan sebagai alternatif bahan pengganti bahan perusak ozon (BPO) dalam berbagai jenis aplikasi produk. Demikian pula, sulfur heksafluorida (SF_6) dan N_2O yang digunakan dalam sejumlah produk yang digunakan dalam industry. Misalnya, SF_6 digunakan dalam beberapa peralatan listrik dan gardu-gardu induk pembangkitan listrik, N_2O digunakan sebagai propelan aerosol dalam produk terutama di industri makanan. Aplikasi lainnya adalah penggunaan bahan-bahan ini pada akhir

siklus digunakan oleh konsumen (misalnya, SF_6 digunakan di produk sepatu lari, NO digunakan selama anestesi, dan lain-lain).

C. Metode Perhitungan Emisi GRK Kegiatan Proses Industri Dan Penggunaan Produk

Penghitungan tingkat emisi GRK untuk kebutuhan inventarisasi emisi GRK pada dasarnya berbasis pada pendekatan umum sebagai persamaan berikut ini.

$$\text{Tingkat Emisi} = \text{Data Aktivitas (AD)} \times \text{Faktor Emisi (EF)}$$

Data aktivitas (AD) adalah besaran kuantitatif kegiatan manusia (anthropogenic) yang melepaskan emisi GRK. Pada kegiatan IPPU, besaran kuantitatif adalah besaran terkait jumlah bahan yang diproduksi atau yang dikonsumsi (misal penggunaan carbonate). Faktor emisi (EF) adalah faktor yang menunjukkan intensitas emisi per unit aktivitas yang bergantung kepada berbagai parameter terkait proses kimia yang terjadi di masing-masing industri.

Penentuan Tier dalam inventarisasi GRK sangat ditentukan oleh ketersediaan data dan tingkat kemajuan suatu negara atau pabrik/industri dalam hal pelaksanaan penelitian untuk menyusun metodologi atau menentukan faktor emisi spesifik yang berlaku bagi negara/pabrik tersebut. Di Indonesia dan negara-negara non-Annex 1 pada umumnya, inventarisasi GRK menggunakan Tier-1 berdasarkan data aktifitas dan faktor emisi default IPCC.

3.4.3 Sektor Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan lainnya atau AFOLU (Agricultural, Forestry and Other Land Use)

A. Kehutanan dan Penggunaan Lahan Lainnya

Pada aktivitas penggunaan dan perubahan lahan menimbulkan potensi yaitu emisi gas rumah kaca. Sesuai dengan IPCC Guideline 2006, penggunaan dan perubahan lahan untuk inventarisasi emisi dan serapan GRK dibedakan menjadi 6 (enam) kategori, yaitu: IPCC mendefinisikan 6 (enam) kategori pada aktivitas perubahan penggunaan lahan secara umum, yaitu sebagai berikut:

1. *Forest Land* (Lahan Hutan). Kategori ini mencakup semua lahan dengan vegetasi berkayu sesuai dengan ambang batas yang

digunakan untuk mendefinisikan Forest Land dalam Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Dalam kategori ini juga termasuk sistem dengan struktur vegetasi diluar definisi hutan, tetapi berpotensi bisa mencapai nilai ambang batas atau memenuhi definisi hutan yang digunakan oleh suatu negara untuk menentukan kategori Lahan Hutan.

2. *Cropland* (Lahan Pertanian dan *Agroforestry*). Kategori ini meliputi tanaman pangan, termasuk sawah dan sistem agro-forestry dimana struktur vegetasinya dibawah ambang batas untuk disebut kategori lahan hutan.
3. *Grassland* (Padang Rumput dan Savana). Kategori ini mencakup padang penggembalaan dan padang rumput yang tidak dianggap sebagai lahan pertanian. Dalam kategori ini termasuk sistem dari vegetasi berkayu dan vegetasi bukan rumput seperti tumbuhan herbal dan semak. Kategori ini juga mencakup semua rumput dari lahan yang tidak dikelola sampai lahan rekreasi serta sistem pertanian dan silvi-pastural.
4. *Wetlands* (Lahan Rawa, Gambut, Sungai, Danau dan Waduk). Kategori ini mencakup lahan dari pengembangan gambut dan lahan yang ditutupi atau jenuh oleh air untuk sepanjang atau sebagian tahun (misalnya, lahan gambut).Kategori ini termasuk reservoir/waduk, sungai alami dan danau.
5. *Settlements* (Pemukiman/Infrastruktur). Kategori ini mencakup semua lahan yang dikembangkan termasuk infrastruktur transportasi dan pemukiman dari berbagai ukuran, kecuali yang sudah termasuk dalam kategori lainnya.
6. *Other Land* (Lahan Lainnya). Kategori ini meliputi tanah terbuka, lahan berbatu, lahan bersalju, dan semua lahan yang tidak masuk ke salah satudari 5 kategori diatas.

Emisi/Serapan dari setiap kategori penggunaan lahan diduga dari perubahan biomassa atau tampungan karbon untuk :

1. lahan yang tetap/tersisa dalam,kategori penggunaan lahan yang sama,
2. lahan yang berubah kepengunaan lahan tersebut dari penggunaan lahan lain.

Perubahan simpanan karbon untuk setiap transisi dari kategori penggunaan lahan merupakan penjumlahan dari perubahan simpanan karbon dari biomassa hidup, biomassa mati, dan bahan organik tanah seperti ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.

$$\Delta CLUI = \Delta CAB + \Delta CBB + \Delta CDW + \Delta CLI + \Delta CSO + CHWP$$

Dimana :

$\Delta CLUI$ = Perubahan simpanan karbon untuk suatu strata dari kategori penggunaan lahan

ΔCAB = Perubahan simpanan karbon dari biomassa di atas permukaan tanah

ΔCBB = Perubahan simpanan karbon dari biomassa di bawah permukaan tanah

ΔCDW = Perubahan simpanan karbon dari kayu mati

ΔCLI = Perubahan simpanan karbon dari serasah

ΔCSO = Perubahan simpanan karbon dari bahan organik tanah

$CHWP$ = Perubahan simpanan karbon dari produk kayu yang dipanen

Pada kegiatan perubahan lahan, selain emisi yang ditimbulkan juga terdapat kemungkinan terjadi penyerapan karbon. Hal tersebut mempengaruhi dugaan simpanan karbon pada ekosistem yaitu untuk setiap kategori penggunaan lahan (termasuk lahan yang kategorinya tetap dengan kategori penggunaan lahan sebelumnya dan lahan dikonversi ke penggunaan lahan lain). Perubahan simpanan karbon dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta CAFOLU = \Delta ACFL + \Delta CCL + \Delta CGL + \Delta CWL + \Delta CSL + CHOL$$

Dimana :

$\Delta CAFOLU$ = Perubahan simpanan karbon pada lahan pertanian

$\Delta ACFL$ = Forest land

ΔCCL = Cropland

ΔCGL = Grassland

ΔCWL = Wetlands

ΔCSL = Settlement

$CHOL$ = Other Land

B. Peternakan

Menurut IPCC Guideline 2006, sumber GRK dari aktivitas pertanian dikelompokkan sebagai berikut: 1) *enteric fermentation*, 2) pengelolaan limbah ternak.

1. Fermentasi Enterik

Proses *enteric fermentation* mengemisikan CH_4 , sedangkan pengelolaan limbah ternak menghasilkan emisi CH_4 dan N_2O . Metana dihasilkan oleh hewan memamah biak (herbivora) sebagai hasil samping dari fermentasi enterik, suatu proses dimana karbohidrat dipecah menjadi molekul sederhana oleh mikroorganisme untuk diserap ke dalam aliran darah. Ternak ruminansia (misalnya; sapi, domba, dan lain-lain) menghasilkan metana lebih tinggi daripada ternak non ruminansia (misalnya; babi, kuda). Data aktivitas yang diperlukan untuk Tier 1 adalah populasi ternak dan faktor emisi fermentasi enterik untuk berbagai jenis ternak. Data populasi ternak pada tingkat Kota Surabaya didapatkan melalui Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya.

Berdasarkan struktur populasi tersebut diperoleh nilai faktor koreksi ($k(T)$) untuk sapi pedaging, sapi perah dan kerbau masing-masing 0.72, 0.75 dan 0.72. Sehingga jumlah populasi dari ketiga jenis ternak tersebut dapat diasumsikan sebagai Animal Unit (AU) dengan persamaan di bawah ini.

$$N(T) \text{ in Animal Unit} = N(X) * k(T)$$

Dimana:

$N(T)$ = Jumlah ternak dalam Animal Unit

$N(X)$ = Jumlah ternak dalam ekor

$k(T)$ = Faktor koreksi (sapi pedaging=0.72, sapi perah=0.75 dan kerbau=0.72)

T = Jenis/kategori ternak (sapi pedaging, sapi perah dan kerbau)

Emisi metana dari fermentasi enterik dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Emisi = EF(T) \times N(T) \times 10^6$$

Dimana:

Emissions = Emisi metana dari fermentasi enterik, Gg CH_4 yr⁻¹

$EF(T)$ = Faktor emisi untuk populasi jenis ternak tertentu, kg CH_4 head⁻¹ yr⁻¹

$N(T)$ = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, Animal Unit

T = Jenis/kategori ternak

2. Pengelolaan Kotoran Ternak

Estimasi emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak dilakukan dengan menggunakan persamaan dari IPCC (2006), sebagai berikut:

$$CH_4_{manure} = \sum_T \frac{(EF_T \times N_T)}{10^6}$$

Dimana:

CH_4_{manure} = Emisi metana dari pengelolaan kotoran ternak, Gg CH_4 yr⁻¹

$EF(T)$ = Faktor emisi untuk populasi jenis ternak tertentu, kg CH_4 head⁻¹yr⁻¹

$N(T)$ = Jumlah populasi jenis/kategori ternak tertentu, Animal Unit

T = Jenis/kategori ternak

C. Pertanian

Emisi GRK dari sektor pertanian diduga dari emisi: (1) metan (CH_4) dari budidaya padi sawah (2) karbon dioksida (CO_2) karena penambahan bahan kapur dan pupuk urea, (3) dinitrogen oksida (N_2O) dari tanah, termasuk emisi N_2O tidak langsung dari penambahan N ke tanah karena penguapan/pengendapan dan pencucian, dan (4) non- CO_2 dari biomas yang dibakar pada aktivitas pertanian.

Emisi N_2O dari lahan pertanian bersumber dari pupuk N, pengelolaan sisa tanaman, bahan organik, dan konversi lahan yang menyebabkan mineralisasi bahan organik tanah. Emisi CO_2 bersumber dari pengapuran dan pemupukan urea. Emisi non- CO_2 dihasilkan dari pembakaran sisa tanaman seperti jerami (padi, jagung, tebu) dan dari pembakaran yang dilakukan pada saat konversi lahan. Sawah irigasi mengemisi CH_4 akibat proses an-aerobik yang terjadi pada proses dekomposisi bahan organik pada tanah sawah yang tergenang dan dilepaskan ke atmosfer melalui tanaman (Conrad, 1989; Nouchi et al., 1990).

Untuk menghitung emisi dari sektor pertanian perlu disiapkan data aktivitas seperti luas tanam, luas panen, jenis tanah, dan data hasil penelitian seperti dosis pupuk dan kapur pertanian, data tersebut diperoleh dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya.

Perhitungan emisi CH_4 dari pengelolaan padi dan sawah menggunakan rumus berikut ini :

$$CH_4_{rice} = \sum_{ijk} t_{ijk} \times A_{ijk} \times 10^{-6}$$

Dimana :

CH_{4rice} = emisi metan dari budidaya padi sawah, GG CH_4 pertahun

$EF_{i,j,k}$ = faktor emisi untuk kondisi i,j dan k : kg CH_4 perhari

$T_{i,j,k}$ = lama budidaya padi sawah untuk kondisi i,j dan k; hari

$A_{i,j,k}$ = luas panen padi sawah untuk kondisi i,j dan k; ha pertahun

i,j dan k = mewakili ekosistem berbeda: i: air, j : jenis dan jumlah pengembalian bahan organik tanah dan k : kondisi lain dimana emisi CH_4 dari padi sawah dapat bervariasi.

Emisi CO_2 dari pengapuran tanah pertanian, yaitu kegiatan penambahan kapur karbonat ke dalam tanah. Emisi CO_2 dari penambahan kapur karbonat kedalam tanah dapat diperkirakan dengan persamaan berikut.

$$CO_2Emission = [(M_{limestone} \times EF_{limestone}) + (M_{dolomites} \times EF_{dolomites})]$$

Dimana :

CO_2 -Emission = misi C tahunan dari aplikasi pengapuran, ton C per tahun.

M = jumlah atau berat dari kapur Limestones ($CaCO_3$) dan Dolomites ($CaMg(CO_3)_2$) yang diaplikasikan, ton per tahun.

EF = faktor emisi, ton C per (limestones atau dolomites). Default IPCC (Tier 1) faktor emisi untuk limestone adalah 0.12 dan 0.13 untuk dolomite.

Emisi CO_2 dari penambahan pupuk urea, yaitu Penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO_2 yang diikat selama proses pembuatan pupuk. Kategori sumber ini perlu dimasukkan karena pengambilan (fiksasi) CO_2 dari atmosfer selama pembuatan urea diperhitungkan dalam sektor industri. Emisi CO_2 dari penggunaan pupuk Urea dihitung dengan persamaan berikut.

$$CO_2Emission = (M_{urea} \times EF_{urea})$$

Dimana :

CO_2 -Emission = Emisi C tahunan dari aplikasi urea, ton C_2 per tahun.

M = jumlah pupuk urea yang diaplikasikan, ton per tahun.

EF = faktor emisi, ton C per (Urea). Default IPCC (Tier 1) untuk faktor emisi urea adalah 0,20

Emisi N_2O juga didapatkan dari penambahan pupuk yang mengandung N pada tanah dan proses perubahan lahan yang menyebabkan terjadinya proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam tanah. Untuk emisi dari pengelolaan tanah pertanian di atas, maka data yang diperlukan adalah

data konsumsi jenis pupuk di Kota Surabaya. Data ini diperoleh dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Surabaya.

Selain itu emisi CH_4 pada sektor pertanian juga ditimbulkan dari proses panen padi sawah dan pengelolaan padi sawah.

3.4.4 Sektor Limbah

Emisi gas rumah kaca dari kegiatan penanganan cakup gas metana (CH_4), nitro oksida (N_2O), dan karbon dioksida (CO_2) apabila terjadi pada kondisi anaerobik. Berdasarkan IPCC 2006 Guidelines, CO_2 yang diemisikan dari pengolahan limbah secara biologi dikategorikan sebagai biogenic origin yang tidak termasuk dalam lingkup inventarisasi GRK dari kegiatan pengolahan limbah. CH_4 terutama berasal dari proses penguraian anaerobik limbah padat, limbah cair perkotaan, dan limbah cair industri pada saat ditimbun di TPA maupun dikomposkan. Disamping CH_4 , proses ini juga mengemisikan CO_2 dan N_2O . CH_4 juga diemisikan dari collected untreated wastewater limbah cair kota yang mencakup air limbah yang terkumpul dan tidak diolah (dibuang ke laut, sungai, danau, stagnant sewer/saluran air kotor yang mampat), treated wastewater limbah cair kota (anaerobik, digester, septic tank, laterine), dan fasilitas pengolahan air limbah industri. N_2O berasal dari proses pengomposan dan pembakaran sampah padat kota dan proses biologi limbah cair kota.

CO_2 terutama dari pembakaran limbah padat. Pada pembakaran limbah padat, umumnya digunakan lambakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Pembakaran bahan bakar fosil selain menghasilkan GRK berupa CO_2 dan N_2O juga menghasilkan gas-gas precursors (GRK non- CO_2) seperti CO, CH_4 , non-methane volatile organic compounds (NMVOC).

Senyawa-senyawa ini akan teroksidasi menjadi CO_2 dan gas-gas N_2O , NO_x , NH_3 , dan SO_2 . Komponen GRK non- CO_2 berasal dari pembakaran bahan bakar fosil (gas-gas precursor) relatif kecil dibandingkan emisi CO_2 sehingga gas-gas precursor tidak diperhitungkan dalam inventarisasi apabila penghitungan tingkat emisi GRK menggunakan metoda Tier-1. Merujuk IPCC guideline, Tier-1 tidak mencakup gas-gas precursor dalam penghitungan emisi GRK. Pada metoda yang tingkat ketelitiannya lebih tinggi, seperti Tier-2 dan Tier-3, gas-gas precursor ikut dalam perhitungan emisi GRK.

Penjelasan lebih lanjut mengenai Tier-1, Tier-2, dan Tier-3 merujuk IPCC Guidelines. Namun secara keseluruhan karena pelaporan perhitungan emisi GRK

ini berdasarkan sistem signsmart yang menggunakan Tier-1. Sumber emisi GRK dari pengelolaan limbah disajikan pada diagram grafis berikut :



Gambar 3. 2 Sumber Emisi Gas Rumah Kaca pada Sektor Limbah

Sumber : diolah Tim GRK, 2023

Perhitungan emisi GRK dilakukan dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$\text{Tingkat Emisi GRK} = \text{Data Aktivitas (AD)} \times \text{Faktor Emisi (EF)}$$

Keterangan:

AD: Data Aktivitas (jumlah bahan yang diproduksi/ dikonsumsi)

EF: Faktor Emisi (emisi per unit produksi/konsumsi)

A. Perhitungan Emisi dari Kegiatan Penimbunan Sampah

Emisi metana dari kegiatan penimbunan sampah, baik di TPA, lubang, maupun terhampar (open dumping) dapat diperkirakan besarnya dengan menggunakan metode First Order Decay (FOD) dari IPCC, 2006. Metode ini mengasumsikan bahwa Degradable Organic Carbon (DOC) meluruh secara perlahan sehingga menghasilkan metana dan karbondioksida. Jika kondisi konstan, laju produksi metana bergantung pada jumlah karbondioksida yang tersedia pada limbah.

Perhitungan emisi metana dari kegiatan penimbunan sampah menggunakan persamaan berikut ini:

$$\text{Emisi } CH_4 = \left[\sum CH_{4,t} - R_t \right] \times (1 - OX_t)$$

Keterangan:

Emisi CH₄ : emisi gas metan dalam tahun T (Gg)

T : tahun inventori

x : kategori atau jenis limbah

RT : pemulihan gas metan dalam tahun T (Gg)

OXT : faktor oksidasi dalam tahun T (fraksi)

Berdasarkan prosesnya, gas metan dihasilkan dari degradasi bahan organik dalam kondisi anaerob. Selanjutnya, gas metan yang dihasilkan tersebut dapat mengalami berbagai proses, yaitu teroksidasi di permukaan tanah (OX T) atau dapat ditangkap gas metannya (RT). Bentuknya dapat berupa pemanfaatan energi atau hanya dibakar (flaring).

B. Perhitungan Emisi dari Kegiatan Pengolahan Biologi Sampah

Kegiatan pengolahan biologi sampah tidak hanya menghasilkan emisi gas metan, tetapi juga menghasilkan emisi nitrogen oksida. Perhitungan emisi menggunakan IPCC, 2006, sebagaimana rumus berikut ini:

$$\text{Emisi } N_2O = \sum ((M_i \times FE_i) \times 10^{-3})$$

$$\text{Emisi } CH_4 = \sum ((M_i \times FE_i) \times 10^{-3}) - R$$

Keterangan:

Emisi N₂O : total emisi nitrogen oksida pada tahun inventarisasi (Gg N₂O)

Emisi CH₄ : total emisi gas metan pada tahun inventarisasi (Gg CH₄)

M_i : massa sampah organik yang dikelola dengan pengolahan biologi jenis i (Gg)

FE : faktor emisi untuk pengolahan i (g N₂O/kg sampah yang dikelola untuk emisi N₂O; g CH₄/kg sampah yang dikelola untuk emisi CH₄)

i : tipe pengolahan biologi (pengomposan atau pencernaan anerobik)

R : jumlah total gas metan yang dipulihkan bila ada penangkapan gas metan, Gg CH₄

C. Perhitungan Emisi dari Kegiatan Pembakaran Sampah

Kegiatan pembakaran sampah menghasilkan emisi GRK berupa karbondioksida, nitrogen oksida, dan gas metan. Prakiraan besaran emisi diperhitungkan dengan menggunakan metode IPCC, 2006, yaitu sebagai berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{MSW} \times \sum_j (\text{WF}_j \times \text{dm}_j \times \text{CF}_j \times \text{FCF}_j \times \text{OF}_j) \times 44/12$$

Keterangan:

MSW : jumlah total limbah padat perkotaan yang diinsinerasi atau dibakar terbuka, Gg/th

WF_j : fraksi tipe limbah dari komponen j dalam

MSW yang diinsinerasi atau dibakar terbuka

dm_j : kandungan zat kering dalam komponen j pada MSW yang diinsinerasi atau dibakar terbuka

CF_j : fraksi karbon dalam bahan kering (kandungan karbon) pada komponen j

FCF_j : fraksi fosil karbon dalam total karbon pada komponen j

OF_j : faktor oksidasi

44/12 : faktor konversi dari C (karbon) ke CO₂ (karbondioksida)

Dengan,

$$1 = \sum_j \text{WF}_j$$

j = komponen dari MSW insinerasi atau pembakaran terbuka (kertas/kardus, tekstil, sisa makanan, kayu, limbah kebun dan taman, popok sekali pakai, karet, plastik, logam, kaca, limbah tak terbakar lainnya).

Tabel 3. 11 Faktor Emisi GRK untuk Kegiatan Pengolahan Biologi Sampah

Tipe Teknologi Pengolahan Biologi	Faktor Emisi CH ₄ (g CH ₄ /kg sampah yang diolah)		Faktor Emisi N ₂ O (g N ₂ O/kg sampah yang diolah)	
	Basis Berat Kering	Basis Berat Basah	Basis Berat Kering	Basis Berat Basah
Pengomposan	10 (0.08-20)	4 (0.03-8)	0.6 (0.2-1.6)	0.3 (0.06-0.6)
Digester anaerobik (anaerobic digester) pada fasilitas biogas	2 (0-20)	1 (0-8)	Diasumsikan diabaikan	Diasumsikan diabaikan

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

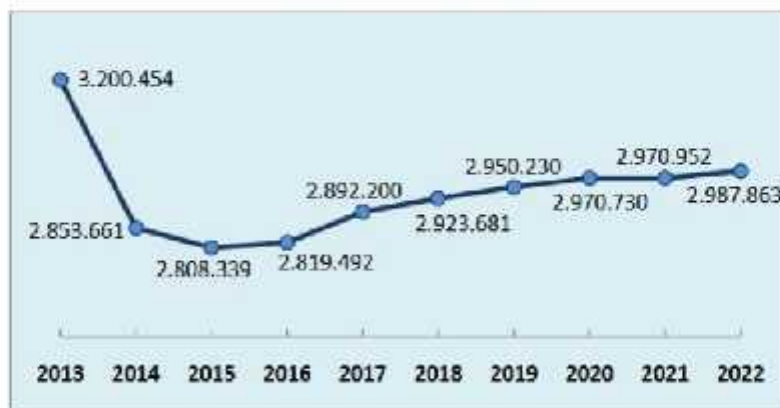
D. Rincian Data Untuk Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Kegiatan Pengelolaan Limbah

1. Timbulan Sampah

Timbulan sampah pada umumnya berbanding lurus dengan jumlah penduduk. Jumlah penduduk Kota Surabaya sampai dengan tanggal 31 Desember tahun 2022 mencapai 2.987.863 jiwa, terdiri atas 49,52%

(1.479.715 jiwa) penduduk laki-laki dan 50,48% (1.508.148 jiwa) penduduk perempuan, yang tersebar di 31 kecamatan dan 100% penduduk Kota Surabaya hidup di perkotaan.

Gambar 3. 3 Grafik Perkembangan Penduduk Kota Surabaya tahun 2013-2022



Sumber : Profil Kependudukan Kota Surabaya Tahun 2022, Dispendukcapil

Indonesia telah memiliki data hasil penelitian dan hasil survey terkait laju pembentukan sampah di beberapa daerah perkotaan yang dapat digunakan sebagai rujukan apabila data negara yang spesifik (*country-specific data*) untuk Indonesia belum tersedia.

Tabel 3. 12 Laju Pembentukan Sampah Domestik Rata-rata di Indonesia

NO	TIPE	LAJU PEMBENTUKAN SAMPAH DOMESTIK (TON/KAPITA/TAHUN)
Kota		
1	Kota Metropolitan (Jumlah penduduk >1.000.000 jiwa)	0.28
2	Kota Besar (Jumlah penduduk 500.000-1.000.000 jiwa)	0.22
3	Kota Sedang (Jumlah penduduk 100.000-500.000 jiwa)	0.20
4	Kota Kecil (Jumlah penduduk 20.000-100.000 jiwa)	0.19
	Rata-rata	0.22
Kabupaten		
1	Kabupaten	0.20

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

Sehingga pada Signsmart, data timbulan sampah dan laju timbulan sampah dicantumkan sebagai berikut :

Tabel 3. 13 Timbunan Sampah Di Kota Surabaya

Tahun	Jumlah Timbunan Sampah (ton)	Laju Timbunan Sampah (ton/jiwa/tahun)
2022	651.043,44	0,22
2021	650.614,62	0,22
2020	811.255,12	0,26
2019	2.223,89	0,26

Sumber : <https://signsmart.menihk.go.id> Tahun 2022

Jumlah timbunan sampah di atas diasumsikan dari jumlah penduduk dikalikan laju timbunan sampah. Jumlah penduduk di Kota Surabaya pada tahun 2022 adalah 2.887.223 dikalikan laju timbunan sampah 0,22.

2. Distribusi Pengelolaan Sampah Domestik

Distribusi Pengelolaan Sampah Domestik memerlukan data mengenai persentase pengelolaan sampah berupa: (1) sampah terangkut ke TPA, (2) sampah ditimbun di dalam tanah, (3) sampah dibuat kompos, (4) sampah dibakar, (5) sampah dibuang ke kali/parit/lahan kosong, (6) sampah didaur ulang, (7) sampah diinsinerasi.

Data yang sulit diperoleh dan sulit terukur adalah kegiatan penanganan sampah yang bersifat ilegal atau dilaksanakan warga yang tidak dilaporkan ke pemerintah setempat yaitu :

- Sampah ditimbun di dalam tanah
- Sampah dibakar
- Sampah dibuang ke kali/parit/lahan kosong

Sedangkan sampah yang diinsinerasi pada umumnya adalah sampah/limbah medis yang ditangani oleh masing-masing rumah sakit/klinik . Tabel distribusi pengelolaan sampah adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 14 Distribusi Pengelolaan Sampah Domestik Di Kota Surabaya

Tahun	Terangkut ke TPA (%)	Dibuat kompos (%)	Daur Ulang (%)	Lainnya (%)
2022	89,7300	5,4519	2,2372	88,1513
2021	88,9300	5,4334	2,3217	88,9516
2020	87,3300	5,1900	0,9100	
2019	89,0800	4,0900	0,0600	

Sumber : <https://signsmart.menihk.go.id> Tahun 2022

3. Komposisi dan Kandungan Bahan Sampah Kering di Surabaya

Komposisi dan Kandungan Bahan Kering Sampah Domestik memerlukan data mengenai: (1) komposisi sampah yang dibedakan berdasar jenis sampah : sisa makanan, daun kering, kertas, kaca, plastik, nappies, kayu, sisa logam, bahan anorganik lainnya dan bahan anorganik lainnya, dan (2) data berat kering sampah.

Pelaksanaan pengukuran langsung dapat merujuk pada manual pelaksanaan survei komposisi sampah dan berat kering sampah yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK).

Adapun untuk nilai Degradable Organic Carbon (DOC) perlu dihitung tersendiri berdasarkan data berat kering sampah yang diperoleh. Persamaan untuk menghitung DOC adalah sebagai berikut:

$$DOC = \sum_i (DOC_i \times W_i)$$

Keterangan:

DOC : Fraksi Degradable Organic Carbon pada sampah bulk, Gg C/g sampah

DOC_i : Fraksi Degradable Organic Carbon pada komponen sampah i (basis berat basah)

W_i : Fraksi komponen sampah jenis i (basis berat basah)

i : Komponen sampah, misal sampah makanan, kertas, kayu, dan plastik

4. Tempat Pembuangan Akhir

Keterangan tentang TPA sangat berpengaruh terhadap emisi GRK, yang berpengaruh adalah jenis pemrosesan sampah dan kapasitas TPA. Di Kota Surabaya adalah dimana hanya 1 di Kelurahan Benowo diperlukan data-data sebagai berikut:

Tabel 3. 15 Kebutuhan Data Aktivitas TPA

Kategori /Sub Kategori		Data Aktivitas	Tahun	
			2021	2022
Solid Waste Disposal Site (Penimbunan sampah / Landfilling/TPA)	Informasi Pengoperasian TPA	Nama TPA yang dioperasikan		
		Lokasi TPA (Kabupaten/Kota)		
		Lokasi TPA (Provinsi)		

Kategori /Sub Kategori		Data Aktivitas	Tahun	
			2021	2022
		Tipe Pengelolaan TPA		
		Tahun dibuka TPA		
		Tahun ditutup TPA		
		Pemulihan metana di TPA (jumlah KK Pengguna Biogas dari TPA)		
		Tanah Penutup TPA		

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

Pada tabel di atas, TPA yang berada di Kota Surabaya adalah TPA benowo, dimana TPA ini merupakan tempat pemrosesan akhir sampah dari seluruh wilayah Kota Surabaya. Sampah diolah menjadi listrik menggunakan teknologi *Landfill Gas Power Plant* yang mengolah kurang lebih 600 ton sampah menjadi listrik sebesar 2 Megawatt dengan teknologi *metan captured* pada landfill dan 1000 ton menjadi 9 Megawatt dengan teknologi *Gasification Power Plant*. Pengelolaan sampah menjadi listrik di TPA ini merupakan kerjasama Pemkot Surabaya dan swasta. Sampai dengan saat ini belum ada pedoman dari kegiatan sektor limbah atau sektor energi yang mencatat data aktivitas dari sampah menjadi energi sehingga pengolahan sampah diasumsikan adalah sanitary landfill

Emisi yang dihasilkan dari TPA sebagian besar adalah gas metan, untuk itu perlu diketahui nilai *Methane Corection Factor (MCF)*. Data nilai Methane Correction Factor (MCF) diperlukan untuk menunjukkan derajat terjadinya penguraian limbah secara anaerob. Nilai faktor koreksi metan (MCF) untuk setiap tipe pengelolaan TPA dapat menggunakan tabel berikut ini:

Tabel 3. 16 Sistem Pengelolaan Sampah

Tipe Lokasi TPA	Angka Default Faktor Koreksi Metan (MCF)
Dikelola anaerobik ¹	1
Dikelola semi anaerobik ²	0.5

Tipe Lokasi TPA	Angka Default Faktor Koreksi Metan (MCF)
Tidak dikelola (open dumping) -dalam ^d (>5m limbah) dan/atau permukaan air tinggi	0.8
Tidak dikelola (open dumping) – dangkal ^d (<5m limbah) dan/atau permukaan air tinggi	0.4
Tidak terkategori SWDS ^b	0.6

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

Keterangan:

- TPA yang dikelola secara anaerobik: Ini merupakan TPA yang dikendalikan (yaitu, limbah ditempatkan di area spesifik, tingkat pengendalian pemulungan sampah, dan tingkat pengendalian pembakaran) serta setidaknya meliputi salah satu dari hal berikut ini: (i) material penutup; (ii) pemadatan mekanis; atau (iii) penentuan level limbah.
- TPA yang dikelola secara semi-aerobik: Ini merupakan TPA yang dikendalikan dan meliputi seluruh struktur berikut untuk memasukkan udara ke lapisan limbah: (i) material penutup yang dapat ditembus air; (ii) sistem drainase lindi; (iii) pengaturan kolam; dan (iv) sistem ventilasi gas.
- TPA yang tidak dikelola-dalam dan/atau dengan permukaan air tinggi: Semua TPA yang tidak memenuhi kriteria TPA yang dikelola dan memiliki kedalaman lebih dari atau sama dengan 5 meter dan/atau tinggi muka air tanah di dekat permukaan tanah. Kondisi yang terakhir berhubungan dengan pengisian air ke dalam tanah, seperti kolam, sungai, atau lahan basah oleh limbah.
- TPA limbah padat dangkal yang tidak dikelola: Semua TPA yang tidak memenuhi kriteria TPA yang dikelola dengan kedalaman kurang dari 5 meter.
- TPA yang tidak dikategorikan: Hanya jika negara tidak dapat mengelompokkan TPA ke dalam 4 kategori TPA yang dikelola dan tidak dikelola seperti di atas, MCF untuk kategori ini dapat digunakan.

Selain itu, apabila terdapat catatan yang baik (terukur) tentang jumlah metana yang ditangkap, misal untuk listrik atau dibakar, dalam satuan beral CH_4 /tahun, data diinput ke dalam perhitungan emisi GRK dari TPA sampah. Menetapkan angka faktor oksidasi dapat menggunakan tabel berikut ini:

Tabel 3. 17 Faktor Oksidasi

JENIS TPA	ANGKA DEFAULT OX
Dikelola (tidak berpenutup bahan teraerasi), tidak dikelola, tidak terkategori	0
Dikelola (berpenutup bahan yang mengoksidasi CH_4 , seperti tanah/ kompos)	0.1

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

5. Sarana Pengelolaan Air Limbah Domestik

Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik, memerlukan data mengenai distribusi pengelolaan air limbah dengan tampilan sebagai berikut:

Gambar 3. 4 Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik Di Kota Surabaya

Sarana Pembuangan Air Limbah Domestik SURABAYA

WILAYAH	KECAMATAN	KEC. / DESA	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)	Tanggal Pengaliran (Domestik)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Sumber : <https://signsmart.meritlhk.go.id> Tahun 2022

Untuk mendapatkan nilai emisi GRK pada sektor limbah domestik berdasarkan data aktivitas di atas, perlu diketahui nilai faktor emisi default pada sistem Signsmart, yang tercantum di bawah ini :

Tabel 3. 18 Faktor Emisi Air Limbah Domestik

Faktor Emisi CH_4 (g CH_4 /0,6 kg CH_4 /kg BOD)	Faktor Emisi N_2O (kg N_2O -N/kg N yang dikonsumsi penduduk)
$\text{EF}_j = \text{Bo} \times \text{MCF}_j$	0.005 Kg N_2O -N/Kg N

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

Data air limbah domestik diperoleh dari OPD terkait yaitu Dinas Kesehatan dan Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Kota Surabaya. Kota Surabaya yang merupakan kota metropolitan, pengelolaan limbah hanya berupa tangki septik perkotaan, IPAL komunal dan selebihnya adalah jamban tanpa tangki septik.

6. Pengelolaan Limbah Cair pada Sektor Industri

Pada sektor limbah cair untuk industri, data yang diperlukan adalah volume dan jenis produksi yang dihasilkan suatu industri dan jenis pengolahan air limbah industri.

Adapun tabel untuk pengisian pengolahan air limbah industri sebagai berikut:

Tabel 3. 19 Limbah Cair Industri berdasarkan volume dan jenis produksi

KATEGORI/ SUB KATEGORI		DATA PRODUKSI	TAHUN						
			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Pengolahan Air Limbah Industri	Volume Produksi/ Tahun Untuk Jenis Industri Ember Grl Berikut :	Alcohol Refining (Ton)							
		Beer & Malt (Ton)							
		Coffee (Ton)							
		Dairy Products (Ton)							
		Fish Processing (Ton)							
		Meat Poultry (Ton)							
		Organic Chemicals (Ton)							
		Petroleum Refineries (Ton)							
		Plastic Resin (Ton)							
		Pulp & Paper (Combined) (Ton)							
		Soap & Detergents (Ton)							
		Starch Production (Ton)							
		Sugar Refining (Ton)							
		Vegetable Oils (Except Cpo) (Ton)							
		Wine & Vinegar (Ton)							
		CPO (Ton)							
		Sugar Can (Ton)							
		Tekstil (Ton)							
		Crumb Rubber (Ton)							
		Minyak Goreng Sawit dan Margarine (Ton)							
		Oleochemical Berbasis Sawit (Ton)							
		Vegetables, Fruit and Juice (Ton)							
		Produksi Biodiesel (Ton)							
	Distribusi Jenis Pen- golahan	Tidak Terolah							
		Sea, River, and Lake Discharge (%)							
		Terolah							
		Anaerobic Treatment Plant Not Well Managed (%)							
		Aerobic Treatment Plant (%)							
		Anaerobic Digester For Sludge (%)							
		Anaerobic Reactor (E.g. Uasb, Fixed Film Reactor) (%)							
		Anaerobic Shallow Lagoon (%)							

Sudah diatur dalam
sistem signsmart
sesuai dengan jenis
industri

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

Pada tabel di atas, pengukuran emisi GRK didasarkan pada jenis dan volume produksi per tahun dari suatu industri, adapun jenis distribusi pengolahan limbah telah diatur dalam sistem Signsmart untuk kemudahan kabupaten/kota menyajikan pelaporan emisi GRK sektor limbah. Adapun faktor emisi GRK pada air limbah industri terdapat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 20 Faktor Emisi GRK pada Limbah Cair Industri

Jenis Pengolahan	Faktor Emisi (kg CH ₄ /kg BOD)
Tidak ada pengolahan	
Dibuang ke laut, sungai, dan danau	0.25
Pengolahan	
Instalasi pengolahan anaerobik	0
Instalasi pengolahan aerobik	0.075
Digester anaerobik untuk lumpur	0.2
Reaktor anaerobik (antara lain UASB, reaktor film tetap)	0.2
Danau anaerobik dangkal	0.05
Danau anaerobik dalam	0.2

Sumber : Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK Pemerintah Daerah Sektor Limbah, 2020

BAB IV

HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GAS RUMAH KACA



BAB IV

HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GRK

4.1 Tingkat, Status, dan Kecenderungan Emisi dan Serapan GRK

Emisi GRK di Kota Surabaya dipengaruhi secara langsung oleh besaran konsumsi energi, proses industri dan penggunaan produk, perubahan pemanfaatan lahan, dan sistem pengolahan limbah. Faktor-faktor tersebut dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, perubahan fungsi lahan dari hutan menjadi fungsi lain dan faktor-faktor lainnya. Emisi GRK di sektor pengadaan dan penggunaan energi akan terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk yang berbanding lurus dengan jumlah kendaraan di tengah Kota Surabaya. Sedangkan untuk emisi dari sektor peternakan, pertanian dan penggunaan lahan lainnya mengalami penurunan akibat menurunnya area pertanian dan aktivitas peternakan di Kota Surabaya. Pada sektor pengolahan limbah, sistem pengolahan limbah dan volume timbulan sampah secara proporsional mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Inventarisasi gas rumah kaca (GRK) merupakan kegiatan untuk memperoleh data dan informasi mengenai tingkat, status dan kecenderungan perubahan emisi GRK secara berkala dari berbagai sumber emisi dan penyerapannya termasuk simpanan karbon. Data dan informasi yang telah didapatkan, kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus yang telah ditentukan. Sehingga dari perhitungan tersebut didapatkan jumlah emisi yang berada di Kota Surabaya. Perhitungan emisi dimulai dari tahun 2019-2022. Berikut adalah gambaran tren emisi gas rumah kaca (GRK) di Kota Surabaya :

4.1.1 Sektor Energi

A. Aktivitas Utama Produksi Listrik dan Panas

Pada kegiatan di pembangkit listrik, tentu menggunakan bahan bakar dalam produksinya. Dalam hal ini menggunakan gas alam sebanyak 1.534 MMSCF. Dari penggunaan bahan bakar ini tentu menghasilkan emisi yang dilepaskan di udara. Diketahui total emisi CO₂ untuk aktivitas produksi listrik ini mencapai **90.79 Gg CO₂**. Perhitungannya sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Emisi pada Pembangkit dengan Bahan Bakar Gas Alam di Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	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 (Mass, Volume, or Energy Unit)	Conversion Factor TJ / Unit	Consumption TJ	CO ₂ Emission Factor kg CO ₂ / TJ	CO ₂ Emissions Gg CO ₂	CH ₄ Emission Factor kg CH ₄ / TJ	CH ₄ Emissions Gg CH ₄	N ₂ O Emission Factor kg N ₂ O / TJ	N ₂ O Emissions Gg N ₂ O
HSD	0	0.04	0.00	74100	0.00	3	0.00	0.60	0.00
IDO	0	0.03	0.00	74100	0.00	3	0.00	0.60	0.00
MFO	0	0.04	0.00	77400	0.00	3	0.00	0.60	0.00
COAL	0	0.03	0.00	96100	0.00	1	0.00	1.50	0.00
NATURAL_GAS	1.534	1.06	1610.37	56100	90.79	1	0.00	0.10	0.00
OTHER_BIO_MASS	0	0.03	0.00	0	0.00	30	0.00	4.00	0.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

B. Industri Manufaktur dan Konstruksi

Industri menjadi kegiatan utama di kota besar, tidak terkecuali Kota Surabaya. Industri yang sedang masif yaitu konstruksi dan manufaktur. Tentunya dalam kegiatan industri manufaktur dan konstruksi ini menggunakan bahan bakar untuk memperlancar kegiatannya. Adapun beberapa bahan bakar yang biasa digunakan antara lain solar, gas alam, LPG, batu bara dan biomassa. Tercatat di tahun 2022 dari beberapa kegiatan industri yang kami dapat, penggunaan solar sebanyak 853.954 Kiloliter, gas alam 19.435 MMSCF, LPG 6.692 Ton, batu bara sebanyak 1.501.114 ton, dan 1.209 ton biomassa. Berikut perhitungan penggunaan bahan bakar dan hasil emisi yang dihasilkan dari penggunaannya :

Tabel 4. 2 Emisi berdasarkan Konsumsi Bahan Bakar pada Industri di Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	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 (Mass, Volume, or Energy Unit)	Conversion Factor TJ / Unit	Consumption TJ	CO ₂ Emission Factor kg CO ₂ / TJ	CO ₂ Emissions Gg CO ₂	CH ₄ Emission Factor kg CH ₄ / TJ	CH ₄ Emissions Gg CH ₄	N ₂ O Emission Factor kg N ₂ O / TJ	N ₂ O Emissions Gg N ₂ O
PREMIUM	0	0.03	0.00	69.300	0.00	3	0.00	0.60	0.00
SOLAR	853.954	0.04	32.535.65	74.100	2.410.89	4	0.13	0.38	0.01
DIESEL_OIL	0	0.04	0.00	74.100	0.00	3	0.00	0.60	0.00

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	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	CO ₂ Emission Factor	CO ₂ Emissions	CH ₄ Emission Factor	CH ₄ Emissions	N ₂ O Emission Factor	N ₂ O Emissions
	(Mass, Volume, or Energy Unit)	TJ / Unit	TJ	kg CO ₂ / TJ	Gg CO ₂	kg CH ₄ / TJ	Gg CH ₄	kg N ₂ O / TJ	Gg N ₂ O
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	19.435	1.06	20.503.93	56.100	1.150.27	1	0.02	0.10	0.00
LPG	6.692	0.05	335.27	63.100	21.16	1	0.00	0.10	0.00
COAL	1.501.114	0.03	37.677.96	96.100	3.620.85	10	0.38	1.50	0.06
OTHER BIOMASS	1.209	0.03	35.30	0	0.00	30	0.00	4.00	0.00
Total					7.203.17		0.53		0.07

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Dari tabel di atas, diketahui bahwa emisi yang dihasilkan yaitu 7.203,17 Gg CO₂, 0,53 Gg CH₄, dan 0,07 Gg N₂O. Untuk mengetahui total emisi CO₂ perlu dilakukan perhitungan konversi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ ekuivalen dari total Emisi CH}_4 &= 0,53 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\ &= 13,25 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ ekuivalen dari total Emisi N}_2\text{O} &= 0,07 \text{ Gg N}_2\text{O}/\text{tahun} \times 298 \\ &= 20,86 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jadi total emisi yang dihasilkan dari kegiatan sektor energi pada pembakaran industri manufaktur dan konstruksi yaitu 7.203,17 Gg CO₂ + 13,25 Gg CO₂ + 20,86 Gg CO₂ = **7.237,28 Gg CO₂**

C. Transportasi

Transportasi merupakan sumber bergerak penghasil emisi yang utama. Transportasi juga tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia, baik itu di daerah maupun di kota. Maka perlu dilakukan pengukuran mengenai emisi yang dihasilkan dari hal ini. Adapun bahan bakar yang dipakai untuk transportasi merupakan data yang kami dapat dari PT Pertamina, sebagai berikut pertalite, pertamax, solar, BBG, dan DEX. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Emisi pada Penggunaan Bahan Bakar pada sektor Transportasi di Kota Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	A	B	C = A x B	D	E = C x D / 10(B)	F	G = C x F / 10(B)	H	I = C x H / 10(B)
	Consumption (Mass, Volume, or Energy Unit)	Conversion Factor TJ / Unit	Consumption TJ	CO ₂ Emission Factor kg CO ₂ / TJ	CO ₂ Emissions Gg CO ₂	CH ₄ Emission Factor kg CH ₄ / TJ	CH ₄ Emissions Gg CH ₄	N ₂ O Emission Factor kg N ₂ O / TJ	N ₂ O Emissions Gg N ₂ O
PREMIUM	0	0.03	0.00	69.300	0.00	33	0.00	3.20	0.00
PERTALITE	445.000	0.03	15.135	69.300	1.048,51	33	0.50	3.20	0.05
PERTAMAX	98.000	0.03	3.234,00	89.300	224.12	33	0.11	3.20	0.01
PERTAMAX PLUS	0	0.03	0.00	69.300	0.00	33	0.00	3.20	0.00
SOLAR	201.800	0.04	7.688,56	74.100	569.72	4	0.03	3.90	0.03
BIO_SOLAR	0	0.04	0.00	74.100	0.00	4	0.00	3.90	0.00
MARINE FUEL OIL	0	0.04	0.00	77.400	0.00	1	0.00	2.00	0.00
BBG	125.900	1.06	132.854,50	56.100	7.451,45	92	12.22	3.00	0.40
AVGAS	0	0.03	0.00	89.300	0.00	1	0.00	2.00	0.00
KEROSENE	0	0.03	0.00	71.900	0.00	1	0.00	2.00	0.00
JET_KEROSENE	0	0.03	0.00	71.500	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	20.600	0.04	784,86	74.100	58.16	4	0.03	3.90	0.00
ADO	0	0.04	0.00	74.100	0.00	74.100	0.00	3.90	0.00
DIESEL51_BIO_SOLAR	0	0.04	0.00	74.100	0.00	4	0.00	3.90	0.00
Total					9.351,96		12,86		0,49

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Dari tabel perhitungan tersebut diketahui emisi yang dihasilkan yaitu 9.351,96 Gg CO₂, 12,86 Gg CH₄, dan 0,49 Gg N₂O. Kemudian dilakukan konversi untuk CH₄ dan N₂O sesuai dengan koefisien masing-masing jenis gas sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ ekuivalen dari total Emisi CH}_4 &= 12,86 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\ &= 321,25 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ ekuivalen dari total Emisi N}_2\text{O} &= 0,49 \text{ Gg N}_2\text{O}/\text{tahun} \times 298 \\ &= 146,02 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jadi total emisi yang dihasilkan dari kegiatan industri manufaktur dan konstruksi yaitu $9.351,96 \text{ Gg CO}_2 + 321,25 \text{ Gg CO}_2 + 146,02 \text{ Gg CO}_2 = 9.819,23 \text{ Gg CO}_2$

D. Komersial / Institusional

Daerah komersial di Kota Surabaya sangat banyak, baik berupa rumah makan, perkantoran, maupun pergudangan. Hal ini tak terlepas dari Kota Surabaya yang merupakan kota metropolitan. Kegiatan komersial tersebut tentu membutuhkan energi dalam kesehariannya, seperti penggunaan gas alam sebagai bahan bakarnya. Berikut merupakan perhitungan dari sumber energi yang digunakan pada komersial maupun institusional :

Tabel 4. 4 Emisi dari Penggunaan Gas Alam pada Tempat Komersial di kota Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	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	CO ₂ Emission Factor	CO ₂ Emissions	CH ₄ Emission Factor	CH ₄ Emissions	N ₂ O Emission Factor	N ₂ O Emissions
	(Mass, Volume, or Energy Unit)	TJ / Unit	TJ	kg CO ₂ / TJ	Gg CO ₂	kg CH ₄ / TJ	Gg CH ₄	kg N ₂ O / TJ	Gg N ₂ O
GASOLINE	0	0.03	0.00	71.900	0.00	10	0.00	0.60	0.00
DIESEL OIL	0	0.60	0.00	74.100	0.00	10	0.00	0.60	0.00
LPG	0	0.05	0.00	63.100	0.00	5	0.00	0.10	0.00
NATURAL GAS	16.243	1.05	17.134.74	56.100	961.26	5	0.09	0.10	0.00
BIOMASS	0	0.03	0.00	0	0.00	300	0.00	4.00	0.00
IDO	0	0.60	0.00	74.100	0.00	10	0.00	0.60	0.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Tabel perhitungan diatas menunjukkan penggunaan gas alam sebanyak 16.243 MMSCF atau sebesar 17.134.74 terrajoule selama tahun 2022 dapat menghasilkan emisi sebanyak 961,26 Gg CO₂ dan 0,09 CH₄. Kemudian dilakukan perhitungan konversi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Emisi CO}_2 \text{ ekuivalen dari total Emisi CH}_4 &= 0,09 \text{ Gg CH}_4/\text{tahun} \times 25 \\ &= 2,25 \text{ Gg CO}_2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Jadi total emisi yang dihasilkan dari kegiatan industri manufaktur dan konstruksi yaitu $961,26 \text{ Gg CO}_2 + 2,25 \text{ Gg CO}_2 = 963,51 \text{ Gg CO}_2$

E. Perumahan / Pemukiman

Kegiatan sehari-hari masyarakat Kota Surabaya tak terlepas dari penggunaan energi, baik itu energi dari sumber bergerak maupun tidak bergerak. Dari kegiatan tersebut tentu akan menghasilkan emisi yang dapat mempengaruhi lingkungan. Seperti contohnya pada pemanfaatan gas alam untuk keseharian seperti memasak dan lain-lain. Maka dari itu perlu dilakukan perhitungan mengenai jumlah pemakaian dari sumber energi tersebut kemudian dilakukan perhitungan emisinya seperti yang telah dilakukan di atas.

Tabel 4. 5 Emisi dari Penggunaan Gas Alam pada Tempat Komersial di kota Surabaya

Bahan Bakar	Energy Consumption			CO ₂		CH ₄		N ₂ O	
	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	CO ₂ Emission Factor	CO ₂ Emissions	CH ₄ Emission Factor	CH ₄ Emissions	N ₂ O Emission Factor	N ₂ O Emissions
	(Mass, Volume, or Energy Unit)	TJ / Unit	TJ	kg CO ₂ / TJ	Gg CO ₂	kg CH ₄ / TJ	Gg CH ₄	kg N ₂ O / TJ	Gg N ₂ O
KEROSENE	0	0.03	0.00	71.900	0.00	10	0.00	0.60	0.00
LPG	0	0.05	0.00	83.100	0.00	5	0.00	0.10	0.00
NATURAL GAS	265	1.06	279.58	56.100	15.68	5	0.00	0.10	0.00
FIRE WOOD	0	0.01	0.00	0	0.00	300	0.00	4.00	0.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Dari tabel di atas dihasilkan bahwa penggunaan gas alam pada pemukiman menghasilkan emisi **15,68 Gg CO₂**. Setelah melakukan perhitungan di tiap sumber maka dapat diketahui keseluruhan total emisi yang dihasilkan dari sektor energi. Adapun total emisi yang dihasilkan pada sektor energi secara keseluruhan setelah menyetarakan gas CH₄ dan N₂O ke CO₂ adalah **18,080.22 Gg**.

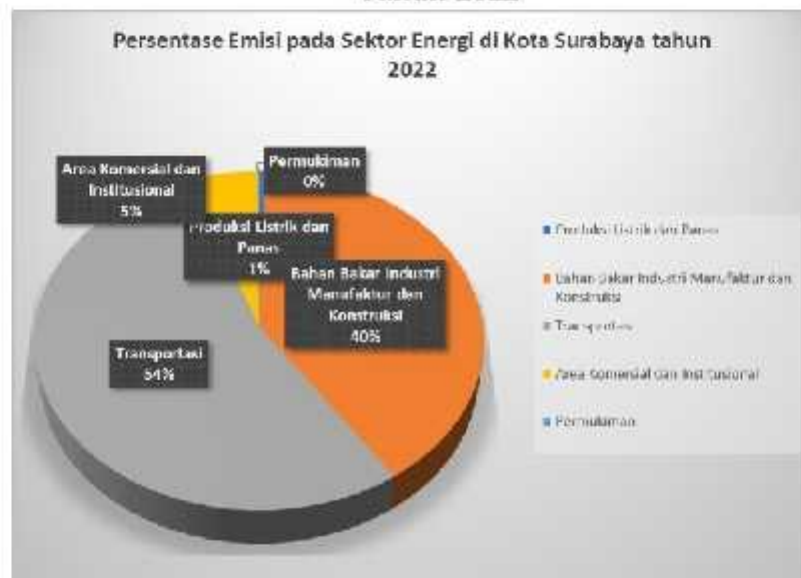
Tabel 4. 6 Emisi Gas CO₂ pada Sektor Energi di Kota Surabaya

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
1A. Fuel Combustion Activities				
1A1a. Electricity and Heat Production	90.79	0.00	0.00	90.87
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	7,203.17	0.53	0.07	7,236.05

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
1A3. Transport	9,351.96	12.86	0.49	9,773.99
1A4a. Commercial / Institutional	961.26	0.09	0.00	963.59
1A4b. Residential	15.68	0.00	0.00	15.72
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	17,622.86	13.47	0.56	18,080.22

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Gambar 4. 1 Persentase Emisi pada Sektor Energi di Kota Surabaya Tahun 2022



Sumber : DLH, Hasil olah data, 2022

Pada tabel dan gambar di atas, bahwa pada emisi pada sektor energi yang menyumbang emisi gas rumah kaca terbesar adalah transportasi yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil sebesar 54% dari seluruh emisi sektor energi.

4.1.2 SEKTOR IPPU (Industrial Process and Product Use)

A. Industri Mineral

1. Industri Produsen Keramik

Kegiatan produksi keramik yang dilakukan oleh PT Platinum Ceramics Industry menggunakan kalsium karbonat dan batu kapur. Hal ini tentunya akan menghasilkan emisi. Emisi tersebut berasal dari kalsinasi karbonat di tanah liat serta penambahan aditif. Karbonat

dipanaskan sampai suhu tinggi dan menghasilkan oksida dan CO₂.
Berikut perhitungannya :

Tabel 4. 7 Emisi pada Proses Produksi Keramik di Kota Surabaya

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) $C = A \cdot B$	CO ₂ Emissions (Gg CO ₂) $D = C / 10^3$
CALCIUM CARBONATE	353.265	0.4397	155.330.62	155.33
CALCIUM OXIDE	13.129.138	0.4397	5.772.881.98	5.772.88
DOLOMITE	0	0.4773	0.00	0.00
SODIUM CARBONATE	0	0.4149	0.00	0.00
Total				5.928.21

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

2. Penggunaan Soda Abu

Setelah dibahas produksi keramik di atas, terdapat juga kegiatan produksi kaca di Kota Surabaya. Salah satu bahannya yang digunakan yaitu natrium karbonat atau soda abu. Penggunaan soda abu yang diketahui yaitu total 1.209 ton dari beberapa industri. Sama seperti penggunaan kalsium karbonat dan batu kapur, perlu dilakukan penghitungan emisinya pada tabel di bawah ini dengan menghasilkan emisi sebesar 0.50 Gg CO₂.

Tabel 4. 8 Emisi Gas CO₂ pada Proses Produksi dengan Penggunaan Soda di Kota Surabaya

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) $C = A \cdot B$	CO ₂ Emissions (Gg CO ₂) $D = C / 10^3$
SODIUM CARBONATE	1.209	0.4149	501.64	0.50
Total				0.50

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

3. Industri lainnya

Selain penghasil keramik, terdapat juga kegiatan produksi lain yang menggunakan bahan Kalsium Karbonat, diantaranya produksi karet seperti yang dilakukan PT Sumber Rubberindo Jaya dan Karet Gelang Haplik. Tentunya hal itu juga dilakukan perhitungan mengenai jumlah

penggunaan kalsium karbonatnya dan emisi yang dihasilkan. Hasil perhitungan tercantum pada tabel di bawah ini dan menghasilkan emisi sebesar 1,94 Gg CO₂

Tabel 4. 9 Emisi pada Proses Produksi Pengolahan Karet di Kota Surabaya

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) $C = A \cdot B$	CO ₂ Emissions (Gg CO ₂) $D = C / 10^3$
CALCIUM OXIDE	0	0.4397	0.00	0.00
CALCIUM CARBONATE	4.401	0.4397	1.935.12	1.94
DOLOMITE	0	0.4773	0.00	0.00
Total				1.94

Sumber : <https://sigsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Telah diketahui emisi yang dihasilkan dari industri yang memakai kalsium karbonat dan batu kapur. Berdasarkan keseluruhan jenis produksi dan penggunaan bahan bakar pada industri di Kota Surabaya tersebut, maka secara keseluruhan emisi sektor IPPU dirangkum pada tabel di bawah ini yaitu: 5.928,21 Gg CO₂ + 0,5 Gg CO₂ + 1,94 Gg CO₂ = **5.930,65 Gg CO₂**

Tabel 4. 10 Emisi GRK pada Sektor IPPU di Kota Surabaya

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	5,928.21			5,928.21
2A4b. Other Uses of Soda Ash	0.50			0.50
2A4c. Non-Metallurgical Magnesia Production				
2A4d. Other	1.94			1.94
2A5. Other				
2B. Chemical Industry				
2B1. Ammonia Production	0.00			0.00
2B2. Nitric Acid Production			0.00	0.00
2B3. Adipic Acid Production				

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
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	0.00			0.00
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	5,930.65	0.00	0.00	5,930.65

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

4.1.3 SEKTOR AFOLU (Agriculture, Forestry, and Other Land Use)

Pada sektor pertanian, kehutanan dan perubahan lahan / AFOLU adalah sektor yang perlu mendapatkan perhatian khusus dalam rangka mitigasi perubahan iklim. Pada sektor ini dapat menghasilkan 2 (dua) kemungkinan yaitu menyumbang emisi yang besar ataupun kemungkinan dapat menyerap karbon. Selama beberapa tahun terakhir, sektor kehutanan adalah penyumbang emisi terbesar secara nasional. Sektor kehutanan telah dilaporkan sebagai sumber emisi GRK yang dominan di Indonesia dan berkontribusi terhadap lebih dari 60% emisi GRK (2nd BUR, 2018) . Hal ini bisa saja disebabkan oleh area hutan yang luas (64% dari seluruh daratan Indonesia, ditambah dengan deforestasi, degradasi hutan, dan area yang luas dari lahan gambut yang kering. Selain itu, tingkat emisi

tahunan rata-rata dari lahan gambut antara tahun 2000-2018 diperkirakan sebesar 439,8 Mton CO₂e per tahun (GHG Inventory Report, 2020).

Gambar 4. 2 Grafik Emisi Sektor Energi, IPPU, Pertanian, Kehutanan dan Limbah Nasional



Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

A. Emisi Metana dari Fermentasi Enterik dan Pengelolaan Kotoran

Emisi karbondioksida yang terlepas ke udara juga dapat berasal dari peternakan terutama pada hewan. Emisi ini berasal dari fermentasi enterik yang merupakan gas metana yang menjadi produk samping dari hewan herbivora. Proses ini merupakan pemecahan karbohidrat oleh mikroorganisme dari hasil pencernaan dipecah untuk kemudian diserap ke aliran darah. Pada sistem Signsmart, proses fermentasi enterik dibedakan berdasar jenis ternak pada kolom Adapun hasil perhitungannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Emisi CH₄ dari Fermentasi Enterik pada Ternak di 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	23	18.18	0.0004
BEEF CATTLE YEARLING	28	27.18	0.0008
BEEF CATTLE YOUNG	17	41.77	0.0007
BEEF CATTLE MATURE	29	55.90	0.0016

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
BEEF CATTLE IMPORTED	13	25.49	0.0003
DAIRY CATTLE WEANING	35	16.55	0.0006
DAIRY CATTLE YEARLING	30	35.06	0.0011
DAIRY CATTLE YOUNG	37	51.96	0.0019
DAIRY CATTLE MATURE	69	77.14	0.0053
BUFFALO WEANING	6	20.55	0.0001
BUFFALO YEARLING	7	41.11	0.0003
BUFFALO YOUNG	4	61.66	0.0002
BUFFALO MATURE	15	82.21	0.0012
SHEEP WEANING	9	1.31	0.0000
SHEEP YEARLING	9	4.33	0.0000
SHEEP MATURE	17	5.25	0.0001
GOAT WEANING	278	2.30	0.0006
GOAT YEARLING	282	2.65	0.0007
GOAT MATURE	514	3.27	0.0017
SWINE WEANING	0	0.43	0.0000
SWINE MARKETING	0	1.03	0.0000
SWINE BREEDING	0	1.28	0.0000
HORSE WEANING	7	25.99	0.0002
HORSE YEARLING	8	53.27	0.0004
HORSE MATURE	20	74.85	0.0015
BROILER	2.400	0.00	0.0000
LAYER	96	0.00	0.0000
NATIVE CHICKEN	13.006	0.00	0.0000
DUCK	0	0.00	0.0000
Total			0.0200

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Pada tabel di atas, dengan input jumlah ternak di Kota Surabaya, yang mana tidak banyak peternakan di Kota Surabaya maka emisi dari fermentasi enterik yang dihasilkan sangat kecil yaitu 0.02 Gg CO₂.

B. Pengelolaan Kotoran

1. Gas CH₄ dari Pengelolaan Kotoran

Pengelolaan kotoran yang dihasilkan dari peternakan juga memberikan kontribusi emisi ke lingkungan. Perhitungan juga perlu dilakukan terhadap hal itu dan cara perhitungannya hampir sama dengan yang disebutkan di atas. Namun untuk faktor emisinya

menggunakan angka yang berbeda. Pada pengelolaan kotoran ternak terdapat 2 (dua) jenis gas yang dihasilkan yaitu Gas CH₄ dan N₂O. Berikut tabel perhitungan pada signsmart berdasarkan jenis gas yang dihasilkan :

Tabel 4. 12 Emisi CH₄ dari Pengelolaan Kotoran pada Ternak di Kota Surabaya

Species / Livestock Category	Number of Animals (head)	Emission Factor for Manure Management (kg head-(1) yr-(1))	CH ₄ Emissions from Manure Management (Gg CH ₄ yr-(1))
			$CH_4(4) \text{ Manure} = N(T) \cdot EF(T) \cdot 10^{-6}$
BEEF CATTLE WEANING	23	0.78	0.0000
BEEF CATTLE YEARLING	28	1.62	0.0000
BEEF CATTLE YOUNG	17	3.47	0.0001
BEEF CATTLE MATURE	29	3.64	0.0001
BEEF CATTLE IMPORTED	13	7.97	0.0001
DAIRY CATTLE WEANING	35	0.52	0.0000
DAIRY CATTLE YEARLING	30	2.52	0.0001
DAIRY CATTLE YOUNG	37	5.53	0.0002
DAIRY CATTLE MATURE	69	12.18	0.0008
BUFFALO WEANING	6	0.75	0.0000
BUFFALO YEARLING	7	3.99	0.0000
BUFFALO YOUNG	4	8.97	0.0000
BUFFALO MATURE	15	15.95	0.0002
SHEEP WEANING	9	0.01	0.0000
SHEEP YEARLING	9	0.05	0.0000
SHEEP MATURE	17	0.08	0.0000
GOAT WEANING	278	0.03	0.0000
GOAT YEARLING	282	0.02	0.0000
GOAT MATURE	514	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	7	0.60	0.0000
HORSE YEARLING	8	2.51	0.0000
HORSE MATURE	20	4.95	0.0001
BROILER	2.400	0.00	0.0000
LAYER	96	0.00	0.0000
NATIVE CHICKEN	13.005	0.00	0.0000

DUCK	0	0.00	0.0000
Total			0.0020

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Diketahui dari tabel di atas bahwa emisi N_2O yaitu 78,7619 Kg N_2O . Kemudian dilakukan dikalikan 298 sebagai faktor pengali dan dibagi 1.000.000 Gg. Didapatkan menjadi 0,02 Gg N_2O .

Tabel 4. 13 Emisi CH₄ dari Pengelolaan Kotoran pada Ternak di Kota Surabaya

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)
				$N_{ex}(T) = N_{rate}(T) \cdot TAM \cdot 10^{-3} \cdot 365$		$NEMMS = N(T) \cdot N_{ex}(T) \cdot MS(T,S)$		$N(2)O(mm) = NEMMS \cdot EF(3)(S) \cdot \frac{44}{28}$
T	N(T)	Nrate(T)	TAM	Nex(T)	MS(T,S)	NEMMS	EF3(S)	N2OD(mm)
BEEF CATTLE WEANING PASTURA	23	0.34	63.00	7.82	30.00	53.46	0.00	0.0000
BEEF CATTLE WEANING DRY LOT	23	0.34	63.00	7.82	70.00	124.74	0.01	2.8226
BEEF CATTLE YEARLING PASTURA	28	0.34	134.48	16.69	30.00	140.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YEARLING DRY LOT	28	0.34	134.48	16.69	70.00	326.66	0.01	7.3918
BEEF CATTLE YOUNG PASTURA	17	0.34	286.00	35.49	30.00	182.13	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YOUNG DRY LOT	17	0.34	286.00	35.49	70.00	424.97	0.01	9.6165
BEEF CATTLE MATURE PASTURA	29	0.34	400.00	49.64	30.00	426.89	0.00	0.0000
BEEF CATTLE MATURE DRY LOT	29	0.34	400.00	49.64	70.00	996.09	0.01	22.5400
BEEF CATTLE IMPORTED PASTURA	13	0.34	500.00	62.05	30.00	250.84	0.00	0.0000
BEEF CATTLE IMPORTED DRY LOT	13	0.34	500.00	62.05	70.00	585.29	0.01	13.2442
DAIRY CATTLE WEANING	35	0.47	46.00	7.89	100.00	274.07	0.00	0.0000
DAIRY CATTLE YEARLING	30	0.47	198.64	34.08	100.00	1.038.97	0.00	0.0000
DAIRY CATTLE YOUNG	37	0.47	275.00	47.18	100.00	1.740.08	0.00	0.0000

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)
				$N_{ex}(T) = N_{rate}(T) \cdot TAM \cdot 10^{-3} \cdot 365$		$NEMMS = N(T) \cdot N_{ex}(T) \cdot MS(T,S)$		$N(2)O(mm) = NEMMS \cdot EF(3)(S) \cdot 44/28$
T	N(T)	Nrate(T)	TAM	Nex(T)	MS(T,S)	NEMMS	EF3(S)	N2OD(mm)
DAIRY CATTLE MATURE	69	0.47	402.50	69.05	100.00	4.757.18	0.00	0.0000
BUFFALO WEANING	6	0.32	100.00	11.68	100.00	66.04	0.01	1.4945
BUFFALO YEARLING	7	0.32	200.00	23.36	100.00	159.67	0.01	3.6131
BUFFALO YOUNG	4	0.32	300.00	35.04	100.00	153.95	0.01	3.4837
BUFFALO MATURE	15	0.32	400.00	46.72	100.00	706.26	0.01	15.9816
SHEEP WEANING	9	1.17	8.00	3.42	100.00	29.25	0.02	0.9192
SHEEP YEARLING	9	1.17	20.00	8.54	100.00	79.79	0.02	2.5076
SHEEP MATURE	17	1.17	25.00	10.68	100.00	182.54	0.02	5.7369
GOAT WEANING	278	1.37	8.00	4.00	100.00	1.110.20	0.02	34.8920
GOAT YEARLING	282	1.37	20.00	10.00	100.00	2.820.61	0.02	88.6477
GOAT MATURE	514	1.37	25.00	12.50	100.00	6.431.22	0.02	202.1241
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

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)
				$N_{ex}(T) = N_{rate}(T) \cdot TAM \cdot 10^{-3} \cdot 365$		$NEMMS = N(T) \cdot N_{ex}(T) \cdot MS(T,S)$		$N(2)O(mm) = NEMMS \cdot EF(3)(S) \cdot 44/28$
T	N(T)	Nrate(T)	TAM	Nex(T)	MS(T,S)	NEMMS	EF3(S)	N2OD(mm)
HORSE WEANING	7	0.46	200.00	33.58	100.00	221.19	0.02	6.9517
HORSE YEARLING	8	0.46	350.00	58.77	100.00	465.24	0.02	14.6219
HORSE MATURE	20	0.46	500.00	83.95	100.00	1.720.64	0.02	54.0773
BROILER	2.400	1.10	1.20	0.48	100.00	1.156.32	0.00	1.8171
LAYER	96	0.82	1.80	0.54	100.00	51.72	0.00	0.0813
NATIVE CHICKEN	13.006	0.82	0.90	0.27	100.00	3.503.43	0.00	5.5054
DUCK	0	0.83	1.50	0.45	100.00	0.00	0.00	0.0000
Total								498.0701

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Tabel 4. 14 Emisi N₂O Tidak Langsung dari Pengelolaan Kotoran pada 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 NH ₃ and NO _x	Emission factor for N ₂ O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N ₂ O emissions due to volatilization from Manure Management
	kg N yr ⁻¹	(-)	kg N yr ⁻¹	[kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised)-1]	kg N ₂ O yr ⁻¹
			Nvolatilization-MMS = NEMMS * Frac(GasMS)		N ₂ O _G (mm) = NEvolatilization-MMS * EF ₄ * 44/28
T	NEMMS	Frac(GasMS)	Nvolatilization-MMS	EF ₄	N ₂ O _G (mm)
BEEF CATTLE WEANING PASTURA	53.46	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE WEANING DRY LOT	124.74	30.00	37.42	0.01	0.4234
BEEF CATTLE YEARLING PASTURA	140.00	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YEARLING DRY LOT	326.66	30.00	98.00	0.01	1.1088
BEEF CATTLE YOUNG PASTURA	182.13	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE YOUNG DRY LOT	424.97	30.00	127.49	0.01	1.4425
BEEF CATTLE MATURE PASTURA	426.89	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE MATURE DRY LOT	996.09	30.00	298.83	0.01	3.3810
BEEF CATTLE IMPORTED PASTURA	250.84	0.00	0.00	0.00	0.0000
BEEF CATTLE IMPORTED DRY LOT	585.29	30.00	175.59	0.01	1.9866
DAIRY CATTLE WEANING	274.07	7.00	19.18	0.01	0.2261
DAIRY CATTLE YEARLING	1.038.97	7.00	72.73	0.01	0.8572
DAIRY CATTLE YOUNG	1.740.08	7.00	121.81	0.01	1.4356
DAIRY CATTLE MATURE	4.757.18	7.00	333.00	0.01	3.9247
BUFFALO WEANING	66.04	12.00	7.93	0.01	0.0897
BUFFALO YEARLING	159.87	12.00	19.16	0.01	0.2168

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 YOUNG	153.95	12.00	18.47	0.01	0.2090
BUFFALO MATURE	706.26	12.00	84.75	0.01	0.9589
SHEEP WEANING	29.25	12.00	3.51	0.01	0.0552
SHEEP YEARLING	79.79	12.00	9.57	0.01	0.1505
SHEEP MATURE	182.54	12.00	21.90	0.01	0.3442
GOAT WEANING	1.110.20	12.00	133.22	0.01	2.0935
GOAT YEARLING	2.820.61	12.00	338.47	0.01	5.3189
GOAT MATURE	6.431.22	12.00	771.75	0.01	12.1274
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	221.19	12.00	26.54	0.01	0.4171
HORSE YEARLING	465.24	12.00	55.83	0.01	0.8773
HORSE MATURE	1.720.64	12.00	206.48	0.01	3.2446
BROILER	1.156.32	40.00	462.53	0.01	7.2683
LAYER	51.72	40.00	20.69	0.01	0.3251
NATIVE CHICKEN	3.503.43	55.00	1.926.89	0.01	30.2797

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 NH ₃ and NO _x	Emission factor for N ₂ O emissions from atmospheric deposition of nitrogen on soils and water surfaces	Indirect N ₂ O emissions due to volatilization from Manure Management
	kg N yr-1	(-)	kg N yr-1	[kg N ₂ O-N (kg NH ₃ -N + NO _x -N volatilised)-1]	kg N ₂ O yr-1
			Nvolatilization-MMS = NEMMS * Frac(GasMS) Nvolatilization-MMS		N ₂ O _G (mm) = NEvolatilization-MMS * EF ₄ * 44/28 N ₂ O _G (mm)
T	NEMMS	Frac(GasMS)		EF ₄	
DUCK	0.00	55.00	0.00	0.01	0.0000
Total					78.7619

Sumber : <https://signsmart.meritkh.go.id> Tahun 2022

Diketahui dari tabel di atas bahwa emisi N_2O yaitu 78,7619 Kg N_2O . Kemudian dilakukan dikalikan 298 sebagai faktor pengali dan dibagi 1.000.000 Gg. Didapatkan menjadi 0,02 Gg N_2O .

C. Pertanian

Pada sektor pertanian emisi dihasilkan dari berbagai aktivitas, yaitu pada proses panen padi sawah, sehingga perhitungan didasarkan pada asumsi luas panen padi sawah, jumlah penggunaan pupuk urea di Kota Surabaya. Selain itu jenis gas emisi yang dihasilkan juga meliputi N_2O dari aktivitas pengelolaan tanah baik langsung dan tidak langsung.

1. Pembakaran Biomassa

Untuk pembakaran biomassa dibagi menjadi dua lokasi, yaitu di lahan pertanian dan di padang rumput. Data yang diolah pada aplikasi Sigsmart secara otomatis berdasarkan data panen padi dan pembakaran dari pasca panen di lahan persawahan di Provinsi Jawa Timur. Emisi yang dihasilkan yaitu 0,08 CO_2 dengan rincian pada tabel di bawah berikut. Untuk Pembakaran di padang rumput tidak tersedia karena tidak ada kasus pembakaran di lahan padang rumput.

Tabel 4. 15 Emisi dari Pembakaran Biomassa pada Lahan Pertanian

Provinsi	Area Burnt	Fraction are Burnt	Mass of fuel available for combustion	Combusti on factor	Emission factor for each GHG	CH4 emissions from fire	CO emissions from fire	N2O emissions from fire	NOx emissions from fire
	(ha)	%	(tonnes ha-1)	(-)	[g GHG (kg dm burnt)-1]	(tonnes CH4)	(tonnes CO)	(tonnes N2O)	(tonnes NOx)
						$L_{\text{fire-CH4}} = A \cdot MB \cdot Cf \cdot Gef \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-CO}} = A \cdot MB \cdot Cf \cdot Gef \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-N2O}} = A \cdot MB \cdot Cf \cdot Gef \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{fire-NOx}} = A \cdot MB \cdot Cf \cdot Gef \cdot 10^{-3}$
	A		MB	Cf	Gef	$L_{\text{fire-CH4}}$	$L_{\text{fire-CO}}$	$L_{\text{fire-N2O}}$	$L_{\text{fire-NOx}}$
JAWA TIMUR	955	0.15	9.02	0.80	2.7 92 0.07 2.5	2.79	95.15	0.07	2.5855
Total						2,79	95,15	0,07	2.5855

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

2. Penggunaan Pupuk Urea

Penggunaan pupuk juga memberi dampak pada lingkungan. Penggunaan pupuk urea dapat melepaskan CO_2 ke lingkungan. Urea yang digunakan diubah menjadi amonium (NH_4^+), ion hidroksil (OH^-), dan bikarbonat (HCO_3^-) dengan bantuan enzim urease. Bikarbonat yang terbentuk kemudian berkembang menjadi CO_2 dan air. Berikut perhitungannya

Tabel 4. 16 Emisi dari Penggunaan Pupuk Urea pada Lahan Pertanian

Subcategories for reporting year	Annual amount of Urea Fertilization	Emission factor	Annual $\text{CO}_2\text{-C}$ emissions from Urea Fertilization
	(tonnes urea yr ⁻¹)	[tonnes of C (tonne of urea)-1] default is 0.20	(tonnes C yr ⁻¹)
	M	EF	$\text{CO}_2 \text{ Emission} = (M \cdot \text{EF}) \cdot \frac{44}{12}$
			$\text{CO}_2 \text{ Emission}$
CROPLAND	479	0.20	351.2667
OIL PALM ESTATE	0	0.20	0.0000
Total			351.2667

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Dari tabel tersebut diketahui bahwa emisi yang dihasilkan dari penggunaan pupuk urea yaitu 351,26 CO_2 . Kemudian dilakukan penyamaan dengan dijadikan satuan Gg CO_2 dengan dibagi 1000 menjadi **0,351 Gg CO_2** .

3. Emisi N_2O Langsung dari Tanah yang Dikelola

Emisi tak hanya dari peternakan namun juga dari lahan-lahan yang dikelola. Seperti diketahui bahawa di Kota Surabaya juga terdapat lahan terkelola seperti sawah dan lain-lain. Dari lahan tersebut juga menghasilkan emisi yang berupa natrium oksida. Berikut perhitungannya :

Tabel 4. 17 Emisi dari N_2O Langsung dari Pengelolaan Tanah Pertanian

Anthropogenic N input type	Annual amount of N applied	Emission factor for N_2O emissions from N inputs	Annual direct $\text{N}_2\text{O-N}$ emissions produced from managed soils

		(kg N yr-1)		[kg N2O-N (kg N input)-1]		(kg N2O-N yr-1)
						N2O-NN inputs = F * EF
		F		EF		N2O-NN inputs
Anthropogenic N input types to estimate annual direct N2O-N emissions produced from managed soils	synthetic fertilizers	FSN: N in synthetic fertilizers	12.141.18	EF1	0.01	121.4118
	animal manure, compost, sewage sludge	FON: N in animal manure, compost, sewage sludge, other	14.080.00		0.01	140.8000
	crop residues	FCR: N in crop residues				
	changes to land use or management	FSOM: 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 N2O-N emissions produced from flooded rice	synthetic fertilizers	FSN: N in synthetic fertilizers	263.518.82	EF1FR	.003	790.5565
	animal manure, compost, sewage sludge	FON: N in animal manure, compost, sewage sludge, other	305.600.00		.003	916.8000
	crop residues	FCR: N in crop residues	12.927.60		.003	38.7828
	changes to land use or management	FSOM: 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 3.155.9803						

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

4. Emisi N₂O Tidak Langsung dari Tanah yang Dikelola

Selain adanya dampak emisi N₂O langsung, terapat juga emisi tidak langsung. Hal ini bisa saja berasal bahan-bahan yang digunakan sehari-hari untuk perawatan dari tanah yang dikelola maupun hal lain yang tidak dapat dikontrol ataupun yang tidak secara langsung dilakukan dalam pengelolaan tanah tersebut.

Tabel 4. 18 Emisi dari N₂O Tidak Langsung dari Pengelolaan Tanah Pertanian

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)
							$N_2O(ATD)-N = [(FSN \cdot FracGASF) + (FON + FPRP) \cdot FracGASM] \cdot EF_4$
	FSN	FracGASF	FON	FPRP	FracGASM	EF₄	N₂O(ATD)-N
GRASSLAND	12.141.18	0.10	14.080.00	1.053.32	0.20	0.01	66.6409
CROPLAND	263.518.82	0.10	305.600.00	0.00	0.20	0.01	1.374.5581
Total							1.441.1990

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

5. Budidaya Padi/Pertanian

Lahan pertanian merupakan salah satu sumber makanan pokok penghasil padi. Tanpa kita sadari kegiatan budidaya padi ini berpotensi menimbulkan emisi terutama pada jenis gas CH₄. Maka dari itu perlu melakukan perhitungan terhadap budidaya padi ini dan mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap kondisi lingkungan. Perhitungan emisi CH₄ didasarkan pada luas lahan sawah menurut jenis padinya sebagaimana yang tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 19 Emisi CH₄ pada Budidaya Pertanian

Rice Ecosystem	Provinsi	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-season before the cultivation period	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 CH ₄ emission from Rice Cultivation
		(ha yr ⁻¹)	(day)	kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹	(-)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹)	Gg CH ₄ yr ⁻¹
											$SF_o = (1 + ROAI \cdot CFOAI)0.59$			$EF_i = EF_c \cdot SF_w \cdot SF_p \cdot SF_o \cdot SF_{s,r}$	$CH_4Rice = A \cdot t \cdot EF_i \cdot 10^{-6}$
		A	t	EF _c	SF _w	SF _p	ROAI	CFOAI	ROAI	CFOAI	SF _o	SF _r	SF _s	EF _i	CH ₄ Rice
CIHERANG AREA	JAWA TIMUR	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.18	0.57	1.15	1.22	0.0000
CISANGGARUNG AREA	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	0	115.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.18	0.73	1.15	1.68	0.0000
IR 64 AREA	JAWA TIMUR	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	Provinsi	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-season before the cultivation period	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 CH ₄ emission from Rice Cultivation
		(ha yr ⁻¹)	(day)	kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹	(-)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹)	Gg CH ₄ yr ⁻¹
											$SF_o = (1 + ROA_i \cdot CFOA_i)0.59$			$EF_i = EF_o \cdot SF_{w_i} \cdot SF_{p_i} \cdot SF_{o_i} \cdot SF_{s_i}$	$CH_4Rice = A \cdot t \cdot EF_i \cdot 10^{-6}$
		A	t	EF _o	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	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	0	118.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.18	0.37	1.15	0.79	0.0000
MEMBERAMO AREA	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	855	110.00	1.61	0.49	1.00	2.00	0.14	2.25	0.29	1.48	1.00	1.15	1.34	0.1406
OTHER AREA	JAWA TIMUR	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
SPLITT AREA	JAWA TIMUR	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
SRI AREA	JAWA TIMUR	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

Rice Ecosystem	Provinsi	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-season before the cultivation period	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 CH ₄ emission from Rice Cultivation
		(ha yr ⁻¹)	(day)	kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹	(-)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(tonnes ha ⁻¹)	(-)	(-)	(-)	(-)	(kg CH ₄ ha ⁻¹ day ⁻¹)	Gg CH ₄ yr ⁻¹
											$SF_o = (1 + ROA_i \cdot CFOA_i)0.59$			$EF_i = EF_o \cdot SF_w \cdot SF_p \cdot SF_o \cdot SF_{s,r}$	$CH_4Rice = A \cdot t \cdot EF_i \cdot 10^{-6}$
		A	t	EF_o	SF_w	SF_p	ROA_i	CFOA_i	ROA_i	CFOA_i	SF_o	SF_r	SF_s	EF_i	CH₄Rice
TUKAD BALIAN AREA	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	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	JAWA TIMUR	0	110.00	1.61	1.00	1.00	2.00	0.14	0.00	0.29	1.18	0.46	1.15	0.98	0.0000
WAY APOBURU AREA	JAWA TIMUR	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															0.1406

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Berdasarkan laporan worksheet perhitungan di atas, maka secara keseluruhan perhitungan emisi GRK pada sektor pertanian dan peternakan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 20 Emisi pada Sektor Pertanian dan Peternakan

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
3A. Livestock				
3A1. Enteric Fermentation		0.02		0.419
3A2. Manure Management				
3A2.a (CH ₄) From Manure Management		0.00		0.042
3A2.b Direct N ₂ O From Manure Management			0.00	0.154
3C. Aggregate Sources and Non-CO ₂ Emissions Source on Land				
3C1. Biomass Burning				
3C1.a Biomass Burning Cropland		0.00	0.00	0.081
3C1.b Biomass Burning Grassland		0.00	0.00	0.000
3C2. Liming	0.00			0.000
3C3. Urea Fertilization	0.35			0.351
3C4. Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils			0.00	0.978
3C5. Indirect N ₂ O Emissions from Managed Soils			0.00	0.447
3C6. Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management			0.00	0.024
3C7. Rice Cultivations		0.14		2.952
3C8. Other				
3D. Other				
TOTAL	0.35	0.17	0.01	5.449

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Pada tabel di atas, emisi GRK pada sektor pertanian dan peternakan menghasilkan 6 jenis gas yaitu CH₄, N₂O dan CO₂, dan setelah dihitung ekuivalen nilai emisi menjadi sejumlah **5.449 Gg CO₂**.

D. Kehutanan atau Perubahan Penggunaan Lahan

Pada sektor kehutanan dan perubahan penggunaan lahan di Kota Surabaya dihitung berdasarkan perubahan lahan dari non hutan menjadi hutan, dari perubahan luas sawah, perubahan ruang terbuka hijau khususnya tutupan rumput, perubahan perubahan lahan basah, perubahan kawasan terbangun dan luas hutan mangrove. Selain itu adanya kebakaran hutan dan data produksi kayu juga menyumbang nilai emisi GRK, tetapi

selama 2022 tidak adanya kejadian kebakaran hutan dan tidak ada data produksi kayu di Kota Surabaya.

Berdasarkan data-data yang sudah diinput pada sistem Signsmart, emisi GRK meliputi emisi gas CO₂, CH₄ dan N₂O yang keseluruhan diekuivalen menjadi CO₂ sehingga dari perubahan lahan emisi yang dihasilkan sebesar total -11.51 CO₂ Eq (Gg) atau dapat dikatakan bahwa terdapat serapan karbon sebesar 11.51 CO₂ Eq (Gg) di Kota Surabaya.

Tabel 4. 21 Emisi pada Sektor Kehutanan dan Perubahan Lahan di Kota Surabaya

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	-71.37			-71.37
3B1b. Non-Forest to Forest	-3.14			-3.14
3B2a. Cropland Remaining Cropland	0.00			0.00
3B2b. Non-Cropland to Cropland	1.31			1.31
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	61.69			61.69
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	-11.51	0.00	0.00	-11.51

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

4.1.4 Sektor Limbah

Emisi juga dapat dihasilkan dari sektor limbah. Sektor limbah terdiri dari beberapa sub sektor, diantaranya limbah padat domestik dan industri, limbah cair domestik dan industri dan lainnya. Data aktivitas untuk sektor limbah didapatkan dari jumlah timbulan sampah yang dipicu dari jumlah penduduk dan laju pertumbuhan sampah, selain itu distribusi dan jenis pengelolaan limbah berpengaruh pada emisi yang dihasilkan dimana faktor emisi berdasarkan default dari IPCC atau Tier 1.

Berikut hasil perhitungan menurut sistem Signsmart berdasarkan data yang diinput adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 22 Emisi pada Sektor Limbah di Kota Surabaya

Kategori	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ Eq (Gg)
4A. Pembuangan Akhir Sampah Padat		0.00		0.00
4B. Pengolahan Limbah Padat secara Biologi		0.00	0.00	1.14
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		12.69	0.33	368.16
4D2. Pengolahan dan Pembuangan Air Limbah Industri		10.72		225.11
TOTAL	0.00	23.42	0.33	594.41

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa pembuangan limbah cair memberikan kontribusi emisi lebih besar daripada limbah padat terutama pada pengolahan dan pembuangan air limbah rumah tangga atau domestik. Selain itu, adanya keterbatasan data misalkan pada pengolahan limbah melalui insinerator, karena limbah medis yang diolah dengan insinerator dikelola oleh pihak ketiga atau pihak rumah sakit sendiri yang tidak mudah untuk diakses datanya, sedangkan pembakaran sampah secara terbuka tidak ada data karena kegiatan tersebut bersifat ilegal sehingga tidak ada pelaporan adanya aktivitas tersebut oleh masyarakat. Selain itu tempat pemrosesan akhir di TPA Benowo juga menggunakan sistem anaerob yang terkelola dengan cara *methane captured* sehingga melepaskan emisi GRK kecil ke udara.

Secara keseluruhan emisi gas rumah kaca di Kota Surabaya pada tahun 2022 berdasarkan data yang diinput dan diolah oleh aplikasi sistem Signsmart dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 23 Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂) di Kota Surabaya Tahun 2022

NO.	SEKTOR	Emisi CO ₂ (Eq Gg CO ₂)
1	ENERGI	18080.22
2	IPPU	5930.65
3	PERTANIAN	5.45
4	KEHUTANAN	-11.51
5	LIMBAH	594.41
	TOTAL	24599.23

Sumber : <https://signsmart.monihk.go.id> Tahun 2022

Gambar 4. 3 Persentase Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂) di Kota Surabaya Tahun 2022



Sumber : DLH, Hasil olah data, 2022

Pada gambar di atas, dapat diketahui penyumbang emisi terbesar di Kota Surabaya ada pada sektor energi, baik energi dari sumber bergerak dan dari energi sumber tidak bergerak. Pada Gambar 4.1 sebelumnya dapat dilihat, sektor energi didominasi oleh emisi pada transportasi. Oleh karena itu untuk ke depannya kota Surabaya perlu memberi perhatian untuk upaya-upaya pengurangan jumlah kendaraan yang beredar dan memulai inisiasi transisi dari kendaraan bermotor menjadi kendaraan listrik.

4.2 Kecenderungan Emisi Gas Rumah Kaca

Berdasarkan data yang pernah diinput pada sistem Signsmart selama 3 tahun terakhir (2019-2022) maka dapat dilihat kecenderungan emisi gas rumah kaca di Kota Surabaya dari 4 sektor tersebut di atas. Trend tersebut dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

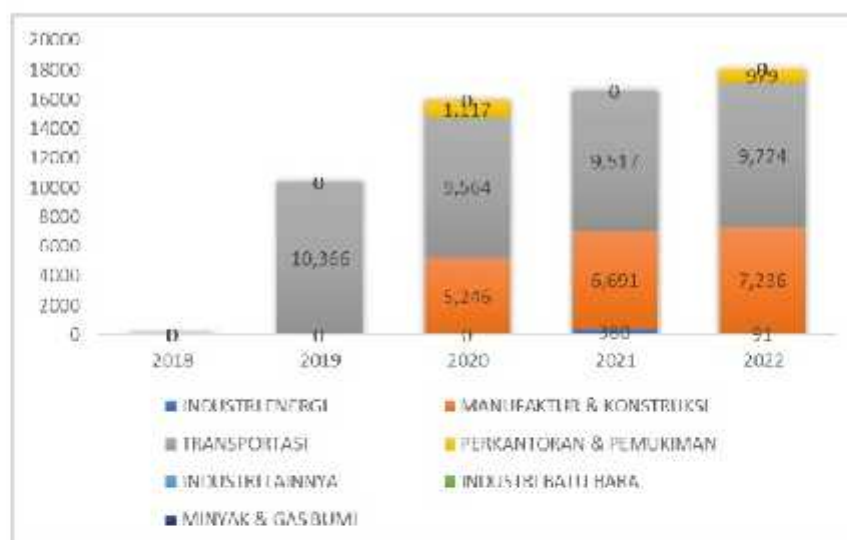
4.2.1 Sektor Energi

Pada sektor Energi dimana di Kota Surabaya, hampir seluruh emisi disumbang dari pembakaran energi pada industri dan manufaktur serta transportasi. Hal ini dapat dilihat pada tabel di atas dan pada grafik di bawah ini, bahwa sektor transportasi atau sumber energi bergerak memberikan kontribusi terbesar pada emisi gas rumah kaca di Kota Surabaya dengan nilai rata-rata selama 4 (empat) tahun terakhir adalah 9,805 Gg CO₂.

Tabel 4. 24 Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂)

NO.	ITEM	2018	2019	2020	2021	2022
1	INDUSTRI ENERGI	0	0	0	380	91
2	MANUFAKTUR & KONSTRUKSI	0	0	5,246	6,691	7,236
3	TRANSPORTASI	0	10,366	9,564	9,517	9,774
4	PERKANTORAN & PEMUKIMAN	0	0	1,117	0	979
5	INDUSTRI LAINNYA	0	0	0	0	0
6	INDUSTRI BATU BARA	0	0	0	0	0
7	MINYAK & GAS BUMI	0	0	0	0	0

Sumber : <https://signsmart.merilhk.go.id> Tahun 2022



Gambar 4. 4 Grafik Emisi GRK Sektor Energi Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂)

Sumber : <https://signsmart.merilhk.go.id> Tahun 2022

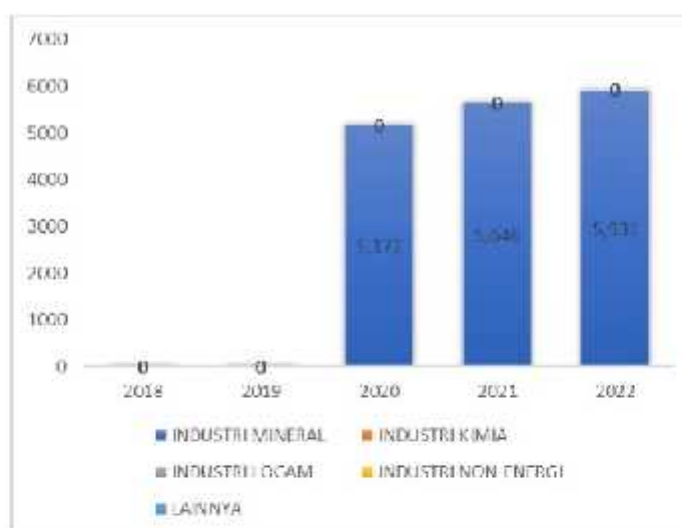
4.2.2 Sektor Industri atau IPPU (Industrial Product and Process Use)

Inventarisasi emisi GRK di Kota Surabaya pada Sektor Industri / IPPU sangat tergantung dengan ketersediaan data, selain itu pelaku usaha juga tidak selalu bersedia memberikan data yang berkaitan dengan proses produksinya. Emisi terbesar didapatkan dari jenis industri mineral, yaitu industri dengan bahan baku utama adalah karbonat. Adanya peningkatan emisi GRK pada industri mineral dikarenakan lebih banyak perusahaan yang berkontribusi pada penyediaan data.

Tabel 4. 25 Emisi GRK Sektor Industri Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂)

NO.	ITEM	2018	2019	2020	2021	2022
1	INDUSTRI MINERAL	0	0	5,172	5,646	5,931
2	INDUSTRI KIMIA	0	0	0	0	0
3	INDUSTRI LOGAM	0	0	0	0	0
4	INDUSTRI NON-ENERGI	0	0	0	0	0
5	LAINNYA	0	0	0	0	0

Sumber : <https://signsmart.merilhk.go.id> Tahun 2022



Gambar 4. 5 Grafik Emisi GRK Sektor Industri Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂)

Sumber : <https://signsmart.merilhk.go.id> Tahun 2022

4.2.3 Sektor Limbah

Pada sektor limbah, emisi limbah cair industri didukung oleh data-data industri berdasarkan hasil dan jenis produksinya, semakin banyak data yang terkumpul, maka semakin besar nilai emisi yang didapatkan. Sehingga nilai emisi

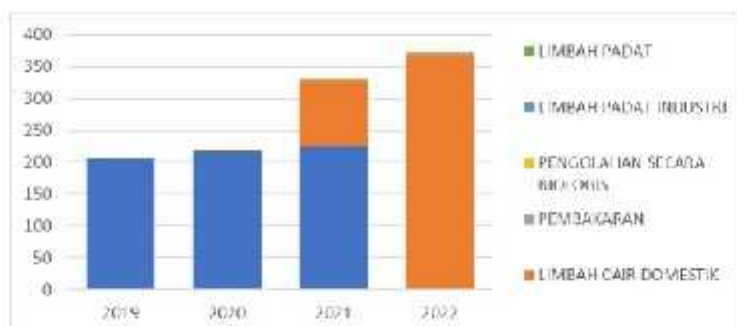
yang semakin tinggi belum tentu menunjukkan peningkatan emisi yang sesungguhnya.

Tabel 4. 26 Emisi GRK Sektor Limbah Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂ eq)

NO.	ITEM	2018	2019	2020	2021	2022
1	LIMBAH CAIR INDUSTRI	0	0	205	217	225
2	LIMBAH CAIR DOMESTIK	0	0	0	102	368
3	PEMBAKARAN	0	0	0	0	0
4	PENGOLAHAN SECARA BIOLOGIS	0	0	1	1	1
5	LIMBAH PADAT INDUSTRI	0	0	0	0	0
6	LIMBAH PADAT	0	0	0	0	0

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Untuk pengolahan sampah di Kota Surabaya, dikarenakan TPA Benowo sudah berteknologi dengan Gassification Power Plant dan Landfill Gassification, sehingga metana yang dilepas juga sedikit. Adapun emisi dari kegiatan pengolahan sampah menjadi energi listrik belum dapat dihitung karena pada sistem Signsmart belum mengakomodir perhitungan sampah sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik.



Gambar 4. 6 Grafik Emisi GRK Sektor Limbah Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂)

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

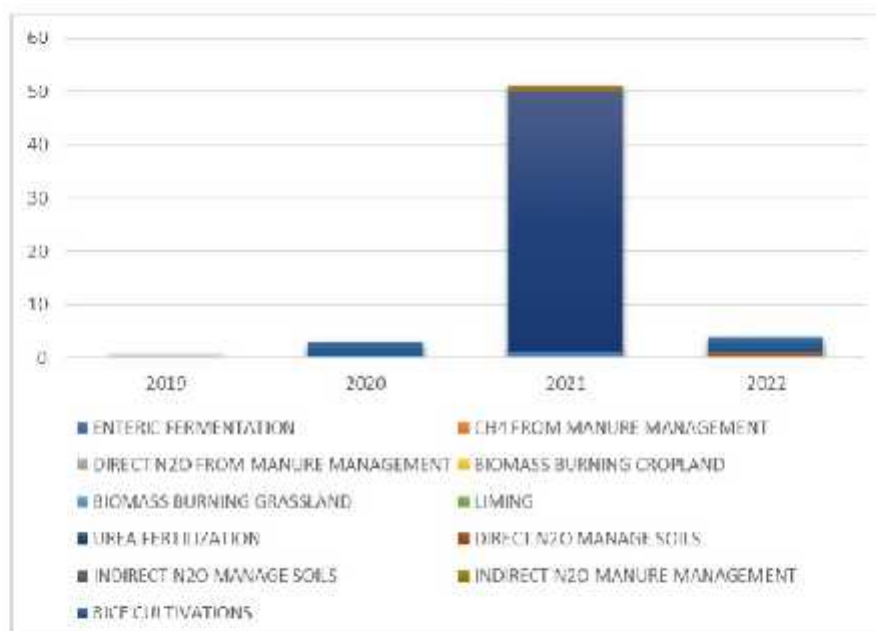
4.2.4 Sektor Pertanian dan Peternakan (AFOLU)

Tabel 4. 27 Emisi GRK Sektor Pertanian dan Peternakan Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂ eq)

NO.	ITEM	2019	2020	2021	2022
1	ENTERIC FERMENTATION	0	0	1	0
2	CH ₄ FROM MANURE MANAGEMENT	0	0	0	0

NO.	ITEM	2019	2020	2021	2022
3	DIRECT N ₂ O FROM MANURE MANAGEMENT	0	0	0	0
4	BIOMASS BURNING CROPLAND	0	0	0	0
5	BIOMASS BURNING GRASSLAND	0	0	0	0
6	LIMING	0	0	0	0
7	UREA FERTILIZATION	0	0	49	0
8	DIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	0	0	0	1
9	INDIRECT N ₂ O MANAGE SOILS	0	0	0	0
10	INDIRECT N ₂ O MANURE MANAGEMENT	0	0	1	0
11	RICE CULTIVATIONS	0	3	0	3

Sumber : <https://signsmart.monlhk.go.id> Tahun 2022



Gambar 4. 7 Grafik Emisi GRK Sektor Pertanian dan Peternakan Tahun 2019-2022 di Kota Surabaya (Gg CO₂)

Sumber : <https://signsmart.monlhk.go.id> Tahun 2022

Pada aktivitas pertanian dan peternakan adalah sektor yang paling sedikit menyumbang emisi GRK. Emisi terbesar adalah pada kegiatan pemupukan urea pada tahun 2021 sebesar 49 Gg CO₂.

4.2.5 Sektor Kehutanan



Gambar 4. 8 Sektor Kehutanan

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

BAB V

ANALISIS

KETIDAKPASTIAN

KATEGORY KUNCI



BAB V

ANALISIS KETIDAKPASTIAN DAN KATEGORI KUNCI

5.1 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:

1. Ketidakpastian fisik, berkaitan dengan kuantitas fenomena acak, seperti ketidakpastian pada volume konsumsi bahan bakar.
2. 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 dan Kehutanan.

5.2 Kategori Kunci

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017, 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. Pendekatan untuk melakukan analisis kategori kunci adalah :

1. Berdasarkan hasil inventarisasi GRK satu tahun atau lebih dari satu tahun.
 - a. Apabila inventarisasi GRK hanya 1 tahun maka analisis kategori kunci dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tingkat emisi (*Level Assessment*);
 - b. Apabila lebih dari satu tahun dilakukan berdasarkan penilaian terhadap tren emisi (*Trend Assessment*).
2. Berdasarkan nilai *uncertainty* Untuk inventarisasi GRK, IPCC menentukan kategori kuncinya sendiri yang berhubungan dengan pelaporan hasil.

Pendekatan kedua adalah dengan memanfaatkan ketersediaan analisis ketidakpastian atau *uncertainty*. Pendekatan kedua tidak dapat dilakukan dalam inventarisasi GRK Surabaya karena tidak dilakukan analisis ketidakpastian.

Kementerian Lingkungan Hidup (2011) mensitasi IPCC (2006) membagi kategori utama dalam inventarisasi GRK menjadi 4 kategori yaitu : penggunaan energi (*energy*), proses industri dan penggunaan produk (IPPU), pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU) dan pengelolaan limbah (*waste*). Keempat kategori tersebut akan memunculkan intensitas berbeda terhadap keseluruhan emisi maupun pada sektor-sektor di dalamnya tergantung pada karakteristik wilayah perkotaan, sehingga pendekatan yang akan digunakan dalam penentuan kategori kunci adalah metode pertama.

Penyusunan pelaporan ini berdasarkan perhitungan pada sistem Signsmart, sehingga tabel kategori kunci secara otomatis telah dikalkulasi oleh sistem. Perhitungan Adapun hasil perhitungan kategori kunci pada Signsmart adalah sebagai berikut :

5.2.1 Sektor Energi

Tabel 5. 1 Analisi Kategori Kunci Sektor Energi Di Kota Surabaya 2022

No	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	1A3	Transport	9,773.99		9,773.99	54.06	0.00	54.06	0.00
2	1A2	Manufacturing Industry and Construction	7,236.05		7,236.05	40.02	54.06	40.02	54.06
3	1A4a	Commercial / Institutional	963.59		963.59	5.33	94.08	5.33	94.08
4	1A1a	Main activity electricity and heat production	90.87		90.87	0.50	99.41	0.50	99.41
5	1A4b	Residential	15.72		15.72	0.09	99.91	0.09	99.91
6	1A1b	Oil and Gas Industries (Upstream and Petroleum & Gas Refinery)	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
7	1A1c	Coal Processing	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 : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

5.2.2 Sektor Industri / IPPU (Industrial Process dan Production Use)

Tabel 5. 2 Analisi Kategori Kunci Sektor IPPU DI Kota Surabaya 2022

Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
2A4a	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 1	5,928.21		5,928.21	99.96	0.00	99.96	0.00
2A4d	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 4	1.94		1.94	0.03	99.96	0.03	99.96
2A4b	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 2	0.50		0.50	0.01	99.99	0.01	99.99
2B6b	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2H2	Others - Food and Beverages	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2H1	Others - Pulp and Paper	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
2D2	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Paraffin Wax Use	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2D1	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Lubricant Use	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2C6	Metal Industry - Zinc Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2C5	Metal Industry - Lead Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2C3	Metal Industry - Aluminium Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2C1	Metal Industry - Iron and Steel Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2B8f	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2B8c	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2A1	Mineral Industry - Cement Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2B8a	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2B5	Chemical Industry - Carbide Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2B2	Chemical Industry - Nitric Acid Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2B1	Chemical Industry - Ammonia Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2A3	Mineral Industry - Glass Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
2A2	Mineral Industry - Lime Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

5.2.3 Sektor Pertanian dan Kehutanan / AFOLU (Agricultural, Forestry and Other Land Use)

A. Sektor Pertanian

Tabel 5. 3 Anallsi Kategori Kunci Sektor Pertanian DI Kota Surabaya 2022

No.	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	3C7	Rice Cultivation: Annual CH ₄ Emission from Rice	2.95		2.95	54.18	0.00	54.18	0.00
2	3C4	Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils	0.98		0.98	17.95	54.18	17.95	54.18
3	3A1	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management	0.46		0.46	8.46	72.13	8.46	72.13

No.	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
4	3C5	Indirect N ₂ O Emissions from Managed Soils; N ₂ O from Atmospheric Deposition of N Volatilised from Managed Soils	0.45		0.45	8.20	80.59	8.20	80.59
5	3C3	Urea Fertilization: Annual CO ₂ Emissions from Urea Fertilization	0.35		0.35	6.45	88.78	6.45	88.78
6	3A2b	Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems	0.15		0.15	2.83	95.23	2.83	95.23
7	3C1a	Emissions from Biomass Burning in Cropland	0.08		0.08	1.49	98.06	1.49	98.06
8	3C6	Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management	0.02		0.02	0.45	99.55	0.45	99.55
9	3C2	Liming: Annual CO ₂ -C Emissions from Liming	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

5.2.4 Sektor Penggunaan Lahan dan Kehutanan

Tabel 5. 4 Analisis Kategori Kunci Sektor Kehutanan Di Kota Surabaya 2022

No.	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	3B1a	FL Remaining FL Mineral - Biomass 1		-71.37	71.37		0.00	51.90	0.00
2	3B6b	Land Converted to OL Mineral - Biomass 1		61.69	61.69		0.00	44.86	51.90
3	3B1b	Land Converted to FL Mineral - Biomass 1		-3.14	3.14		0.00	2.29	96.76
4	3B2b	Land Converted to CL Island - Biomass 1		1.31	1.31		0.00	0.96	99.05
5	3B2a	CL Remaining CL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
6	3B3a	GL Remaining GL Mineral - Soils 1		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
7	3B3b	Land Converted to GL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
8	3B5b	Land Converted to SL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
9	3C1c	Biomass Burning in Forest Land		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
10	3C1d	Biomass Burning in Crop Land		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
11	3C1e	Biomass Burning in Grass Land		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
12	3Z1	Dekomposisi Gambut		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00
13	3Z2	Peat Fire		0.00	0.00		0.00	0.00	100.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

5.2.5 Sektor Limbah

Tabel 5. 5 Analisi Kategori Kunci Sektor Limbah Di Kota Surabaya 2022

No.	Kode	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
1	4D1	CH4 Domestic Waste Water	368.16		368.16	61.94	0.00	61.94	0.00
2	4D2	CH4 Industrial Wastewater	225.11		225.11	37.87	61.94	37.87	61.94
3	4B2	N2O Composting	1.11		1.11	0.19	99.81	0.19	99.81
4	4B1	CH4 Composting	0.03		0.03	0.01	99.99	0.01	99.99
5	4A1	CH4 Pembuangan Akhir Sampah Padat	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
6	4A2	CH4 Pembuangan Limbah Padat Industri	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
7	4C2	CO2 Open Burning	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Tabel 5. 6 Analisi Kategori Kunci Emisi Gas Rumah Kaca Di Kota Surabaya 2022

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	1A3	ENERGY	Transport	9,773.99		9,773.99	39.71	0.00	39.49	0.00
2	1A2	ENERGY	Manufacturing Industry and Construction	7,236.05		7,236.05	29.40	39.71	29.24	39.49
3	2A4a	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 1	5,928.21		5,928.21	24.09	69.12	23.95	60.73
4	1A4a	ENERGY	Commercial / Institutional	963.59		963.59	3.92	93.20	3.89	92.69
5	4D1	WASTE	CH4 Domestic Waste Water	368.16		368.16	1.50	97.12	1.49	96.58
6	4D2	WASTE	CH4 Industrial Wastewater	225.11		225.11	0.91	98.62	0.91	98.07
7	1A1a	ENERGY	Main activity electricity and heat production	90.87		90.87	0.37	99.53	0.37	98.98
8	3B1a	FORESTRY	FL Remaining FL Mineral - Biomass 1		-71.37	71.37		99.90	0.29	99.34
9	3B6b	FORESTRY	Land Converted to OL Mineral - Biomass 1		61.69	61.69		99.90	0.25	99.63
10	1A4b	ENERGY	Residential	15.72		15.72	0.06	99.90	0.06	99.88
11	3B1b	FORESTRY	Land Converted to FL Mineral - Biomass 1		-3.14	3.14		99.96	0.01	99.95

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
12	3C7	AGRICULTURE	Rice Cultivation: Annual CH ₄ Emission from Rice	2.95		2.95	0.01	99.96	0.01	99.96
13	2A4d	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 4	1.94		1.94	0.01	99.98	0.01	99.97
14	3B2b	FORESTRY	Land Converted to CL Island - Biomass 1		1.31	1.31		99.98	0.01	99.98
15	4B2	WASTE	N ₂ O Composting	1.11		1.11	0.00	99.98	0.00	99.98
16	3C4	AGRICULTURE	Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils	0.98		0.98	0.00	99.99	0.00	99.99
17	2A4b	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 2	0.50		0.50	0.00	99.99	0.00	99.99
18	3A1	AGRICULTURE	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management	0.46		0.46	0.00	99.99	0.00	99.99
19	3C5	AGRICULTURE	Indirect N ₂ O Emissions from Managed Soils: N ₂ O from Atmospheric Deposition of N Volatilised from Managed Soils	0.45		0.45	0.00	100.00	0.00	100.00
20	3C3	AGRICULTURE	Urea Fertilization: Annual CO ₂ Emissions from Urea Fertilization	0.35		0.35	0.00	100.00	0.00	100.00
21	3A2b	AGRICULTURE	Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems	0.15		0.15	0.00	100.00	0.00	100.00
22	3C1a	AGRICULTURE	Emissions from Biomass Burning in Cropland	0.08		0.08	0.00	100.00	0.00	100.00
23	4B1	WASTE	CH ₄ Composting	0.03		0.03	0.00	100.00	0.00	100.00
24	3C6	AGRICULTURE	Indirect N ₂ O Emissions	0.02		0.02	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 (%)
			from Manure Management							
25	2B8a	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
26	2B5	IPPU	Chemical Industry - Carbide Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
27	2B8b	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
28	2B8c	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
29	2B8f	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
30	2C1	IPPU	Metal Industry - Iron and Steel Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
31	2C3	IPPU	Metal Industry - Aluminium Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
32	2C5	IPPU	Metal Industry - Lead Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
33	2C6	IPPU	Metal Industry - Zinc Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
34	2D1	IPPU	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Lubricant Use	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
35	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
36	2H1	IPPU	Others - Pulp and Paper	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
37	2H2	IPPU	Others - Food and Beverages	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
38	4A1	WASTE	CH ₄ Pembuangan Akhir Sampah Padat	0.00		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 (%)
39	4A2	WASTE	CH ₄ Pembuangan Limbah Padat Industri	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
40	4C2	WASTE	CO ₂ Open Burning	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
41	3C2	AGRICULTURE	Liming: Annual CO ₂ -C Emissions from Liming	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
42	3Z2	FORESTRY	Peat Fire		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
43	1B2	ENERGY	Fugitive emissions: oil	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
44	3B3a	FORESTRY	GL Remaining GL Mineral - Soils 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
45	3B3b	FORESTRY	Land Converted to GL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
46	3B5b	FORESTRY	Land Converted to SL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
47	1B1	ENERGY	Underground and surface coal mining and handling	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
48	3C1c	FORESTRY	Biomass Burning in Forest Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
49	3C1d	FORESTRY	Biomass Burning in Crop Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
50	3C1e	FORESTRY	Biomass Burning in Grass Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
51	3Z1	FORESTRY	Dekomposisi Gambut		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
52	3B2a	FORESTRY	CL Remaining CL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
53	2A1	IPPU	Mineral Industry - Cement Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
54	2A2	IPPU	Mineral Industry - Lime Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
55	2A3	IPPU	Mineral Industry - Glass Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
56	1A5	ENERGY	Non-specified	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
57	1A1c	ENERGY	Coal Processing	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
58	1A1b	ENERGY	Oil and Gas Industries (Upstream and Petroleum & Gas Refinery)	0.00		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 (%)
59	2B1	IPPU	Chemical Industry - Ammonia Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
60	2B2	IPPU	Chemical Industry - Nitric Acid Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : <https://sigsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

Dari tabel kategori kunci per sektor (tabel 5.1 sampai dengan tabel 5.5) dan tabel kategori pada keseluruhan sektor (tabel 5.6) dapat dilihat bahwa berdasarkan analisis sistem Sigsmart, sistem ini tidak menghitung nilai tingkat ketidakpastian, sehingga analisis kategori kunci berdasarkan pada nilai absolut dan tren emisi tiap sumber kategori. Oleh karena itu penyumbang emisi terbesar menempati posisi paling tinggi pada analisis kategori kunci.

Pada tabel 5.6 di atas dan tabel 5.7 di bawah ini, kategori kunci sumber emisi di Kota Surabaya ada pada sektor energi yaitu transportasi. Hal ini sesuai dengan kondisi dan gambaran umum Kota Surabaya sebagai kota perdagangan dan jasa, di mana mobilisasi yang tinggi dan jumlah penduduk yang meningkat berbanding lurus dengan peningkatan emisi gas rumah kaca.

Tabel 5. 7 Anallsi Kategori Kunci Emisi Gas Rumah Kaca DI Kota Surabaya 2021

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	1A3	ENERGY	Transport	9,516.70		9,516.70	42.10	0.00	42.10	0.00
2	1A2	ENERGY	Manufacturing Industry and Construction	6,690.82		6,690.82	29.60	42.10	29.60	42.10
3	2A4a	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 1	5,641.52		5,641.52	24.96	71.70	24.96	71.70
4	1A1c	ENERGY	Coal Processing	360.10		360.10	1.68	96.66	1.68	96.66
5	4D2	WASTE	CH4 Industrial Wastewater	216.93		216.93	0.96	98.34	0.96	98.34
6	4D1	WASTE	CH4 Domestic Waste Water	101.90		101.90	0.45	99.30	0.45	99.30

No.	Kode	Sektor	Source Category	Emisi Non-LULUCF	Emisi LULUCF	Total Absolute	Assessment exclude LULUCF (%)	Cumulative exclude LULUCF (%)	Assessment include LULUCF (%)	Cumulative include LULUCF (%)
7	3C3	AGRICULTURE	Urea Fertilization: Annual CO ₂ Emissions from Urea Fertilization	48.93		48.93	0.22	99.75	0.22	99.75
8	2A4d	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 4	3.77		3.77	0.02	99.97	0.02	99.97
9	3A1	AGRICULTURE	Methane Emissions from Enteric Fermentation and Manure Management	1.20		1.20	0.01	99.98	0.01	99.98
10	4B2	WASTE	N ₂ O Composting	1.11		1.11	0.00	99.99	0.00	99.99
11	3C6	AGRICULTURE	Indirect N ₂ O Emissions from Manure Management	0.73		0.73	0.00	99.99	0.00	99.99
12	2A4b	IPPU	Mineral Industry - Other Process Uses of Carbonates 2	0.44		0.44	0.00	100.00	0.00	100.00
13	1A4b	ENERGY	Residential	0.36		0.36	0.00	100.00	0.00	100.00
14	2B5	IPPU	Chemical Industry - Carbide Production	0.15		0.15	0.00	100.00	0.00	100.00
15	3A2b	AGRICULTURE	Manure Management: Direct N ₂ O Emissions from Manure Management Systems	0.13		0.13	0.00	100.00	0.00	100.00
16	4B1	WASTE	CH ₄ Composting	0.03		0.03	0.00	100.00	0.00	100.00
17	3C5	AGRICULTURE	Indirect N ₂ O Emissions from Managed Soils: N ₂ O from Atmospheric Deposition of N Volatilised from Managed Soils	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
18	2D1	IPPU	Non-Energy Products from Fuels and Solvent Use - Lubricant Use	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
19	2B1	IPPU	Chemical Industry - Ammonia Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
20	2B2	IPPU	Chemical Industry -	0.00		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 (%)
			Nitric Acid Production							
21	2B8a	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
22	2B8b	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
23	2B8c	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
24	2B8f	IPPU	Chemical Industry - Petrochemical and Carbon Black Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
25	2C1	IPPU	Metal Industry - Iron and Steel Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
26	2C3	IPPU	Metal Industry - Aluminium Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
27	2C5	IPPU	Metal Industry - Lead Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
28	2C6	IPPU	Metal Industry - Zinc Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
29	3C7	AGRICULTURE	Rice Cultivation: Annual CH ₄ Emission from Rice	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
30	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
31	2H1	IPPU	Others - Pulp and Paper	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
32	2H2	IPPU	Others - Food and Beverages	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
33	4A1	WASTE	CH ₄ Pembuangan Akhir Sampah Padat	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
34	4A2	WASTE	CH ₄ Pembuangan Limbah Padat Industri	0.00		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 (%)
35	3C4	AGRICULTURE	Direct N ₂ O Emissions from Managed Soils	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
36	4C2	WASTE	CO ₂ Open Burning	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
37	3C2	AGRICULTURE	Liming: Annual CO ₂ -C Emissions from Liming	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
38	3C1a	AGRICULTURE	Emissions from Biomass Burning in Cropland	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
39	3B6b	FORESTRY	Land Converted to OL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
40	1A5	ENERGY	Non-specified	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
41	1B1	ENERGY	Underground and surface coal mining and handling	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
42	1B2	ENERGY	Fugitive emissions: oil	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
43	3B1a	FORESTRY	FL Remaining FL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
44	3B1b	FORESTRY	Land Converted to FL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
45	3B2a	FORESTRY	CL Remaining CL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
46	3B2b	FORESTRY	Land Converted to CL Island - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
47	3B3a	FORESTRY	GL Remaining GL Mineral - Soils 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
48	3B3b	FORESTRY	Land Converted to GL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
49	3B5b	FORESTRY	Land Converted to SL Mineral - Biomass 1		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
50	1A4a	ENERGY	Commercial / Institutional	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
51	3C1c	FORESTRY	Biomass Burning in Forest Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
52	3C1d	FORESTRY	Biomass Burning in Crop Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
53	3C1e	FORESTRY	Biomass Burning in Grass Land		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
54	3Z1	FORESTRY	Dekomposisi Gambut		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 (%)
55	3Z2	FORESTRY	Peat Fire		0.00	0.00		100.00	0.00	100.00
56	2A1	IPPU	Mineral Industry - Cement Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
57	2A2	IPPU	Mineral Industry - Lime Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
58	2A3	IPPU	Mineral Industry - Glass Production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
59	1A1b	ENERGY	Oil and Gas Industries (Upstream and Petroleum & Gas Refinery)	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
60	1A1a	ENERGY	Main activity electricity and heat production	0.00		0.00	0.00	100.00	0.00	100.00

Sumber : <https://signsmart.menlhk.go.id> Tahun 2022

BAB VI

REKOMENDASI UPAYA PENGENDALIAN GAS RUMAH KACA



BAB VI

REKOMENDASI UPAYA PENGENDALIAN GAS RUMAH KACA (GRK)

Dalam upaya pengendalian GRK maka diperlukan identifikasi sumber emisi dan potensi penurunan emisinya. Didalam subbab ini, acuan yang digunakan dalam merekomendasikan upaya pengendalian GRK. Secara umum, rekomendasi upaya penurunan emisi gas rumah kaca adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang pentingnya kebijakan penurunan emisi. Misalnya dengan pendekatan kepada pemangku kepentingan, jajaran manajemen perusahaan, anggota parlemen, dan eksekutif untuk sama-sama membangun visi dan misi penurunan emisi.
2. Meningkatkan mekanisme koordinasi dan sinergitas antarbidang untuk mendukung kebijakan efisiensi energi.
3. Memasukkan kriteria efisiensi energi ke dalam *Standard Operating Procedure* (SOP) perusahaan dan perkantoran. Langkah-langkah efisiensi energi antara lain adaptasi bahan bakar dan kendaraan yang bersih, serta menggunakan energi terbarukan.
4. Integrasi efisiensi energi dengan sektor-sektor yang relevan seperti transportasi dan industri. Hal tersebut dapat dilaksanakan dengan *Strategic Environmental Assessment* (adaptasi dari *Asian Development Bank*, 2018).
5. Memperkuat pencegahan dan pengendalian emisi serta instrumen ekonomi dan kebijakan.
6. Memperkuat kapasitas penegakan hukum dan peraturan mengenai kualitas udara.
7. Pelaksanaan inventarisasi emisi GRK perlu rutin dilakukan setiap tahun demi memenuhi amanat undang-undang dan juga mengetahui pertumbuhan emisi setiap tahun. Dari inventarisasi tersebut bisa dirumuskan langkah-langkah strategis yang efektif untuk mulai melakukan sosialisasi kebijakan adaptasi dan yang paling penting adalah mitigasi untuk menurunkan laju pertumbuhan emisi GRK.
8. Memasukkan syarat pada *green building* pada *procurement* proyek pembangunan di lingkungan pemerintah daerah.

9. Terkait program kampung iklim (Proklim) di Surabaya, perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai kontribusi lokasi Proklim dalam rangka penurunan emisi.
10. Peningkatan jumlah lokasi Proklim di Kota Surabaya.
11. Perlu adanya dukungan kebijakan dari daerah terkait pengendalian emisi GRK di Kota Surabaya.
12. Kota Surabaya perlu menentukan target penurunan emisi GRK mengacu pada target nasional dan provinsi.
13. Adanya sinkronisasi dan validasi data terutama yang diperoleh dari industri sebelum dilakukan perhitungan emisi GRK agar hasil perhitungan valid.

Secara khusus, rekomendasi upaya penurunan emisi GRK pada setiap sektor akan dijelaskan pada subbab di bawah ini.

6.1 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor Energi

Pada sektor energi emisi yang dihitung berasal dari pembakaran bahan bakar baik dari sumber bergerak maupun dari sumber tidak bergerak. Penggunaan bahan bakar ramah lingkungan merupakan modifikasi proses upaya penurunan energi baik pada sumber bergerak maupun tidak bergerak. Tujuannya adalah sebagai optimasi atau upaya mengganti bahan bakar dengan bahan bakar dengan nilai emisi yang lebih rendah, ini berlaku untuk semua sumber energy bergerak (kendaraan) dan tidak bergerak (industri). Tapi tidak dapat dipungkiri, permasalahan bahan bakar dari sumber energy bergerak merupakan hal yang cukup rumit karena sifatnya nasional dan melibatkan banyak kepentingan, terutama industri. Hal yang penting yang dapat dilakukan oleh pemerintah Kota Surabaya adalah dengan pemanfaatan zona khusus dimana kendaraan harus diuji emisi dahulu sebelum melintas zona tersebut. Uji emisi dapat dilakukan secara *onsite* maupun *offsite*, dimana setiap kendaraan yang melintas dapat menunjukkan sertifikat lulus uji emisi kepada petugas zona tersebut.

Untuk rekomendasi selanjutnya adalah dengan penggunaan listrik baik itu untuk industri kecil maupun industri besar di Surabaya. Optimasi energi merupakan hal yang cukup krusial untuk mengurangi emisi, salah satu jalannya adalah melalui sistem manajemen energi, ISO 50001. Pemerintah Kota Surabaya bisa berkoordinasi atau menghimbau kepada setiap industri di Surabaya untuk menerapkan ISO 50001, yaitu dengan melakukan minimal audit energi. Tujuannya tidak hanya untuk menurunkan emisi namun sebagai efisiensi perusahaan yang

berujung pada keuntungan secara finansial pada jangka panjang. Sosialisasi kegiatan ini bisa melalui berbagai macam komunikasi baik resmi maupun tidak resmi (personal). Komunikasi resmi dapat melalui kegiatan sosialisasi, atau workshop dengan mengundang bantuan dari tenaga ahli energi

Selain dari pendekatan manajemen, pengurangan emisi dari sektor listrik dapat dilakukan dengan memperbanyak dan mengoptimalkan penggunaan solar sel dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya. PLTS digunakan sebagai sumber energi rumah pompa sebanyak 21 rumah pompa, penerangan jalan sebanyak 10 lokasi, *traffic light* sebanyak 71 lokasi, penerangan dan *backup* energi perlintasan kereta api sebanyak 8 lokasi, serta penerangan di beberapa Sekolah Menengah Pertama sebanyak 4 lokasi.

6.2 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor Limbah

Untuk sektor limbah padat dan limbah cair emisi dihitung berdasarkan informasi jumlah penduduk. Untuk menurunkan emisi GRK dilakukan upaya bersama-sama melalui kerja sama yang baik dari semua *stakeholder* seperti pemerintah kota hingga rumah tangga, industri, maupun individu. Kegiatan yang dilakukan dari tahap inventarisasi, perencanaan, hingga implementasi, meliputi sebagai berikut:

1. Kajian inventarisasi GRK sektor limbah padat dan limbah cair setiap tahun. Fungsinya untuk menentukan laju pertumbuhan emisi GRK yang kemudian dijadikan sebagai baseline laju peningkatan emisi. Upaya penurunan GRK dianggap berhasil jika dapat mereduksi laju peningkatan emisi. Kegiatan ini dapat diinisiasi dan dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya, dapat pula bekerja sama dengan lembaga lain.
2. Penyusunan norma, standar, prosedur pengelolaan sampah yang dijalankan menurut sistem manajemen yang baik pada TPA maupun TPS.
3. Peningkatan kapasitas pengelolaan sampah.
4. Peningkatan pemanfaatan sampah yang memungkinkan untuk dijadikan kompos, arang atau briket.
5. Endpoint: pengelolaan sampah yang lebih baik dengan prinsip *Reduce, Reuse, and Recycle* (3R).

6.3 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor AFOLU

Emisi yang dihitung berasal dari proses peternakan, pertanian dan/atau kegiatan tata guna lahan lainnya. Namun demikian, upaya penurunan GRK secara umum meliputi tapi tidak terbatas pada:

1. Pengumpulan data yang *diupdate* secara berkala, sebagai contoh, persentase lahan sawah irigasi, lahan mangrove sebagai penyerap CO₂ sehingga dapat dijadikan *baseline* untuk inventarisasi selanjutnya.
2. Pemanfaatan metana yang ditimbulkan dari kegiatan peternakan (termasuk di dalamnya RPH), namun demikian kegiatan ini perlu kajian terlebih dahulu.
3. Pemanfaatan kotoran temak sebagai pupuk pertanian.
4. Memperbanyak tanaman yang ditanam dengan sistem lahan vertikal.
5. Memperbanyak simpanan karbon biomassa dari lahan mangrove di Kota Surabaya.

Untuk inventarisasi selanjutnya diharapkan ada data jumlah panen padi sehingga dapat dihitung emisi N₂O *direct* maupun *indirect* dari pengelolaan tanah.

6.4 Rekomendasi Penurunan GRK Sektor IPPU

Emisi yang dihitung berasal dari proses produksi industri. Strategi teknis yang efektif untuk menurunkan GRK sangat bergantung pada perusahaan terkait karena perusahaan tersebut yang lebih mengetahui teknologi terkini yang lebih ramah lingkungan terkait proses produksi produknya masing-masing. Namun demikian, upaya penurunan GRK secara umum meliputi tapi tidak terbatas pada:

1. Perlu ada terobosan kebijakan teknis untuk mengurangi emisi CO₂. Sebagai contoh, Dinas Lingkungan Hidup Surabaya menyelenggarakan penyuluhan dan *workshop* spesifik terkait industri tertentu mengenai dampak perubahan iklim, dan strategi adaptasi mitigasinya. Kegiatan tersebut dapat menjadi titik awal munculnya kepedulian industri untuk semakin penasaran dan termotivasi mewujudkan dan mengimplementasikan proses produksi yang lebih ramah lingkungan. Pada dasarnya, secara jangka panjang, proses produksi yang menggunakan asas pencegahan pencemaran memiliki keuntungan finansial. Ini yang

perlu ditanamkan agar industri semakin tertarik menanamkan modal guna memodifikasi proses produksinya untuk menurunkan emisi GRK.

2. Peningkatan kapasitas pemerintah dan pelaku industri dalam kegiatan mitigasi dampak perubahan iklim.
3. Tersusunnya sistem *database* dan inventori strategi pengurangan emisi CO₂ di berbagai sektor industri di Surabaya. Untuk itu, Dinas Lingkungan Hidup Surabaya menjalin komunikasi dengan industri-industri terkait mengenai upaya apa saja yang telah mereka lakukan. Tujuannya adalah tidak hanya *database*, namun agar Dinas Lingkungan Hidup Surabaya memiliki informasi lengkap dimana letak atau posisi dimana Dinas Lingkungan Hidup Surabaya bisa membantu, baik dalam hal penyuluhan maupun pendampingan, ataupun pendampingan tenaga ahli di bidang industri tertentu.
4. Terlaksananya pemantauan dan evaluasi program mitigasi untuk berbagai macam industri di Surabaya
5. Jumlah penggunaan pupuk disesuaikan dengan kebutuhan lahan pertanian dan varietas yang ditanam agar lebih efisien.

6.5 Rencana Aksi Daerah (RAD) Penurunan GRK berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 67 Tahun 2012

Rencana aksi daerah Provinsi Jawa Timur dalam rangka penurunan emisi gas rumah kaca yang mengacu pada Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 67 Tahun 2012 dapat dilihat pada penjelasan di bawah ini:

6.5.1 Bidang Energi

Kebijakan yang dilaksanakan untuk menurunkan GRK:

1. Peningkatan penghematan energi
2. Penggunaan bahan bakar yang lebih bersih (*fuel switching*)
3. Peningkatan penggunaan energi baru dan terbarukan
4. Pemanfaatan teknologi bersih baik untuk pembangkit listrik dan sarana transportasi
5. Pengembangan transportasi massal yang berkelanjutan

Rencana strategi:

1. Menghemat penggunaan energi fosil baik melalui penggunaan teknologi yang lebih bersih dan efisien

2. Mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan skala kecil dan menengah
3. Mengurangi kebutuhan akan perjalanan terutama daerah perkotaan
4. Menggeser pola penggunaan kendaraan pribadi
5. Meningkatkan efisiensi energi dan pengurangan karbon pada kendaraan bermotor pada sarana transportasi
6. Mengurangi kemacetan di area perbatasan lalu lintas
7. Terwujudnya transportasi multimoda angkutan barang dari kawasan ke pelabuhan tanjung perak
8. Terbangunnya fasilitas pedestrian bagi pejalan kaki dan jalur sepeda di jalan raya wilayah perkotaan

6.5.2 Bidang IPPU

Kebijakan yang dilakukan untuk menurunkan GRK adalah peningkatan pertumbuhan industri kecil dan menengah yang menerapkan produksi bersih (*clean production*). Strategi untuk mewujudkan kebijakan tersebut yaitu:

1. Melaksanakan penerapan produksi bersih khususnya pada IKM yang padat energi
2. Memberikan insentif pada IKM yang menerapkan produksi bersih
3. Sosialisasi penggunaan bahan baku ramah lingkungan
4. Penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, and Recycle*)

Kegiatan pendukung untuk pengurangan emisi GRK bidang IPPU adalah pengembangan kemitraan dengan perguruan tinggi, masyarakat setempat, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), dan dunia usaha dalam perlindungan dan pelestarian sumber daya alam.

6.5.3 Bidang Pengelolaan Limbah

Kebijakan yang dilaksanakan untuk menurunkan GRK adalah:

1. Penurunan emisi GRK dari Tempat Penimbunan Akhir (TPA) limbah padat/sampah
2. Peningkatan pengelolaan limbah cair domestik
3. Peningkatan pengelolaan limbah industri yang berpotensi menghasilkan GRK
4. Pengembangan teknologi pengelolaan limbah dan efisiensi produk limbah dengan prinsip-prinsip daur ulang (*Reduce, Reuse, and Recycle*)

5. Pengembangan sistem manajemen pengelolaan limbah industri, limbah domestik, dan sektor lainnya

Strategi yang dilakukan untuk menunjang kebijakan:

1. Meningkatkan manajemen pengelolaan limbah padat/sampah di TPA
2. Melaksanakan pembangunan dan rehabilitasi TPA terpadu dengan sistem *controlled landfill* dan *sanitary landfill* secara bertahap
3. Pengurangan timbulan sampah melalui 3R (*Reduce, Reuse, and Recycle*)
4. Meningkatkan penerapan teknologi produksi bersih dalam pengelolaan limbah industri
5. Meningkatkan pemanfaatan limbah menjadi energi alternatif ramah lingkungan
6. Mengembangkan panduan mutu dan teknologi pengelolaan limbah
7. Meningkatkan pengawasan dan *monitoring* pengelolaan limbah
8. Melakukan uji kualitas air limbah dan uji udara emisi secara periodik dan berkelanjutan

6.5.4 Bidang AFOLU

Kebijakan dan strategi untuk menurunkan GRK:

1. Meningkatkan penanaman pohon yang mampu menyerap GRK
2. Penelitian dan pengembangan teknologi pertanian.
3. Pengembangan program pendukung budidaya pertanian ramah lingkungan
4. Pengembangan aplikasi kualitas pupuk kompos organik dengan dosis mikroba terhadap tanaman hortikultura dan padi

6.6 Rekomendasi berdasarkan Peraturan Walikota Kota Surabaya Nomor 36 Tahun 2020 tentang Rencana Kerja Pemerintah Kota Surabaya Tahun 2021

Program kegiatan dalam upaya penurunan emisi GRK secara umum antara lain:

1. Program pengawasan dan pengendalian lalu lintas dan angkutan, yaitu meningkatkan persentase kelulusan uji emisi kendaraan bermotor
2. Program upaya konservasi energi/pembinaan perusahaan konservasi energi, yaitu meningkatkan jumlah kegiatan/usaha yang mendapatkan pembinaan perusahaan konservasi energi

3. Koordinasi, sinkronisasi, dan pengendalian emisi GRK, mitigasi, dan adaptasi perubahan iklim

6.7 Rekomendasi berdasarkan RPJMN 2020-2024

Program kegiatan dalam upaya penurunan emisi GRK yang sesuai antara lain:

1. Pemanfaatan teknologi yang lebih efisien dan rendah emisi
2. Penurunan emisi dan intensitas emisi GRK melalui pembangunan rendah karbon
3. Meningkatkan pasokan bahan bakar nabati dari bahan baku rendah karbon
4. Peningkatan produktivitas dan efisiensi pertanian menuju pertanian berkelanjutan
5. Pengelolaan sampah rumah tangga dan pengelolaan limbah cair
6. Peningkatan jumlah industri yang terpantau memenuhi baku mutu emisi

6.8 Penanaman Pohon Sebagai Agen Pereduksi CO₂

Pepohonan memiliki fungsi ekologis yaitu sebagai penambat karbon dan mengurangi polusi kendaraan bermotor (Kiran & Kiranny, 2011). Emisi CO₂ dapat diserap oleh tanaman atau yang disebut sebagai ruang terbuka hijau. Pembangunan kawasan hijau di daerah perkotaan merupakan langkah konkret yang penting dilakukan. Berikut ini adalah Tabel 6.1 merupakan beberapa jenis tanaman yang dapat menyerap CO₂:

Tabel 6. 1 Jenis-jenis tanaman dan kemampuan daya serap CO₂

No.	Nama Jenis Tumbuhan	Nama Ilmiah	Daya Serap CO ₂ (g/jam.pohon)	Sumber
1	Daun Kupu-kupu	Bauhinia purpurea	1.331,38	(Gratimah, 2009)
2	Pulai	Alstonia scholaris	1.319,35	
3	Angsana	Pterocarpus indicus	310,52	
4	Mahoni	Swietenia macrophylla	3.112,43	
5	Flamboyan	Delonix regia	59,96	
6	Jambu Biji	Syzygium malaccense	44,59	
7	Beringin	Ficus benjamina	1.146,51	
8	Tabebuia Kuning	Tabebuia chrysantha	24,2	(Purwaningsih, 2007)
9	Karet Kebo	Ficus elastica	22	
10	Keben	Barringtonia asiatica	165	
11	Kol Banda	Pisonia alba	22	
12	Cemara Laut	Casuarina equisetifolia	45	
13	Nagasari	Thevetia peruviana	96,9	

No.	Nama Jenis Tumbuhan	Nama Ilmiah	Daya Serap CO ₂ (g/jam.pohon)	Sumber
14	Dadap Merah	<i>Erythrina cristagalli</i>	165	
15	Belimbing Wuluh	<i>Averrhoa bilimbi</i>	6,33	
16	Palem Phoenix	<i>Phoenix roebelenii</i>	0,39	
17	Palem Kuning	<i>Dypsis lutescens</i>	0,39	
18	Palem Ekor Tupai	<i>Wodyetia bifurcata</i>	0,39	
19	Bintaro	<i>Cerbera manghas</i>	96,9	
20	Akasia	<i>Acacia auriculiformis</i>	165	
21	Kersen	<i>Muntingia calabura</i>	0,6	
22	Pandan Bali	<i>Dracaena draco</i>	0,39	
23	Bambu Cina	<i>Bambusa multiplex</i>	0,39	
24	Sukun	<i>Artocarpus altilis</i>	22	
25	Tabebuia Pink	<i>Tabebuia rosea</i>	24,2	
26	Kembang Kecrutan	<i>Spathodea campanulata</i>	24,16	
27	Kacang Amazon	<i>Bunchosia armeniaca</i>	6,33	
28	Dadap Hijau	<i>Erythrina variegata</i>	165	
29	Lamtoro	<i>Leucaena leucocephala</i>	165	
30	Asam Landi	<i>Pithecellobium dulce</i>	165	
31	Palem Kenari	<i>Phoenix Sylvestris</i>	0,39	
32	Sawo Manila	<i>Manilkara zapota</i>	96,9	
33	Kayu Bejaran	<i>Lannea coromandelica</i>	45	
34	Palem Bambu	<i>Chamaedorea seifrizii</i>	0,39	
35	Ketapang Kencana	<i>Terminalia mantaly</i>	24,16	
36	Trembesi	<i>Samanea saman</i>	3.252,10	
37	Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	22	
38	Mangga	<i>Mangifera indica</i>	51,98	
39	Tanjung	<i>Mimusops elengi</i>	67,58	
40	Jati	<i>Tectona grandis</i>	12,41	
41	Glodokan	<i>Polyalthia longifolia</i>	719,74	
42	Pucuk Merah	<i>Oleina syzygium</i>	155,58	
43	Palem Putri	<i>Veitchia merrillii</i>	32,6	

Sumber: Diolah Tim Inventarisasi GRK, 2023

6.9 Lahan Mangrove sebagai Simpanan Karbon

Ekosistem mangrove memiliki kegunaan sebagai penyerap CO₂, dengan kegunaan tersebut mangrove memiliki peran penting untuk mengurangi CO₂ di udara (Mardiyah *et al.*, 2019). Di daerah pesisir, ekosistem mangrove memiliki fungsi ekologis yang sangat penting. Mangrove memiliki kemampuan menyimpan karbon yang berfungsi untuk upaya mitigasi pemanasan global (Rachmawati *et al.*, 2014). Berdasarkan data yang diinput pada Sistem Signsmart, serapan mangrove dari luasan hutan yang ada dari tahun 2021 ke tahun 2022 adalah sebesar -71.37

GgCO₂, dan perubahan lahan dari non hutan menjadi hutan adalah sebesar -3.14 GgCO₂.

6.10 Klasifikasi Rencana Aksi Daerah sebagai Kegiatan Inti dan Kegiatan Pendukung

6.10.1 Rencana Aksi Daerah sebagai Kegiatan Inti

Sektor atau kegiatan inti dari kajian inventarisasi emisi gas rumah kaca Kota Surabaya meliputi empat (4) bidang, yaitu sektor energi, sektor limbah, sektor IPPU, dan sektor AFOLU. Dari pembahasan sebelumnya telah diketahui besarnya emisi GRK Kota Surabaya tahun 2021 dan rencana aksi daerah untuk mengurangi emisi GRK. Penurunan emisi GRK tidak dapat dilakukan oleh satu pihak saja. Oleh sebab itu, pada bab ini akan dijelaskan pelaksana dari rekomendasi rencana aksi pada kegiatan inti. Berikut ini merupakan Tabel 6.4 yang menjelaskan rencana aksi kegiatan inti dan pelaksanaannya.

Tabel 6.2 Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti dan Pelaksana Kegiatan

No	Sektor Emisi GRK	Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti	Pelaksana
1	Sektor Energi	<i>Car Free Day</i>	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perhubungan
2		Uji emisi kendaraan bermotor	Dinas Perhubungan
3		Menerapkan ISO 50001	Dinas Lingkungan Hidup
4		Menghemat penggunaan energi fosil baik melalui penggunaan teknologi yang lebih bersih dan efisien	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perhubungan, Dinas Koperasi dan Usaha Mikro, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian dan Pengembangan Kota Surabaya
5		Mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan skala kecil dan menengah	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Perhubungan, Dinas Koperasi dan Usaha Mikro, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian dan Pengembangan Kota Surabaya
6		Mengurangi kebutuhan akan perjalanan terutama daerah perkotaan	Dinas Perhubungan
7		Menggeser pola penggunaan kendaraan pribadi	Dinas Perhubungan
8		Meningkatkan efisiensi energi dan pengurangan karbon pada kendaraan bermotor pada sarana transportasi	Dinas Perhubungan
9		Mengurangi kemacetan di area perbatasan lalu lintas	Dinas Perhubungan

No	Sektor Emisi GRK	Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti	Pelaksana
10		Terwujudnya transportasi multi moda angkutan barang dari kawasan ke pelabuhan tanjung perak	Dinas Perhubungan
11		Terbangunnya fasilitas pedestrian bagi pejalan kaki dan jalur sepeda di jalan raya wilayah perkotaan	Dinas Perhubungan
12		Melakukan program kemitraan konservasi energi bersama swasta/masyarakat	Dinas Lingkungan Hidup
13		Terlaksananya implementasi teknologi hemat energi pada peralatan rumah tangga	Dinas Lingkungan Hidup
14		Penggunaan gas alam sebagai bahan bakar angkutan umum perkotaan	Dinas Perhubungan
15		Terlaksananya peremajaan armada angkutan umum sesuai desain standar yang rendah emisi	Dinas Perhubungan
16		Membangun <i>Non Motorized Transport</i> (pedestrian dan jalur sepeda)	Dinas Perhubungan
17		Terlaksananya pemberian label kepada semua kendaraan baru menurut konsumsi bahan bakar (per 100 km) dan emisi CO ₂ (dalam g/km)	Dinas Perhubungan
18		Terlaksananya pembatasan kecepatan pada seluruh jalan tol untuk menurunkan emisi	Dinas Perhubungan
19		Program pengawasan dan pengendalian lalu lintas dan angkutan, yaitu meningkatkan persentase kelulusan uji emisi kendaraan bermotor	Dinas Perhubungan
20		Penurunan emisi dan intensitas emisi GRK melalui pembangunan rendah karbon	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian dan Pengembangan Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Perumahan, Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang
21		Meningkatkan pasokan bahan bakar nabati dari bahan baku rendah karbon	Dinas Perhubungan

No	Sektor Emisi GRK	Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti	Pelaksana
22	Sektor IPPU	Menyelenggarakan penyuluhan dan <i>workshop</i> spesifik terkait industri tertentu mengenai dampak perubahan iklim, dan strategi adaptasi mitigasinya	Dinas Lingkungan Hidup
23		Peningkatan kapasitas pemerintah dan pelaku industri dalam kegiatan mitigasi dampak perubahan iklim.	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
24		Tersusunnya sistem <i>database</i> dan inventori strategi pengurangan emisi CO ₂ di berbagai sektor industri di Surabaya	Dinas Lingkungan Hidup
25		Terlaksananya pemantauan dan evaluasi program mitigasi untuk berbagai macam industri di Surabaya	Dinas Lingkungan Hidup
26		Melaksanakan penerapan produksi bersih khususnya pada IKM yang padat energi	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
27		Memberikan insentif pada IKM yang menerapkan produksi bersih	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
28		Sosialisasi penggunaan bahan baku ramah lingkungan	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
29		Penerapan prinsip 3R (<i>Reduce, Reuse, and Recycle</i>)	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro; Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
30		Pengembangan kemitraan dengan perguruan tinggi, masyarakat setempat, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM), dan dunia usaha dalam perlindungan dan pelestarian sumber daya alam	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
31		Penghapusan Bahan Perusak Ozon (BPO) pada 4 sektor (<i>refrigerant, foam, chiller</i> dan pemadam api)	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro, Dinas Pemadam Kebakaran
32		Program upaya konservasi energi/pembinaan perusahaan konservasi energi, yaitu meningkatkan jumlah kegiatan/usaha yang mendapatkan pembinaan perusahaan konservasi energi	Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
33		Peningkatan jumlah industri yang terpantau memenuhi baku mutu emisi	Dinas Lingkungan Hidup

No	Sektor Emisi GRK	Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti	Pelaksana
34	Sektor AFOLU	Pengumpulan data yang diupdate secara berkala, sebagai contoh, persentase lahan sawah irigasi, lahan mangrove sebagai penyerap CO ₂ sehingga dapat dijadikan <i>baseline</i> untuk inventarisasi selanjutnya	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
35		Pemanfaatan metana yang ditimbulkan dari kegiatan peternakan	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
36		Pemanfaatan kotoran ternak sebagai pupuk pertanian	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
37		Meningkatkan penanaman pohon yang mampu menyerap GRK	Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
38		Penelitian dan pengembangan teknologi pertanian	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
39		Pengembangan program pendukung budidaya pertanian ramah lingkungan	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
40		Pengembangan aplikasi kualitas pupuk kompos organik dengan dosis mikroba terhadap tanaman hortikultura dan padi	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
41		Perbaikan dan pemeliharaan jaringan irigasi	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
42		Terlaksananya penggunaan teknologi untuk melindungi tanaman pangan dari gangguan organisme pengganggu tanaman dan dampak perubahan iklim	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
43		Menerapkan teknologi pengelolaan lahan dan budidaya pertanian dengan emisi GRK serendah mungkin dan mengabsorpsi CO ₂ secara optimal	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
44		Menstabilkan elevasi muka air dan memperlancar sirkulasi air pada jaringan irigasi	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
45		Peningkatan produktivitas dan efisiensi pertanian menuju pertanian berkelanjutan	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian
46	Sektor Limbah	Pengelolaan sampah rumah tangga dan pengelolaan limbah cair	Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
47		Tersedianya sistem pengelolaan air limbah sistem terpusat skala kota (<i>offsite</i>) dan setempat (<i>onsite</i>)	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian dan Pengembangan Kota Surabaya, Dinas Lingkungan Hidup

No	Sektor Emisi GRK	Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Inti	Pelaksana
48		Peningkatan kapasitas kelembagaan dan peraturan di daerah	Dinas Lingkungan Hidup
49		Perbaiki proses pengelolaan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
50		Melakukan uji kualitas air limbah dan uji udara emisi secara periodik dan berkelanjutan	Dinas Lingkungan Hidup
51		Mengkatkan pengawasan dan <i>monitoring</i> pengelolaan limbah	Dinas Lingkungan Hidup
52		Mengembangkan panduan mutu dan teknologi pengelolaan limbah	Dinas Lingkungan Hidup
53		Meningkatkan pemanfaatan limbah menjadi energi alternatif ramah lingkungan	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Kebersihan dan Ruang Terbuka Hijau
54		Meningkatkan penerapan teknologi produksi bersih dalam pengelolaan limbah industri	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Koperasi dan Usaha Mikro
55		Pengurangan timbulan sampah melalui 3R	Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
56		Melaksanakan pembangunan dan rehabilitasi TPA terpadu dengan sistem <i>controlled landfill</i> dan <i>sanitary landfill</i> secara bertahap	Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
57		Meningkatkan manajemen pengelolaan limbah padat/sampah di TPA	Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
58		Kajian inventarisasi GRK sektor limbah padat dan limbah cair setiap tahun.	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
59		Penyusunan norma, standar, prosedur pengelolaan sampah yang dijalankan menurut sistem manajemen yang baik pada TPA maupun TPS	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau
60		Peningkatan pemanfaatan sampah yang memungkinkan untuk dijadikan kompos, arang atau briket	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Kebersihan Dan Ruang Terbuka Hijau

Sumber: Diolah Tim Inventarisasi GRK, 2023

6.10.2 Rencana Aksi Daerah sebagai Kegiatan Pendukung

Dalam rangka penurunan emisi gas rumah kaca, diperlukan keseriusan semua pihak untuk keberhasilan bersama. Oleh sebab itu, pada bab ini akan dijelaskan pelaksana dari rekomendasi rencana aksi pada kegiatan pendukung.

Berikut ini merupakan Tabel 6.5 yang menjelaskan rencana aksi kegiatan pendukung dan pelaksanaannya.

Tabel 6.3 Rekomendasi Rencana Aksi Kegiatan Pendukung dan Pelaksana Kegiatan

No	Rencana Aksi Kegiatan Pendukung	Pelaksana
1	Meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang pentingnya kebijakan penurunan emisi	Dinas Lingkungan Hidup, Semua
2	Meningkatkan mekanisme koordinasi dan sinergitas antarbidang untuk mendukung kebijakan efisiensi energi	Dinas Lingkungan Hidup, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian dan Pengembangan, Semua
3	Memasukkan kriteria efisiensi energi ke dalam <i>Standard Operating Procedure</i> (SOP) perusahaan dan perkantoran	Dinas Perdagangan dan Perindustrian, Dinas Lingkungan Hidup
4	Memperkuat pencegahan dan pengendalian emisi serta instrumen ekonomi dan kebijakan	Dinas Lingkungan Hidup, Dinas Koperasi dan Usaha Mikro, Kecil dan Menengah, Dinas Perdagangan dan Perindustrian
5	Memperkuat kapasitas penegakan hukum dan peraturan mengenai kualitas udara	Dinas Lingkungan Hidup
6	Pelaksanaan inventarisasi emisi GRK perlu rutin dilakukan setiap tahun demi memenuhi amanat undang-undang dan juga mengetahui pertumbuhan emisi setiap tahun	Dinas Lingkungan Hidup
7	Memasukkan syarat pada <i>green building</i> pada <i>procurement</i> proyek pembangunan di lingkungan pemerintah daerah	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Penelitian dan Pengembangan, Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Pematusan; Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang
8	Memperbanyak simpanan karbon biomassa dari lahan mangrove di Kota Surabaya	Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian

Sumber: Diolah Tim Inventarisasi GRK, 2023

DAFTAR PUSTAKA



DAFTAR PUSTAKA

1. *Undang-undang Republik Indonesia No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*
2. BAPPENAS, 2014. *Pedoman Teknis Perhitungan Baseline Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Berbasis Energi*. Jakarta: BAPPENAS.
3. Karyadi, H., 2005. *Skripsi: Pengukuran daya serap karbondioksida lima jenis tanaman hutan kota*. Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata.
4. Kiran, G. & Kiranny, 2011. Carbon Sequestration by Urban Trees in Roadside of Vadodara City. *International Journal of Engineering Science and Technology*, pp. 3 (4) 3066-3070.
5. Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku I Pedoman Umum*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
6. Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 1 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi dan Penyerapan Gas Rumah Kaca Pengadaan dan Penggunaan Energi*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
7. Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 2 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi dan Penyerapan Gas Rumah Kaca Proses Industri dan Penggunaan Produk*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
8. Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 3: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi dan Penyerapan Gas Rumah Kaca Pertanian, Kehutanan, dan Penggunaan Lahan Lainnya*. Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup.
9. Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II Volume 4 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Pengelolaan Limbah*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.

10. Kementerian Lingkungan Hidup, 2013. *Pedoman Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan: Asdep Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup
11. Undang-undang No. 16 Tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement on Climate Change
12. Kementerian Lingkungan Hidup, 2017. *Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional. Nomor P.73*. Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup
13. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2019. *Panduan Signmart*. Indonesia ; Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring Pelaporan dan Inventarisasi Direktorat Jenderal Perubahan Iklim Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
14. Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam, 2019. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi*. Nomor P.22. Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Alam
15. Kementerian Pertanian, 2019. *Pedoman Umum Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Mitigasi Perubahan Iklim Sektor Pertanian*. Indonesia : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian
16. Kementerian Lingkungan Hidup, 2020. *Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK (Inventarisasi Gas Rumah Kaca) Sektor Limbah*. Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup
17. Kementerian Lingkungan Hidup, 2020. *Pedoman Penyusunan Data Aktivitas IGRK (Inventarisasi Gas Rumah Kaca) Sektor Energi*. Indonesia: Kementerian Lingkungan Hidup
18. Mardiyah, R., Raden Ario, dan Rudhi Pribadi. 2019. *Estimasi Simpanan Karbon Pada Ekosistem Mangrove di Desa Pasar Banggi dan Tireman, Kecamatan Rembang Kabupaten Rembang*. Journal of Marine Research 8 (1) : 62 – 68.
19. Meidiana, C. Sari, E. K. Latifa. A. Rusyda. 2022. Faktor Rumah Tangga yang Mempengaruhi Emisi CO₂ Kelurahan Jodipan, Kota Malang. *Planing for Urban Region and Environment*. Vol. 11. No. 3. Malang

20. Peraturan Pemerintah, 2021. *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Nomor: 22. Indonesia
21. Peraturan Gubernur, 2012. *Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi Jawa Timur*. Nomor 67. Jawa Timur
22. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019. *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi*. Nomor: 22. Indonesia
23. Purwaningsih, S., 2007. *Skripsi: Kemampuan serapan karbondioksida pada tanaman hutan kota di Kebun Raya Bogor*. Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, IPB.
24. Rachmawati, D., Isdradjad Setyobudiandi, dan Endang Hilmi. 2014. Potensi Estimasi Karbon Tersimpan Pada Vegetasi Mangrove di Wilayah Pesisir Muara Gembong Kabupaten Bekasi. *Omni Akuatika XIII* (19) : 85 – 91.
25. Rechenberger, D., 2013. *Natural gas is the most climate-friendly fossil fuel in electricity production*, Kassel: WINGAS.
26. *Undang-undang Republika Indonesia No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja*
27. Wulandari, M., Hermawan & Purwanto, 2013. *Kajian Emisi CO₂ Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga Sebagai Penyebab Pemanasan Global (Studi Kasus Perumahan Sebanteng, Gedang Asri, Susukan RW 07 Kab. Semarang)*. Semarang, Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan.
28. Yusuf, M. Y., 2015. *Tesis: Kemampuan penyerapan gas CO₂ beberapa jenis tanaman pada ruang terbuka hijau di Kota Makassar*. Makassar: Program Studi Pengelolaan Lingkungan Hidup, UNHAS.
29. IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change Guideline 2006
30. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf
31. Knowledge Centre Perubahan Iklim - Mengenai Perubahan Iklim, Ditjenppi.menlhk.go.id. Available at : <http://ditjenppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/info-iklim/perubahan-iklim> (Accessed: 19 August 2021).

32. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf
33. <https://signsmart.menlhk.go.id>

