

LAPORAN AKHIR INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA KOTA SURAKARTA 2018



**DINAS LINGKUNGAN HIDUP
PEMERINTAH KOTA SURAKARTA**



KATA PENGANTAR

Gas Rumah Kaca (GRK) dipandang sebagai isu penting lingkungan hidup terkini, termasuk oleh pemerintah Kota Surakarta. Untuk memitigasi resiko penurunan kualitas lingkungan, khususnya matra udara akibat peningkatan gas rumah kaca, maka inventarisasi terhadap emisi GRK dipandang penting dan mendesak dilakukan. Pelaksanaan inventarisasi akan menjadi ukuran kualitas udara wilayah ditinjau dari emisi GRK, serta menjadi dasar perencanaan pengelolaan kualitas udara Surakarta.

Inventarisasi Gas Rumah Kaca merupakan proyek kerjasama antara Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Surakarta selaku otoritas pengelolaan lingkungan Kota Surakarta dengan PT Pancasula. Kegiatan ini berhasil memberikan informasi beban emisi GRK Kota Surakarta, yang dikontribusikan oleh sumber-sumber khas wilayah. Selanjutnya, laporan ini akan menjadi dasar bagi perencanaan pengelolaan dan reduksi emisi GRK, sekaligus penyusunan regulasi terkait. Tujuannya adalah menyediakan udara yang sehat, layak dan berkualitas bagi masyarakat Surakarta.

Keberhasilan pelaksanaan inventarisasi GRK ini dicapai melalui kerjasama yang terbina baik antara DLH Surakarta, PT Pancasula selaku pelaksana dan seluruh shareholders lingkungan selaku pemilik data. Kami mengucapkan terimakasih kepada Kepala DLH Surakarta selaku penanggung jawab, penyelenggara, koordinator dan penjamin terlaksana inventarisasi GRK ini. Untuk kelancaran pelaksanaan pengumpulan data kami mengucapkan terimakasih kepada Bupati Surakarta, instansi-instansi pemerintah, paguyuban, BUMN, hingga perusahaan swasta pemilik data atas aksesibilitas dan kemudahan memperoleh data. Terakhir dan menjadi yang utama adalah ucapan terimakasih serta respek kepada seluruh masyarakat Surakarta atas dukungan hingga kegiatan inventarisasi GRK dapat berlangsung dengan baik.

Hormat kami,

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

Lembar Sampul	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel.....	iv
Daftar Gambar	v
Daftar Lampiran.....	vi
Ringkasan Eksekutif.....	vii
Bab I. Pendahuluan	1
Bab II. Metode dan Sumber Data	12
Bab III. Hasil Perhitungan Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca	20
Bab IV. Analisis Ketidakpastian dan Kategori Kunci	74
Bab V. Pengendalian dan Penjaminan Mutu	81
Bab VI. Rencana Perbaikan Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca.....	84
Bab VII. Penutup	89
Referensi	92
Lampiran.....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Sumber emisi&distribusi data Kota Surakarta	8
Tabel 1.2 Jenis gas rumah kaca dan informasi terkait.....	9
Tabel 2.1 Asumsi kontributor data aktivitas inventarisasi GRK.....	17
Tabel 3.1 Hasil estimasi emisi Kota Surakarta tahun 2018.....	21
Tabel 3.2 Estimasi emisi kategori penggunaan energi di Kota Surakarta.....	26
Tabel 3.3 Penjualan bahan bakar transportasi Kota Surakarta tahun 2016.....	28
Tabel 3.4 Net calorific value (NCV) dan faktor emisi aktivitas transportasi.....	30
Tabel 3.5 Emisi aktivitas transportasi jalan raya Kota Surakarta tahun 2018.....	30
Tabel 3.6 Data aktivitas industri Kota Surakarta.....	32
Tabel 3.7 Net calorific value (NCV) dan faktor emisi aktivitas industri.....	32
Tabel 3.8 Emisi industri Kota Surakarta tahun 2018 berdasarkan kelompok industri.....	33
Tabel 3.9 Emisi industri Kota Surakarta tahun 2018 berdasarkan jenis bahan bakar.....	34
Tabel 3.10 Data aktivitas bahan bakar memasak sektor domestik dan perdagangan.....	37
Tabel 3.7 <i>Net calorific value</i> (NCV) dan faktor emisi aktivitas industri.....	37
Tabel 3.8 Estimasi emisi sektor domestik dan perdagangan Kota Surakarta tahun 2018.....	38
Tabel 3.9 Konsumsi listrik sektoral Kota Surakarta tahun 2017.....	40
Tabel 3.10 Estimasi emisi konsumsi listrik Kota Surakarta tahun 2018.....	40
Tabel 3.11 Estimasi emisi kategori proses industri dan penggunaan produk di Kota Surakarta tahun 2018.....	44
Tabel 3.12 Data aktivitas konsumsi pelumas industri Kota Surakarta berdasarkan kelompok industri.....	45
Tabel 3.13 Faktor konversi, net calorific value dan konstanta hitung emisi pelumas.....	45
Tabel 3.14 Estimasi emisi penggunaan pelumas industri Kota Surakarta tahun 2018.....	46
Tabel 3.15 Estimasi emisi kategori pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU) Kota Surakarta tahun 2018.....	47
Tabel 3.16 Data aktivitas peternakan di Kota Surakarta.....	49
Tabel 3.17 Faktor emisi metana dari fermentasi enterik dan pengolahan kotoran pada sektor peternakan.....	50
Tabel 3.18 Faktor emisi nitrogen dioksida dari emisi langsung pengolahan kotoran pada sektor peternakan	51
Tabel 3.19 Faktor emisi nitrogen dioksida dari emisi tidak langsung pengolahan kotoran pada sektor peternakan.....	51
Tabel 3.20 Estimasi emisi sektor peternakan Kota Surakarta tahun 2018.....	52
Tabel 3.21 Estimasi emisi sektor pertanian di Kota Surakarta tahun 2018.....	54
Tabel 3.22 Estimasi emisi pemakaian pupuk urea pada lahan pertanian.....	56
Tabel 3.23 Data aktivitas emisi pengolahan tanah di Kota Surakarta.....	56
Tabel 3.24 Faktor emisi yang digunakan untuk menghitung beban emisi NO ₂ langsung dan NO ₂ tidak langsung dari aktivitas pengolahan tanah.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Perbandingan emisi per-parameter inventarisasi di Kota Surakarta dan perbandingan hasil inventarisasi emisi GRK 2018 dengan proyeksi 2020 (dalam tonCO ₂ e).....	21
Gambar 3.2 Komposisi kategori sumber pada setiap parameter emisi.....	22
Gambar 3.3 Komposisi emisi GRK pada kategori penggunaan energi berdasarkan aktivitas spesifik.....	27
Gambar 3.4 Komposisi penjualan tipe bahan bakar transportasi di Kota Surakarta.....	29
Gambar 3.5 Tren emisi CO ₂ transportasi jalan raya Kota Surakarta pada 2012-2016.....	30
Gambar 3.6 Komposisi emisi industri berdasarkan kelompok industri di Kota Surakarta.....	34
Gambar 3.7 Komposisi emisi industri berdasarkan jenis bahan bakar dikonsumsi.....	35
Gambar 3.8 Tren emisi karbondioksida pada konsumsi LPG domestik dan perdagangan periode 2012-2016.....	38
Gambar 3.9 Komposisi sektoral kontributor emisi konsumsi listrik Kota Surakarta.....	41
Gambar 3.10 Tren emisi listrik sektoral (atas) dan keseluruhan (bawah) Kota Surakarta periode 2013-2017.....	42
Gambar 3.11 Penjelasan pengelompokkan emisi GRK pada proses industri menurut kategori kunci IPCC.....	43
Gambar 3.12 Komposisi kontributor emisi AFOLU pada setiap parameter.....	48
Gambar 3.13 Distribusi emisi peternakan berdasarkan kecamatan.....	52
Gambar 3.14 Fluktuasi karbon stok dan emisi penggunaan lahan di Kota Surakarta pada periode 2013-2016.....	64
Gambar 3.15 Komposisi emisi metana pengelolaan limbah di Kota Surakarta.....	65
Gambar 3.16 Perbandingan pertumbuhan penduduk dan timbulan sampah di Kota Surakarta pada periode 2012-2016 (DLH, 2017).....	66
Gambar 3.17 Tren emisi metana landfill sampah Kota Surakarta.....	68
Gambar 3.18 Komparasi antara emisi metana dan rasio kepemilikan septic tank.....	73
Gambar 4.1 Struktur generik analisis ketidakpastian.....	75
Gambar 4.2 Kontributor karbondioksida Kota Surakarta pada kategori penggunaan energi tanpa konsumsi listrik.....	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. Tabel Ringkasan Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca.....	94
Lampiran II. Tabel Basis Data Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi.....	95
Lampiran III. Tabel Basis Data Kegiatan Proses Industri dan Penggunaan Produk.....	99
Lampiran IV. Tabel Basis Data Kegiatan Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan lahan.....	100
Lampiran V. Tabel Basis Data Kegiatan Pengelolaan Limbah.....	102
Lampiran VI. Tabel Ringkasan Analisis Kategori Kunci.....	104
Lampiran VII. Dokumentasi Foto.....	106

RINGKASAN EKSEKUTIF

Emisi merupakan salah satu isu penting lingkungan global terkini. Emisi menjadi masalah potensial karena nilainya yang terus bertambah nyaris tidak terkendali. Pertambahan emisi didorong oleh faktor utama pertumbuhan populasi dan kebutuhan manusia yang dipenuhi melalui modernisasi terutama industrialisasi dan mobilitas manusia. Keduanya dianggap sebagai kontributor utama emisi antropogenik, terutama akibat ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil.

Gas rumah kaca (GRK) merupakan salah satu jenis emisi yang beresiko secara langsung pada lingkungan. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer memicu efek dengan nama serupa yang berdampak pada peningkatan suhu bumi global (*global warming*) dan mendorong fenomena perubahan iklim (*climate change*).

Inventarisasi emisi merupakan salah satu metode estimasi emisi melalui pendekatan perhitungan. Inventarisasi emisi dimanfaatkan sebagai basis pemodelan kualitas udara, kaitannya dengan potensi emisi masing-masing aktivitas, distribusi emisi dan identifikasi potensi tindakan reduksi emisi. Pelaksanaan inventarisasi emisi di Indonesia terutama didorong oleh Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah.

Kota Surakarta merupakan wilayah berkategori kota kecil-sedang yang menuju kawasan metropolitan baru di regional Jawa Tengah. Kota Surakarta memiliki pengalaman menyelenggarakan inventarisasi emisi (IE) dengan pendekatan bottom up pada 2013. Inventarisasi tersebut memunculkan estimasi emisi 729.961 tonCO₂/tahun. Sebesar 78% emisi tersebut disumbangkan oleh transportasi jalan raya. Hasil inventarisasi tersebut menjadi salah satu acuan bagi inventarisasi GRK meskipun terdapat perbedaan metode koleksi data dan pengkategorian sumber emisi.

Inventarisasi GRK dilaksanakan dengan metode koleksi data top down. Batasan temporal adalah baseline data maksimum tahun 2016, batasan spasial adalah wilayah administratif Kota Surakarta dan batasan parameter mencakup karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen dioksida (N₂O). Pengkategorian utama sumber emisi mengikuti IPCC mencakup : (1) pengadaan dan penggunaan energi, (2) proses industri dan penggunaan produk (IPPU), (3) pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU) dan (4) pengelolaan limbah.

Estimasi emisi GRK Kota Surakarta mengaplikasikan formula baku emisi dengan mengkombinasikan data aktivitas dan faktor emisi dari IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory* (2006). Tier yang digunakan dalam perhitungan beranekaragam dari paling sederhana (Tier I) hingga kompleks (Tier III) bergantung pada kompleksitas data dan ketersediaan faktor konversi serta faktor emisi lokal.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa Secara keseluruhan untuk Kota Surakarta pada parameter karbondioksida mengemisikan 1210305,88 ton/tahun, parameter metana mengemisikan 6559,96 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 41,68 ton/tahun. Detail estimasi emisi pada setiap kategori utama adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan energi pada parameter karbondioksida mengemisikan 1210022,64 ton/tahun, parameter metana mengemisikan 123,7 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 15,37 ton/tahun.
2. Proses industri dan penggunaan produk pada parameter karbondioksida mengemisikan 15,17 ton/tahun, pada parameter metana dan nitrogen dioksida tidak ada emisi
3. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan pada parameter karbondioksida mengemisikan 268,07 ton/tahun, pada parameter metana mengemisikan 62,90 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 10,52 ton/tahun
4. Pengelolaan limbah pada parameter karbondioksida tidak ada emisi, pada parameter metana mengemisikan 6373,37 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 15,78 ton/tahun

Kategori kunci pada emisi GRK Kota Surakarta untuk parameter karbondioksida adalah penggunaan energi, untuk parameter metana adalah pengelolaan limbah dan untuk parameter nitrogen dioksida adalah pengelolaan limbah, penggunaan energi dan AFOLU. Analisis terhadap kategori kunci dilakukan dengan metode *Level Assesment*. Pada inventarisasi GRK Kota Surakarta belum dapat dilakukan analisis ketidakpastian (uncertainties) karena data yang ada dianggap sebagai data dasar emisi.

Quality Control hasil inventarisasi emisi dilakukan secara internal dalam tim pelaksana dengan melibatkan expert judgement dan eksternal melalui stakeholder meeting maupun pertemuan internal dengan Dinas Lingkungan Hidup Surakarta selaku penanggung jawab. Pelaksanaan stakeholder meeting dan pertemuan internal dengan DLH Surakarta dianggap mewakili *Quality Assesment*.

Rekomendasi utama pada upaya pengendalian dan reduksi emisi terutama harus dilakukan pada parameter karbondioksida yang memiliki nilai dominan (terhadap parameter lain) dan resiko tertinggi pada lingkungan (karena kuantitas, intensitas, tren dan konsistensinya). Rekomendasi tersebut secara umum pada efisiensi penggunaan energi dan secara khusus menyorot pada pengendalian transportasi jalan raya serta pembatasan penggunaan moda kendaraan pribadi. Hal ini sesuai dengan hasil inventarisasi yang memunculkan transportasi jalan raya sebagai salah satu kontributor utama emisi pembakaran langsung (308107 ton/tahun).

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Emisi merupakan salah satu isu penting lingkungan global terkini. Kesadaran kepentingan masalah emisi diawali oleh Svanthe Arrhenius menanggapi revolusi industri pada abad 19. Revolusi industri dianggap sebagai titik penting peningkatan emisi di atmosfer secara signifikan, terutama akibat kontribusi aktivitas antropogenik, berkaitan secara langsung dengan industri maupun kegiatan pendukungnya.

Emisi akan mendegradasi kualitas udara dan lingkungan secara umum, serta potensial mengancam kelangsungan kehidupan bumi. Emisi menjadi masalah potensial karena nilainya yang terus bertambah nyaris tidak terkendali. Peningkatan emisi didorong oleh pertumbuhan populasi dunia yang menyebabkan meningkatnya pemenuhan kebutuhan melalui beragam aktivitas antropogenik.

Modernisasi kehidupan manusia, cenderung mengakibatkan menurunnya kepedulian terhadap lingkungan. Sistem etika antropogenik secara signifikan berkembang sebagai persepsi mayoritas dalam memandang lingkungannya. Produk utama modernisasi adalah industrialisasi dan mobilitas manusia. Keduanya dianggap sebagai kontributor utama emisi antropogenik, terutama akibat ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil (Alyuz and Alp, 2014).

Emisi menjadi permasalahan lingkungan karena cakupan sumber dan dampak yang holistik. Emisi merupakan perwujudan tiga asas dasar lingkungan yaitu kekekalan energi (asas I), inefisiensi perubahan energi (asas II) dan kejenuhan lingkungan (asas IV). Kemunculan gas rumah kaca sebagai masalah bagi lingkungan, disebabkan oleh kejenuhan siklus biogeokimia akibat menumpuknya emisi antropogenik. Emisi memenuhi karakter khas masalah lingkungan menurut Mitchell dkk (2000) yaitu : dinamis, kompleks, ketidakpastian dan rentan konflik.

Gas rumah kaca (GRK) merupakan salah satu jenis emisi yang beresiko secara langsung pada lingkungan. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer memicu efek dengan nama serupa yang berdampak pada peningkatan suhu bumi global (*global warming*) dan mendorong fenomena perubahan iklim (*climate change*). Impak Efek Rumah Kaca (ERK) masif dan luas, diantaranya adalah : peningkatan suhu, perubahan musim yang sukar diduga,

kegagalan panen, kemunculan jenis penyakit baru, penurunan biodiversitas, kenaikan muka air laut dan lain sebagainya. Konklusinya adalah, ERK sebagai dampak peningkatan GRK secara signifikan berdampak negatif atau merugikan bahkan membahayakan bagi kehidupan manusia dan kelangsungan bumi.

Pemerintah Indonesia merilis regulasi sebagai bukti kepedulian pemerintah untuk memenuhi salah satu hak dasar penduduk yaitu lingkungan hidup yang sehat, sesuai dengan Undang-Undang Dasar 1945. Perhatian terhadap emisi dipandang sebagai bagian penting penyediaan lingkungan hidup yang sehat. Pemerintah menyadari emisi sebagai permasalahan dan ancaman bagi lingkungan hidup, sehingga secara khusus meregulasikan peraturan terkait upaya pengelolaan kualitas udara. Regulasi-regulasi tersebut antara lain adalah :

1. Undang Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara
3. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara
4. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca
5. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional
6. Peraturan Daerah Kota Surakarta Nomor 10 Tahun 2015 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

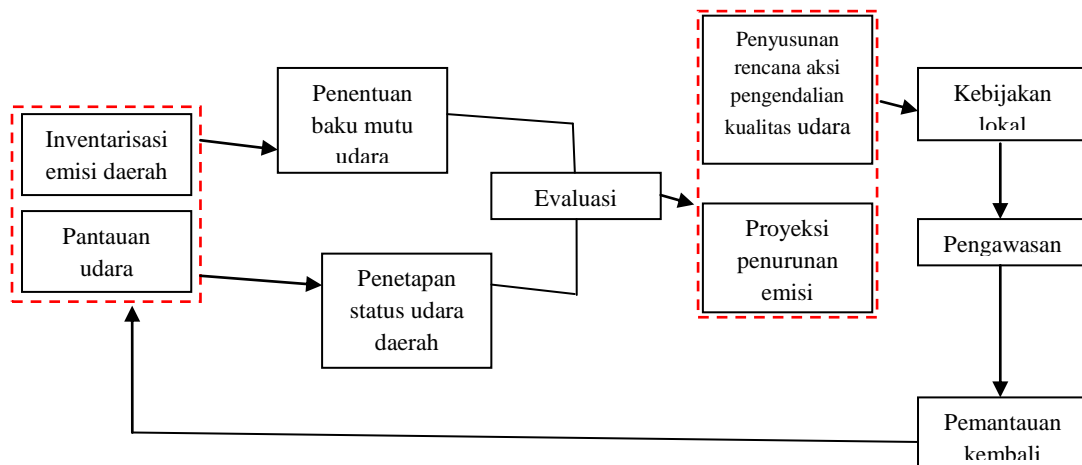
Urgensi inventarisasi emisi muncul secara eksplisit pada Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang “Pengendalian Pencemaran Udara”. Pasal 1 (27) mendefinisikan inventarisasi sebagai kegiatan untuk mendapatkan data dan informasi yang berkaitan dengan mutu udara. Fungsi inventarisasi adalah untuk penentuan status mutu udara bersama dengan variabel lain seperti : pemantauan udara ambien, potensi sumber pencemar udara, kondisi meteorologis dan geografis dan tata guna tanah.

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah menjadi pendorong bagi kesadaran dan inisiatif pemerintah daerah untuk melakukan mitigasi pada kualitas udara daerahnya. Pada regulasi tersebut, pemerintah pusat mewajibkan pemerintah daerah untuk melakukan

inventarisasi emisi, sebagai dasar penentuan baku mutu udara lokal sesuai karakter lingkungan setempat. Hasil inventarisasi menjadi landasan bagi penyusunan rencana aksi pengelolaan kualitas udara lokal (*air quality management-AQM*).

Inventarisasi emisi merupakan bagian dari upaya mitigasi lingkungan, sesuai dengan Undang-Undang No 24 Tahun 2007 tentang “Penanggulangan Bencana”. Inventarisasi emisi menjadi bagian upaya proaktif untuk mengurangi resiko bencana, terutama sebagai dampak penurunan kualitas udara lokal. Sesuai dengan regulasi tersebut, penurunan kualitas udara secara absolut termasuk sebagai bagian bencana lingkungan karena resiko dampak dan ancaman pada kehidupan manusia.

Inventarisasi emisi merupakan salah satu metode estimasi emisi melalui pendekatan perhitungan. Inventarisasi emisi memunculkan data resmi jumlah emisi yang dikeluarkan ke atmosfer pada sumber berbeda dan periode tertentu (Gioli, et al, 2015). Inventarisasi emisi dimanfaatkan sebagai basis pemodelan kualitas udara, kaitannya dengan potensi emisi masing-masing aktivitas, distribusi emisi dan identifikasi potensi tindakan reduksi emisi (Fu, et al, 2013; McGraw, et al, 2010 dalam Shahbazi, et al, 2016). Kota Surakarta merupakan wilayah berkategori kota kecil-sedang yang menuju kawasan metropolitan baru di regional Jawa Tengah. Luasan wilayah administratif Surakarta adalah 44,04 km², seluruhnya berada di kawasan dataran rendah (BPS Surakarta, 2017) yang mengindikasikan emisi akan dipengaruhi secara mutlak oleh kondisi iklim. Sebagian besar wilayah Surakarta, saat ini difungsikan untuk aktivitas antropogenik urban (DLH Surakarta, 2017), dengan menyisakan sedikit kawasan ruang terbuka hijau. Hal ini menunjukkan keterbatasan pengendali emisi natural, sehingga upaya reduksi emisi jangka pendek akan terfokus pada penurunan potensi sumber emisi dan perencanaan optimasi kawasan vegetasi dalam menyerap emisi.



Gambar 1.1 Siklus pengendalian kualitas udara daerah

Kota Surakarta memiliki pengalaman menyelenggarakan inventarisasi emisi (IE) dengan pendekatan bottom up pada 2013. Inventarisasi tersebut memunculkan estimasi emisi 729.961 tonCO₂/tahun. Sebesar 78% emisi tersebut disumbangkan oleh transportasi jalan raya (Setyono et al, 2014). Salah satu fokus utama pada emisi transportasi adalah intensitas komuter dari wilayah administratif penyangga (*hinterland*) Surakarta, yang dibuktikan dengan nilai emisi tinggi pada jalur-jalur gerbang kota (Sunarto et al, 2016).

Tren kontributor emisi CO₂ Surakarta selaras dengan kondisi kawasan urban di Indonesia (KLHK, 2012), maupun yang terjadi secara global (USEPA, 2008) dengan kecenderungan terus meningkat pada pusat perekonomian, akses jalan utama dan simpang lalu lintas penting (Gulia et al, 2014). Kondisi emisi Surakarta diperburuk dengan indeks tutupan vegetasi yang rendah di Surakarta (skor 31,33), luas ruang terbuka hijau terbatas pada 9,72% kawasan (Pemerintah Kota Surakarta, 2017), dengan asumsi bahwa keberadaan vegetasi memiliki kemampuan alami untuk menyerap karbon.

Merujuk pada hasil IE Surakarta, hipotesis kategori kunci setempat adalah sektor penggunaan energi, khususnya pada sektor transportasi dan rumah tangga (domestik). Meskipun demikian, terdapat probabilitas besar munculnya kecenderungan emisi berbeda antara IE Surakarta 2013 dan inventarisasi GRK ini. Hal tersebut didorong oleh perbedaan pendekatan pengumpulan data (bottom up dan top down) serta dipengaruhi secara signifikan oleh karakter emisi transportasi lokal Surakarta.

Kegiatan inventarisasi gas rumah kaca (GRK) Kota Surakarta dipandang sebagai *milestone* penting dalam evaluasi dan penyusunan ulang manajemen kualitas udara (AQM). Inventarisasi GRK akan menyediakan data-data valid dan ilmiah terkait potensi emisi Kota Surakarta, secara khusus pada tiga parameter hitung : karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen dioksida (N₂O). Informasi krusial dalam laporan ini adalah kategori kunci sumber emisi yang dapat dijadikan prioritas utama penanganan emisi lokal, tanpa mengabaikan keberadaan sumber-sumber lainnya.

Tujuan kegiatan

Berdasarkan paparan dari latar belakang kegiatan, maka tujuan pelaksanaan kegiatan ini dirumuskan sebagai berikut

1. Mengidentifikasi sumber-sumber emisi potensial dan mengumpulkan data terkait inventarisasi emisi GRK dari masing-masing sumber tersebut

2. Menganalisis beban emisi GRK tahunan berdasarkan spesifikasi aktivitas penyumbang emisi dan variabel emisi yang diperhitungkan
3. Menentukan kategori kunci dalam emisi GRK di Kota Surakarta
4. Merumuskan rekomendasi terkait dengan penyusunan rencana aksi pengelolaan kualitas udara Kota Surakarta

Ruang lingkup

1. Cakupan spasial

Cakupan spasial inventarisasi gas rumah kaca (GRK) Kota Surakarta adalah sumber-sumber emisi yang terletak di dalam wilayah administratif. Artinya, inventarisasi tidak dilakukan pada sumber yang terletak di luar, berdekatan atau berbatasan dengan wilayah administratif, meskipun sumber tersebut memiliki potensi emisi signifikan.

2. Cakupan temporal

Inventarisasi GRK mengandalkan data sekunder sebagai sumber data aktivitas. Hal ini sesuai dengan pendekatan koleksi data kegiatan ini yaitu top down. Oleh sebab itu, penting ditentukan data tahun dasar yang akan digunakan. Berdasarkan pertimbangan ketersediaan data (mempertimbangkan waktu pelaksanaan kegiatan), maka ditentukan bahwa data tahun dasar paling lama adalah tahun 2016, dengan mengupayakan secara optimal untuk penggunaan data tahun dasar 2017.

3. Cakupan metode kajian

Metode inventarisasi emisi merupakan evaluasi emisi berbasis perhitungan dengan menggunakan formula emisi dasar. Koleksi data aktivitas dilaksanakan dengan pendekatan top down. Faktor emisi mayoritas menggunakan standar dalam “*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*” dari IPCC (2006). Beberapa faktor emisi akan menggunakan ketersediaan standar lokal, seperti yang diaplikasikan pada konsumsi listrik. Tier perhitungan akan menyesuaikan pada ketersediaan data aktivitas dengan probabilitas lebih besar untuk pengaplikasian Tier I dan Tier II. Parameter yang diinventarisasi mencakup karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen dioksida (N₂O). Pengelompokan sumber emisi dilakukan berbasis kategori dalam IPCC meliputi : (a) penggunaan energi; (b) proses dan penggunaan produk dalam industri; (c) pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan; dan (d) pengelolaan limbah.

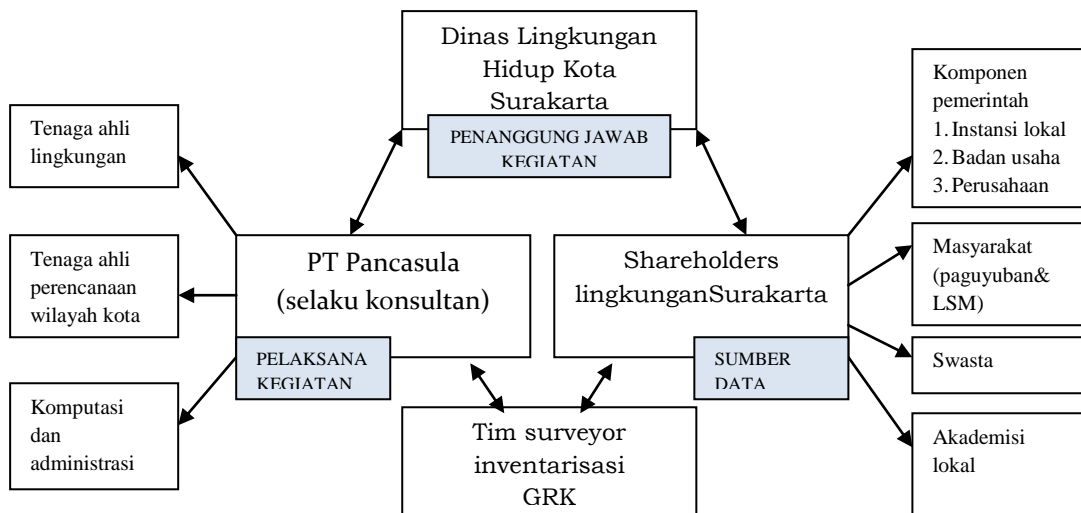
Manfaat kegiatan

Pelaksanaan inventarisasi emisi gas rumah kaca (GRK) Kota Surakarta dapat bermanfaat sebagai :

1. Untuk mengetahui tekanan beban emisi dan distribusinya pada wilayah administratif Kota Surakarta
2. Untuk menentukan prioritas reduksi emisi berbasis pada hasil analisis beban emisi pada setiap kategori sumber emisi dan potensi ancamannya pada lingkungan Kota Surakarta
3. Untuk memprediksikan kualitas udara lokal melalui kombinasi hasil inventarisasi emisi dengan data monitoring (pengukuran) udara ambien, data klimatologi dan baku mutu kualitas udara
4. Hitungan beban emisi dapat menjadi input bagi model dispersi emisi atmosferik yang saat ini banyak digunakan dan memegang peranan penting dalam manajemen kualitas udara dan penggunaan lahan perkotaan
5. Kombinasi hasil inventarisasi emisi dengan monitoring udara ambien (melalui pengukuran lapangan) dan kondisi lingkungan lokal dapat digunakan sebagai bahan penentuan baku mutu kualitas udara daerah yang bersifat lebih spesifik dan sesuai dengan karakter lokal
6. Sebagai dasar penyusunan regulasi terkait dan perencanaan pengelolaan kualitas udara di Kota Surakarta
7. Sebagai media informasi mengenai kondisi kualitas lingkungan, khususnya terkait dengan beban emisi GRK dan kualitas udara kepada masyarakat Kota Surakarta, sebagai pihak utama yang memiliki hak atas ketersediaan dan akses pada informasi tersebut

B. Pengaturan kelembagaan dalam penyelenggaraan Inventarisasi GRK

Pengerjaan Inventarisasi Emisi GRK Kota Surakarta tahun 2018 melibatkan shareholders lingkungan setempat yang mencakup komponen pemerintah lokal (instansi), badan usaha milik pemerintah, perusahaan negara, swasta, masyarakat dan akademisi. Pihak konsultan sebagai eksekutor dan penyusun laporan bekerjasama dengan shareholders, secara khusus untuk memperoleh data-data aktivitas pendukung perhitungan. Penyusunan laporan inventarisasi GRK menjadi kerja kolektif antara shareholders lingkungan setempat dan konsultan dengan masing-masing memiliki proporsi dan tugas berbeda dalam kegiatan ini.



Gambar 1.2 Struktur kelembagaan Tim inventarisasi emisi GRK UNS

Secara umum, terdapat tiga komponen utama dalam kelembagaan dalam inventarisasi gas rumah kaca Kota Surakarta yaitu : penanggung jawab, pelaksana kegiatan dan sumber data. Penanggung jawab kegiatan adalah Dinas Lingkungan Hidup Kota Surakarta, selaku agensi yang secara khusus mengemban tanggung jawab pelaksanaan bidang lingkungan. Pelaksana kegiatan adalah PT Pancasula yang terdiri dari ahli lingkungan, ahli perencanaan wilayah kota didukung oleh bagian komputasi dan administrasi.

Shareholder lingkungan setempat memiliki posisi vital sebagai penyedia data aktivitas. Data tersebut merupakan dasar dari estimasi emisi pada metode inventarisasi. Oleh sebab itu, keakuratan dan keterbaruan emisi lokal akan bergantung pada data-data yang disediakan oleh shareholders terdiri dari : aspek pemerintah, swasta, masyarakat dan akademisi.

C. Persiapan Inventarisasi Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca (GRK) atau greenhouse gas (GHG) adalah gas gas yang berada di alpisan atmosfer dengan kemampuan untuk menyerap dan mengemisikan radiasi pada rentang cahaya inframerah. Proses ini menjadi mekanisme utama penyebab efek rumah kaca. Gas rumah kaca primer di atmosfer bumi antara lain uap air, karbondioksida (CO₂), metan (CH₄), nitrogen oksida (NO_x) dan ozon (O₃). Gas rumah kaca merupakan fenomena wajar bahkan turut membantu pembentukan kehidupan di bumi. Tanpa GRK, suhu bumi kemungkinan hanya akan mencapai -18°C dan adanya GRK menaikkan suhu tersebut (Wikipedia, 2016)

Inventarisasi emisi pada dasarnya merupakan kegiatan identifikasi emisi suatu wilayah yang meliputi pada sumber dan asumsi nilainya. Dasar penentuan beban emisi adalah data aktivitas sumber-sumber emisi. Data aktivitas berasal dari pengumpulan secara langsung atau

data primer baik berupa wawancara, kuisioner, pengamatan maupun pendataan. Jalur lebih sederhana adalah melalui dokumen data aktivitas yang disediakan pemerintah, swasta maupun akademis (sekunder).

Preparasi inventarisasi emisi GRK pada dasarnya akan mempersiapkan dan menentukan hal-hal sebagai berikut :

1. Area dan waktu penelitian, tahun data dasar (baseline year) karena menggunakan pendekatan *top down*

Pengumpulan data memiliki 2 metode umum yaitu : ***bottom up*** (data primer) dan ***top down*** (data sekunder). Pada pelaksanaannya, pemilihan metode tersebut akan bergantung pada alokasi waktu dan sumber daya yang tersedia. Pemilihan metode ***bottom up*** akan menuntut waktu dan biaya lebih besar. Hasil kedua metode tidak bisa diperbandingkan karena pendekatan berbeda antara keduanya. Biasanya keduanya dikombinasikan menyesuaikan pada kondisi lapangan. Khusus untuk kegiatan inventarisasi GRK, metode koleksi data yang diaplikasikan adalah *top down* dengan mengutamakan penggunaan data sekunder resmi maupun *expert judgement*.

2. Penentuan sumber emisi yang akan diinventarisasi,

Sumber emisi ditentukan dan diprioritaskan berdasarkan pertimbangan karakteristik wilayah, ketersediaan sumber daya dan waktu pelaksanaan. Karakter lokal merujuk pada aktivitas utama pada suatu wilayah yang berpotensi menghasilkan emisi yang signifikan. Pemilihan sumber emisi berkarakter lokal akan menurunkan resiko ketidakpastian dan selisih hitung dengan kondisi riil.

Tabel 1.1 Sumber emisi&distribusi data Kota Surakarta

No	Kategori emisi	Detail kegiatan
1	Penggunaan energi	Konsumsi energi domestik, industri, dan perdagangan (Non listrik)
		Konsumsi listrik keseluruhan
		Konsumsi energi transportasi, mencakup jalan raya dan kereta api
2	Proses dan penggunaan produk untuk industri	Penggunaan oli/pelumas industri
		Penggunaan lilin/wax/malam
3	Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan	GRK Peternakan (fermentasi enterik dan pengolahan kotoran)
		GRK Pertanian (pengolahan sawah,

		pembakaran biomass, aplikasi urea dan pengolahan lahan)
		Landuse (perubahan dalam reduksi karbon)
4	Pengelolaan limbah	Sanitasi masyarakat
		Pengolahan sampah

3. Penentuan parameter yang akan diinventarisasi

Keseluruhan gas emisi memiliki kontribusi terhadap terjadinya efek rumah kaca beserta dampaknya terhadap lingkungan. Perbedaan terletak pada sifat dampaknya, ada yang bersifat secara langsung adapun beberapa gas berdampak secara tidak langsung. Parameter utama dalam inventarisasi secara global adalah karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen dioksida (N₂O). Ketiganya merupakan parameter emisi dengan produksi dan resiko besar pada aktivitas antropogenik.

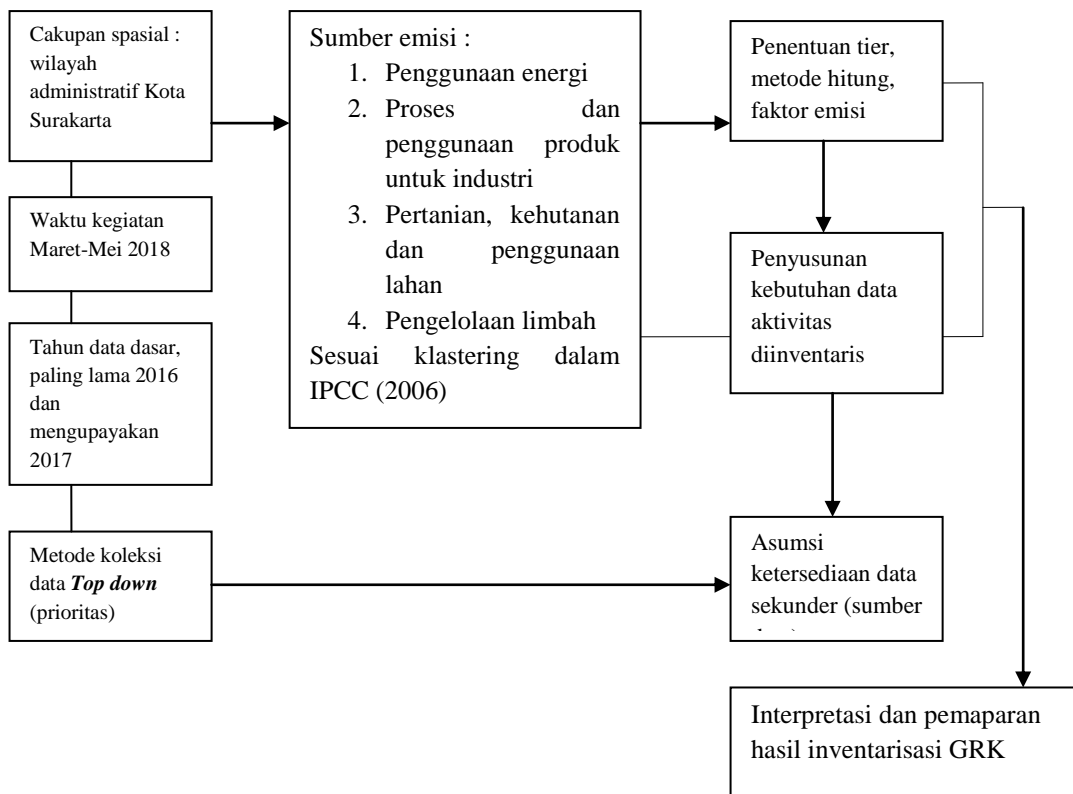
Tabel 1.2 Jenis gas rumah kaca dan informasi terkait

Jenis gas rumah kaca	Kontributor utama saat ini	Prediksi daur hidup dalam atmosfer	Potensi peringkat pemanasan global dalam 100 tahun
Karbondioksida	Diemisikan secara primer melalui proses pembakaran bahan bakar fosil, limbah pada dan produk tanaman. Alih fungsi lahan menjadi salah satu pemicu peningkatan gas ini. Tanaman memiliki kemampuan untuk menyerap setidaknya hingga sepertiganya, sayangnya kondisi ini diperburuk dengan maraknya deforestasi	Tidak dapat diprediksi, tidak rusak dalam waktu panjang namun hanya dapat mengalami perubahan formasi	1
Methan	Methan diemisikan dalam proses produksi dan transportasi bahan bakar fosil. Saat ini emisi metan lebih jamak dikaitkan dengan emisi peternakan	12 tahun	21

	dan proses pertanian. Metan juga dihasilkan pada pembusukan anaerobik limbah padat di landfill (TPA)		
Nitrogen dioksida	Diemisikan dalam aktivitas pertanian dan industri terutama pada pembakaran bahan bakar fosil atau limbah padat	114 tahun	310

(USEPA, 2011)

4. Penentuan tier perhitungan, metode perhitungan dan faktor emisi yang akan diaplikasikan
5. Penyusunan daftar kebutuhan data aktivitas yang akan diinventarisasi dari masing masing sumber emisi
6. Perumusan pemaparan hasil emisi, disesuaikan dengan tujuan awal pelaksanaan inventarisasi emisi



Gambar 1.3 Skema preparasi inventarisasi GRK Kota Surakarta

Tahapan persiapan menjadi dasar bagi perencanaan dan persiapan inventarisasi. Pada konteks satuan kerja, tahapan ini menjadi wahana menyatukan konsep dan pembagian tugas setiap personel. Untuk keberhasilan proses, salah satu komponen utama yang harus dimiliki personel adalah komitmen dan versatilitas fungsi dengan pembatasan.

BAB II

METODE DAN SUMBER DATA

A. Overview inventarisasi emisi

Inventarisasi emisi (IE) secara garis besar dapat didefinisikan sebagai pendataan polutan secara komprehensif berdasarkan sumber pada suatu wilayah tertentu untuk menakar beban emisi yang ditanggung oleh wilayah tersebut. Tabel tabel dalam IE tidak hanya bermanfaat bagi otoritas poengendali emisi, namun juga berperan dalam perencanaan wilayah dan pemetaan sumber emisi. Sebagai tambahan, hasilnya akan menunjukkan kontributor utama emisi suatu wilayah.

Strategi kontrol dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan reduksi nilai yang hendak dicapai pada suatu wilayah. IE merupakan sarana esensial untuk memahami kualitas udara lokal dibandingkan dengan kondisi nasional bahkan global. IE menyediakan data hasil polusi udara pada suatu area spesifik, dideterminasikan berdasar aktivitas atau sumbernya, misalnya : transportasi, industri dan rumah tangga.

Hasil IE akan digunakan sebagai panduan dan landasan untuk penyusunan model udara ambient, mitigasi, dan penentuan lokasi penempatan peralatan pemantau emisi. IE dapat pula dimanfaatkan sebagai :

1. Menentukan izin operasional kegiatan serta bea emisi
2. Mengembangkan perencanaan dan strategi pengendalian kualitas udara
3. Menentukan regulasi dan perizinan untuk pembangunan dan operasional industri
4. Mengukur progres dan tren perubahan dalam periode waktu tertentu untuk menentukan keberhasilan upaya pengendalian kualitas udara
5. Mengevaluasi implementasi suatu strategi AQM

Pelaksanaan IE berbeda dengan monitoring kualitas udara ambien. IE dilakukan dengan pendekatan perhitungan beban emisi akibat aktivitas pada sumber emisi. Aktivitas bisa berupa penggunaan bahan bakar, proses maupun sisa kegiatan. IE menggambarkan beban emisi dalam cakupan wilayah administrasi dengan luasan dan waktu tertentu. Monitoring udara ambien dilakukan dengan pengukuran lapangan menggunakan peralatan pemantau emisi. Nilai monitoring kualitas udara ambien menunjukkan besaran emisi pada titik pemasangan dan untuk waktu saat pemantauan dilakukan.

B. Komponen inventarisasi emisi

Terdapat 4 komponen utama dalam inventarisasi emisi yaitu : sumber emisi, data aktivitas emisi, faktor emisi (*emission factor*) dan parameter/variabel emisi diinventarisasi. Untuk inventarisasi GRK variabel emisi akan bervariasi setiap sumbernya antara : karbondioksida, metana dan dinitrogen dioksida. Sumber emisi adalah kegiatan atau aktivitas utama masyarakat yang potensial berkontribusi emisi, terutama dalam jumlah yang besar dan menjadi aktivitas khas dalam suatu wilayah.

C. Formula emisi dan perhitungan

1. Formula emisi

Secara umum, formula perhitungan emisi GRK adalah sebagai berikut :

$$E = AD \times ef$$

dengan

E = Beban emisi yang ditanggung oleh wilayah pada periode tertentu (ton/tahun)

AD = Data aktivitas dari sumber emisi (menyesuaikan)

Ef = Faktor emisi (menyesuaikan)

(IPCC, 2006; Corinair, 2013)

Aplikasi teknologi pengendali emisi umumnya menjadi upaya reduksi emisi yang dilakukan oleh sektor industri, khususnya industri besar. Penurunan emisi oleh teknologi ini diperhitungkan dengan memasukkan persen efisiensi reduksinya. Namun, pengendali emisi hanya berperan untuk menurunkan emisi PM atau debu. Oleh sebab itu, nilai pengendalian emisi tidak dapat digunakan dalam inventarisasi emisi GRK ini.

2. Tier perhitungan

Tier merujuk pada kedalaman metode yang dipergunakan dalam mengestimasi beban emisi. Semakin tinggi nilai Tier, maka akan semakin kompleks perhitungan, semakin detail data aktivitas dan semakin mendekati tingkat keakuratan kondisi riil. Meskipun demikian, fakta bahwa data aktivitas kerap kali terbatas dan tidak terakses, khususnya pada metode koleksi top down menyebabkan pilihan Tier menjadi terbatas pada level-level awal. Secara umum, dalam inventarisasi emisi maupun inventarisasi GRK akan dikenal tiga tingkatan Tier dalam perhitungan sebagai berikut :

a. Tier I

Metode perhitungan emisi dan serapan menggunakan persamaan dasar dan faktor emisi

default atau IPCC default values dan data aktivitas yang digunakan sebagian berasal dari data global

b. Tier II

Perhitungan emisi dan atau 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

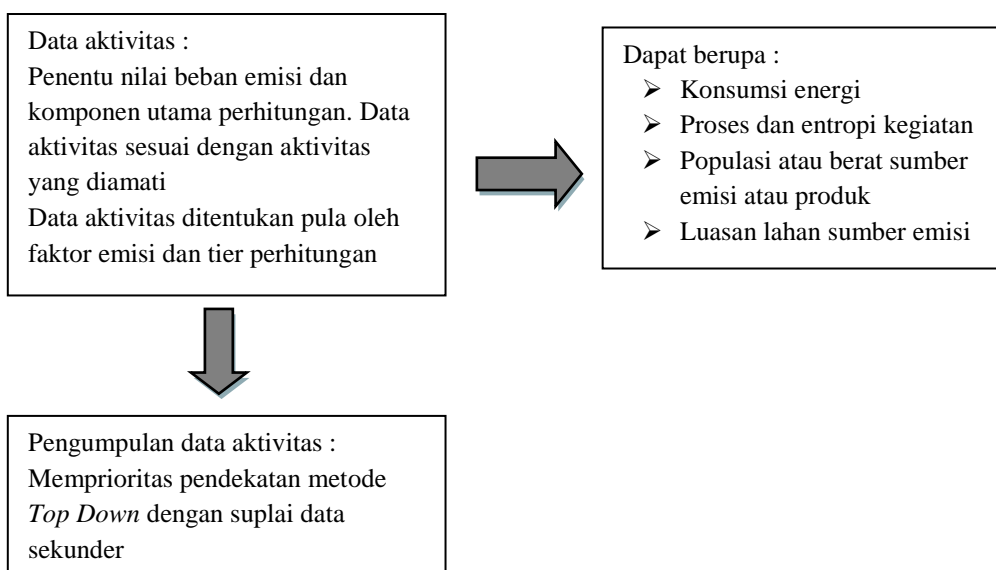
c. Tier III

Metode perhitungan emisi dan serapan karbon menggunakan metode paling rinci (dengan pendekatan modelling dan sampling). Melalui pendekatan modeling, faktor emisi lokal dapat divariasikan sesuai dengan keberagaman kondisi yang ada sehingga emisi dan serapan akan memiliki tingkat kesalahan lebih rendah.

Secara realistis, estimasi emisi GRK Surakarta hanya akan menggunakan Tier I dan II. Hal ini menyesuaikan dengan metode pengumpulan data (*top down*) serta ketersediaan variasi data tersebut yang tidak memungkinkan untuk level Tier perhitungan lebih tinggi.

3. Data aktivitas

Data aktivitas adalah segala tipe data yang berasal dari informasi detail kegiatan dengan potensi emisi. Data aktivitas mengutamakan pada emisi yang bersifat stokiometrik (berasal dari aktivitas non-alam, antropogenik). Data aktivitas dapat merujuk pada potensi emisi pembakaran (*combustive*) maupun *fugitive emission*.



Gambar 2.1 Data aktivitas dalam inventarisasi emisi

Kegiatan inventarisasi GRK Kota Surakarta menggunakan pendekatan kolaksi data *top down*. Artinya, keseluruhan atau setidaknya mayoritas data aktivitas yang digunakan adalah data sekunder. Hal ini membatasi pengumpulan (koleksi) data secara primer, menyesuaikan dengan ketersediaan sumber daya dan waktu kegiatan. Data sekunder dapat berupa dokumen pemerintah, catatan distribusi/penjualan tahunan maupun *expert judgement* dari kegiatan serupa sebelumnya. Pendekatan *top down* juga memberikan akses bagi penyediaan data berdasarkan tren atau mengkombinasikan ketersediaan pada beberapa dokumen atau *expert judgement*.

4. Faktor emisi

Faktor emisi merupakan koefisien atau rasio polutan yang dihasilkan atau diemisikan dari sumber emisi tertentu yang nilainya ditentukan oleh beragam variabel khusus seperti berat bahan bakar, berat biomassa, proses dsb, diperoleh dari simpulan pengamatan atau penelitian pada emisi sumber serupa dalam periode yang panjang. Faktor emisi biasanya telah memiliki nilai atau ketentuan tertentu. Untuk kegiatan IE GRK Boyolali, sumber faktor emisi adalah :

- IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory* (2006) yang dicantumkan kembali dalam Petunjuk Teknis Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kementerian Lingkungan Hidup RI (2011)
- Faktor emisi lokal, digunakan pada beberapa perhitungan berdasarkan ketersediaan secara lokal/nasional (misalnya pada konsumsi listrik) atau asumsi hitungan berbasis karakter lingkungan setempat (misalnya pada beberapa emisi pertanian)

D. Kategori kunci (key categories)

Terdapat beberapa pengkategorian dalam inventarisasi emisi. Ketika tujuan inventarisasi adalah memetakan sumber emisi dan menampilkan kontribusi emisi per masing masing kegiatan, maka pengkategorian berdasar kegiatan akan memudahkan. Pengkategorian ini membagi sumber emisi dala tiga tipe yaitu :

1. Sumber Titik, merupakan sumber secara tunggal dapat mengkontribusikan emisi dalam jumlah besar
2. Sumber Area, merupakan sumber emisi yang biasanya memiliki frekwensi emisi kecil namun jumlah aktivitasnya banyak. Sehingga nilai emisinya akan enjadi signifikan apabila terakumulasi.

3. Sumber Bergerak, sumber emisi yang bersifat mobile atau bergerak menempuh jarak tertentu, baik di jalan raya (on road) maupun non jalan raya (non road).

Kegiatan inventarisasi GRK, tidak hanya yang dilaksanakan di Kota Surakarta, tidak memungkinkan untuk memetakan sumber dan besaran emisi. Hal ini disebabkan karena pendekatan koleksi data adalah top down, menggunakan data bersifat general atau umum yang telah berwujud rekapitulasi data aktivitas terhubung pada estimasi emisi. Distribusi masing-masing sumber emisi tidak menjadi bagian yang tercantum dalam rekapitulasi tersebut. Oleh sebab itu, untuk inventarisasi GRK, IPCC menentukan kategori kuncinya sendiri yang berhubungan dengan pelaporan hasil. Kategori ini digunakan secara umum dalam pelaporan Inventarisasi GRK yaitu

1. Penggunaan energi

Pengadaan dan penggunaan energi, terkait dengan kegiatan produksi energi maupun penggunaan atau konsumsinya dalam aktivitas sehari-hari

2. Proses industri dan penggunaan produk dalam industri (IPPU)

Proses industri dan penggunaan produk, terkait dengan emisi dari suatu proses industri atau entropinya serta emisi akibat penggunaan produk tertentu dalam proses produksi, seperti penggunaan pelumas, wax, lilin dsb.

3. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU)

Kategori emisi terkait dengan emisi akibat aktivitas pertanian dan ikutannya (perkebunan, peternakan, pemupukan), emisi kehutanan (kebakaran lahan dan pengambilan kayu) serta emisi akibat fungsi lahan.

4. Pengelolaan limbah,

Emisi yang dihasilkan oleh pembuangan limbah (industri, rumah tangga maupun sampah padat) dan model pengelolaannya

Kategori kunci menjadi sumber yang harus diprioritaskan dalam pengelolaan emisi suatu wilayah. Kategori kunci juga bisa menggambarkan potensi rosot/serapa emisi lokal. Meskipun, kemampuan tersebut tentunya akan dominan dikontribusikan oleh ketersediaan vegetasi, khususnya dengan biomassa besar. Besar emisi pada kategori kunci akan menentukan total inventarisasi, pada aspek nilai mutlak, tren dan tingkat ketidakpastian. Analisis kategori kunci akan diperlukan untuk :

1. Membantu mengidentifikasi sumber emisi yang perlu mendapatkan prioritas dalam pelaksanaan program perbaikan kualitas data aktivitas maupun faktor emisi. Upaya

perbaikan difokuskan pada sumber yang sudah diidentifikasi sebagai kategori kunci

2. Membantu untuk mengidentifikasi sumber yang dalam perhitungan emisi perlu menggunakan metode dengan tingkat ketelitian (Tier) yang lebih tinggi
3. Membantu mengidentifikasi sumber mana yang perlu mendapatkan perhatian utama terkait dengan upaya pembuatan sistem penjamin dan pengendalian mutu data (QA/QC)

(Kementerian Lingkungan Hidup, 2011)

Terdapat dua pendekatan untuk melakukan analisis kategori kunci. Kedua pendekatan mengidentifikasi kategori kunci berdasarkan kontribusinya terhadap tingkat emisi nasional absolut dan tren dari emisi. Pendekatan pertama mengidentifikasi kategori kunci dengan menggunakan nilai batas emisi kumulatif. Kategori kunci adalah sumber emisi yang bersifat mutlak dan signifikan terhadap nilai kumulatif. Pendekatan kedua menentukan kategori kunci berdasarkan kontribusi terhadap nilai uncertainties. Pendekatan kedua membutuhkan ketersediaan data uncertainty dari emisi atau pada setiap parameter emisi.

E. Sumber data

Sumber data inventarisasi GRK Kota Surakarta adalah shareholders lingkungan setempat yang meliputi komponen : pemerintah, swasta, masyarakat dan akademisi. Hal tersebut sesuai dengan kesepakatan metode koleksi data yang dipilih untuk kegiatan ini yaitu *top down approach*. Kegiatan ini mengutamakan data sekunder yang telah diakui atau ppemerintah atau secara resmi digunakan dalam kegiatan legal serupa, baik berupa penelitian secara primer maupun *expert judgement*.

Tabel 2.1 Asumsi kontributor data aktivitas inventarisasi GRK

No	Kategori emisi	Sumber data
1	Penggunaan energi	Pertamina distribusi BYL, Badan Pusat Statistik, Disperindag
		PLN Surakarta
		Pertamina distribusi BYL, Dishub, KAI (pengelola St Balapan)
2	Proses dan penggunaan produk untuk industri	Badan Pusat Stastik, Disperindag Kota Surakarta
		Badan Pusat Statistik, Diskop Kota Surakarta, Disperindag, hasil penelitian primer

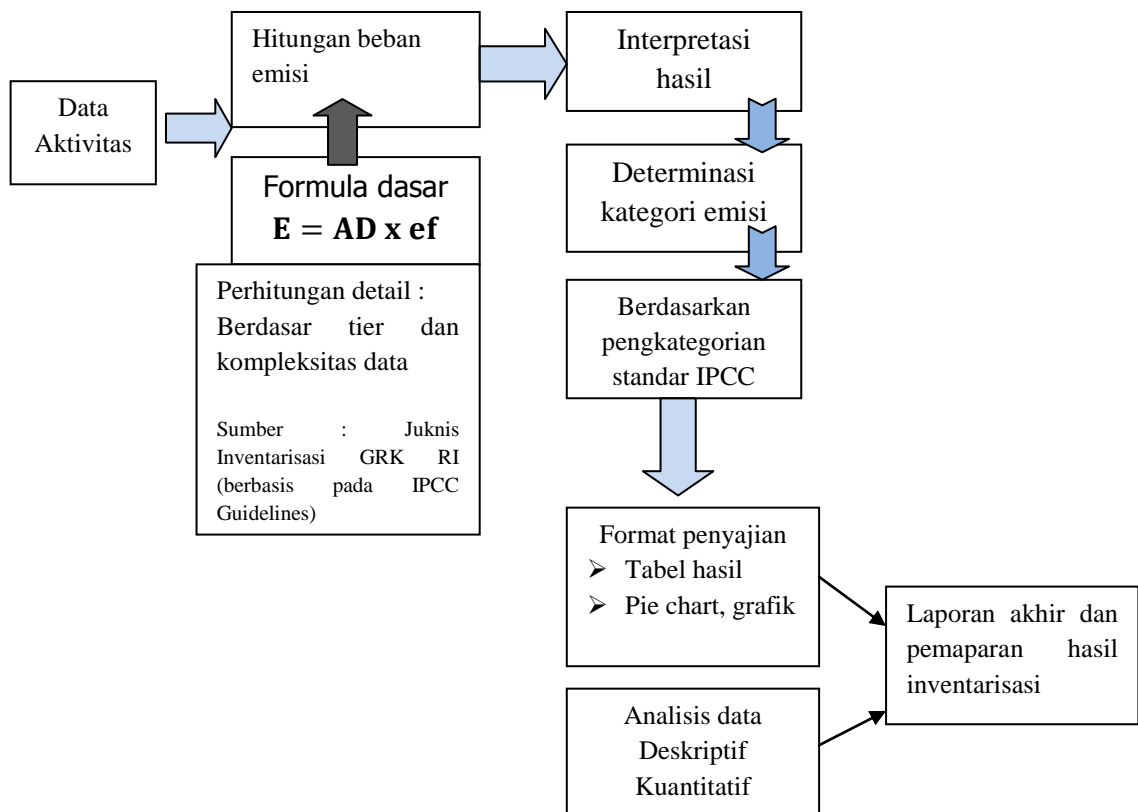
3	Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan	Dispertan, Badan Pusat Statistik
		Dispertan, Badan Pusat Statistik
		Bappeda, DLH Kota Surakarta
4	Pengelolaan limbah	Dinkes, STBM
		DLH Kota Surakarta

Sumber data tersebut tidak seluruhnya berada pada cakupan berskala Kota Surakarta. Beberapa sumber data merupakan badan atau instansi yang mencakup regional atau kawasan pelayanan. Sumber data lain merupakan badan atau program nasional yang menyediakan serta membuka data publiknya secara online.

F. Analisis dan interpretasi

Hasil dari pengumpulan data aktivitas pada tiap-tiap sumber emisi selanjutnya akan dihitung dengan perhitungan yang pada dasarnya bersumber pada formula dasar emisi untuk menentukan beban emisi yang dihasilkan. Perbedaan metode perhitungan akan bergantung pada tier perhitungan yang dipengaruhi oleh kompleksitas data. Perhitungan GRK secara khusus akan mengikuti panduan dari Petunjuk Teknis Inventarisasi Gas Rumah Kaca Kementerian Lingkungan Hidup RI (2011).

Nilai beban emisi selanjutnya akan ditampilkan berdasarkan kategori kunci, baik menurut IPCC maupun per pembagian sumbernya. Penyajian per-bagian pada laporan ini akan mengikuti determinasi emisi IPCC yaitu : pengadaan penggunaan energi; proses industri-penggunaan produk; pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan; serta pengelolaan limbah. Tampilan hasil dalam format tabel, pie chart, grafik (untuk tren) dan spasial (jika memungkinkan) untuk menunjukkan distribusi emisi. Untuk menunjukkan sajian hasil lebih mendetail, maka analisis sebaran emisi berdasarkan sumbernya juga akan ditampilkan.



Gambar 2.2 Analisis dan interpretasi hasil

BAB III

HASIL PERHITUNGAN EMISI DAN SERAPAN GAS RUMAH KACA (GRK)

A. Tingkat, Status dan Kecenderungan Emisi-serapan GRK

Perhitungan emisi gas rumah kaca (GRK) Kota Surakarta mengaplikasikan metode perhitungan berbasis pada data aktivitas dan faktor emisi. Data aktivitas mewakili kegiatan-kegiatan berkarakter lokal dengan potensi emisi signifikan. Koleksi data aktivitas dilaksanakan melalui pendekatan *top down approach*. Pendekatan koleksi data tersebut akan mengutamakan penggunaan data sekunder resmi dari pihak instansi pemerintah, maupun data-data kompeten lain dari instansi swasta, paguyuban dan *expert judgement*.

Tahun dasar data yang digunakan, sesuai dengan kesepakatan Dinas Lingkungan Hidup Kota Surakarta, adalah maksimum data tahun 2016 dengan mengupayakan semaksimal mungkin pemanfaatan data terbaru (2017). Alasan pemilihan tahun data dasar tersebut adalah ketersediaan dan kemudahan aksesibilitas data. Hal ini menjadi penting karena penentu utama keberhasilan kegiatan perhitungan emisi GRK adalah ketersediaan data aktivitas. Pertimbangan toleransi pemanfaatan data tahun 2016 karena tidak atau belum dilaksanakan estimasi emisi pada saat maupun pasca tahun tersebut hingga kegiatan ini dilaksanakan.

Mayoritas faktor emisi disitasi dari IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory* (2006), mencakup faktor untuk parameter karbondioksida (CO₂), metana (CH₄) dan nitrogen dioksida (N₂O) sesuai dengan target keluaran inventarisasi. Beberapa faktor emisi telah disediakan secara lokal, khusus untuk wilayah Indonesia seperti pada konsumsi listrik. Faktor lain menggunakan perhitungan faktor emisi baru seperti yang diaplikasikan pada estimasi emisi GRK pertanian. Detail penggunaan faktor emisi ditampilkan pada deskripsi masing-masing kategori dan sub-kategori emisi dalam laporan ini.

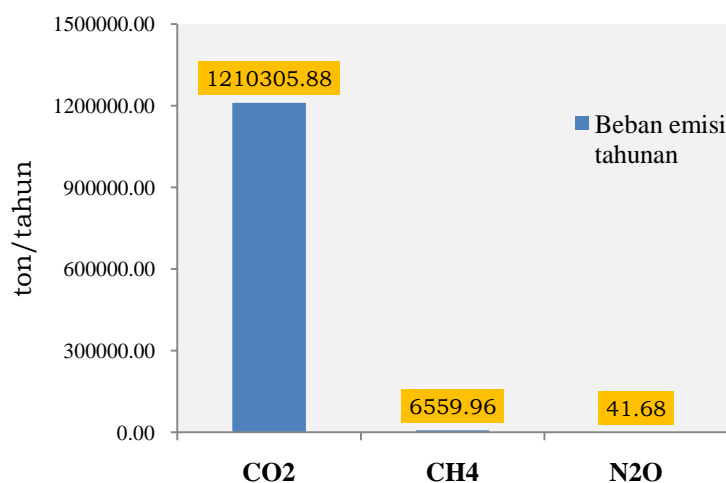
Berikut ini disajikan hasil estimasi GRK Kota Surakarta pada tahun 2018 secara umum (general review) berbasis pengkategorian dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) meliputi penggunaan energi (energy), proses dan penggunaan produk dalam industri (IPPU), pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU) serta pengelolaan limbah (waste).

Tabel 3.1 Hasil estimasi emisi Kota Surakarta tahun 2018

No	Kategori	Emisi (ton/tahun)			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ e
1	Penggunaan energi	1210022,64	123,70	15,37	1217385,04
2	Proses industri dan penggunaan produk	15,17	0,00	0,00	15,17
3	Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan	268,07	62,90	10,52	4754,61
4	Pengelolaan limbah	0,00	6373,37	15,78	138732,57
Total emisi GRK		1210305,88	6559,96	41,68	1360887,39

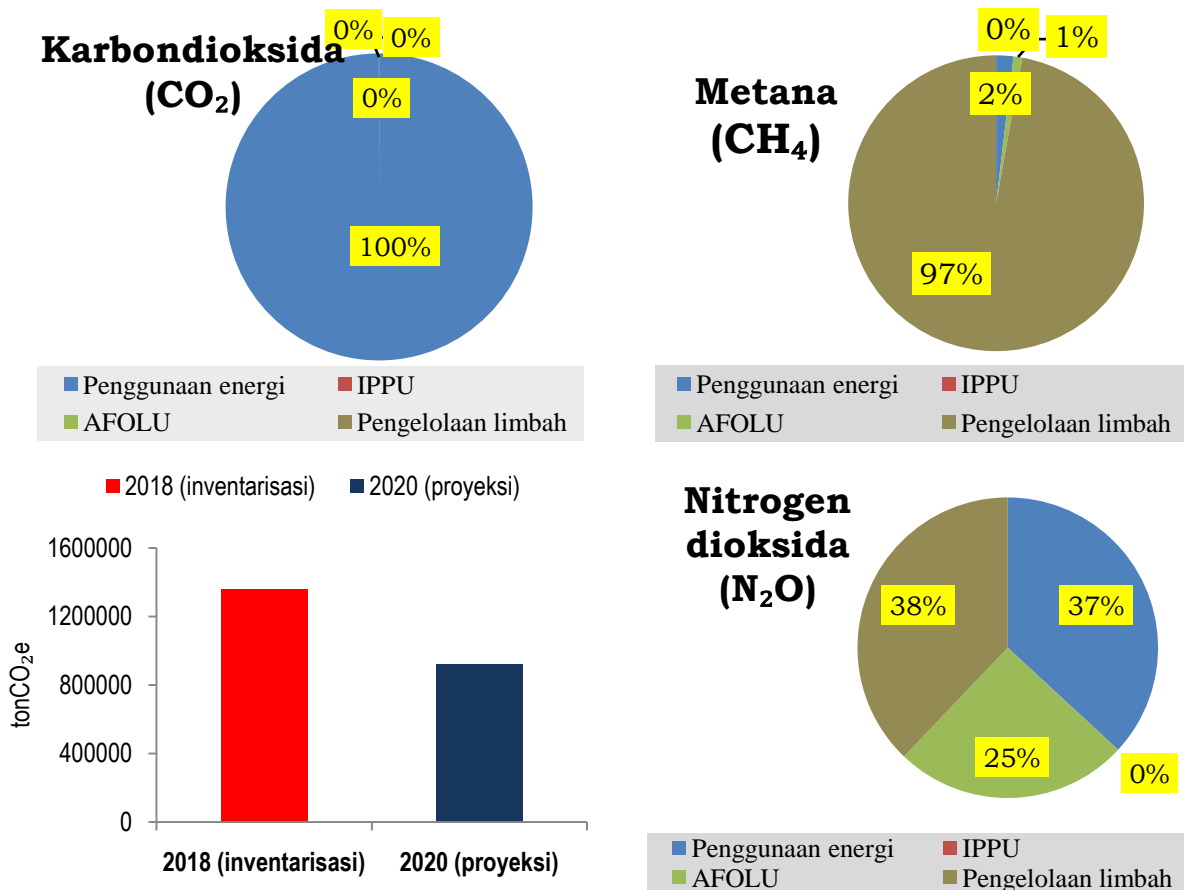
Sumber : perhitungan primer (2018)

Tren yang berlaku secara umum adalah dominasi pada emisi karbondioksida (CO₂). Hal tersebut juga terjadi di Kota Surakarta dengan nilai emisi CO₂ dominan secara signifikan dibandingkan parameter emisi lainnya. Nilai emisi karbondioksida pada estimasi tahun 2018 mencapai 1210304,88 tonCO₂/tahun, jauh lebih besar dibandingkan nilai emisi metana (6559,96 ton/tahun) dan nitrogen dioksida (41,68 ton/tahun).



Gambar 3.1 Perbandingan emisi per-parameter inventarisasi di Kota Surakarta

Berdasarkan kategori besar sumber emisi GRK, pada parameter karbondioksida didominasi mutlak oleh penggunaan energi (mendekati 100%). Hal ini wajar jika mengamati karakter perkotaan modern Surakarta dengan dominasi kegiatan pada bidang perdagangan, jasa dan pariwisata. Bidang-bidang kegiatan tersebut potensial mengkonsumsi bahan bakar fosil dalam jumlah yang besar, terutama untuk keperluan mobilitas melalui pemanfaatan beragam moda transportasi. Meski tidak adil dikomparasikan secara ilmiah, namun hasil estimasi GRK ini selaras dengan inventarisasi emisi dengan pendekatan bottom up pada 2014. Inventarisasi tersebut memunculkan fakta dominasi emisi oleh penggunaan bahan bakar sektor transportasi sejak tahun 2013.



Gambar 3.2 Komposisi kategori sumber pada setiap parameter emisi dan perbandingan hasil inventarisasi emisi GRK 2018 dengan proyeksi 2020 (dalam tonCO₂e)

Pertanian bukan merupakan kegiatan khas masyarakat Kota Surakarta, bahkan proporsi intensitas maupun luasan kegiatannya tergolong sangat terbatas dan minimal. Oleh sebab itu, pada kategori metana, sektor pertanian tidak mendominasi. Kontributor utama emisi metana di Kota Surakarta adalah sektor pengelolaan limbah, berasal dari pengelolaan limbah padat (sampah) maupun sanitasi domestik.

Parameter emisi nitrogen dioksida (N₂O) memunculkan komposisi emisi yang menarik karena terdapat tiga kategori yang berkontribusi emisi dalam jumlah yang nyaris seimbang. Kontributor utama emisi parameter ini adalah pengelolaan limbah (38%), khususnya dari aktivitas sanitasi domestik. Pada peringkat berikutnya adalah penggunaan energi (37%), khususnya dari proses pembakaran berbagai jenis bahan bakar fosil untuk kegiatan antropogenik. Kategori pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU) menyumbang N₂O lebih kecil (25%), apabila dibandingkan dengan keseluruhan kategori merupakan yang terkecil mengingat kategori proses industri dan penggunaan produk (IPPU) di Kota Surakarta hanya menghasilkan emisi karbondioksida.

Secara eksplisit terlihat jelas bahwa pada umumnya kategori kunci emisi GRK di Kota Surakarta adalah penggunaan energi. Hal ini terlihat dari dominasi kategori tersebut terhadap kategori lainnya pada masing-masing parameter inventarisasi, khususnya karbondioksida dan metana. Inventarisasi emisi baik pada parameter sama dengan inventarisasi GRK ini, maupun parameter lain yang lebih berdampak langsung pada kesehatan pernah dilakukan di Surakarta. Hanya saja, dokumentasi hasil inventarisasi GRK sebelumnya sulit diakses. Inventarisasi emisi pada 2014 memiliki metode pengumpulan data dan jenis sumber emisi berbeda, sehingga tidak obyektif untuk dapat dibandingkan secara langsung.

Salah satu metode obyektif untuk melihat kecenderungan emisi GRK Kota Surakarta adalah mengamati tren emisi pada detail kategori kunci, yaitu penggunaan energi. Secara garis besar, pemanfaatan bahan bakar fosil untuk kegiatan antropogenik di Kota Surakarta terus mengalami penambahan, meski tidak seluruhnya dalam jumlah signifikan. Satu fokus poin yang terdeteksi adalah ketergantungan yang begitu tinggi pada bahan bakar fosil oleh seluruh aktivitas antropogenik. Hal tersebut juga tidak diimbangi persepsi yang tepat dalam konsumsi bahan bakar maupun terhadap kepentingan lingkungan dari mayoritas masyarakat lokal. Deskripsi lebih mendetail akan disajikan pada pembahasan di setiap sub aktivitas kontributor emisi

Berdasarkan pendekatan kajian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa emisi GRK di Kota Surakarta mengalami kecenderungan meningkat. Kajian terhadap status sebenarnya tidak dapat dilakukan mengingat belum ditentukannya batasan standar atau baku mutu parameter emisi pada pendekatan analisis perhitungan (inventarisasi) Kajian status dapat dilakukan dengan pendekatan terhadap daya dukung dan daya tampung emisi yang ditampilkan dalam analisis emisi/serapan karbon akibat penggunaan lahan. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa emisi akibat penggunaan lahan di Kota Surakarta memiliki status telah melampaui daya dukung dan daya tampung lingkungan akibat penurunan faktor pengendali lamai yaitu ruang terbuka hijau serta ketersediaan vegetasi. Logika yang digunakan adalah apabila emisi akibat penggunaan lahan tidak mampu terserap kembali oleh siklus alamii lingkungan, maka emisi yang ditimbulkan akibat aktivitas antropogenik di dalamnya akan terbuang di atmosfer dan menjadi pencemaran tidak terkelola oleh alam.

Inventarisasi emisi GRK menjadi wahana untuk mengukur secara kuantitatif keberhasilan program-program yang telah disusun untuk menekan laju emisi GRK. Hal ini berkaitan dengan komitmen pemerintah Indonesia untuk menekan lanju emisi 29% (target

minimum) hingga 39% (target maksimum) pada tahun 2030, sesuai dengan dokumen NDC yang disampaikan ke IPCC pada 2016 lampau. Sayangnya,, untuk kawasan Kota Surakarta kondisi emisi GRK mengalami peningkatan signifikan ditandai dengan terlampauinya proyeksi emisi 2020 sebesar 917782 tonCO₂ ekuivalen berdasarkan hasil inventarisasi emisi tahun 2018. Nilai emisi GRK pada tahun 2018 telah mencapai 1360887,39 ton CO₂ ekuivalen, menunjukkan adanya pelampauan dan percepatan proyeksi hingga 400000 ton CO₂ pada tahun ini.

B. Pengadaan dan penggunaan energi

Perkembangan kehidupan manusia di bumi memunculkan dua permasalahan utama yang saling berkaitan, yaitu : pertumbuhan penduduk dan penambahan kebutuhan akibat ledakan populasi. Untuk memenuhi kebutuhannya, manusia melakukan beragam kegiatan yang terus berkembang maju dan kompleks mengikuti modernitas ilmu pengetahuan. Pada satu sisi, ragam aktivitas yang makin maju berhasil memenuhi ekpektasi ketercukupan kebutuhan manusia, meski belum seutuhnya merata. Namun, pada sisi berbeda, upaya pemenuhan kebutuhan terbukti mendorong manusia bersikap antropogenik dan abai terhadap lingkungan.

Setiap aktivitas membutuhkan energi, dan penggunaan energi akan memunculkan entropi (Hukum Termodinamika II). Entropi ini berwujud sebagai pencemaran pada lingkungan. Kondisi ini menjadikan penggunaan dan perubahan energi menjadi pemicu utama bagi pencemaran, termasuk pencemaran udara. Pada dunia modern dan masyarakat perkotaan, biasanya penggunaan energi akan terpusat pada beberapa aktivitas seperti transportasi, industri dan komersial. Penggunaan energi dalam hal ini berwujud sebagai bahan bakar atau penggerak mesin, didominasi oleh dampak energi yang dibakar untuk aktivitas tertentu.

Konteks inventarisasi GRK, yang dimaksud pembakaran bahan bakar adalah oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik pada suatu proses (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Artinya adalah inventarisasi ditinjau dari pemahaman emisi umum dilakukan pada emisi yang dihasilkan pada proses stokiometris yang melibatkan mesin-mesin atau metode mekanis buatan manusia. Emisi yang dihasilkan secara alami berupa proses enzimatik tidak disertakan dalam perhitungan.

Referensi dalam IPCC Guidelines (2006) menjelaskan bahwa pada sebuah emisi pembakaran energi, terdapat tiga tipe gas utama yang dihasilkan yaitu CO₂, CH₄ dan N₂O. Gas emisi yang dominan dihasilkan tentunya berupa karbondioksida (CO₂). Setiap pembakaran sempurna pada karbon akan menghasilkan karbondioksida. Emisi karbondioksida tidak banyak dipengaruhi oleh teknologi pembakaran. Karakter yang berbeda dengan emisi CH₄ dan N₂O yang signifikan dipengaruhi oleh teknologi pembakaran yang diaplikasikan. Gas gas non karbondioksida terkadang ikut dihasilkan, namun dalam jumlah yang kecil dan nilainya jauh di bawah karbondioksida. Oleh sebab itu, analisis terhadap emisi GRK dari kategori pembakaran akan lebih tepat guna jika dilakukan berdasarkan jumlah atau konsentrasi karbondioksida yang diemisikan.

Menurut IPCC Guidelines (2006) yang disitasi oleh Pedoman Inventarisasi Emisi GRK Kementerian Lingkungan Hidup (2012), sumber emisi pada inventarisasi GRK dibagi 3 yaitu :

1. Emisi pembakaran bahan bakar, telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya
2. Emisi fugitive kegiatan produksi dan penyediaan bahan bakar. Merupakan emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi di lapangan. Umumnya terjadi pada kegiatan pertambangan energi, produksi dan pengolahan bahan bakar dan penyaluran melalui pipa-pipa khusus.
3. Emisi dari pengangkutan dan injeksi CO₂ pada kegiatan kegiatan CO₂ di formasi geologi. Kegiatan ini belum ada dan belum akan diadakan dalam waktu dekat di wilayah Indonesia, sehingga emisinya dapat diabaikan.

Melalui ketiga kategori tersebut akan dapat dispesifikan lagi ke dalam aktivitas aktivitas masyarakat yang lebih umum dan mudah dijelaskan.

Profil aktivitas sosial ekonomi masyarakat Surakarta menjadi elemen penting dalam menggambarkan konsumsi energi lokal. Masyarakat Surakarta merupakan komunitas yang sebagian besar menggantungkan kehidupan perekonomiannya pada sektor perdagangan, jasa dan pariwisata. Salah satu ciri khas wilayah Kota Surakarta adalah statusnya sebagai pusat kegiatan perekonomian dan pelayanan bagi kawasan hinterland di sekitarnya. Hal tersebut menjadi penanda penting bagi analisis atau kajian emisi lokal sebab menimbulkan dampak signifikan pada keseluruhan nilai emisi.

Status Surakarta sebagai pusat kegiatan kawasan yang dikenal dengan akronim “Subosukowonosraten (Surakarta, Boyolali, Sukoharjo, Wonogiri, Sragen dan Klaten)”

berkonsekuensi pada intensitas komuter (penglajo) yang tinggi. Kondisi tersebut diperparah dengan lokasi mayoritas pemukiman pekerja lokal yang berada di luar wilayah administratif, sehingga menambah trayek perjalanan yang berimbas pada peningkatan konsumsi bahan bakar transportasi. Dinas Perhubungan, Komunikasi dan Informasi Surakarta pada 2014 menyatakan adanya penambahan beban lalu lintas lebih dari tiga kali lipat pada jam-jam kerja yang dipastikan selaras dengan penambahan beban emisi pada waktu tersebut.

Kota Surakarta tidak menjadi pusat kegiatan industri dengan jumlah industri besar yang terbatas dan sebagian diantaranya merupakan kantor-kantor perwakilan/distribusi sehingga tidak memiliki aktivitas industri di dalamnya. Industri Kota Surakarta banyak didominasi oleh industri kecil dan rumah tangga, dengan sebagian besar adalah industri tekstil dan produk-produk penyokong kegiatan jasa pariwisata.

Kota Surakarta tidak memiliki pembangkit energi dalam wilayah administratifnya, sehingga emisi sektor energi secara keseluruhan dikontribusikan oleh penggunaan energi. Secara mendetail, sub kegiatan pada sektor penggunaan energi di Kota Surakarta meliputi : transportasi (jalan raya dan kereta api), industri, perdagangan , domestik dan konsumsi listrik. Berikut adalah hasil estimasi emisi penggunaan energi di Kota Surakarta

Tabel 3.2 Estimasi emisi kategori penggunaan energi di Kota Surakarta

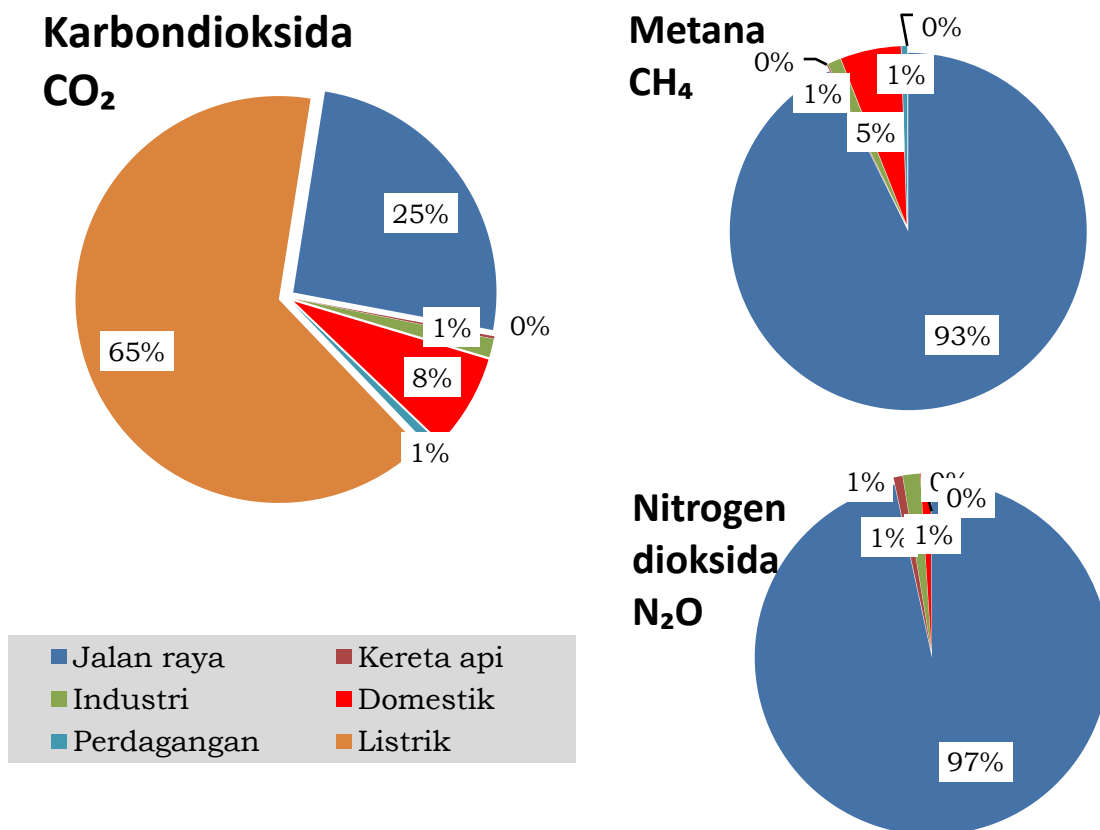
No	Sub Kegiatan	Nilai emisi (ton/tahun)		
		CO2	CH4	NO2
1	Transportasi			
a	Jalan raya	308107,00	122,00	15,00
b	Kereta api	2414,62	0,13	0,13
2	Industri	17706,71	1,57	0,24
3	Domestik	90882,42	7,20	0,14
4	Perdagangan	8751,61	0,69	0,01
5	Konsumsi Listrik	782160,27	0,00	0,00
Total Emisi Penggunaan Energi		1210022,64	123,70	15,37

Sumber : perhitungan primer (2018)

Secara keseluruhan, kategori penggunaan energi berkontribusi emisi karbondioksida sebesar 1210022,64 ton/tahun, metana sebesar 123,70 ton/tahun dan nitrogen dioksida sebesar 15,37 ton/tahun. Kontributor emisi utama pada penggunaan energi adalah konsumsi listrik. Nilai emisi konsumsi listrik mencapai 782160,27 tonCO₂/tahun, setara dengan 65% karbondioksida kategori penggunaan energi. Meski demikian, emisi pada konsumsi listrik hanya bersifat bangkitan tidak langsung oleh masyarakat karena ketiadaan

pembangkit listrik, sehingga tidak terjadi pembakaran langsung di wilayah administratif Kota Surakarta.

Mengabaikan konsumsi listrik, maka kontributor emisi utama kategori energi adalah transportasi jalan raya. Aktivitas tersebut berkontribusi 25% karbondioksida atau setara dengan 308107 ton/tahun (72% apabila tanpa listrik), 93% metana (122 ton/tahun) dan 97% nitrogen dioksida (15 ton/tahun).



Gambar 3.3 Komposisi emisi GRK pada kategori penggunaan energi berdasarkan aktivitas spesifik

1. Transportasi (jalan raya dan kereta api)

Transportasi jalan raya atau *mobile source on road* dianggap sebagai salah satu sumber emisi GRK utama pada masyarakat modern. Hal ini tidak terlepas dari peningkatan mobilitas masyarakat untuk melakukan beragam aktivitas terutama terkait dengan kegiatan antropogenik atau pemenuhan kebutuhan manusia. Kebutuhan mobilitas cenderung dipenuhi dengan kepemilikan kendaraan pribadi. Akibatnya jumlah kendaraan pribadi pada suatu wilayah meningkat pesat dari tahun ke tahun.

Kota Surakarta memiliki dua moda transportasi utama yaitu jalan raya dan kereta api. Transportasi jalan raya merupakan moda utama, baik dalam kota maupun kegiatan komuter (perjalanan antar kota dalam jarak relatif dekat). Transportasi kereta api menjadi moda mobilitas darat utama, khususnya untuk jarak menengah dan jauh.

Masalah klasik emisi pada transportasi jalan raya adalah penggunaan moda kendaraan pribadi yang besar. Kota Surakarta telah memiliki transportasi publik modern dengan kuantitas dan kualitas memadai berupa Batik Solo Trans yang didukung oleh armada angkot yang berperan sebagai *feeder*. Meskipun demikian, transportasi publik tersebut cenderung kurang diminati oleh masyarakat karena dipandang tidak sesuai dengan pola kehidupan bertransportasi lokal yang sejak lama bergantung pada moda pribadi. Masyarakat lokal tampak membutuhkan waktu untuk menyesuaikan diri dan menggemari moda transportasi publik tersebut.

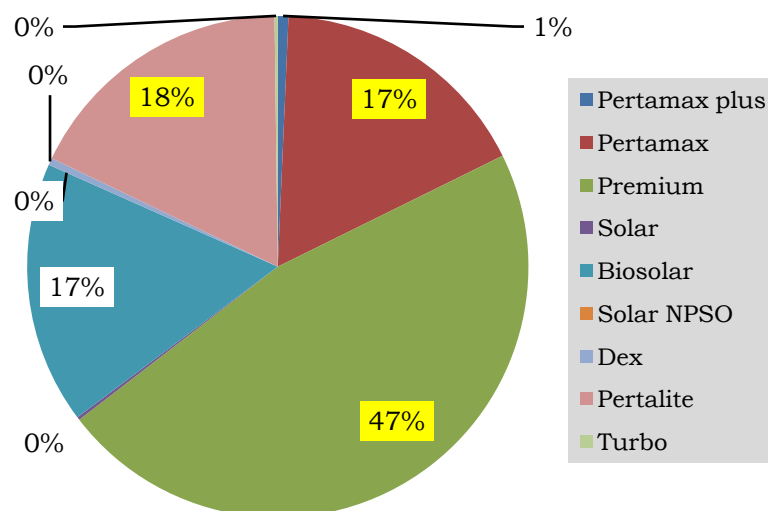
Estimasi emisi GRK pada sektor transportasi jalan raya diperhitungkan berbasis pada penggunaan (konsumsi) bahan bakar atau dalam petunjuk teknis IPCC dikenal sebagai metode penjualan bahan bakar. Berikut adalah data penjualan bahan bakar transportasi Kota Surakarta sebagai data aktivitas

Tabel 3.3 Penjualan bahan bakar transportasi Kota Surakarta tahun 2016

No	Jenis bahan bakar	Konsumsi (kL)
1	Pertamax plus	904
2	Pertamax	22504
3	Premium	61936
4	Solar	264
5	Biosolar	22368
6	Solar NPSO	0
7	Dex	597
8	Pertalite	23376
9	Turbo	272

Sumber : Pertamina (2017)

Secara umum, hanya bahan bakar cair yang didistribusikan untuk transportasi di Kota Surakarta yaitu gasoline (bensin) dan automotive diesel (solar). Berdasarkan detail merek pasar, jenis bahan bakar dengan penjualan tertinggi adalah premium, pertalite dan pertamax.



Gambar 3.4 Komposisi penjualan tipe bahan bakar transportasi di Kota Surakarta

Dominasi ketiga tipe tersebut (seluruhnya tergolong sebagai gasoline) mengindikasikan tingginya angka penggunaan kendaraan pribadi. Hal ini disebabkan karena ketiga tipe bahan bakar tersebut identik dengan beragam jenis kendaraan pribadi, berupa sepeda motor maupun mobil. Berdasarkan jenis bahan bakar dikonsumsi, nyaris seluruhnya berupa bahan bakar fosil. Hanya terdapat sedikit penggunaan bahan bakar cair non fosil yaitu biosolar.

Kereta api merupakan moda transportasi publik dengan karakter berbeda dan lebih ramah lingkungan karena efisiensi bahan bakar terhadap kapasitas pengangkutan dalam satu trayek. Berdasarkan data yang diperoleh, setidaknya terdapat total 104 trayek perjalanan kereta api dari, menuju dan melintas wilayah administratif Kota Surakarta. Pembagiannya adalah 81 perjalanan kereta penumpang, 21 kereta barang dan 2 kereta langsiran. Kereta api menggunakan satu tipe bahan bakar yaitu diesel (LSD) dengan rasio 2,5 l/km. Perhitungan emisi akan memanfaatkan jarak lintas kereta di wilayah Kota Surakarta dengan lintasan terpanjang mencapai 12,646 km dan terpendek 2,197 km.

Perhitungan emisi membutuhkan data aktivitas yang dikonversi menjadi kalor (GJ) dengan memanfaatkan nilai net calorific value (NCV) yang berlaku dalam standar internasional pada masing-masing jenis bahan bakar. Selain itu, perhitungan emisi juga mengaplikasikan faktor emisi yang disediakan dari petunjuk teknis IPCC (2006). Berikut adalah detail net calorific value dan faktor emisi tersebut

Tabel 3.4 Net calorific value (NCV) dan faktor emisi aktivitas transportasi

No	Jenis Bahan Bakar	NCV (GJI)	Faktor emisi (kg/TJ)			Keterangan
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
1	Gasoline	0,0348	69300	10	0,6	IPCC, 2006 untuk sumber bergerak
3	Diesel	0,0387	74100	10	0,6	IPCC, 2006 untuk sumber bergerak
4	Biodiesel	0,0387	74100	10	0,6	IPCC, 2006 untuk sumber bergerak

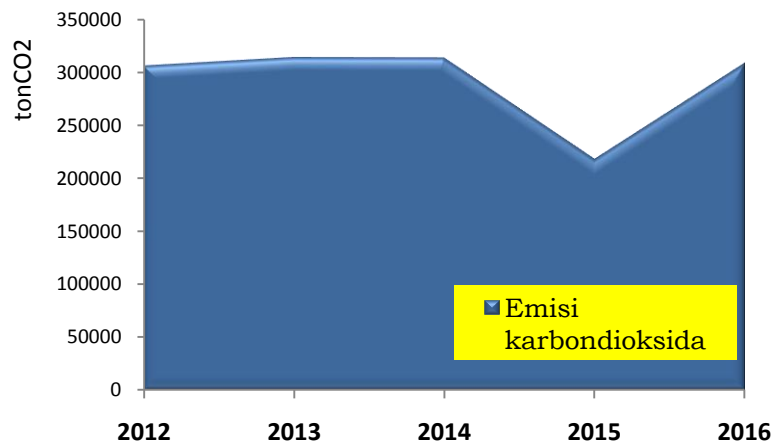
Berikut adalah hasil perhitungan emisi sektor transportasi jalan raya Kota Surakarta berbasis metode penjualan bahan bakar dengan mengaplikasikan data aktivitas dan faktor emisi.

Tabel 3.5 Emisi aktivitas transportasi jalan raya Kota Surakarta tahun 2018

No	Kategori	Estimasi emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Transportasi jalan raya	308107,00	122,00	15
2	Kereta api	2414,62	0,13	0,13
Total Emisi transportasi		310521,62	122,13	15,13

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Keseluruhan emisi transportasi mencapai 310521,62 tonCO₂/tahun, 122,13 tonCH₄/tahun dan 15,13 tonN₂O/tahun. Sebanyak lebih dari 90% berasal dari transportasi jalan raya yang menunjukkan beban lingkungan besar dikontribusikan oleh masifnya pertumbuhan jumlah kendaraan dan intensitas mobilitas manusia. Faktor pendorong tingginya nilai transportasi jalan raya adalah : (1) intensitas penggunaan kendaraan pribadi yang tinggi, (2) nilai kebutuhan mobilitas antarwilayah, (3) keengganan memanfaatkan fasilitas transportasi publik dan (4) dominasi bahan bakar fosil tidak ramah lingkungan sebagai sumber energi utama transportasi.



Gambar 3.5 Tren emisi CO₂ transportasi jalan raya Kota Surakarta pada 2012-2016

Tren emisi transportasi jalan raya Kota Surakarta berbasis pada penjualan bahan bakar menggambarkan nilai yang cenderung mengalami peningkatan meski tidak signifikan. Tren ini akan bergantung pada jumlah atau kuota bahan bakar yang disediakan untuk pelayanan sebuah kota. Ketika kuota berkurang, maka dipastikan emisi akan menurun. Hal tersebut tampak pada penurunan emisi karbondioksida transportasi jalan raya Kota Surakarta pada tahun 2015.

Model estimasi emisi dengan memanfaatkan ketersediaan data penjualan bahan bakar tergolong sebagai perhitungan Tier I. Kelemahan pendekatan hitung ini adalah akurasi yang lemah karena kesederhanaan dan keterbatasan data aktivitas yang digunakan. Nilai emisi pada metode tersebut praktis sepenuhnya bergantung pada penjualan dan kuota bahan bakar sebuah kota dan cenderung mengabaikan faktor lain yang potensial mempengaruhi. Bagi Kota Surakarta faktor yang terabaikan antara lain adalah jarak antar wilayah administratif yang berhimpitan dan intensitas komuter. Kedua hal tersebut memungkinkan nilai pembelian bahan bakar di wilayah lain dan kemudian diemisikan di wilayah Surakarta relatif tinggi. Artinya basis hitungan Tier I dengan metode penjualan bahan bakar akan cenderung memunculkan estimasi beban emisi transportasi jalan raya yang *underrated* atau berada di bawah nilai senyatanya.

2. Industri

Industri menjadi salah satu kontributor utama emisi GRK pada era modern, terutama pada kawasan kawasan dengan intensitas kegiatan industri yang masif. Nilai emisi industri bisa menjadi sangat tinggi berkaitan dengan masifnya penggunaan energi berbagai jenis bahan bakar pada beragam peralatan. Seringkali, untuk memenuhi tuntutan kebutuhan dan target produksi, peralatan tersebut digunakan dalam intensitas harian yang sangat tinggi hingga mengkonsumsi energi yang besar

Kota Surakarta tidak banyak memiliki industri besar dan dominan oleh industri berskala kecil dan rumah tangga. Mempertimbangkan fakta tersebut, koleksi data berbasis *top down* kemungkinan tidak mampu menggambarkan potensi keseluruhan emisi karena tidak terdata lengkapnya industri kecil dan rumah tangga. Secara umum, karakter Kota Surakarta bukan merupakan wilayah industri.

Potensi emisi pada kegiatan industri terbagi dua yaitu (1) *combustive emission* yang menjadi hasil sampingan (entropi) pembakaran atau penggunaan bahan bakar dan (2) *fugitive emission* sebagai dampak dari proses industri dan penggunaan produk di dalamnya. Emisi

industri yang diperhitungkan dalam kategori penggunaan energi adalah emisi yang tergolong pada kelompok *combustive emission*.

Berdasarkan data dari Bappeda Kota Surakarta (2017) terdapat 7 kelompok industri menengah dan besar di Surakarta meliputi : makanan, tekstil, pakaian jadi, percetakan dan repro, karet-barang karet dan plastik, furniture dan industri lainnya. Berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan pada industri-industri tersebut, setidaknya terdapat konsumsi bensin, solar, kerosen, batubara, liquified petroleum gas (LPG) dan liquified natural gas (LNG). Berikut adalah data aktivitas pemakaian bahan bakar pada setiap kelompok industri di Kota Surakarta

Tabel 3.6 Data aktivitas industri Kota Surakarta

Kelompok industri	Konsumsi/jenis bahan bakar					
	Bensin (l)	Solar (l)	Kerosen (l)	Batubara (ton)	LPG (ton)	LNG (ton)
Makanan	6470	193076	0	0	104,98	0
Tekstil	3960	185970	1255	4805,57	23,54	0
Pakaian jadi	20628	42551	0	0	2,65	0
Percetakan dan repro	80768	14450	515	0	0,17	0
Karet, barang karet&plastik	75154	330195	0	0	0	0
Furniture	110766	17236	0	0	2,20	3,50
Lainnya	64220	174245	1500	0	118,08	0
Total	361966	957723	3270	4805,57	251,62	3,50

Sumber : Bappeda Kota Surakarta (2017)

Berikut adalah nilai kalor bersih (net calorific value) dan faktor emisi yang diaplikasikan dalam perhitungan emisi industri Kota Surakarta.

Tabel 3.7 Net calorific value (NCV) dan faktor emisi aktivitas industri

No	Jenis Bahan Bakar	NCV*	Faktor emisi (kg/TJ)			Keterangan
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
1	Gasoline	0,0348	69300	3	0,6	IPCC (2006) Vol 2 Chapter 2 Stationary Combustion category manufacture industry
2	Diesel	0,0387	74100	3	0,6	IPCC (2006) Vol 2 Chapter 2 Stationary Combustion category manufacture industry
3	Kerosene	0,0431	71900	3	0,6	IPCC (2006) Vol 2

						Chapter 2 Stationary Combustion category manufacture industry
4	Batubara	29,307	94600	10	1,5	IPCC (2006) Vol 2 Chapter 2 Stationary Combustion category manufacture industry
5	LPG	46,7	63100	1	0,1	IPCC (2006) Vol 2 Chapter 2 Stationary Combustion category manufacture industry
6	LNG	53,6	64200	3	0,6	IPCC (2006) Vol 2 Chapter 2 Stationary Combustion category manufacture industry

*Keterangan untuk satuan NCV, bahan bakar cair (gasoline, diesel dan kerosen) dalam GJ/l, bahan bakar padat (batubara) dan gas (LPG dan LNG) dalam GJ/t

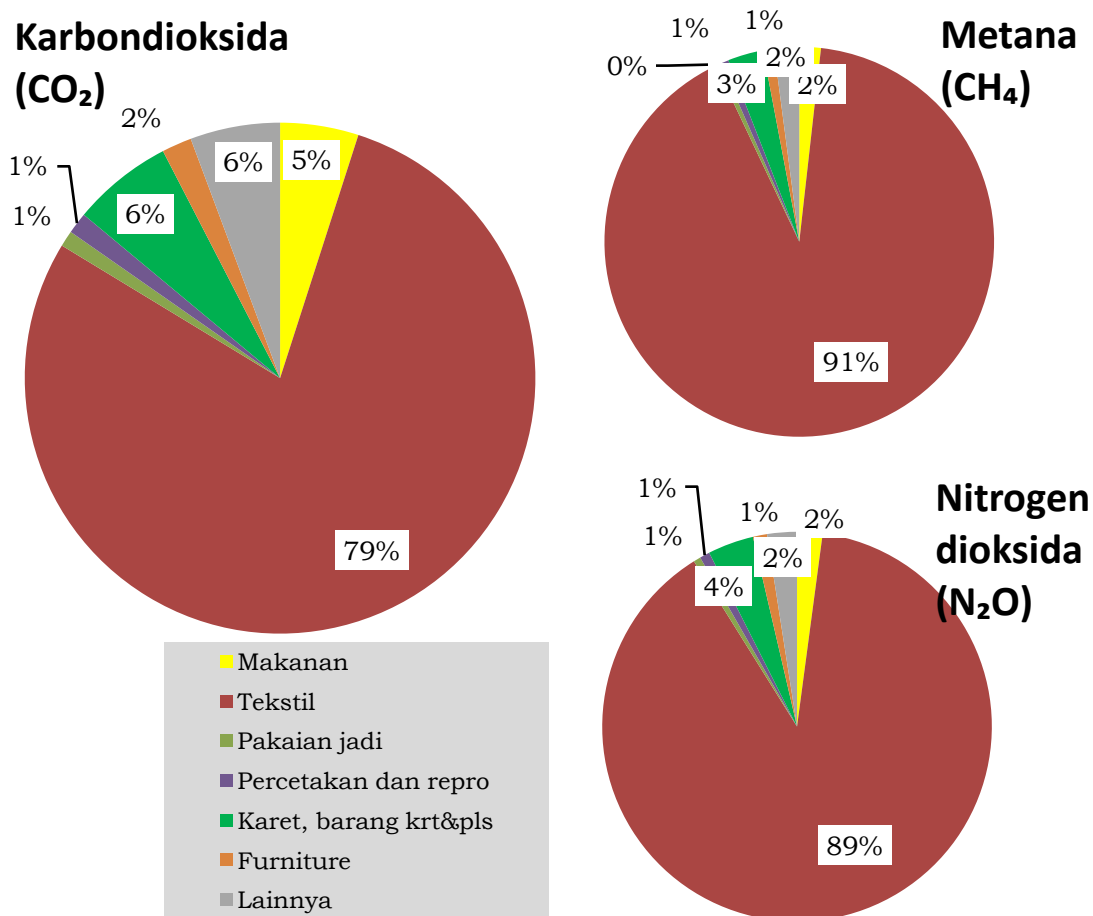
Menggunakan ketersediaan data aktivitas, net calorific value (NCV) dan faktor emisi maka dapat diperhitungkan emisi industri di Kota Surakarta berdasarkan pengelompokan industri dan jenis bahan bakar sebagai berikut

Tabel 3.8 Emisi industri Kota Surakarta tahun 2018 berdasarkan kelompok industri

No	Kelompok industri	Estimasi emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Makanan	878,65	0,03	0,01
2	Tekstil	13939,55	1,43	0,22
3	Pakaian jadi	179,59	0,01	0,00
4	Percetakan dan repro	238,39	0,01	0,00
5	Karet, barang karet&plastik	1128,19	0,05	0,01
6	Furniture	335,16	0,01	0,00
7	Lainnya	1007,20	0,03	0,01
Total emisi industri		17706,71	1,57	0,24

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Hasil estimasi emisi menunjukkan beban emisi karbondioksida dari aktivitas industri mencapai 17706,71 ton/tahun, metana mencapai 1,57 ton/tahun dan nitrogen dioksida mencapai 0,24 ton/tahun. Tinjauan dari kelompok industri menunjukkan industri tekstil sebagai kontributor utama emisi untuk kesemua parameter. Hal tersebut didorong oleh dominasi aktivitas industri tekstil di Surakarta mencakup kuantitas maupun intensitasnya. Nilai emisi industri tekstil pada keseluruhan parameter mencapai $\geq 79\%$.



Gambar 3.6 Komposisi emisi industri berdasarkan kelompok industri di Kota Surakarta

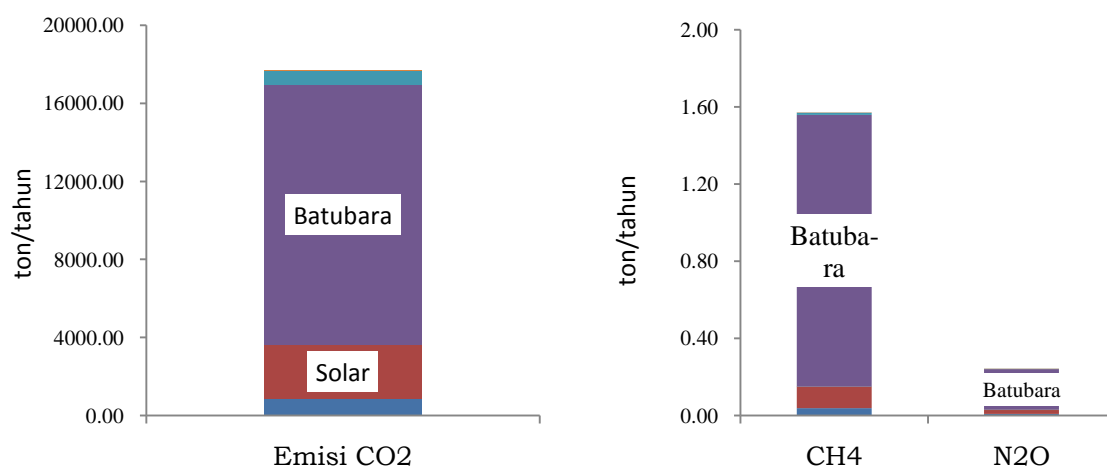
Berdasarkan *pie chart* pada gambar 3.6, setidaknya saat ini terdapat 4 kelompok industri kontributor emisi utama di Surakarta. Keempatnya meliputi industri tekstil, aneka industri (lain-lain), karet-barang karet dan plastik serta makanan. Meskipun demikian, dominasi emisi adalah pada industri tekstil.

Tabel 3.9 Emisi industri Kota Surakarta tahun 2018 berdasarkan jenis bahan bakar

No	Kelompok industri	Estimasi emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Bensin	873,18	0,04	0,01
2	Solar	2746,43	0,11	0,02
3	Kerosen	10,13	0,00	0,00
4	Batubara	13323,44	1,41	0,21
5	LPG	741,48	0,01	0,00
6	LNG	12,04	0,00	0,00
Total emisi industri		17706,71	17706,71	1,57

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Emisi pembakaran dari sebuah proses konsumsi bahan bakar tidak selalu selaras dengan jumlahnya, terutama ketika bahan bakar yang dimanfaatkan beraneka ragam. Tinjauan dari jumlah konsumsi (tabel 3.6) menunjukkan solar dan bensin merupakan dua jenis bahan bakar dengan konsumsi tertinggi (957,723 kL dan 361,966 kL). Meskipun demikian, hasil perhitungan emisi menunjukkan nilai emisi kedua tipe bahan bakar tersebut berada jauh di bawah emisi yang dihasilkan oleh penggunaan batubara.



Gambar 3.7 Komposisi emisi industri berdasarkan jenis bahan bakar dikonsumsi

Berdasarkan perhitungan, nilai emisi batubara mencapai 75,25% dari keseluruhan karbondioksida industri, 89,70% keseluruhan emisi metana industri dan 87,14% keseluruhan emisi nitrogen dioksida industri. Hal ini disebabkan karena emisi yang dihasilkan dari setiap penggunaan kalor batubara (kg/TJ) lebih besar dibandingkan jenis bahan bakar lainnya. Ditilik dari kalor bersih yang dihasilkan, maka penggunaan bahan bakar batubara tidak lebih efisien dibandingkan LPG (29,307 GJ/t).

Data NCV menunjukkan nilai kalor batubara paling rendah untuk setiap ton yang terbakar. Artinya membutuhkan lebih banyak batubara untuk mencapai kalor yang setara dengan 1 ton LPG. Ditinjau dari faktor emisinya, batubara juga merupakan bahan bakar yang paling tidak ramah lingkungan. Menghasilkan jumlah CO₂, CH₄ dan N₂O terbesar dari setiap GJ yang dihasilkan daripada bahan bakar lain yang sama sama digunakan di sektor industri. Bahan bakar dengan emisi terendah atau paling ramah lingkungan adalah LPG. Namun, ditinjau dari aspek ekonomisnya, kemungkinan batubara merupakan solusi ekonomis terbaik untuk kebutuhan bahan bakar dalam jumlah yang besar pada sub sektor industri tertentu.

3. Bahan bakar memasak

Penggunaan bahan bakar untuk kebutuhan dasar manusia yaitu pemenuhan kebutuhan primer pangan menjadi salah satu bagian krusial dalam memperhitungkan beban emisi suatu wilayah. Kebutuhan bahan bakar memasak dapat dikelompokkan pada dua kelompok utama yaitu sektor domestik (rumah tangga) dan perdagangan.

Informasi pemerintah setempat menyatakan bahwa pada sektor rumah digunakan jenis bahan bakar tunggal untuk kepentingan memasak yaitu LPG. Pemasalan penggunaan LPG dinyatakan telah tuntas mencapai seluruh rumah tangga (100%) Kota Surakarta pada tahun 2012. Oleh sebab itu, estimasi emisi bahan bakar memasak sektor domestik hanya akan memperhitungkan konsumsi LPG saja.

Kondisi serupa berlaku pada sektor perdagangan. Data top down yang tersedia dan dapat diakses hanyalah penggunaan LPG. Meskipun, pada kenyataannya untuk sektor perdagangan teramati penggunaan bahan bakar kayu atau limbah kayu dan arang. Jenis-jenis tersebut umumnya ditemukan pada usaha restoran dan pedagang kaki lima (PKL). Sayangnya, data konsumsi tahunan pada jenis bahan bakar tersebut (kayu dan arang) tidak terdokumentasi baik di instansi pemerintah maupun paguyuban terkait. Secara umum, berikut adalah paparan permasalahan dalam perhitungan bahan bakar memasak pada sektor domestik maupun perdagangan.

- a. Tidak terdatanya beberapa jenis bahan bakar khas pada sektor perdagangan seperti kayu, limbah kayu dan arang yang sesungguhnya memiliki potensi emisi lebih signifikan dibandingkan LPG.
- b. Tumpang tindih pemanfaatan bahan bakar antar sektoral domestik dan perdagangan yang menyulitkan pembatasan perhitungan emisi
- c. Ketidakpastian tinggi pada sumber pembelian atau distributor LPG masyarakat di wilayah Kota Surakarta karena jarak antar wilayah kabupaten/kota yang saling berhimpitan. Kondisi ini beresiko memunculkan hitungan yang *underrated*.

Estimasi emisi bahan bakar memasak sektor domestik dan industri menerapkan pendekatan perhitungan Tier I yang hanya mengaplikasikan jumlah konsumsi LPG untuk diperhitungkan bersama faktor emisi. Berikut ini adalah data aktivitas bahan bakar memasak kategori domestik dan perdagangan Kota Surakarta.

Tabel 3.10 Data aktivitas bahan bakar memasak sektor domestik dan perdagangan

No	Sektor	Jenis LPG	Konsumsi (ton/tahun)
1	Domestik	LPG 3 kg	25358,886
		LPG 12 kg	5080,776
		Bright Gas 12 Kg	322,992
		Bright Gas 5,5 kg	78,716
Total konsumsi LPG domestik			30841,37
2	Perdagangan	LPG 50 kg	2969,9
Total konsumsi LPG perdagangan			2969,9
Total konsumsi LPG domestik+perdagangan			33811,27

Sumber : Pertamina (2017)

Konsumsi LPG oleh masyarakat pada umumnya akan memanfaatkan LPG tabung 3 kg, 12 kg, tabung bright gas 12 kg dan 5,5 kg; sedangkan untuk konsumsi perdagangan dispesifikkan pada penggunaan LPG tabung 50 kg. Meskipun, tidak menutup kemungkinan dan kerap kali terdapat usaha perdagangan yang juga memanfaatkan LPG dengan berat < 50 kg.

Total konsumsi LPG untuk rumah tangga (domestik) mencapai 30841,37 ton/tahun yang menjadi angka wajar bagi sebuah kawasan perkotaan skala kecil-menengah. Jumlah tersebut setara dengan konsumsi perorang mencapai 4,99 kg/bulan (asumsi jumlah penduduk 2016 sebesar 514171 jiwa), mengalami peningkatan dari 4,20 kg/bulan pada tahun sebelumnya. Total konsumsi LPG untuk perdagangan mencapai 2969,8 ton/tahun atau kurang dari 10% konsumsi domestik. Keseluruhan konsumsi LPG untuk keperluan memasak pada sektor domestik maupun perdagangan mencapai 33811,27 ton/tahun.

Net calorific value dan faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan emisi bahan bakar memasak sektor domestik dan perdagangan adalah sebagai berikut

Tabel 3.7 *Net calorific value* (NCV) dan faktor emisi aktivitas industri

No	Jenis Bahan Bakar	NCV (GJ/t)	Faktor emisi (kg/TJ)			Keterangan
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
1	LPG	46,7	63100	5	0,1	IPCC (2006) Vol 2 Chapter 2 Stationary Combustion category residential

Memanfaatkan ketersediaan data aktivitas, net calorific value dan faktor emisi, maka dapat diperhitungkan estimasi emisi untuk bahan bakar memasak sektor domestik (rumah tangga) dan perdagangan dengan hasil sebagai berikut.

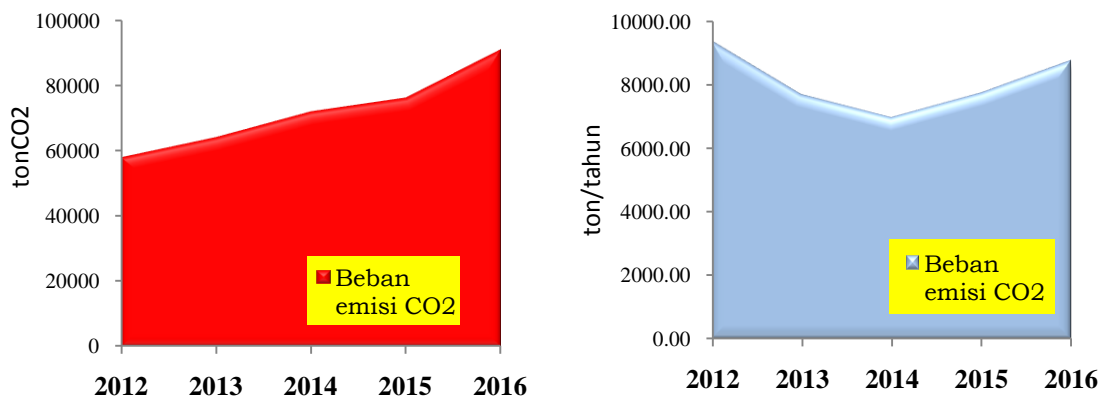
Tabel 3.8 Estimasi emisi sektor domestik dan perdagangan Kota Surakarta tahun 2018

No	Sektor	Jenis/tipe LPG	Estimasi emisi (ton/tahun)		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Domestik	LPG 3 kg	74726,80	5,92	0,12
		LPG 12 kg	14971,88	1,19	0,02
		Bright Gas 12 Kg	951,78	0,08	0,00
		Bright Gas 5,5 kg	231,96	0,02	0,00
Total emisi domestik			90882,42	7,20	0,14
2	Perdagangan	LPG 50 kg	8751,61	0,69	0,01
Total emisi perdagangan			8751,61	0,69	0,01
Emisi domestik + perdagangan			99634,04	7,89	0,16

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Keseluruhan beban emisi dari konsumsi LPG sebagai bahan bakar sektor domestik dan perdagangan pada parameter karbondioksida mencapai 99634,04 ton/tahun, metana mencapai 7,89 ton/tahun dan nitrogendioksida mencapai 0,16 ton/tahun. Mayoritas diantaranya dikontribusikan oleh aktivitas domestik dengan nilai emisi karbondioksida mencapai 90882 ton/tahun. Hal ini wajar karena konsumen rumah tangga memiliki jumlah lebih besar dan intensitas penggunaan konsisten.

Berdasarkan tren emisi, terjadi peningkatan pada periode 2012-2016 untuk emisi karbondioksida LPG domestik. Nilainya bahkan dapat dikatakan signifikan pada satu tahun terakhir. Hal tersebut didorong oleh nilai konsumsi yang terus bertambah akibat tuntutan pertumbuhan populasi dan perubahan gaya hidup pada masyarakat perkotaan. Perubahan gaya hidup menyebabkan LPG tidak hanya digunakan sebagai bahan bakar memasak, namun juga kepentingan lain dalam rumah tangga seperti pemanas air.



Gambar 3.8 Tren emisi karbondioksida pada konsumsi LPG domestik dan perdagangan periode 2012-2016

Pada perdagangan, emisi karbondioksida akibat konsumsi LPG cenderung berfluktuatif dan sempat mengalami penurunan pada periode 2012-2014. Nilai tersebut mengalami tren peningkatan pada 2014-2016 meski belum mencapai titik tertinggi seperti tercatat pada tahun 2012. Perubahan konsumsi LPG perdagangan tentu akan dipengaruhi oleh permintaan pasar dan pembatasan kuota LPG ukuran tersebut (50 kg) pada sebuah wilayah.

Meskipun cenderung mengalami peningkatan, terutama pada pemakaian domestik, LPG tetap menjadi pilihan ramah lingkungan saat ini. Nilai ekuivalen emisi LPG tergolong paling rendah dibandingkan jenis bahan bakar lain yang juga pernah dimanfaatkan pada sektor domestik seperti minyak tanah dan kayu. Kelebihan LPG adalah memiliki *net calorific value* yang tinggi sehingga memungkinkan efektivitas lebih baik dalam sebuah proses pembakaran.

4. Konsumsi Listrik

Konsumsi listrik menjadi salah satu aktivitas yang masuk sebagai kategori penggunaan energi. Energi listrik merupakan sumber energi yang dominan digunakan oleh hampir seluruh masyarakat maupun sektor kegiatan. Pertambahan populasi, rumah tangga, jenis aktivitas dan frekwensinya mendorong peningkatan konsumsi listrik oleh masyarakat.

Pada kasus Kota Surakarta, konsumsi listrik merupakan bentuk bangkitan emisi secara tidak langsung. Artinya, emisi konsumsi listrik tidak terjadi pada wilayah inventarisasi, karena ketiadaan pembangkit listrik, namun aktivitas yang berlangsung di dalam kota tersebut membangkitkan potensi emisi pembangkit listrik pada lokasi lain. Hal ini secara tersirat bermakna bahwa konsumsi listrik kota diinventarisasi memiliki andil dalam menyebabkan emisi di kawasan pembangkit. Tidak terjadi pembakaran (*combustion*) dari aktivitas konsumsi listrik Surakarta, hanya pembangkitan potensi emisi di wilayah lain yang memiliki pembangkit.

Salah satu alasan tetap diperhitungkannya konsumsi listrik meskipun tidak terdapat fasilitas pembangkit adalah sifat dampak emisi yang global. Konsumsi listrik dari bangkitan tidak langsung hanya akan memperhitungkan emisi karbondioksida (CO₂). Perhitungan emisi dari konsumsi listrik tergolong dalam pendekatan tier II karena selain menggunakan data aktivitas lokal, juga mengaplikasikan faktor emisi Indonesia. Faktor emisi tersebut bersumber dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang terupdate pada 2014 senilai 0,823 tonCO₂/MWh. Berikut adalah data konsumsi listrik Kota Surakarta pada setiap sektor kegiatan pada tahun 2017.

Tabel 3.9 Konsumsi listrik sektoral Kota Surakarta tahun 2017

No	Sektor konsumsi	Konsumsi (MWh/tahun)
1	Rumah tangga	337082
2	Industri	222792
3	Sosial	85017
4	Bisnis	258610
5	Kantor	14150
6	Penerangan Jalan	32726
Total konsumsi Kota Surakarta		950377

Sumber : PLN Surakarta (2018)

Menggunakan data aktivitas konsumsi listrik Kota Surakarta dan faktor emisi lokal, dapat diperhitungkan emisi konsumsi listrik dengan hasil sebagai berikut :

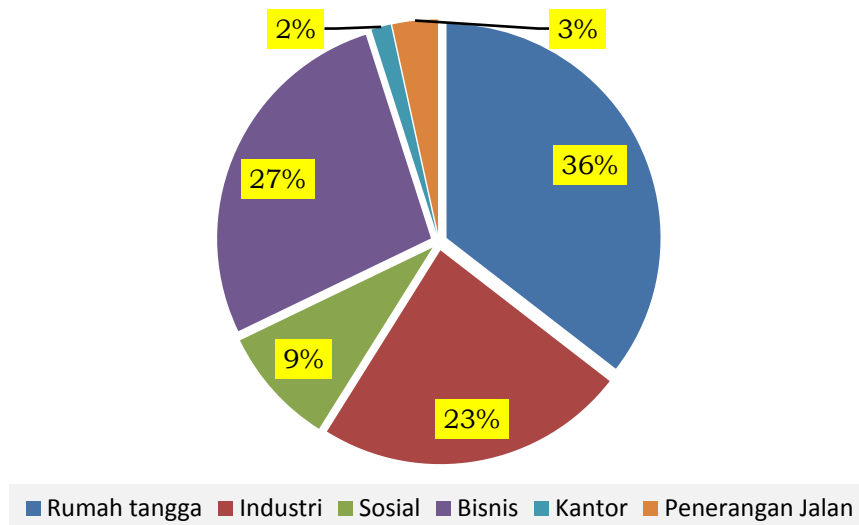
Tabel 3.10 Estimasi emisi konsumsi listrik Kota Surakarta tahun 2018

No	Sektor konsumsi	Emisi (tonCO ₂ /tahun)
1	Rumah tangga	277418,486
2	Industri	183357,816
3	Sosial	69968,991
4	Bisnis	212836,03
5	Kantor	11645,45
6	Penerangan Jalan	26933,498
Total emisi konsumsi listrik Kota Surakarta		782160,271

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Total emisi yang dibangkitkan dari konsumsi listrik Kota Surakarta pada tahun 2017 adalah 782160 tonCO₂/tahun. Konsumsi listrik senantiasa memunculkan nilai tertinggi pada inventarisasi emisi GRK modern, khususnya untuk wilayah perkotaan. Kondisi ini tidak terlepas dari dominasi listrik sebagai sumber energi utama peralatan modern dengan ketergantungan tinggi dari aktivitas antropogenik modern.

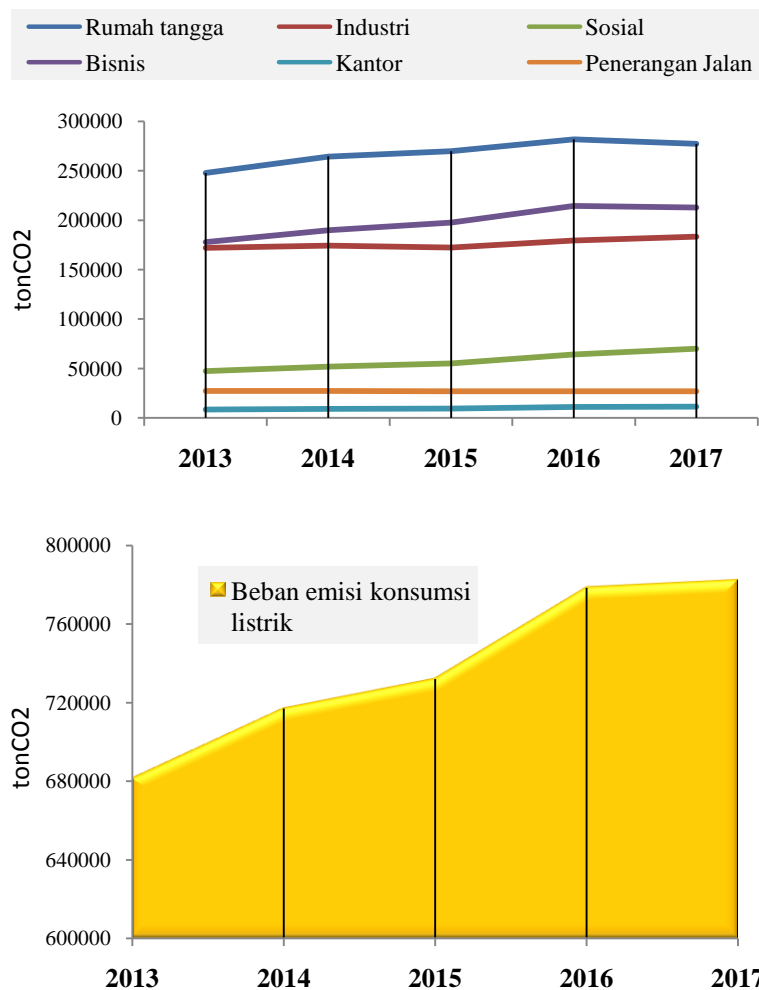
Memiliki nilai emisi karbondioksida terbesar tidak serta-merta membuat konsumsi listrik menjadi sebuah kategori kunci dalam mitigasi emisi suatu wilayah. Hal ini tergantung pada keberadaan pembangkit atau pembakaran langsung dari pengadaan listrik di wilayah tersebut. Ketika tidak terdapat pembangkit listrik, maka upaya untuk mereduksi emisi hanya dapat dilakukan melalui himbauan, kampanye, aturan maupun penerapan green architecture yang dapat megupayakan penghematan pemakaian listrik.



Gambar 3.9 Komposisi sektoral kontributor emisi konsumsi listrik Kota Surakarta

Tinjauan sektoral menunjukkan kontributor emisi konsumsi listrik di Kota Surakarta didominasi oleh tiga sektor yaitu rumah tangga (36%), bisnis (27%) dan industri (23%). Munculnya sektor domestik sebagai kontributor terbesar menjadi wajar karena kuantitas dan intensitas penggunaannya yang tinggi dan konsisten. Pertumbuhan jumlah kepemilikan peralatan elektronik dan ketergantungan masyarakat pada jenis-jenis peralatan tersebut berperan penting dalam menentukan peningkatan konsumsi listrik secara signifikan.

Sektor bisnis menjadi kontributor tertinggi kedua seturut dengan karakter perekonomian Surakarta yang didominasi oleh aktivitas perdagangan, jasa dan wisata yang tergolong dalam sektor bisnis. Intensitas aktivitas tersebut terus mengalami peningkatan selaras dengan penambahan kebutuhan sebagai dampak pertumbuhan populasi maupun tuntutan gaya hidup antropogenik. Kontributor tertinggi ketiga adalah sektor industri sebagai dampak konversi sumber energi peralatan pendukung menjadi peralatan listrik.



Gambar 3.10 Tren emisi listrik sektoral (atas) dan keseluruhan (bawah) Kota Surakarta periode 2013-2017

Tren emisi karbondioksida bangkitan listrik di Kota Surakarta secara keseluruhan terus mengalami peningkatan meskipun pada tahun terakhir (2016-2017) rasionya melambat. Hal tersebut menggambarkan ketergantungan dan level kebutuhan listrik masyarakat yang terus meningkat. Jika ditilik secara sektoral, rumah tangga dan bisnis mengalami peningkatan signifikan pada periode 2013-2017. Konsumsi listrik relatif stagnan terjadi pada penerangan jalan umum (PJU) dan perkantoran.

Peningkatan bangkitan listrik dari tahun ke tahun menjadi kampanye buruk bagi lingkungan, pada aspek upaya reduksi emisi maupun pemanfaatan sumber daya mineral. Opini ini berkaitan erat dengan jenis bahan bakar yang umum digunakan untuk mengadakan energi listrik tersebut. Kota-kota tanpa pembangkit listrik mungkin saja saat ini tidak mendapat dampak emisi langsung akibat ketiadaan proses pembakaran pada wilayahnya,

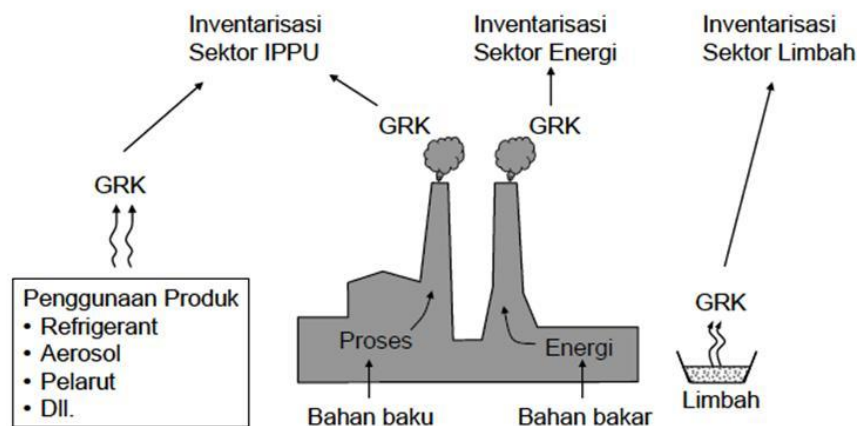
namun dampak negatif tersebut dipastikan akan terjadi secara global dan dalam jangka lebih panjang.

C. Proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU)

Beban emisi dari kategori proses industri dan penggunaan produk atau IPPU (*industrial processes and product uses*) membahas mengenai kegiatan kegiatan yang masuk dalam kelompok :

- Emisi GRK yang terjadi selama proses proses / reaksi kimia industri yang tidak berkaitan dengan pembangkitan atau penggunaan energi
- Penggunaan dan pemanfaatan gas GRK dalam proses industri, dan
- Penggunaan bahan bakar dalam proses industri yang tidak terkait dengan penyediaan atau penggunaan energi

(Kementerian Lingkungan Hidup, 2011)



Gambar 3.11 Penjelasan pengelompokan emisi GRK pada proses industri menurut kategori kunci IPCC (sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2011).

Pada bagian sebelumnya telah dijabarkan bahwa Kota Surakarta bukan merupakan wilayah dengan dominasi aktivitas industri menengah dan besar. Keberadaan industri menengah dan besar jumlahnya terbatas. Hal tersebut didorong salah satunya oleh faktor ketersediaan ruang. Luas wilayah administratif Surakarta yang hanya mencakup 44,04 km² tidak menyediakan ruang luas bagi kebutuhan industri besar.

Emisi kategori proses industri dan penggunaan produk (IPPU) pada dasarnya mengestimasi emisi kegiatan industri non-bahan bakar. Beragam industri berproses dengan memanfaatkan bahan atau material pendukung seperti pelumas dan wax (lilin). Beberapa industri spesifik menggunakan lebih banyak bahan atau material kimia dalam industrinya.

Pada dasarnya seluruh penggunaan produk maupun proses yang berlangsung akan melibatkan mekanisme pembakaran non-bahan bakar yang potensial berkontribusi emisi ke atmosfer.

Kota Surakarta dengan dominasi utama pada industri tekstil dan makanan (berdasarkan data penggunaan energi) secara sekilas memunculkan dua produk pendukung industri potensial yaitu pelumas dan wax (lilin). Pendataan yang saat ini tersedia adalah terkait jumlah pelumas industri menengah dan besar. Data terkait penggunaan wax (lilin/parafin) tidak terdokumentasi. Penggunaan bahan wax seharusnya cukup signifikan bila meninjau tekstil sebagai industri dominan. Salah satu industri tekstil khas Surakarta adalah batik yang dipastikan akan mengkonsumsi wax sebagai bagian proses produksinya. Hanya saja, skala industri batik tradisional Kota Surakarta mayoritas adalah skala kecil-rumah tangga yang kemungkinan menyulitkan pendataan secara lengkap terhadap proses dan bahan baku industri.

Tabel 3.11 Estimasi emisi kategori proses industri dan penggunaan produk di Kota Surakarta tahun 2018

No	Kategori	Emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Penggunaan pelumas	15169,01	0	0
Total emisi GRK		15169,01	0	0

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Mengingat ketersediaan data hanya pada penggunaan pelumas industri, maka perhitungan kategori ini hanya melibatkan data tunggal tersebut. Berdasarkan perhitungan hanya diperoleh emisi karbondioksida dari penggunaan pelumas. Nilai emisi tersebut mencapai 15196 tonCO₂/tahun. Nilai tersebut dapat dikatakan tidak signifikan apabila dibandingkan dengan emisi yang diproduksi oleh penggunaan energi pada sektor industri.

1. Pelumas

Pelumas digunakan di keseluruhan industri pengolahan yang menjadi obyek inventarisasi emisi GRK. Pelumas tidak bersifat kebutuhan primer dalam industri seperti bahan bakar. Namun, penyediaan dan pemakaian pelumas akan turut menjamin kelangsungan mekanisme produksi berkaitan dengan operasional mesin-mesin industri.

Data aktivitas penggunaan pelumas Kota Surakarta diperoleh dari Bappeda (2017). Data tersebut telah dibagi dalam 7 kelompok industri setempat, seperti pada konsumsi bahan bakar. Berikut adalah data penggunaan pelumas industri di Kota Surakarta.

Tabel 3.12 Data aktivitas konsumsi pelumas industri Kota Surakarta berdasarkan kelompok industri

No	Kelompok industri	Konsumsi (l/tahun)	Konsumsi (ton/tahun)
1	Makanan	3097	2907,773
2	Tekstil	8096	7601,334
3	Pakaian jadi	1328	1246,859
4	Percetakan dan repro	4305	4041,965
5	Karet, barang karet&plastik	4788	4495,453
6	Furniture	3800	3567,82
7	Lainnya	1963	1843,061
Total konsumsi pelumas		27377	25704,27

Sumber : Bappeda (2017)

Konsumsi pelumas akan berkaitan dengan jumlah peralatan atau mesin yang diberdayakan dalam sebuah proses produksi. Sehingga, konsumsi pelumas pada umumnya tidak berkorelasi kuat dengan jumlah unit industri. Pada konsumsi Kota Surakarta. Secara keseluruhan dalam rentang tahun 2016 mengkonsumsi 27,377 kL pelumas atau setara dengan 25704,37. Kelompok industri dengan konsumsi pelumas terbesar adalah tekstil (8,096 kL/tahun) diikuti oleh kelompok karet-barang jaret dan plastik (4,788 kL/tahun) dan percetakan-repro (4,305 kL). Ketiga kelompok industri tersebut terindikasi memiliki peralatan yang cukup banyak dan kompleks. Hal ini tentu saja memperkuat identifikasi kategori kunci (key categories) untuk penyempurnaan inventarisasi di masa depan.

Perhitungan emisi pelumas mengaplikasikan faktor konversi, net calorific value dan konstanta spesifik sebagai substitusi faktor emisi. Oleh sebab itu, perhitungan emisi karbondioksida pelumas tergolong sebagai pendekatan hitung Tier II. Berikut adalah konstanta pendukung perhitungan

Tabel 3.13 Faktor konversi, net calorific value dan konstanta hitung emisi pelumas

No	Sumber emisi	Faktor konversi (kg/l)	NCV (GJ/ton)	Kandungan karbon (kgC/GJ)	Faktor ODU	CO ₂ /C rasio massa
1	Pelumas	0,9389	40,2	20	0,2	3,67

Sumber data : Bappeda (2017), faktor konversi dari Canada Statistics, Canada Government (2015)

Berikut adalah hasil perhitungan emisi pelumas Kota Surakarta berdasarkan pembagian kelompok industri

Tabel 3.14 Estimasi emisi penggunaan pelumas industri Kota Surakarta tahun 2018

No	Kelompok industri	Emisi (tonCO ₂ /tahun)
1	Makanan	1,72
2	Tekstil	4,49
3	Pakaian jadi	0,74
4	Percetakan dan repro	2,39
5	Karet, barang karet&plastik	2,65
6	Furniture	2,11
7	Lainnya	1,09
Total emisi penggunaan pelumas		15,17

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Hasil perhitungan menunjukkan emisi dari penggunaan pelumas di Kota Surakarta memiliki nilai yang kecil yaitu 15,17 tonCO₂/tahun. Nilai tersebut terutama dikontribusikan oleh tekstil (4,49 tonCO₂/tahun) diikuti oleh industri karet, barang karet dan plastik, percetakan serta furniture dengan jumlah masing-masing emisi tidak berbeda signifikan. Hasil hitungan emisi pelumas memiliki pola berbeda dengan konsumsi bahan bakar. Nilai emisi pada IPPU (penggunaan pelumas) tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah industri namun lebih dipengaruhi oleh kompleksitas peralatan yang digunakan.

D. Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan Lahan (AFOLU)

Kategori AFOLU umumnya menjadi kontributor utama emisi metana, terutama pada kawasan dengan ciri khas agraris yang kuat atau didominasi oleh lahan pertanian. Emisi dari sektor pertanian dihasilkan oleh aktivitas peternakan, pengolahan tanah, pengolahan lahan hingga penggunaan pupuk, terutama pupuk urea. Peternakan menjadi kegiatan komplementer pada masyarakat agraris. Peternakan dan pertanian memiliki keterkaitan simbiosis yang saling mendukung dan menguntungkan sehingga biasanya intensitas keduanya akan saling selaras.

Beban emisi dari sektor kehutanan umumnya disebabkan oleh terjadinya kebakaran hutan baik karena kesengajaan (untuk keperluan pembukaan lahan) maupun faktor bencana alam (musim panas, kekeringan). Beban emisi dari penggunaan lahan adalah emisi alami yang dihasilkan oleh suatu peruntukkan lahan yang dihitung secara berkala dari tahun ke tahun, mengikuti dinamika perubahannya dengan memperhitungkan stok karbon pada masing-masing peruntukan.

Kota Surakarta memiliki profil non-agraris dengan sebagian besar masyarakat beraktivitas pada sektor antropogenik modern seperti : jasa, perdagangan dan pariwisata.

Kondisi tersebut diperkuat dengan fakta terbatasnya luas lahan pertanian dan perkebunan lahan kering. Surakarta tidak memiliki kawasan hutan primer maupun sekunder. Adapun hutan kota merupakan kawasan bervegetasi sempit yang ditetapkan statusnya melalui peraturan pemerintah setempat, namun secara fungsi ekologis kawasan tersebut jelas memiliki peran jauh di bawah hutan yang sebenarnya. Kondisi tersebut menyebabkan potensi emisi sektor agrikultural dan kehutanan di Kota Surakarta akan bernilai minimal. Penggunaan lahan menyiratkan bahwa daya dukung alami terhadap emisi karbon kemungkinan telah terlampaui sehingga tidak lagi mampu berperan sebagai penyerap bahkan akan turut berkontribusi emisi ke atmosfer.

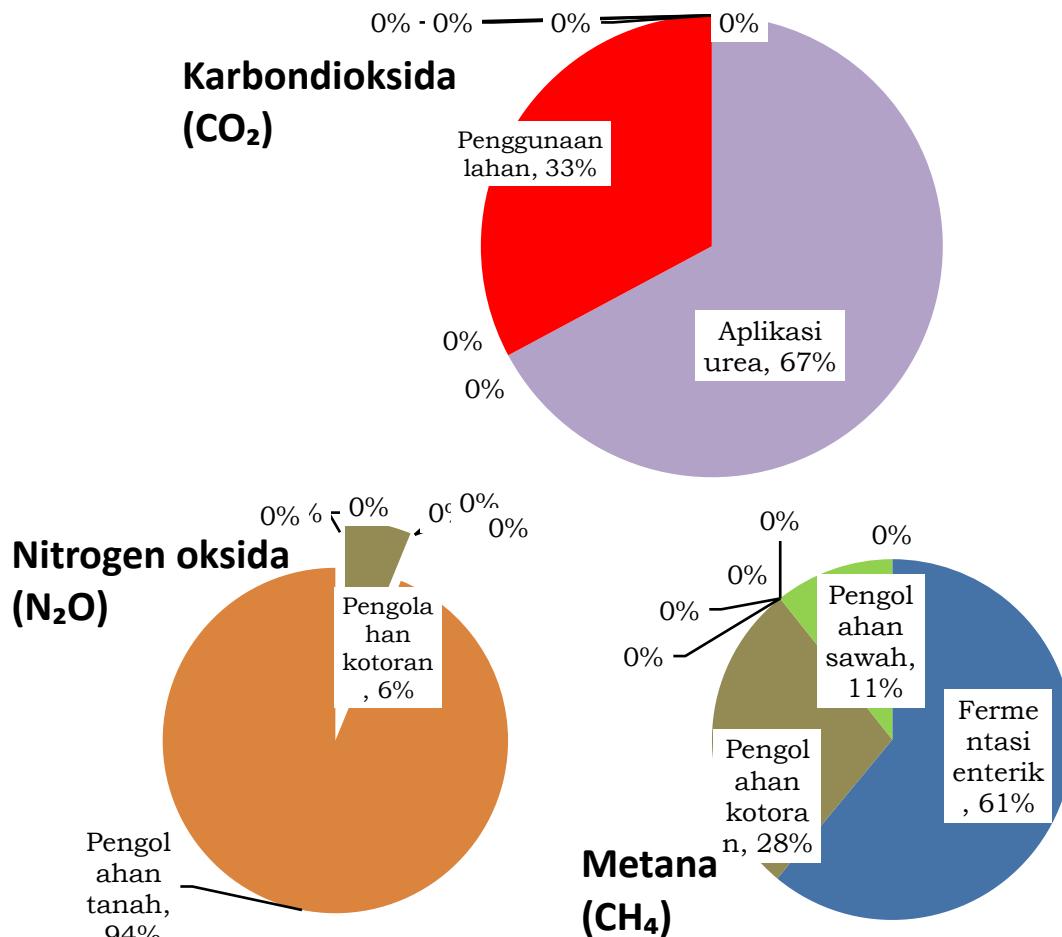
Tabel 3.15 Estimasi emisi kategori pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU) Kota Surakarta tahun 2018

No	Sub Kegiatan	Nilai emisi (ton/tahun)		
		CO2	CH4	NO2
1	Peternakan			
a	Fermentasi enterik	0,00	38,37	0,00
b	Pengolahan kotoran	0,00	17,80	0,65
2	Pertanian			
a	Pembakaran biomass	0,00	0,00	0,00
b	Aplikasi kapur	0,00	0,00	0,00
c	Aplikasi urea	180,07	0,00	0,00
d	Pengolahan tanah	0,00	0,00	9,87
e	Pengolahan sawah	0,00	6,73	0,00
3	Penggunaan lahan	88,00	0,00	0,00
Total AFOLU		268,07	62,90	10,52

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Kalkulasi terhadap keseluruhan sub kegiatan dalam kategori AFOLU memunculkan variasi kontributor utama dominan pada masing-masing parameter inventarisasi. Pada parameter karbondioksida, kontributor utama emisi adalah aplikasi urea (67%) dan penggunaan lahan (33%). Pada parameter metana kontributor utama emisi berturut-turut adalah fermentasi enterik (61%), pengolahan kotoran (28%) dan pengolahan sawah (11%). Pada parameter notrogendioksida kontributor utama adalah pengolahan tanah (94%) dan pengolahan kotoran (6%). Variasi kontributor utama pada masing-masing parameter menunjukkan ragam aktivitas yang tinggi pada AFOLU memiliki kekhasan masing-masing pada emisi yang dihasilkan. Secara umum, karbondioksida masih menjadi parameter dengan

jumlah terbesar yaitu 268,07 ton/tahun, diikuti oleh metana dengan 62,90 ton/tahun dan paling kecil adalah emisi nitrogen dioksida dengan (10,52 ton/tahun).



Gambar 3.12 Komposisi kontributor emisi AFOLU pada setiap parameter

1. Peternakan

Pada dasarnya, perhitungan emisi aktivitas peternakan bergantung pada jumlah ternak dalam jangka satu tahun. Ternak dikelompokkan dalam dua grup utama yaitu non unggas dan unggas. Perhitungan emisi CH₄ peternakan dibagi dua yaitu emisi fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran. Emisi fermentasi enterik khusus diperhitungkan untuk hewan memamah biak atau ruminansia (non-unggas) sedangkan emisi pengelolaan kotoran untuk keseluruhan jenis ternak. Emisi pengelolaan kotoran akan memanfaatkan pengelompokkan jenis ternak. Penentuan jumlah ternak tahunan pada unggas akan memperhitungkan umur rata-rata satu periode pembudidayaan (hari).

$$El_{ent} = \Sigma \text{pop(ekor)}i \times EF_{ent(i)} \dots (1)$$

$$El_{was} = \Sigma \text{pop(year)}i \times EF_{was(i)} \dots (2)$$

$$El_t = El_{ent} + El_{was}$$

Dengan

El_{ent} : Emisi fermentasi enterik (ton/year)

El_{was} : Emisi pengelolaan kotoran (ton/year)

El_t : Total livestock emission (ton/year)

$\Sigma \text{pop(ekor)}i$: Jumlah keseluruhan ternak (ekor)

$\Sigma \text{pop(year)}i$: Jumlah keseluruhan ternak (ekor/tahun)

$EF_{ent(i)}$: Faktor emisi fermentasi enterik

$EF_{was(i)}$: Faktor emisi pengelolaan kotoran

Total emisi peternakan secara umum merupakan perkalian antara jumlah ternak (tahunan atau ekor) dengan faktor emisi masing masing ternak, untuk kelompok emisi fermentasi enterik maupun emisi pengelolaan kotoran (Dotse, et al, 2016).

Profil peternakan Surakarta sangat terbatas pada wilayah-wilayah tertentu. Keterbatasan ruang budidaya menjadi salah alasan rendahnya aktivitas peternakan di Surakarta. Berikut ini disajikan data aktivitas peternakan Kota Surakarta

Tabel 3.16 Data aktivitas peternakan di Kota Surakarta

No	Jenis ternak budidaya	Jumlah (ekor)	Umur rata-rata (hari) ¹	Populasi tahunan (ekor)
1	Sapi Potong	21		21
2	Sapi Perah	568		568
3	Kerbau	13		13
4	Kambing	404		404
5	Domba	0		0
6	Babi	0		0
7	Kuda	0		0
8	Ayam Buras	15465	60	2542
9	Ayam Pedaging	4000	60	658
10	Ayam petelur	0	60	0

11	Bebek/itik	75	60	12
Total peternakan		20546		4.218

Sumber : BPS Surakarta (2017), ¹EMEP EEA Corinair (2013 Chapter 3B Manure Management

Jenis ternak dengan jumlah terbesar di Kota Surakarta adalah kelompok ayam buras (75%) dan ayam pedaging (20%). Kondisi tersebut menjadi konsekuensi bagi pengembangan sektor peternakan akibat terbatasnya lahan. Peternakan Surakarta pada akhirnya hanya dapat mengoptimalkan budidaya jenis ternak yang tidak memerlukan lahan luas. Kota Surakarta memiliki jumlah ternak sapi yang kecil (3%) berupa sapi perah. Budidaya jenis ternak ruminansia tersebut dilakukan tersentralisasi di Kecamatan Jebres yang relatif masih memiliki alokasi lahan luas.

Sebelumnya telah dijelaskan bahwa potensi emisi pada sektor peternakan berasal dari fermentasi enterik dan pengolahan kotoran (terolah maupun terbuang tanpa pengolahan). Fermentasi enterik berasal dari metabolisme alami ruminansia akibat tidak efisiennya pengolahan energi dari asupan makanan ternak. Fermentasi enterik menghasilkan emisi metana (CH₄), umumnya dalam jumlah signifikan karena bersumber dari aktivitas konsisten dan terjadi pada seluruh individu ruminansia. Pengolahan kotoran menjadi emisi peternakan yang menghasilkan tidak hanya metana namun juga nitrogen dioksida. Perhitungan emisi peternakan mengaplikasikan faktor emisi sebagai berikut

Tabel 3.17 Faktor emisi metana dari fermentasi enterik dan pengolahan kotoran pada sektor peternakan

No	Parameter emisi	Nilai Faktor emisi	Satuan	Keterangan
Fermentasi enterik				
1	Sapi potong	47	kgCH ₄ /ekor	IPCC, 2006
2	Sapi perah	61		
3	Kerbau	55		
4	Kambing	5		
5	Domba	5		
6	Babi	1		
7	Kuda	18		
Pengelolaan kotoran				
1	Sapi potong	1	kgCH ₄ /ekor	IPCC, 2006
2	Sapi perah	31		
3	Kerbau	2		
4	Kambing	0,2		

5	Domba	0,22		
6	Babi	7		
7	Kuda	2,19		
8	Ayam kampung	0,02		
9	Ayam pedaging	0,02		
10	Ayam petelur	0,03		
11	Bebek/itik	0,03		

Tabel 3.18 Faktor emisi nitrogen dioksida dari emisi langsung pengolahan kotoran pada sektor peternakan

No	Jenis Ternak	Laju eksresi N (kgN/ton/hari)	Rataan massa (kg)	Eksresi (N/ekor/hari)	Faktor emisi
1	Sapi potong	0,34	319	0,10846	0,02
2	Sapi perah	0,47	350	0,1645	0,02
3	Kerbau	0,32	380	0,1216	0,02
4	Kambing	1,17	45	0,05265	0,02
5	Domba	1,37	40	0,0548	0,02
6	Babi	0,5	28	0,014	0,02
7	Kuda	0,46	550	0,253	0,02
8	Ayam kampung	0,82	0,9	0,000738	0,001
9	Ayam pedaging	1,1	0,9	0,00099	0,001
10	Ayam petelur	0,82	1,8	0,001476	0,001
11	Bebek/itik	0,83	2,7	0,002241	0,001

Sumber : IPCC, 2006, Kementerian Lingkungan Hidup, 2011 dikompilasi dalam kalkulator GIZ PAKLIM

Tabel 3.19 Faktor emisi nitrogen dioksida dari emisi tidak langsung pengolahan kotoran pada sektor peternakan

No	Jenis Ternak	Kehilangan nitrogen (%)	Faktor emisi
1	Sapi potong	30	0,01
2	Sapi perah	7	0,01
3	Kerbau	30	0,01
4	Kambing	12	0,01
5	Domba	12	0,01
6	Babi	25	0,01
7	Kuda	12	0,01
8	Ayam kampung	40	0,01
9	Ayam pedaging	40	0,01
10	Ayam petelur	40	0,01

11	Bebek/itik	40	0,01
----	------------	----	------

Sumber : IPCC, 2006, Kementerian Lingkungan Hidup, 2011 dikompilasi dalam kalkulator GIZ PAKLIM

Berikut ini adalah hasil perhitungan beban emisi aktivitas peternakan di Kota Surakarta dengan memperhitungkan data aktivitas dan faktor emisi yang tersedia.

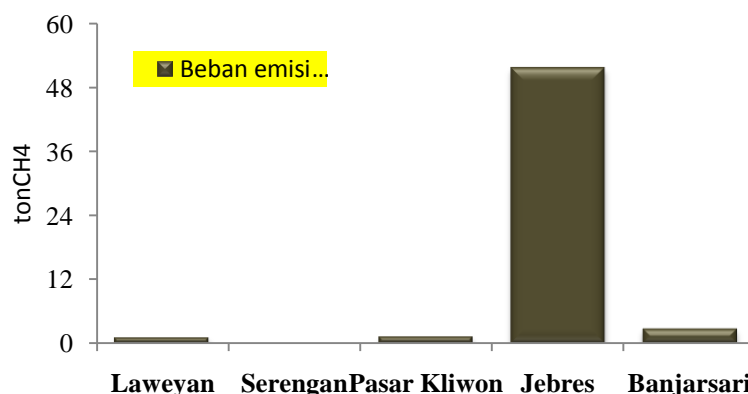
Tabel 3.20 Estimasi emisi sektor peternakan Kota Surakarta tahun 2018

No	Proses	Emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Fermentasi enterik	0,00	38,37	0,00
2	Pengolahan Kotoran	0,00	17,80	0,65
Total emisi sektor peternakan		0,00	56,17	0,65

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Estimasi emisi terhadap sektor peternakan Kota Surakarta menghasilkan nilai emisi metana (CH₄) sebesar 56,17 ton/tahun. Emisi tersebut terbagi dari fermentasi enterik sebesar 38,37 ton/tahun dan pengolahan kotoran sebesar 17,80 ton/tahun. Ditilik dari kontributor terbesar (fermentasi enterik) maka dapat ditentukan bahwa pendorong nilai emisi metana sektor peternakan adalah budidaya ruminansia, terutama pada sapi.

Nilai emisi nitrogen dioksida (N₂O) sebesar 0,65 ton/tahun dengan keseluruhan berasal dari pengolahan kotoran . Pada emisi pengolahan kotoran berlaku prinsip semakin berat massa hewan, semakin besar konsumsi makanan dan semakin besar produksi kotorannya akan menginisiasi emisi dalam jumlah lebih besar. Emisi GRk tidak dapat diatasi, hanya dapat dikurangi atau dengan memanfaatkan potensi emisi menjadi material yang lebih bermanfaat bagi kehidupan atau lingkungan. Sebagai contoh adalah upaya konversi kotoran ternak menjadi pupuk kandang serta biogas, energi alternatif.



Gambar 3.13 Distribusi emisi peternakan berdasarkan kecamatan

Emisi sektor peternakan di Kota Surakarta memiliki nilai yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan aktivitas peternakan oleh ketersediaan lahan. Kondisi yang berakibat pada minimnya jumlah budidaya ternak di Surakarta, khususnya pada hewan dengan ukuran besar seperti sapi, kerbau dan kuda. Hewan-hewan ternak tersebut tergolong kelompok ruminansia dengan kemampuan menghasilkan emisi lebih besar dibandingkan unggas. Kuantitas rendah dari ruminansia yang menjadi salah satu faktor penyebab nilai emisi peternakan rendah di Kota Surakarta.

Kajian berdasarkan distribusi spasial emisi peternakan metana (berbasis kecamatan) menunjukkan adanya ketimpangan. Kecamatan Jebres menjadi wilayah dengan emisi metana peternakan paling besae. Kondisi tersebut dikontribusikan oleh keberadaan peternakan sapi perah. Kecamatan Jebres secara geografis memiliki luasan wilayah yang memungkinkan untuk peternakan ruminansia. Beberapa kecamatan yang menjadi *central business district* (CBD) memiliki emisi metana peternakan sangat rendah bahkan tidak ada sama sekali akibat absensi aktivitas tersebut, seperti yang teramati di Kecamatan Laweyan dan Serengan.

2. Pertanian

Pertanian menjadi salah satu aktivitas utama dalam kategori AFOLU. Timbulan emisi dari aktivitas pertanian dapat dihasilkan oleh sub aktivitas : pengolahan sawah, pembakaran biomassa, aplikasi urea dan pengolahan lahan. Variabel emisi GRK yang dihasilkan dari setiap sub aktivitas tersebut berbeda-beda. Beberapa diantaranya menghasilkan lengkap tiga variabel dengan CO₂ mendominasi emisinya. Namun, beberapa lainnya hanya menghasilkan emisi CH₄ dan NO₂.

Kota Surakarta tidak berciri agraris. Artinya adalah kegiatan pertanian tidak menjadi nadi perekonomian utama masyarakat Surakarta. Keberadaan lahan pertanian semakin sempit dan terbatas akibat alih guna lahan untuk kepentingan antropogenik modern. Data dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kota Surakarta menunjukkan luas lahan pertanian keseluruhan hanya 185 ha yang terbagi menjadi 97 ha merupakan sawah tergenang dan sisanya adalah sawah tidak tergenang. Luasan tersebut tidak seluruhnya produktif sebagai lahan pertanian.

Berikut ini disajikan hasil perhitungan atau estimasi emisi sektor pertanian secara umum di Kota Surakarta

Tabel 3.21 Estimasi emisi sektor pertanian di Kota Surakarta tahun 2018

No	Kategori	Emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Pembakaran biomassa	0	0	0
2	Pemakaian kapur	0	0	0
3	Aplikasi urea	180,07	0	0
4	Pengolahan tanah			
a	N ₂ O langsung	0	0	6,42
b	N ₂ O tidak langsung	0	0	3,45
5	Pengolahan sawah	0	6,726	0
Total emisi sektor pertanian		180,07	6,726	9,87

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Estimasi emisi pertanian secara keseluruhan memunculkan nilai emisi karbondioksida 180,07 ton/tahun yang secara tunggal dikontribusikan oleh aplikasi urea. Nilai emisi metana sebesar 6,726 ton/tahun hanya dihasilkan dari kegiatan pengolahan sawah. Nilai emisi nitrogen dioksida sebesar 9,87 ton/tahun hanya dihasilkan dari pengolahan tanah, berupa emisi N₂O secara langsung maupun tidak langsung. Perhitungan emisi tersebut menunjukkan karakter khas pada masing-masing emisi yang dihasilkan oleh kegiatan pertanian spesifik.

Karakter khas pada setiap aktivitas spesifik tentu saja dihasilkan dari data aktivitas yang unik dan sesuai kondisi lokal. Faktor emisi yang digunakan merupakan hasil formulasi baru dari data-data tersebut sehingga perhitungan emisi pertanian dapat dikatakan memenuhi metode Tier III. Berikut adalah detail pada setiap aktivitas spesifik tersebut.

a. Pembakaran biomassa dan pemakaian kapur (dolomit)

Informasi yang diperoleh dari kuisisioner data instansi pemerintah (Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan serta Dinas Lingkungan Hidup) maupun pengamatan secara langsung menghasilkan kesimpulan tidak terjadi pembakaran biomassa. Pembakaran biomassa yang dimaksud adalah terjadinya kebakaran tidak sengaja atau pembakaran disengaja pada lahan hutan ataupun sisa panen. Kota Surakarta tidak memiliki lahan hutan primer maupun sekunder sehingga tidak mungkin terjadi masalah kebakaran hutan.

Untuk sisa panen Kota Surakarta tidak diperlakukan dengan dibakar. Beberapa sisa panen kemudian terbuang terbuka untuk diangkut ke TPA Putri Cempo (*open dumping*) dan sisanya diolah menjadi produk sampingan berupa pupuk oleh masyarakat wilayah administrasi lain. Hal ini dimungkinkan karena letak lahan pertanian berada di kawasan

perbatasan perkotaan Surakarta, memiliki interaksi tinggi dengan masyarakat kabupaten/kota lainnya.

Untuk pemakaian kapur (dolomit) pada lahan pertanian tidak tersedia data kuantitatif dari instansi setempat. Hal ini memiliki dua opsi yaitu data memang tidak tersedia atau tidak terdokumentasi atau memang tidak terdapat pemakaian kapur (dolomit) pada lahan pertanian di Kota Surakarta. Mempertimbangkan bahwa konsep koleksi data ditetapkan sebagai *top down approach*, maka kondisi tersebut kemudian ditetapkan sebagai tidak ada emisi dari penggunaan kapur (dolomit).

b. Aplikasi urea

Pupuk urea merupakan jenis pupuk buatan yang diaplikasikan terutama oleh keseluruhan petani padi maupun tanaman budidaya lain, termasuk di Kota Surakarta. Fungsinya untuk pengolahan dan penyiapan lahan serta sebagai pendukung nutrisi bagi tanaman budidaya. Karena fungsinya yang menguntungkan bagi hasil panen, seringkali penggunaan pupuk ini tidak terkontrol dan berlebih-lebihan.

Pada satu sisi, urea memang membantu petani mencapai hasil panen dan keuntungan ekonomi yang diinginkan. Namun, pada sisi lingkungan penggunaannya secara berlebih beresiko tinggi pada lingkungan, termasuk munculnya beban emisi karbondioksida CO₂ yang relatif signifikan. Pada tanah, penggunaan pupuk berlebih akan menimbulkan kejenuhan hingga menurunkan produktivitas lahan pada penanaman jangka panjang.

Data dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Surakarta menunjukkan penggunaan pupuk urea untuk budidaya pertanian non-padi di Kota Surakarta adalah untuk jagung (350 kg/ha), kedelai (50 kg/ha), kacang tanah (50 kg/ha), kacang hijau (100 kg/ha), ubi jalar (200 kg/ha) dan ubi kayu (300 kg/ha). Untuk tanaman padi standar pemberian pupuk urea mencapai 250 kg/ha sehingga total asumsi penggunaan urea untuk seluruhnya adalah 245,55 ton/tahun.

Emisi GRK yang dihasilkan oleh penggunaan pupuk urea adalah karbondioksida (CO₂). Faktor emisi berdasarkan kandungan C pada pupuk urea yang menurut kalkulator GRK PAKLIM (data nasional) bernilai 0,2 ton C/ton. Berdasarkan faktor emisi tersebut dapat diperhitungkan beban emisi dari aplikasi pupuk urea sebagai berikut.

Tabel 3.22 Estimasi emisi pemakaian pupuk urea pada lahan pertanian

Sub aktivitas dalam Sektor pertanian	Beban emisi (tonCO ₂ /tahun)
Aplikasi pupuk urea	180,07
Total beban emisi aplikasi pupuk urea	180,07

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Hasil perhitungan emisi pemakaian urea menghasilkan emisi karbondioksida mencapai 180,07 ton/tahun. Nilai tersebut juga bermakna bahwa dari aplikasi urea lahan pertanian di Kota Surakarta selama satu tahun mampu menghasilkan emisi 0,97 tonCO₂/ha.

c. Pengolahan tanah

Aktivitas pengolahan lahan memunculkan emisi berupa NO₂ langsung dan tidak langsung. Sumber emisi berupa NO₂ langsung pada pengolahan tanah berasal dari aplikasi N yang ditambahkan ke tanah, pengolahan tanah itu sendiri dan kotoran ternak yang terbuang di padang rumput. Sedangkan, untuk emisi NO₂ tidak langsung berasal dari : volatilisasi N pengolahan tanah dan dari *leaching* dan lipasan pengolahan tanah.

Data aktivitas untuk perhitungan NO₂ langsung adalah jumlah aplikasi pupuk kimia buatan dan organik serta luasan lahan pertanian dan hutan. Sedangkan untuk emisi NO₂ tidak langsung, data aktivitasnya hanya jumlah aplikasi pupuk organik dan luasan lahan pertanian-hutan. Berikut ini adalah data aktivitas untuk perhitunga pengolahan lahan pertanian

Tabel 3.23 Data aktivitas emisi pengolahan tanah di Kota Surakarta

Tanah diolah (selain sawah tergenang)		Sawah tergenang		Area tanah pertanian dan padang rumput (Ha)	Area lahan hutan (ha)
Aplikasi pupuk N buatan (ton)	Aplikasi pupuk N organik (ton)	Aplikasi pupuk N buatan (ton)	Aplikasi pupuk N organik (ton)		
NO₂ langsung					
13,2	176	36,45	486	185	0
NO₂ tidak langsung					
13,2	176	36,45	486	185	0

Sumber : pengolahan data Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan (2018)

Data aktivitas menunjukkan bahwa penggunaan pupuk N organik jauh lebih besar dibandingkan dengan pupuk N buatan. Pada lahan tidak tergenang, konsumsi N organik mencapai 176 ton/tahun dibandingkan 13,2 ton/tahun pupuk buatan. Pada lahan tergenang

(terutama untuk lahan padi) aplikasi pupuk N organik mencapai 486 ton/tahun dibandingkan 36,45 ton/tahun pupuk buatan.

Faktor emisi yang dipergunakan akan berbeda untuk perhitungan beban emisi pengolahan lahan berupa NO₂ langsung dan tidak langsung. Hal ini mempertimbangkan sumber emisi yang menghasilkan masing masing variabel NO₂ tersebut berbeda. Berikut ini adalah faktor emisi untuk perhitungan NO₂ langsung dan tidak langsung dari pengolahan lahan.

Tabel 3.24 Faktor emisi yang digunakan untuk menghitung beban emisi NO₂ langsung dan NO₂ tidak langsung dari aktivitas pengolahan tanah.

NO₂ langsung pengolahan lahan		
Parameter	Nilai Koefisien faktor emisi	Satuan
N yang ditambahkan ke tanah selain sawah tergenang	0,01	Kg N ₂ O-n/kg N
N ditambahkan ke sawah tergenan	0,03	Kg N ₂ O-n/kg N
Emisi dari tanah pertanian dan padang rumput	16	Kg N ₂ O-n/ha
Emisi dari lahan hutan	16	Kg N ₂ O-n/ha
Emisi dari N yang ditambahkan dari pupuk kandang	0,02	Kg N ₂ O-n/kg N
Emisi dari N yang dilepaskan di padang rumput (kotoran ternak)	0,01	Kg N ₂ O-n/kg N
NO₂ tidak langsung pengolahan lahan		
N karena volatilisasi dan redeposisi	0,01	kg N ₂ O-N/ kg NH ₃ -N+ N ₂ O-N
N karena leaching dan limpasan	0,0075	Kg N ₂ O-n/kg N
Fraksi dari pupuk buatan yang mengalami volatilisasi	0,1	kg NH ₃ -N+ N ₂ O-N/ kg N
Fraksi dari pupuk organik yang mengalami volatilisasi	0,2	kg NH ₃ -N+ N ₂ O-N/ kg N
Fraksi N yang ditambahkan ke tanah terolah dimana leaching terjadi	0,3	kg N/kg N tambahan

Sumber : IPCC (2006), Kementerian Lingkungan Hidup (2011) dikompilasikan dalam kalkulator GRK GIZ PAKLIM

Menggunakan faktor emisi tersebut di atas (Tabel 3.24), akan dapat diperhitungkan nilai beban emisi NO₂ langsung dan NO₂ tidak langsung dari pengolahan lahan sebagai berikut.

Tabel 3.25 Hasil perhitungan beban emisi aktivitas pertanian, sub aktivitas pengolahan tanah di Kota Surakarta

Emisi N ₂ O langsung (ton/tahun)		Emisi N ₂ O tidak langsung (ton/tahun)	
Sumber emisi	Nilai beban emisi	Sumber emisi	Nilai beban emisi
N yang ditambahkan ke tanah	3,46	N ₂ O dari volatilisasi N dari pengolahan lahan	2,78
Pengolahan tanah	2,96	N ₂ O dari leaching dan limpasan dari pengelolaan tanah	0,67
Kotoran ternak yang dibuang ke padang rumput	0		
Total beban emisi N ₂ O langsung	6,42	Total beban emisi N ₂ O tidak langsung	3,45
Total emisi pengolahan tanah (Emisi N ₂ O langsung+Emisi N ₂ O tidak langsung)			9,87

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Emisi nitrogen dioksida langsung hanya dihasilkan dari dua aktivitas yaitu N yang ditambahkan ke tanah dan pengolahan tanah. Tidak terdapat emisi dari kotoran ternak yang dibuang ke padang rumput karena memang tidak ada kegiatan beternak atau melepaskan liar ternak di kawasan padang rumput. Selain itu, kawasan padang rumput merupakan vegetasi yang tidak tersedia di wilayah administratif Kota Surakarta. Total emisi N₂O langsung adalah 6,42 ton/tahun yang lebih besar disumbangkan oleh penambahan N ke tanah (3,46 ton/tahun) menunjukkan nilai yang cukup signifikan dari aplikasi pupuk N. Meski demikian, nilai tersebut tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan emisi lahan yang diolah. Setidaknya hal tersebut menunjukkan upaya dari petani untuk mengintensifkan hasil panen melalui aplikasi pupuk-pupuk pada lahan.

Emisi nitrogen dioksida tidak langsung di Kota Surakarta mencapai 3,45 ton/tahun, lebih rendah dari emisi langsung. Emisi tersebut terutama dikontribusikan oleh volatilisasi N dari pengolahan lahan (2,78 ton/tahun). Berdasarkan perhitungan emisi langsung maupun tidak langsung, diperoleh nilai emisi pengolahan tanah sebesar 9,87 tonN₂O/tahun. Nilai tersebut menunjukkan emisi tidak signifikan yang disebabkan oleh terbatasnya luasan lahan pertanian di Kota Surakarta.

d. Pengolahan sawah

Sesuai dengan pengkategorian lahan oleh IPCC, emisi pengolahan lahan Kota Surakarta tergolong kelompok Cropland yaitu lahan untuk kepentingan tanaman pangan, termasuk sawah dan lahan lainnya yang memiliki struktur vegetasi dibawah ambang batas lahan hutan. Emisi metana pada pengolahan sawah padi didorong oleh dekomposisi bahan organik secara anaerobik.

Emisi dari sub aktivitas pengolahan sawah secara umum dihasilkan oleh pengolahan sawah untuk kepentingan penanaman padi. Emisi pada penanaman padi umumnya menjadi lebih signifikan ketika lahan tersebut terus tergenang oleh air. Seperti halnya emisi berkaitan dengan aktivitas pertanian lain di Kota Surakarta, emisi pengolahan sawah diperkirakan tidak bernilai signifikan akibat terbatasnya luasan lahan sawah. Berikut adalah data aktivitas terkait pengolahan sawah di Kota Surakarta.

Tabel 3.26 Data aktivitas pertanian Kabupaten Boyolali

No	Parameter data aktivitas	Tipe persawahan				
		Non irigasi	Irigasi tergenang terus menerus	Irigasi internitten	Irigasi, multiple aerasi	Tadah hujan, pengairan alami
1	Musim tanam pertahun (kali)*	1	3	0	0	1
2	Area tanaman padi (ha)**	88	81	0	0	88
3	Lama masa tanam (hari)*	90	90	0	0	90
4	Laju aplikasi bahan organik (ton/ha)***					
	a. Jerami < 30 hari	0	0	0	0	0
	b. Jerami > 30 hari	0	0	0	0	0
	c. Kompos	0	2	0	0	0

Sumber : Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan (2018)

Data sekunder dari dinas terkait menunjukkan bahwa terdapat tiga jenis sawah padi di Kota Surakarta yaitu sawah non irigasi, sawah tadah hujan yang mengandalkan air hujan sebagai sumber utama pengairan dan irigasi penuh. Luasan sawah non irigasi dan tadah hujan

sama yaitu 88 ha yang kemungkinan berada pada petak-petak yang sama. Luas sawah irigasi penuh adalah 81 ha yang menjadi tipe sawah selalu tergenang hampir sepanjang tahun.

Berdasarkan periode panen, sawah irigasi penuh memiliki periode hingga 3 kali setahun (setiap 3 bulan) sedangkan sawah non irigasi dan tadah hujan hanya satu kali panen setahun. Berdasarkan informasi masa hari tanam, maka pada sawah irigasi penuh terdapat jeda penanaman selama satu bulan diantara masa tanam. Laju aplikasi organik hanya terjadi pada sawah irigasi penuh melalui penambahan kompos sebanyak 2 ton/ha sawah.

Perhitungan pada aktivitas pengolahan sawah lebih kompleks karena selain melibatkan penggunaan faktor emisi, juga terdapat koefisien konversi dan koefisien regime kondisi persawahan.

Tabel 3.27. Koefisien pendukung perhitungan beban emisi aktivitas pengolahan sawah

Koefisien regime perairan sawah						
Non irigasi	Irigasi tergenang terus menerus	Irigasi intermitten-single aerasi	Irigasi intermitten-aerasi multiple	Tadah hujan	SF before cultivation period	SF Soil
0	1	0,46	0,52	0,27	1	0,29
Faktor konversi koefisien organik						
Jerami < 30 hari	Jerami > 30 hari	Kompos	Pupuk kandang	Pupuk hijau		
1	0,29	0,05	0,14	0,5		

Secara umum , perhitungan beban emisi sawah memiliki base line emission factor yaitu sebesar 1,61 kgCH₄/ha/hari. Adanya perbedaan lingkungan dasar pada penanaman serta bahan-bahan pendukung yang ditambahkan pada periode pengolahan sawah membuat faktor emisi tersebut disesuaikan dengan memperhentikan perbedaan kondisi dan metode, dengan tetap memasukkan nilai baseline faktor emisi. Beberapa mkondisi yang menentuka perubahan atau penyesuaian faktor emisi antara lain regime perairan dan metode pemupukan sawah. Beriku ini adalah nilai faktor emisi pengolahan sawah setelah dilakukan penyesuaian tersebut.

Tabel 3.28 Faktor emisi pengolahan sawah yang telah dikoreksi

Jenis/Tipe pengairan sawah padi	Faktor emisi (kgCH₄/ha/hari)
Sawah non irigasi	0
Sawah irigasi tergenang terus menerus	0,282
Sawah irigasi intermitten-single aerasi	0,122

Sawah irigasi intermitten multiple aerasi	0,138
Sawah tadah hujan	0,072

Menggunakan faktor emisi yang telah dikoreksi tersebut, dapat diperhitungkan beban emisi metana (CH₄) pengolahan sawah dengan rumusan sebagai berikut :

EmisiCH₄ Pengolahan Sawah

$$= (\text{Jumlah musim tanam} * \text{Area sawah padi} * \text{Masa tanam} * \text{faktor Emisi})/1000$$

Dengan jumlah musim tanam (kali/tahun), area sawah padi (Ha), masa tanam (hari) dan faktor emisi (kgCH₄/ha/hari). Diseut pula sebagai emisi CH₄ regime pertumbuhan. Berikut ini adalah perhitungan beban emisi dari aktivitas pengolahan sawah di Kota Surakarta

Tabel 3.29 Hasil perhitungan beban emisi aktivitas pertanian, sub aktivitas pengolahan sawah di Kota Surakarta

Jenis/Tipe pengairan sawah padi	Faktor emisi (tonCH₄/tahun)
Sawah non irigasi	0,00
Sawah irigasi tergenang terus menerus	6,16
Sawah irigasi intermitten-single aerasi	0,00
Sawah irigasi intermitten multiple aerasi	0,00
Sawah tadah hujan	0,57
Beban emisi total dari pengolahan sawah padi	6,73

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Perhitungan emisi menunjukkan nilai emisi pengolahan sawah padi di Kota Surakarta adalah 6,73 tonCH₄/tahun. Sebagian besar nilai tersebut dikontribusikan oleh sawah irigasi penuh (6,16 tonCH₄/tahun) sebagai konsekuensi kondisi lahan yang hampir selalu tergenang sepanjang tahun. Sawah tadah hujan meskipun memiliki luasan lebih besar dibandingkan sawah irigasi penuh hanya mengkontribusikan emisi metana yang kecil yaitu 0,57 ton/tahun karena hanya tergenang pada periode satu kali penanaman (90 hari atau 3 bulan).

3. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan menunjukkan potensi emisi yang dihasilkan atau diserap. Menurut IPCC (2006) terdapat 6 kategori umum penggunaan lahan pada suatu wilayah antara lain adalah :

1. Lahan Hutan. Mencakup semua lahan dengan vegetasi berkayu atau struktur vegetasi di luar katoegori hutan yang memiliki potensi memenuhi kriteria ambang batas sebagai lahan hutan
2. Lahan pertanian. Meliputi lahan untuk penanaman tanaman pangan, termsuk sawh dan agrofresti yang struktur vegetasinya di bawah ambang batas kriteria lahan hutan
3. Padang rumput dan savana. Mencakup padang penggembalaan dan padang rumput yang tidak termasuk lahan pertanian. Termasuk pula vegetasi berkayu bukan rumput seperti semak dan herba. Berdasarkan fungsi mencakup semua padang rumput yang dikelola sampai sebagai rekreasi, lahan pertanian hingga silvi pastur.
4. Lahan basan (rawa, gambut, sungai, danau dan waduk). Mencakup lahan dari pengembangan gambut atau tanah yang ditutupi atau jenuh oleh air, baik temporer maupun sepanjang tahun.
5. Pemukiman dan infrastruktur. Mencakup keseluruhan lahan yang dikembangkan atau berkembang atau mengalami perubahan sebagai pemukiman dan infrastruktur masyarakat (termasuk untuk kepentingan transportasi).
6. Lahan lainnya. Mencakup lahan tanah terbuka, lahan bersalju, lahan berbatu, lahan ekstrim lainnya yang tidak dapat dikelompokkan dalam 5 kategori sebelumnya.

(IPCC, 2006 dalam Kementerian Lingkungan Hidup, 2011).

Emisi atau serapan karbon dari setiap penggunaan lahan diduga dari perubahan biomassa atau tampungan karbon untuk : (1) lahan yang tetap dalam kategori penggunaan lahan yang sama dan (2) lahan yang berubah dari penggunaan awal lahan tersebut ke penggunaan yang lainnya.

Kota Surakarta berkembang menjadi sebuah kota metropolitan modern diiringi oleh alih fungsi lahan, terutama lahan terbuka menjadi lahan untuk kepentingan antropogenik. Beberapa tipe penggunaan lahan yang dominan antara lain adalah pemukiman, perdagangan, jasa dan pariwisata. Secara umum, ditinjau dari komposisi lahan, saat ini Surakarta lebih dominan oleh lahan terbangun dibandingkan dengan lahan terbuka bervegetasi. Berikut adalah data penggunaan lahan Kota Surakarta berdasarkan pembagian atau ketersediaan kategori pada pedoman IPCC (2006)

Tabel 3.30 Penggunaan lahan Kota Surakarta periode 2011-2016

Kategori	Tahun					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Lahan terbangun	3549,58	3601,37	3603,74	3607,3	3614,35	3618,15

Sawah	101,95	99,46	96,96	95,97	95,97	95,36
Pertanian lahan kering	117,46	110,74	109,28	108,1	102,04	98,45
Lahan terbuka	262,33	253,95	253,95	250,63	250,66	249,81

Sumber : BPS Surakarta (2017)

Luasan penggunaan lahan pada tabel 3,30 menunjukkan dominasi peruntukkan lahan terbangun di Kota Surakarta. Luasan lahan terbangun tampak terus mengalami peningkatan pada periode 2011-2016 yang diikuti oleh penurunan lahan terbuka, terutama pada pertanian lahan kering. Tabel perubahan luasan peruntukan lahan juga memperlihatkan upaya pemerintah Kota Surakarta untuk mempertahankan ketersediaan lahan terbuka, khususnya yang berfungsi untuk publik.

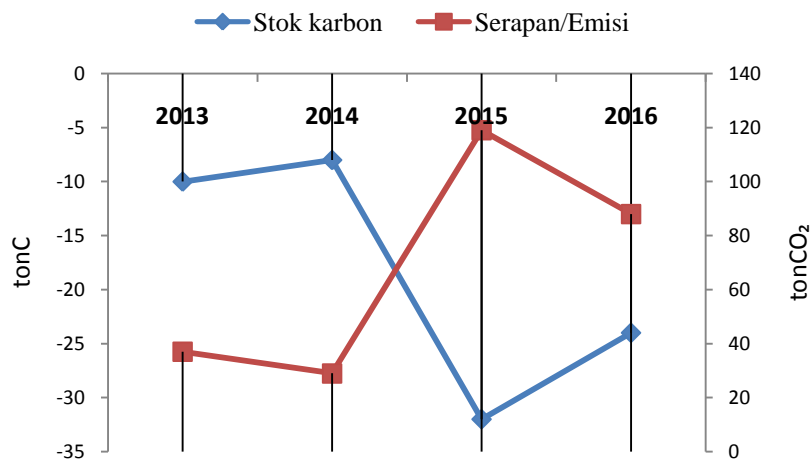
Perhitungan emisi penggunaan lahan berbasis pada stok karbon yang artinya akan berkorelasi kuat dengan biomassa vegetasi, tidak hanya ketersediaan lahan terbuka atau vegetasi dengan kanopi lebar. Perhitungan ini sifatnya kontinyu dan saling berkaitan setiap tahunnya. Tahun 2011 dianggap sebagai tahun ke-0 perhitungan sehingga diasumsikan pada 2012 masih terdapat kemampuan serapan karbon natural. Kondisi sesungguhnya baru dapat dianalisis pada hasil perhitungan mulai tahun 2013 hingga 2016. Berikut adalah hasil estimasi emisi penggunaan lahan Kota Surakarta

Tabel 3.31 Estimasi srapan karbon dan emisi penggunaan lahan Kota Surakarta

Tahun hitung	Stok karbon	Serapan/Emisi
	(tonC)	(tonCO ₂)
2012	114	-418
2013	-10	37
2014	-8	29
2015	-32	119
2016	-24	88

Sumber : Perhitungan primer

Perhitungan emisi penggunaan lahan menunjukkan telah terlampauinya daya dukung dan daya tampung alami terhadap emisi karbon. Hal tersebut terlihat pada nilai minus stok karbon yang berarti ada karbon yang tidak mampu terserap oleh lingkungan. Jumlah karbon yang tidak terserap akibat jenuhnya siklus cenderung mengalami peningkatan. Hasil dari kondisi ini adalah munculnya emisi tambahan dari penggunaan lahan yang nilainya mencapai 88 tonCO₂ pada tahun 2016.



Gambar 3.14 Fluktuasi karbon stok dan emisi penggunaan lahan di Kota Surakarta pada periode 2013-2016

Sebuah kewajaran pada wilayah perkotaan terutama dengan luas yang kecil akan mengalami perubahan lahan signifikan dari tahun ke tahun. Hal ini sebagai konsekuensi tingginya kebutuhan lahan, terutama untuk kepentingan antropogenik modern. Kondisi tersebut memberikan konsekuensi negatif bagi lingkungan terutama kemampuan alami untuk turut mereduksi karbon yang dimiliki oleh lahan terbuka bervegetasi. Bagi kota modern berkembang seperti Surakarta, hal tersebut dapat diangkat menjadi bagian kategori kunci, berkaitan dengan upaya-upaya untuk mereduksi emisi perkotaan.

E. Pengelolaan Limbah

Limbah menjadi salah satu obyek utama dalam sebuah penelitian lingkungan. Setiap aktivitas menghasilkan limbah. Hal ini menjadi kandungan dalam Hukum Termodinamika mengenai kekekalan energi dan entropi. Pada dasarnya tidak akan pernah ada aktivitas dengan pelibatan energi yang dapat berlangsung tanpa menimbulkan limbah sebagai produk sisa atau produk sampingannya.

Limbah juga dapat merujuk pada gas emisi, merupakan produk sisa. Namun, limbah dalam kategori ini benar benar murni limbah yang diproduksi dari suatu aktivitas metabolisme atau sisa dari proses produksi atau sisa dari suatu akumulasi kegiatan (misalnya limbah domestik). Limbah disini lebih spesifik, tidak lagi membicarakan produk sisa dari pembakaran atau proses pertanian yang telah dibahas dalam kategori kunci sebelumnya.

Logikanya menjadi sederhana jika makna limbah dalam kategori ini terbatas. Limbah tersebut jumlahnya akan terbatas dan terpengaruh oleh intensitas atau jumlah pemroduksi

limbah tersebut. Kenaikan pada tingkatan aktivitas atau populasi aktivitas yang memproduksi limbah, secara simpel akan meningkatkan jumlah limbah tersebut di lapangan. Beban emisi akan ditentukan oleh faktor kedua yaitu pengelolaan limbah tersebut. Setiap pengelolaan berbeda akan mengembangkan atau menyusutkan nilai asli emisi pada level-level tertentu. Pada paparan tersebut, akan nampak bahwa tidak selamanya suatu pengelolaan yang disebut sebagai proses sehat akan menghasilkan limbah lebih kecil.

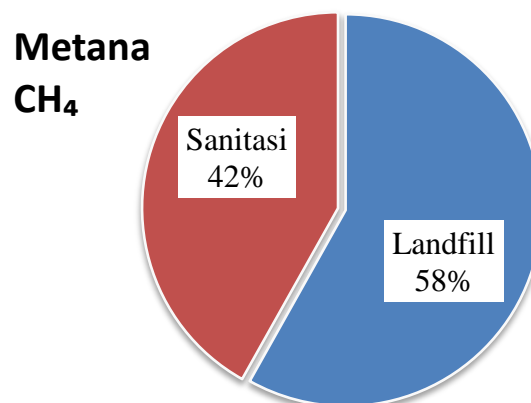
Pada inventarisasi emisi GRK Kota Surakarta, proses pengelolaan limbah akan dibagi dalam 2 aktivitas utama (berdasarkan ketersediaan data) yaitu : tempat pembuangan akhir limbah padat (TPA), dan sanitasi-pengolahan limbah domestik. Berikut adalah review umum hasil perhitungan beban emisi keseluruhan variabel pada kategori kunci pengelolaan limbah.

Tabel 3.32 Estimasi emisi kategori pengelolaan limbah (waste) Kota Surakarta

No	Sub Kategori (sumber emisi)	Beban emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Landfill sampah	0	3705,47	0,00
2	Sanitasi domestik	0	2667,90	15,78
Total Kategori pengelolaan limbah		0	6373,37	15,78

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Keseluruhan emisi pengelolaan limbah adalah metana dan nitrogen dioksida. Emisi metana pengelolaan limbah Kota Surakarta mencapai 6373,37 ton/tahun dan emisi nitrogen dioksida mencapai 15,78 ton/tahun. Kontributor terbesar emisi metana pengelolaan limbah adalah landfill sampah di TPA Putri Cempo sedangkan kontributor terbesar emisi nitrogen dioksida adalah sanitasi domestik. Tidak ada emisi karbondioksida yang dihasilkan dari kategori pengelolaan limbah.

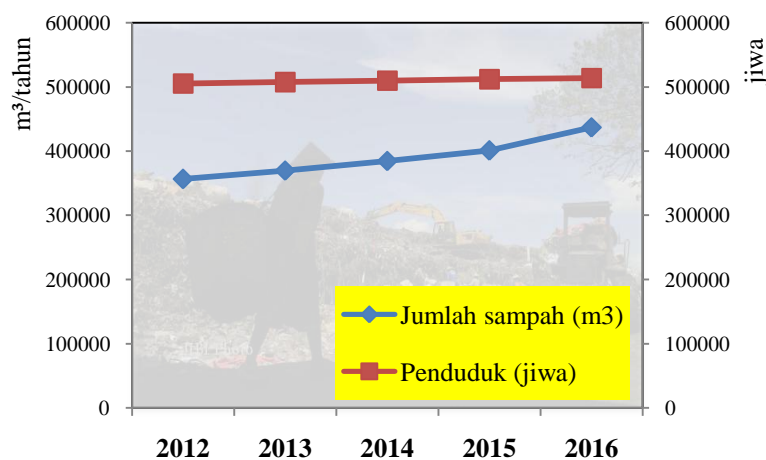


Gambar 3.15 Komposisi emisi metana pengelolaan limbah di Kota Surakarta

1. Landfill sampah

Sampah merupakan salah satu jenis pencemar lingkungan. Apabila tidak bisa ditanggulangi, sampah dapat membawa dampak buruk bagi kesehatan masyarakat seperti terjangkitnya diare, kolera, serta tifus. Selain itu, sampah juga memberi kontribusi terhadap pemanasan global, mengingat sampah dapat menghasilkan gas metan (CH_4) yang bisa merusak atmosfer bumi.

Pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi dan semakin bertambahnya konsumsi masyarakat serta aktivitas lainnya akan berdampak pada terjadinya penambahan volume sampah yang dihasilkan. Grafik di bawah menunjukkan bahwa percepatan laju jumlah sampah terbuang lebih tinggi dibandingkan populasi penduduk. Hal tersebut mengindikasikan dua hal, pertama adalah ancaman pertumbuhan sampah secara signifikan akibat pertumbuhan populasi dan modernisasi gaya hidup dan kedua adalah sifat konsumerisme dan etika antropogenik masyarakat yang cenderung enggan mengolah atau mengelola sampah.



Gambar 3.16 Perbandingan pertumbuhan penduduk dan timbulan sampah di Kota Surakarta pada periode 2012-2016 (DLH, 2017)

Informasi dari DLH (2017) menyatakan bahwa keseluruhan sampah di Surakarta terbuang ke TPA Putri Cempo sebagai satu-satunya sentra pembuangan sampah di Surakarta. Lahan TPA Putri Cempo yang saat ini sudah *overload*. Luas lahan TPA Putri Cempo kurang lebih 17 hektare hanya mampu menampung sampah selama 20 tahun, sedangkan hingga saat ini sudah terhitung hampir 30 tahun. Salah satu permasalahan utama adalah pada pengelolaan sampah di TPA Putri Cempo yang hanya mengandalkan metode *open dumping*. Tidak terjadi pembakaran sampah di Kota Surakarta yang didorong oleh adanya regulasi larangan

membakar sampah. Hal ini secara otomatis mereduksi emisi pengelolaan limbah dari aktivitas pembakaran sampah.

Estimasi emisi landfill sampah diperhitungkan dengan asistensi *worksheet* metana sampah dari IPCC (2006). *Worksheet* tersebut bekerja berdasarkan simulasi timbulan sampah selama minimal 5 tahun. Data aktivitas yang dibutuhkan untuk mengoperasikan hitungan adalah data timbulan sampah periodik minimal 5 tahun terakhir dan rataan komposisi sampah. Parameter lain yang mempengaruhi emisi metana telah disesuaikan dengan karakter sampah setempat. Penggunaan simulasi atau pemodelan time series membuat perhitungan emisi landfill sampah dapat dikategorikan sebagai Tier III. Berikut adalah data timbulan sampah Kota Surakarta pada periode 2007 hingga 2017.

Tabel 3.33 Timbulan sampah Kota Surakarta periode 2007-2017

Tahun	Produksi sampah/tahun	Sampah ke TPA	Sampah terbakar
	ton	%	%
2007	81842	100	0
2008	80494	100	0
2009	82741	100	0
2010	91600	100	0
2011	88040	100	0
2012	89161	100	0
2013	92436	100	0
2014	96210	100	0
2015	100267	100	0
2016	109283	100	0
2017	106279	100	0

Sumber : DLH Kota Surakarta (2018)

Data aktivitas penunjang lain adalah komposisi sampah masyarakat berdasarkan material yang terbuang. Berikut adalah data komposisi timbulan sampah Kota Surakarta.

Tabel 3.34 Komposisi timbulan sampah Kota Surakarta

No	Komposisi sampah	Persentase (%)
1	Kertas	12,26
2	Kayu	0,00
3	Kain	1,55
4	Karet/kulit	0,50
5	Plastik	13,39

6	Metal/logam	1,80
7	Gelas/kaca	1,72
8	Organik	61,95
9	Lainnya	6,83

Sumber : BPS Surakarta (2017)

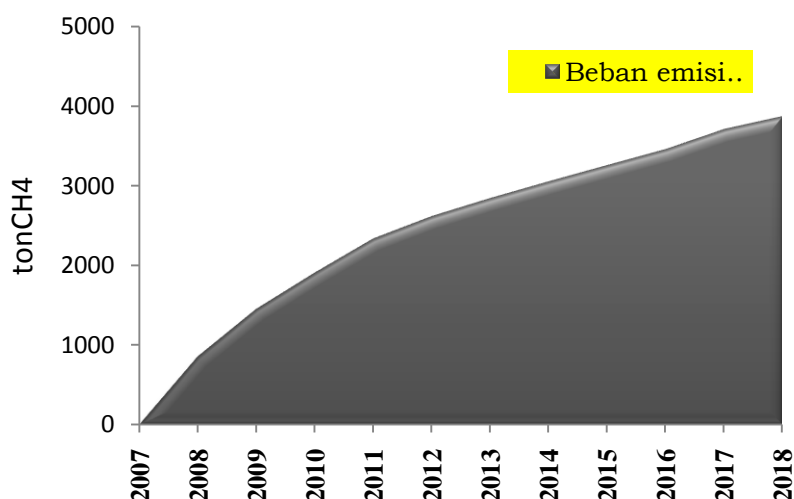
Keseluruhan timbulan sampah di Kota Surakarta pada tahun 2017 adalah 106279 ton yang relatif mengalami penurunan dari tahun sebelumnya yang mencapai 109283 ton. Berdasarkan komposisi, sampah di Kota Surakarta didominasi oleh tiga material yaitu organik (61,95%), plastik (13,39%) dan kertas (12,26%). Berikut adalah hasil estimasi emisi landfill sampah di Kota Surakarta dengan menggunakan model IPCC.

Tabel 3.35 Estimasi emisi metana landfill sampah di Kota Surakarta tahun 2018

No	Sektor aktivitas	Timbulan sampah (ton)	Emisi (tonCH ₄ /tahun)
1	Landfill sampah	106279	3866,88
Total emisi landfill sampah			3866,88

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Estimasi emisi metana landfill sampah pada tahun 2018 mencapai 3866,88 ton/tahun. Hasil tersebut berasal dari penumpukan seluruh timbulan sampah secara akumulatif di TPA Putri Cempo akibat perlakuan tunggal *open dumping*. Tinjauan pada tren emisi sampah menunjukkan adanya peningkatan emisi metana dari tahun 2007-2018 meskipun terkadang terjadi peningkatan dramatis dan penurunan pada jumlah sampah tahunan.



Gambar 3.17 Tren emisi metana landfill sampah Kota Surakarta

2. Sanitasi domestik

Pola sanitasi masyarakat tidak hanya berpengaruh pada kondisi kesehatan lingkungan, namun juga menentukan beban emisi yang ditanggung oleh suatu wilayah akibat aktivitas ini. Beban emisi yang dihasilkan oleh aktivitas sanitasi hanyalah variabel CH₄ atau metana. Karakter aktivitas ini sama dengan emisi pada aktivitas enterik peternakan. Data aktivitas utama dalam perhitungan emisi ini adalah populasi Kota Surakarta. Data tersebut dilengkapi dengan fraksi kawasan di Boyolali dan model sanitasi masyarakat untuk menyesuaikan faktor emisi yang digunakan.

Model sanitasi masyarakat di Kota Surakarta terbagi dalam 4 kategori utama yaitu septic tank, cubluk, sewer dan sembarangan. Sistem sanitasi yang sehat dan modern umumnya adalah septic tank. Cubluk dan sewer disebut sebagai sistem sanitasi sederhana. Sedangkan sistem sanitasi yang dibuang sembarangan sama artinya dengan belum memiliki sistem sanitasi. Berikut adalah sekilas deskripsi pada masing masing sistem sanitasi tersebut :

1. *Septic tank*, merupakan sistem sanitasi dengan perlakuan pada limbah domestik yang dihasilkan. Pada sistem ini, separuh dari BOD yang dihasilkan akan tertinggal pada tangki perlakuan. Nilai methane correction factor (MCF) 0,5 (IPCC, 2006 Chapter 6 *Wastewater*). Secara kesehatan sistem ini dianggap sebagai sistem yang paling sehat, terutama jika pembangunan memenuhi persyaratan yang ditentukan.
2. Cubluk, tangki pemuatan limbah pada cubluk atau latrine dibuat lebih sederhana dibandingkan *septic tank*. Kapasitasnya biasanya lebih kecil dan lebih layak untuk lokasi yang relatif kering. Biasanya untuk rumah tangga dengan jumlah anggota 3-5 orang. Nilai MCF nya 0,1 (IPCC, 2006). Namun, karena daya muat yang kecil, model ini akan lebih sering dan konsisten dikosongkan, BOD yang tertinggal relatif lebih kecil dibandingkan septic tank
3. Sewer adalah sistem sanitasi yang terbuka dan langsung terpapar sehingga suhunya relatif hangat. Beberapa tipe sewer langsung mengalirkan kotoran melalui saluran atau selokan selokan khusus. Karena terbuka dan terpapar panas, maka emisi CH₄ dari sistem ini adalah yang paling besar. Sewer adalah sistem sanitasi paling tradisional. Nilai MCFnya mencapai 0,6 (IPCC, 2006).
4. Sembarangan. Sanitasi ini tidak bisa disebut sebagai sebuah sistem karena limbah akan langsung dibuang ke alam tanpa menggunakan perangkat atau saluran khusus.

Sehingga lebih tepat disebut sebagai sistem sanitasi tanpa perlakuan. Karena tanpa perlakuan dan biasanya pada air permukaan mengalir (contoh : sungai), maka nilai MCF akan menjadi relatif tinggi sebab limbah akan mengalir bersama aliran alami tersebut. Nilai MCF model ini adalah 0,6 (IPCC, 2006). Meski memiliki nilai emisi paling kecil, sistem ini sangat buruk ditinjau dari aspek kesehatan lingkungan.

Emisi dari sektor sanitasi domestik akan memperhitungkan emisi metana (CH₄) langsung dan emisi nitrogen dioksida (N₂O) tidak langsung. Perhitungan mengaplikasikan pendekatan Tier II dengan memanfaatkan ketersediaan data aktivitas lokal terkait sarana sanitasi serta mengaplikasikan faktor emisi yang dikonversi dari kondisi lokal. Berikut ini adalah detail data aktivitas analisis estimasi emisi untuk Kota Surakarta sesuai dengan data sekunder instansi terkait.

Tabel 3.36 Data aktivitas sektor sanitasi domestik Kota Surakarta

Kecamatan	Populasi	Fraksi populasi			Fraksi pengolahan limbah domestik			
		Pede- saan	Kota (pen- dapat an tinggi)	Kota (penda- patan rendah)	ST	CK	SR	BABS
Laweyan	88614	0	89,12	10,88	95,48	0	0	4,52
Serengan	44950	0	89,12	10,88	88,21	0	0	11,79
Pasar Kliwon	76474	0	89,12	10,88	95,06	0	0	4,94
Jebres	142152	0	89,12	10,88	93,96	0	0,19	5,85
Banjarsari	161981	0	89,12	10,88	90,24	0	1,2	8,56

Sumber : BPS Surakarta (2017), STBM Nasional, Kemenkes (2018)

Keterangan : Populasi pada tahun 2017, fraksi dalam persen, ST adalah septic tank, CK adalah cubluk, SR adalah sewer dan BABS adalah buang air besar sembarangan

Data sekunder pemerintah menunjukkan bahwa lebih dari 88% masyarakat Surakarta telah menggunakan septic tank sebagai sarana sanitasi utama, baik kepemilikan pribadi maupun fasilitas MCK umum. Rasio kepemilikan septic tank tertinggi terdapat di Kecamatan Laweyan (95,48%) dan Pasar Kliwon (95,06%), sedangkan terendah di Kecamatan Serengan dan Banjarsari. Angka buang air besar sembarangan relatif kecil dengan rasio tertinggi di Kecamatan Serengan (11,79%). Berdasarkan fraksi populasi, seluruh wilayah Surakarta adalah kawasan perkotaan yang didominasi oleh masyarakat berpendapatan tinggi (89,12%).

Pada perhitungan beban emisi sanitasi domestik selain digunakan faktor emisi, digunakan pula faktor konversi untuk menentukan massa limbah yang dihasilkan setiap

individu. Berat limbah tersebut berwujud kg BOD/orang/hari, yang akan menjadi basis perhitungan emisi sanitasi domestik. Koefisien nasional untuk Bod setiap individu adalah sebesar 0,04 kg/orang/hari. Berikut adalah paparan kedua faktor tersebut.

Tabel 3.37 Faktor konversi dan faktor emisi perhitungan beban emisi CH4 (metana) sanitasi domestik

Jenis koefisien perhitungan	Nilai	Satuan
Faktor konversi		
BOD/orang	0,04	Kg/orang/hari
Ambang batas limbah industri	1,25	
Total organic waste (TOW)	17651673,75	Kg BOD/tahun
Faktor koreksi metana		
Septic tank	0,5	
Cubluk	0,1	
Sewer	0,6	
Sembarangan	0,6	
Faktor emisi		
Septic tank	0,3	Kg CH4/kg BOD
Cubluk	0,06	Kg CH4/kg BOD
Sewer	0,48	Kg CH4/kg BOD
Sembarangan	0,06	Kg CH4/kg BOD

Sumber : faktor konversi berdasarkan perhitungan primer, faktor koreksi metana dan faktor emisi dari Kementerian Lingkungan Hidup (2011).

Selain menghasilkan emisi variabel CH4, sanitasi domestik juga menghasilkan emisi N2O (dinitrogen oksida). Basis perhitungan emisi N2O berbeda dengan CH4 karena menggunakan dasar konsumsi protein perkapita untuk dikalikan dengan jumlah populasi. Berdasarkan standar nasional Indonesia, konsumsi protein perkapita bernilai 17,76 kg/orang/tahun. Berikut ini adalah faktor konversi dan faktor emisi yang digunakan.

Tabel 3.38 Faktor konversi dan faktor emisi perhitungan beban emisi N2O (dinitrogen oksida) sanitasi domestik

Jenis koefisien perhitungan	Nilai	Satuan
Konsumsi protein per kapita	17,76	Kg/orang/tahun
Faktor protein tidak dikonsumsi masuk dalam limbah	1,1	
Faktor protein co discharged limbah industri&komersial	1,25	
Fraksi nitrogen dalam protein	0,16	

Faktor emisi	0,005	Kg N ₂ O-N/kg N
--------------	-------	----------------------------

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup (2011)

Menggunakan ketersediaan data aktivitas, faktor konversi dan faktor emisi dapat diperhitungkan estimasi emisi sanitasi domestik pada parameter metana (CH₄) maupun nitrogen dioksida (N₂O) dengan hasil sebagai berikut

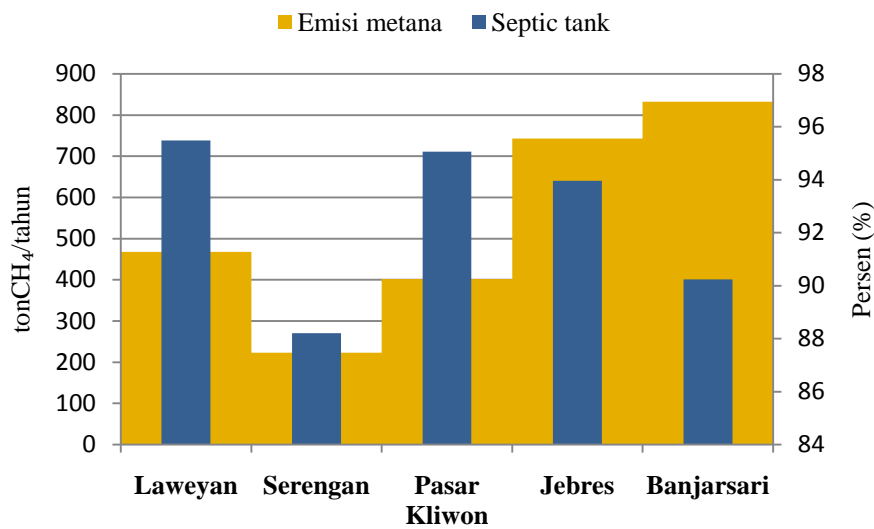
Tabel 3.39 Estimasi emisi sektor sanitasi domestik Kota Surakarta tahun 2018

No	Kecamatan	Populasi	Emisi CH ₄ langsung (ton/tahun)	Emisi N ₂ O tidak langsung (ton/tahun)
1	Laweyan	88614	467,62	2,72
2	Serengan	44950	222,89	1,38
3	Pasar Kliwon	76474	402,15	2,35
4	Jebres	142152	742,75	4,36
5	Banjarsari	161981	832,50	4,97
Total beban emisi sanitasi domestik			2667,90	15,78

Sumber : Perhitungan primer (2018)

Keseluruhan emisi metana langsung dari sektor sanitasi domestik di Kota Surakarta pada tahun 2018 mencapai 2667,90 ton/tahun dan emisi nitrogen dioksida tidak langsung mencapai 15,78 ton/tahun. Berdasarkan distribusi setiap kecamatan menunjukkan emisi metana dan nitrogen dioksida tertinggi dari sektor sanitasi domestik adalah Kecamatan Banjarsari dan Jebres yang dipengaruhi oleh tingginya populasi dan kepemilikan septic tank. Emisi sektor sanitasi domestik terendah terdapat di Kecamatan Serengan sebagai kombinasi antara populasi yang paling kecil dan masih cukup tingginya angka buang air besar sembarangan.

Nilai emisi sanitasi domestik berkorelasi negatif dengan kelayakan kesehatan sarana sanitasi. Sarana sanitasi modern seperti septic tank ternyata menyumbang emisi metana maupun nitrogen dioksida lebih besar daripada buang air besar sembarangan karena lebih lama menahan kotoran (feses) pada suatu lokasi yang statis.



Gambar 3.18 Komparasi antara emisi metana dan rasio kepemilikan septic tank

Meskipun demikian, upaya mereduksi emisi tetap harus dilakukan dengan pertimbangan kelayakan kesehatan lingkungan. Oleh sebab itu, maka metode paling sesuai adalah dengan pemanfaatan kembali sumber emisi menjadi material yang bermanfaat bagi kehidupan sebelum terbuang ke atmosfer sebagai emisi.

BAB IV

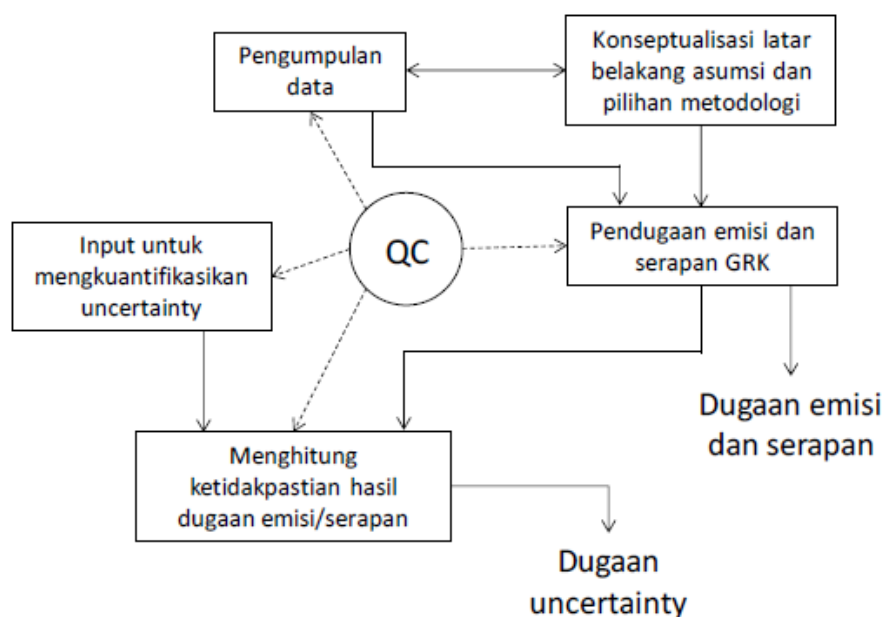
ANALISIS KETIDAKPASTIAN DAN KATEGORI KUNCI

A. Analisis Ketidakpastian

Ketidakpastian atau *uncertainty* adalah kurangnya pengetahuan tentang nilai sebenarnya (*true value*) dari suatu peubah yang bisa dideskripsikan dalam bentuk sebaran kepekatan peluang yaitu mencirikan besar selang kemungkinan nilai dari peubah tersebut. Uncertainty tergantung pada tingkat pengetahuan analis dan akhirnya akan berujung pada kualitas dan besaran dari nilai serta pengetahuan terkait dari proses dan metode dalam pengukuran dan pengumpulan data.

Analisis ketidakpastian merupakan analisis untuk menilai sebesar apa kesalahan hasil dugaan emisi/serapan. 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. Kelengkapan data dikumpulkan dalam periode pengumpulan data. Data yang belum terlengkapi akan dicoba untuk dilengkapi pada Stakeholder Meeting II dengan mengkonsultasikan langsung pada forum instansi terkait (pemilik data).



Gambar 4.1 Struktur generik analisis ketidakpastian (IPCC, 2006)

Uncertainties atau metode ketidakpastian diatasi dengan pendekatan interpolasi. Kondisi ini diaplikasikan untuk data-data tertentu, umumnya pada sumber yang kuantitasnya satuan aktivitasnya besar. Pada sumber emisi tersebut survey total sulit dilakukan karena keterbatasan waktu. Solusinya adalah dilakukan sampel terhadap beberapa sumber dan hasil perhitungan sampel akan digunakan untuk keseluruhan populasi dengan melibatkan interpolasi dengan faktor tertentu.

Analisis ketidakpastian dalam inventarisasi GRK Kota Surakarta relatif tidak banyak dilakukan karena data-data telah tersedia pada dokumen sekunder resmi. Adapun kegiatan ini membatasi dari pelaksanaan survey primer dan lebih berpegang pada pendekatan koleksi data *top down approach*.

Dokumen inventarisasi GRK Kota Surakarta ini secara keseluruhan belum dapat menilai tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) karena ketiadaan data dasar (*baseline data*) emisi GRK (IPCC, 2006). Dokumen ini dapat dikatakan sebagai landasan atau pembuka inventarisasi GRK yang diinisiasi langsung oleh pemerintah kota sehingga dokumen ini akan berperan sebagai data dasar bagi inventarisasi berikut. Inventarisasi berikut adalah momentum ideal untuk memulai perhitungan ketidakpastian secara menyeluruh.

Ketidakpastian akan berkaitan dengan penggunaan data aktivitas, faktor konversi dan faktor emisi. Semakin kompleks suatu data aktivitas, maka nilai ketidakpastian dianggap akan

semakin rendah. Faktor konversi dan faktor emisi yang bersifat lokal akan lebih mampu menggambarkan kondisi emisi lokal dan faktor yang mempengaruhinya. Oleh sebab itu, kedua konstanta tersebut akan memiliki ketidakpastian rendah apabila menampilkan nilai lokal.

B. Kategori kunci

Kategori kunci merupakan sumber/rosot yang menjadi prioritas dalam sistem inventarisasi GRK karena memiliki besar emisi/serapan berpengaruh signifikan terhadap keseluruhan inventarisasi baik dari nilai mutlak, tren, dan tingkat 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. Beberapa faktor trigger yang dapat menentukan kategori kunci pada suatu wilayah antara lain :

1. Sosial budaya masyarakat setempat termasuk persepsi lingkungan, etika lingkungan dominan dan gaya hidup
2. Mata pencaharian atau sektor perekonomian utama yang berkembang dan dikembangkan pada lingkungan setempat
3. Penggunaan lahan utama dan profil geografis wilayah perkotaan

Secara umum terdapat dua metode dalam analisis kategori kunci. Pendekatan pertama menganalisis kategori kunci berdasarkan nilai batas emisi kumulatif. Pendekatan kedua adalah dengan memanfaatkan ketersediaan analisis ketidakpastian atau uncertainty. Pendekatan kedua tidak dapat dilakukan dalam inventarisasi GRK Surakarta karena tidak tersedianya analisis ketidakpastian, sehingga pendekatan yang akan digunakan dalam penentuan kategori kunci adalah metode pertama, Metode pertama terbagi dua yaitu untuk data inventarisasi dalam batasan temporal satu tahun menggunakan Level Assesment dan untuk data inventarisasi yang tersedia dalam time series menggunakan Trend Assesment. Inventarisasi emisi GRK Kota Surakarta hanya menyediakan data dalam satu tahun perhitungan sehingga digunakan pendekatan Level Assesment dengan mengaplikasikan formula sebagai berikut

$$L_{x,t} = | E_{x,t} | / \Sigma | E_{x,t} | \dots(4.1)$$

Dengan

$L_{x,t}$ adalah rasio determinasi sektor emisi x terhadap total emisi t

$Ex.t$ adalah besaran emisi sektor x dalam keseluruhan emisi t

Kategori kunci merupakan kategori utama atau kelompok sektoral yang memiliki beban emisi mencapai 95% dari keseluruhan atau total emisi suatu wilayah atau suatu kategori utama IPCC.

Kajian kategori kunci emisi GRK Kota Surakarta secara keseluruhan, berbasis kategori utama IPCC dengan mengaplikasikan rumus (4.1) mengindikasikan hal sebagai berikut :

1. Untuk parameter GRK karbondioksida, kategori kunci Kota Surakarta adalah penggunaan energi dengan nilai $L_{x,t}$ mencapai 99,98% dari keseluruhan emisi
2. Untuk parameter GRK metana, kategori kunci Kota Surakarta adalah pengelolaan limbah dengan nilai $L_{x,t}$ mencapai 97,04%
3. Untuk parameter GRK nitrogen dioksida, kategori kunci Kota Surakarta adalah pengelolaan limbah (37,73%), penggunaan energi (37,12%) dan AFOLU (25,12%)

Tinjauan dari besaran dan resiko emisi pada setiap parameter, maka kategori kunci emisi GRK di Kota Surakarta adalah penggunaan energi. Hal tersebut ditentukan hanya dari satu parameter GRK utama yaitu karbondioksida. Alasan hal tersebut karena status karbondioksida sebagai gas rumah kaca dengan resiko nomor satu pada lingkungan berikut potensi keluarannya yang memiliki intensitas tinggi, kontinyu, konsisten dan cenderung terus mengalami peningkatan seiring kondisi lingkungan alami, termasuk pengaruh pertumbuhan populasi dan kebutuhan antropogenik. Parameter lain seperti metana dan nitrogen dioksida memang tidak dapat diabaikan, namun meninjau resikonya maka tidak salah jika penanganan karbondioksida ditenmpatkan lebih awal daripada parameter kedua.

Alasan kedua adalah karakter Kota Surakarta. Aktivitas antropogenik didominasi oleh kegiatan perkotaan modern yang senantiasa mengkonsumsi energi dari bahan bakar fosil. Hal tersebut tampak jelas pada hasil inventarisasi emisi. Konsumsi energi akan dominan berkontribusi emisi karbondioksida sebagai hasil sampingan atau entropi dari proses pembakaran (combustion) sempurna. Berikut adalah analisis kategori kunci pada setiap kategori utama emisi IPCC berdasarkan sektor-sektor potensial yang diinventarisasi.

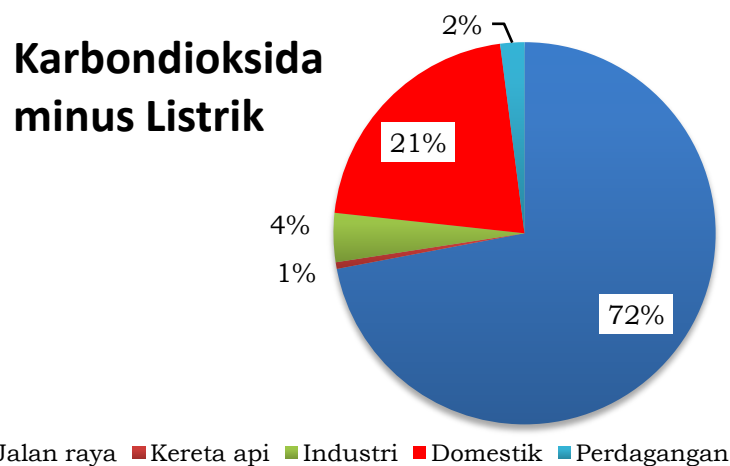
1. Pengadaan dan penggunaan energi

Tidak terdapat pengadaan energi di Kota Surakarta karena tidak ada pembangkit listrik yang berlokasi di dalam wilayah administratif, sehingga emisi GRK dala kategori ini

hanyalah penggunaan energi. Berdasarkan perhitungan Lx,t sebenarnya diperoleh dua sektor dominan pada kontribusi emisi karbondioksida yaitu konsumsi listrik dan transportasi jalan raya. Keduanya telah mampu berkontribusi emisi GRK hingga 90%. Sektor ketiga untuk menggenapkan persyaratan kategori kunci 95% adalah sektor domestik yaitu penggunaan LPG yang berkontribusi pada 7,2% keseluruhan emisi kategori ini.

Konsumsi listrik tidak dapat dijadikan sebagai kategori kunci karena seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa sifat emisi konsumsi listrik hanya bangkitan karena tidak terjadi pembakaran langsung. Oleh sebab itu, tindakan atau kebijakan yang akan diambil tidak akan berdampak secara langsung pada penurunan emisi pembakaran dari pembangkitan listrik karena akan bergantung pula pada bangkita wilayah lain.

Sektor yang dapat disebut sebagai kategori kunci sebenarnya dalam kategori penggunaan energi adalah transportasi jalan raya. Pada karbondioksida sektor ini mempengaruhi 25,46% keseluruhan emisi, pada metana sektor ini berkontribusi hingga 92,71% dan pada nitrogen dioksida sektor ini berkontribusi hingga 96,60%.



Gambar 4.2 Kontributor karbondioksida Kota Surakarta pada kategori penggunaan energi tanpa konsumsi listrik

Jika tanpa konsumsi listrik, kontribusi transportasi jalan raya terhadap emisi karbondioksida mencapai 72% dan sisanya dikontribusikan oleh bahan bakar domestik (21%) dan industri (4%). Untuk bahan bakar domestik, kajian pada aspek lingkungan menunjukkan pemilihan LPG sudah merupakan pilihan yang tepat karena tipe bahan bakar tersebut merupakan pilihan paling ramah lingkungan di pasaran saat ini.

2. Proses industri dan penggunaan produk (IPPU)

Kategori IPPU hanya memunculkan satu sektor saja sebagai sumber emisi yaitu penggunaan pelumas industri. Hal ini berkaitan erat dengan ketersediaan data aktivitas terkait penggunaan produk dalam industri lain yang tidak terdokumentasi. Oleh sebab itu, mutlak kategori kunci dalam kategori IPPU ini adalah penggunaan pelumas (100%)

3. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan (AFOLU)

Kegiatan sektor pertanian dan kehutanan tidak menjadi karakter utama atau mata pencaharian utama masyarakat Surakarta. Masyarakat setempat cenderung lebih tertarik dan memiliki ketergantungan pada sektor antropogenik modern seperti perdagangan, jasa dan pariwisata. Oleh sebab itu, berdasarkan hasil inventarisasi, sektor agrikultur dan kehutanan termasuk di dalamnya peternakan tidak muncul sebagai kontributor utama emisi. Kota Surakarta memiliki lahan pertanian sekaligus lahan terbuka bervegetasi sempit dan ketiadaan kawasan hutan dalam wilayah administrasinya.

Kategori kunci pada kategori AFOLU untuk parameter karbondioksida adalah aplikasi urea (67,17%) dan penggunaan lahan (32,82%). Aplikasi urea menjadi besar karena ketergantungan petani pada pemberian urea untuk memaksimalkan hasil panen dari lahan pertanian yang terbatas. Penggunaan lahan memunculkan emisi karbondioksida tambahan karena telah terlampauinya daya dukung dan daya tampung alami lahan untuk menyerap karbon yang mengakibatkan secara riil stok karbon menjadi minus. Hal tersebut didorong oleh terus berkurangnya lahan terbuka dan tutupan vegetasi di wilayah administratif Surakarta.

Kategori kunci parameter metana pada kategori AFOLU adalah fermentasi enterik (61%) dan pengolahan kotoran (28,3%). Keduanya merupakan entropi dari kegiatan peternakan, Untuk fermentasi enterik, nilainya masih relatif tinggi karena masih adanya peternakan ruminansia (sapi potong dan perah) di wilayah administratif Surakarta. Kategori kunci pada parameter nitrogen dioksida adalah pengolahan tanah (93,8%) yang dikontribusikan terutama oleh penambahan nitrogen (melalui pemupukan) pada lahan pertanian.

4. Pengelolaan limbah

Emisi pengelolaan limbah merupakan konsekuensi mutlak dari pertumbuhan populasi pada suatu wilayah. Kecenderungannya adalah semakin modern dan layak sehat fasilitas sanitasi akan mendorong emisi, khususnya parameter metana, semakin tinggi. Pada parameter metana kategori kunci adalah landfill (58,14%) dan sanitasi domestik

(41,86%). Tidak ada yang benar-benar berkontribusi lebih mutlak pada emisi metana terhadap sektor lain. Tingginya emisi metana pada penanganan sampah (landfill) disebabkan oleh pola penanganan sampah TPA Putri Cempo yang hanya mengandalkan metode open dumping. Pada parameter nitrogen dioksida kategori kunci adalah sanitasi domestik sebagai sumber emisi tunggal pada kategori pengelolaan limbah.

BAB V

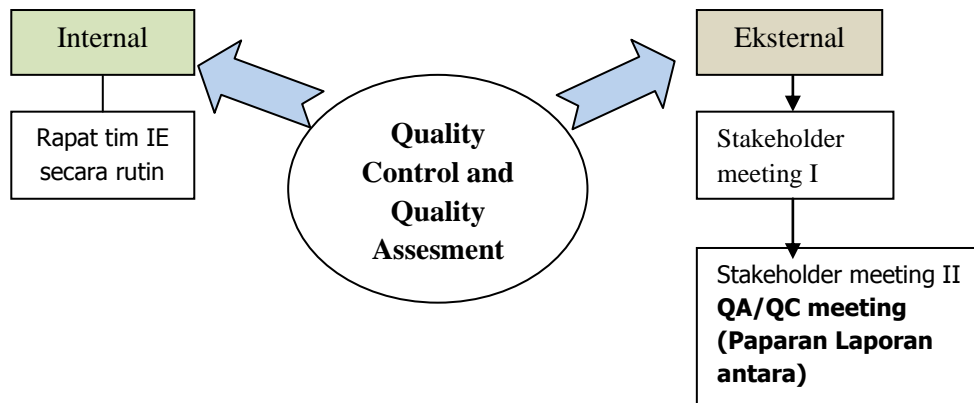
PENGENDALIAN DAN PENJAMINAN MUTU

Pengembangan sistem pengendalian dan penjaminan mutu tidak hanya bermanfaat untuk menghasilkan Inventarisasi GRK berkualitas, tetapi juga secara langsung akan menghasilkan data dan informasi pelaksanaan pembangunan yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Keberadaan data dan informasi yang akurat sangat diperlukan bagi penyusunan perencanaan pembangunan berkelanjutan.

Pengendalian mutu (QC) merupakan sistem pelaksanaan kegiatan rutin yang ditujukan untuk menilai dan memelihara kualitas dari data dan informasi yang dikumpulkan dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Kegiatan QC dilakukan oleh orang yang bertanggungjawab dalam pengumpulan data dan informasi tersebut. Penjaminan mutu (QA) adalah suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan review yang dilaksanakan oleh seseorang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Kegiatan review akan memverifikasi bahwa penyelenggaraan inventarisasi GRK sudah sesuai prosedur dan standar yang berlaku dan menggunakan metode terbaik sesuai dengan perkembangan pengetahuan terkini dan ketersediaan data.

Pengendalian dan penjaminan mutu dilakukan untuk memastikan kualitas dua variabel yaitu data aktivitas dan hasil hitungan beban emisi. USEPA (2005) menyatakan tentang pentingnya pengendalian mutu dilakukan sejak dasar pelaksanaan yaitu secara internal. Pengendalian mutu (QC) internal disertakan dalam perencanaan awal inventarisasi meliputi :

1. Pengecekan kalkulasi beban emisi untuk meminimalisasi kesalahan (error)
2. Pengecekan pada faktor emisi untuk memastikan kesesuaian penggunaan faktor emisi tersebut, termasuk konversi satuan pada data aktivitas
3. Mendokumentasikan seluruh asumsi atau pendekatan ilmiah yang mungkin dilakukan dalam kalkulasi emisi
4. Membandingkan keselarasan hasil perhitungan emisi antar sumber atau dengan kondisi logis di lapangan atau dengan kondisi emisi kota lain berdasarkan atas karakteristik kegiatannya.



Gambar 5.1 Mekanisme QA/QC internal dan eksternal

Tujuan dari pelaksanaan pengendalian mutu antara lain adalah

1. Menyediakan mekanisme pengecekan rutin dan konsisten agar data yang dikumpulkan memiliki integritas, benar dan lengkap
2. Mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan dan kehilangan data
3. Mendokumentasikan dan menyimpan semua data dan informasi untuk inventarisasi GRK dan mencatat semua aktivitas pengendalian mutu yang dilakukan.

Pengendalian mutu secara internal dilakukan dengan penyelenggaraan rapat atau koordinasi antar personel tim inventarisasi termasuk di dalamnya surveyor secara berkala per minggunya. Pelaksanaan Stakeholders Meeting dengan instansi atau pihak pemilik data adalah untuk menggaransi penjaminan mutu data. Artinya data yang diperoleh nantinya merupakan benar benar data sekunder yang dimiliki, diketahui atau disediakan oleh pihak yang berkompeten.

Kendali mutu secara eksternal dilakukan sebelum dan pasca perhitungan beban emisi GRK keseluruhan diselesaikan melalui QA/QC Meeting atau Stakeholder Meeting. Stakeholder meeting I merupakan pertemuan pembuka dengan pihak shareholder yang berperan menyamakan visi dan misi terhadap pelaksanaan inventarisasi GRK. Pada stakeholders meeting I juga dilakukan pengendalian mutu khususnya terhadap sumber-sumber emisi potensial wilayah perkotaan. Stakeholders meeting II dilaksanakan dengan kembali melibatkan pihak pemilik data. Tujuannya yaitu : melakukan pengecekan silang terhadap data yang digunakan dan mengecek perhitungan beban emisi secara bersama-sama.

Tabel 5.1 Prosedur umum rencana pengendalian mutu (QC) inventarisasi GRK Kota Surakarta

Tahapan	Keterangan aktivitas
1	Melakukan pengecekan pendokumentasian asumsi dan kriteria untuk memilih data aktivitas, faktor emisi dan parameter dugaan lainnya
2	Melakukan pengecekan pada input data, transkrip dan referensi
3	Melakukan pengecekan terhadap perhitungan emisi dan serapan karbon
4	Melakukan pengecekan pada kesesuaian penggunaan parameter, satuan dan faktor konversi
5	Melakukan pengecekan pada keteraturan penataan file basis data
6	Melakukan pengecekan konsistensi data pada setiap kategori atau pembahasan
7	Melakukan pengecekan terhadap kelengkapan dan kesesuaian data
8	Mengecek keteraturan dan kesesuaian transisi data pada setiap analisis perhitungan GRK
9	Melakukan pengecekan kesesuaian secara logis dan ilmiah terhadap penggunaan data tren atau time series
10	Melakukan pengecekan terhadap sistem dokumentasi internal

Sumber : Pengolahan dari dokumen Kementerian Lingkungan Hidup (2011)

Penjaminan mutu (QA) adalah suatu sistem yang dikembangkan untuk melakukan review yang dilaksanakan oleh seseorang yang secara langsung tidak terlibat dalam penyelenggaraan inventarisasi GRK. Penjaminan mutu dilakukan melalui proses pemaparan secara langsung hasil perhitungan dalam dua tahapan yaitu laporan antara dan paparan akhir. Secara khusus kedua tahapan tersebut mengikutsertakan pihak-pihak terkait untuk memberikan masukan dalam hubungannya dengan hasil inventarisasi secara bertahap yaitu pada laporan antara dengan hanya melibatkan Dinas Lingkungan Hidup setempat sebagai penanggung jawab dan pada paparan akhir dengan melibatkan keseluruhan shareholder. Kedua kegiatan juga berperan sebagai pengendalian mutu (QC). Penjaminan mutu terutama akan difokuskan pada kategori kunci sebagai penanda atau milestone bagi upaya manajemen kualitas udara setempat yang akan dirumuskan berbasis hasil inventarisasi.

BAB VI

RENCANA PERBAIKAN PENYELENGGARAAN INVENTARISASI GAS RUMAH KACA (GRK)

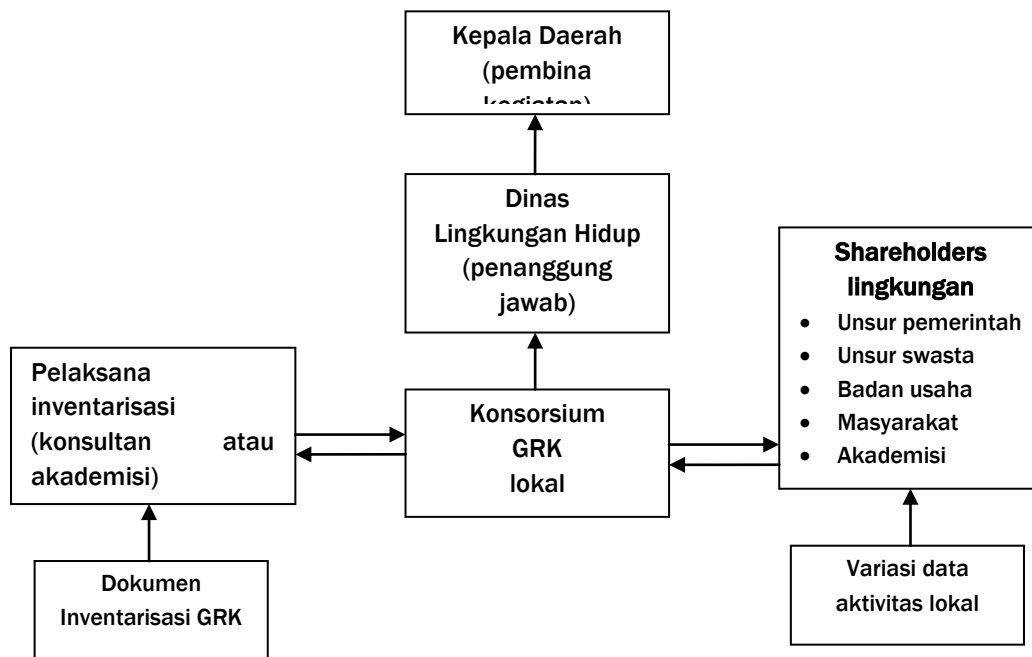
A. Perbaikan Dokumentasi dan Koordinasi Data Lokal

Kota Surakarta memiliki data aktivitas yang tersebar pada beberapa shareholder lingkungan, bersifat shareholder lokal dengan cakupan lokal maupun shareholder regional dan nasional. Penyusunan dokumen Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) Kota Surakarta 2018 menjadi titik awal baru bagi perhitungan emisi, dapat diterapkan sebagai baseline year data untuk perhitungan tahun-tahun berikutnya. Oleh sebab itu, instansi instansi terkait mulai dapat secara rutin mendokumentasi data-data terkait dengan bidang penguasaan yang akan secara rutin digunakan, minimal adalah sesuai atau selaras dengan sektor yang telah diinventarisasi pada tahun dasar.

Peran dari dokumentasi secara mandiri adalah memudahkan penyerahan dan pengumpulan data pada tahun berikutnya. Adanya dokumentasi sekaligus akan menjadi sumber pengecekan bagi perhitungan ketidakpastian maupun penjaminan kualitas dari dokumen inventarisasi GRK. Lebih jauh melalui data yang telah didokumentasi dengan baik akan dapat ditentukan model-model emisi lokal secara sederhana yang akan mengarah sebagai landasan penyusunan faktor emisi lokal. Hal tersebut berperan dalam meningkatkan akurasi perhitungan hingga mampu untuk mendekati norma akurasi hitungan Tier III. Time series data untuk keperluan pemodelan, secara statistik, tentu saja tidak hanya dalam rentang pendek 3-5 tahun, namun pada rentang periode dokumentasi lebih panjang hingga satu atau dua dekade.

Pemilik data yaitu shareholders lingkungan Kota Surakarta merupakan elemen terpenting dari inventraisasi GRK, terutama apabila mempertahankan pendekatan top down yang simpel. Oleh sebab itu kesepahaman visi, kesatuan maksud dan tujuan antar shareholders penting untuk diciptakan. Kesepahaman dan kesatuan tersebut hanya dapat terjadi ketika koordinasi antar instansi telah berjalan dengan baik. Dinas Lingkungan Hidup Surakarta wajib mengambil peran sebagai pusat koordinasi termasuk dalam penyatuan visi tentang data aktivitas. Koordinasi yang telah terjalin pada pengumpulan data tahun dasar semestinya dipertahankan dan disempurnakan. Jumlah instansi maupun elemen shareholders

sebisa mungkin untuk ditambah yang bermanfaat bagi pengayaan dan pelengkapan data maupun uncertainties.



Gambar 6.1 Skema dokumentasi dan koordinasi shareholders lokal

Berkaitan dengan upaya untuk meningkatkan koordinasi maupun dokumentasi terhadap data aktivitas yang konsisten, maka penting untuk dilakukan pembentukan konsorsium shareholder gas rumah kaca lokal. Konsorsium tersebut benar-benar melibatkan personal yang menguasai atau setidaknya memiliki aksesibilitas terhadap data di setiap elemen shareholders. Konsorsium tersebut dapat berisi elemen lengkap shareholders mencakup ; unsur pemerintah, badan usaha, unsur swasta, unsur masyarakat dan akademisi. Peran konsorsium lokal adalah sebagai penghubung sekaligus kompilator data aktivitas yang telah didokumentasikan pada masing-masing instansi. Anggota konsorsium akan terus dilibatkan dan dipertahankan dalam kegiatan inventarisasi sehingga akan muncul konsistensi, keberlanjutan dan evaluasi diri yang lebih sempurna seiring dengan pemahaman yang tinggi dari masing-masing personel dalam konsorsium. Pusat pertanggungjawaban konsorsium berada di bawah Dinas Lingkungan Hidup dengan mengamanahkan pembinaan pada Kepala Daerah.

B. Perbaikan Metode Koleksi Data

Koleksi data dengan metode top down dirasa beresiko tinggi terhadap terjadinya ketidakpastian. Artinya, hasil dari estimasi emisi kemungkinan besar akan berada pada posisi overrated atau underrated terhadap kondisi sebenarnya. Pendataan top down akan serta merta

menghilangkan gambaran tentang kondisi lingkungan lokal yang lengkap. Sebagai contoh adalah perhitungan emisi transportasi jalan raya dengan metode penjualan bahan bakar yang akan mengabaikan kondisi kota sebagai wilayah transit atau pusat kegiatan kawasan hinterland.

Metode yang dianggap lebih faktual adalah bottom up yang dapat dikombinasikan dengan data sekunder sebagai pembanding. Metode bottom up akan langsung mencari data secara mendetail pada lapangan sehingga dapat ditentukan target Tier hitungan yang harus dicapai berdasarkan ketersediaan data lapangan. Permasalahan sebenarnya sebagai pemicu tingkat emisi sektor tertentu akan lebih detail teridentifikasi melalui metode bottom up.

Kelemahan metode bottom up adalah kebutuhan terhadap sumber daya berupa modal, tenaga maupun waktu yang lebih besar dibandingkan aplikasi top down. Oleh sebab itu, jikalau metode bottom up masih belum dapat diaplikasikan akibat keterbatasan sumber daya, maka solusi yang dapat ditempuh adalah dengan memperbaiki kualitas data. Perbaikan tersebut dapat dilakukan dengan pemetaan dan penyusunan kebutuhan data aktivitas sejak dini untuk mencapai suatu kualitas tertentu. Data aktivitas pada akhirnya wajib distandarkan kedalaman faktanya dan menjadi kewajiban bagi setiap shareholders pemilik data untuk melengkapi data sesuai dengan perencanaan awal.

C. Peningkatan Metode Perhitungan dan Analisis Data

Metode perhitungan emisi GRK bersumber pada satu formula baku emisi yaitu perkailaian antara data aktivitas dengan faktor emisi. Perbedaan pada hasil perhitungan adalah Tier atau level akurasi hitungan yang sepenuhnya bergantung pada kompleksitas data aktivitas dan ketersediaan faktor emisi lokal. Satu poin yang dapat dikejar adalah penyediaan data aktivitas yang lebih kompleks untuk menggapai Tier yang lebih meningkat.

Salah satu alternatif yang dapat ditempuh untuk meningkatkan akurasi perhitungan adalah dengan mengaplikasikan assistance software. Assistance software atau worksheet dimaksud antara lain seperti model emisi metana landfill sampah IPCC (telah diterapkan dalam inventarisasi ini) dan Mobilev software untuk mengestimasi emisi transportasi jalan raya dengan pendekatan Tier III. Tentu saja, sekali lagi penggunaan software atau worksheet tersebut membutuhkan ketersediaan data lebih lengkap atau bahkan time series pada periode yang panjang.

Analisis data dalam inventarisasi GRK adalah berbasis kuantitatif yang bermakna minimal ada pembahasan terhadap hasil secara kuantitatif atau menyajikan data kuantitatif dalam format interaktif. Meskipun demikian, akan lebih baik apabila analisis data diperkaya secara kualitatif dengan merujuk pada rona lingkungan lokal, kajian pembandingan pada kota lain, expert judgement maupun studi literatur terkait. Hal tersebut tentunya akan membantu perencanaan manajemen kualitas udara dalam rangka reduksi emisi.

Peningkatan kedalaman analisis data dapat dicapai melalui penambahan sub sektor dalam inventarisasi emisi. Sebagai contoh pada penggunaan energi sektor perdagangan, sesuai dengan karakter Surakarta dapat dipecah dalam sub sektor seperti perhotelan, pertokoan hingga perkantoran. Selain itu, dapat pula ditambahkan sektor jasa berupa kesehatan dan pendidikan mempertimbangkan status Surakarta sebagai pusat pelayanan wilayah hinterland. Kesulitan pelengkapan data pada sektor atau subsektor baru dapat diatasi menggunakan metode-metode uncertainties seperti interpolasi dan generalisasi data meskipun pada tahun berikutnya wajib tersedia data riil berbasis dokumentasi resmi pemerintah atau asosiasi terkait. Penambahan sumber emisi tersebut akan membuka lebih luas tentang beban emisi yang ditanggung wilayah setempat dan upaya-upaya terstruktur untuk mengatasinya. Peningkatan analisis terhadap emisi juga dapat dicapai melalui kajian data time series serta analisis korelasi-regresi terhadap variabel-variabel yang diperkirakan mempengaruhi perubahan nilai emisi, terutama pada kategori kunci.

D. Perbaikan Quality Assesment (QA)

Kegiatan inventarisasi GRK pada tahun dasar di Kota Surakarta mengandalkan stakeholdermeeting dan pertemuan internal sebagai sarana quality assesment. Pada masa mendatang hal ini harus dilakukan dengan melibatkan ahli atau expert dalam inventarisasi emisi yang bersifat independen. Artinya adalah expert tersebut tidak mengambil peran dalam inventarisasi atau perhitungan bahkan jika mungkin expert yang berasal dari luar wilayah Surakarta.

E. Konsistensi dan Kontinuitas

Pada akhirnya elemen terpenting dari sebuah kegiatan inventarisasi GRK adalah konsistensi dan kontinuitas. Gas Rumah Kaca adalah isu penting pada dunia modern dengan tuntutan pada seluruh negara dan wilayah lebih kecil di dalamnya untuk turut serta dalam upaya mitigasi dan reduksi. Dampak GRK nyatanya tidak kecil dalam lingkungan modern bahkan dipandang sebagai pemicu utama perubahan iklim. Oleh sebab itu diperlukan

konsistensi dan kontinuitas pelaksanaan inventarisasi GRK dengan terlebih dahulu menentukan periode ideal untuk re-inventarisasi setelah pelaksanaan tahun dasar kegiatan. Kontinuitas kegiatan harus dicapai melalui peningkatan kualitas hasil yang dicapai berbasis pada akurasi estimasi emisi. Konsistensi diwujudkan dengan pelaksanaan secara teratur dan konsisten pada metode yang digunakan, pengelompokkan emisi hingga penyediaan dan kelengkapan data aktivitas emisi.

F. Evaluasi Diri

Evaluasi diri penting dilaksanakan oleh pelaksana inventarisasi emisi untuk memperbaiki atau meningkatkan kualitas kegiatan pada masa mendatang. Evaluasi diri dapat dilakukan dengan melakukan pencatatan dan dokumentasi terhadap masukan baik pada saat stakeholder meeting maupun dari expert judgement.

Evaluasi diri juga perlu dilakukan oleh penyelenggara inventarisasi emisi terutama berkaitan dengan kelancaran pengumpulan data untuk memperbaiki metode pendekatan pada tiap shareholders (telah disarankan melalui pembentukan konsorsium GRK). Evaluasi diri juga perlu dilakukan oleh masing masing shareholders terkait kepemilikan, kelengkapan dan kontinuitas data mengingat dari data tersebut estimasi dan perencanaan mitigasi emisi berasal.

BAB VII

PENUTUP

A. Kesimpulan

Selaras dengan tujuan pelaksanaan inventarisasi GRK Kota Surakarta tahun 2018, maka kesimpulan dari kegiatan ini antara lain adalah :

1. Sumber emisi di Kota Surakarta dibagi berdasarkan kategori utama IPCC adalah : penggunaan energi meliputi (a) transportasi meliputi (i) jalan raya (ii) kereta api, (b) industri, (c) domestik, (d) perdagangan dan (e) konsumsi listrik; proses industri dan penggunaan produk (IPPU) meliputi : (a) penggunaan pelumas industri; pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan meliputi : (a) peternakan meliputi (i) fermentasi enterik (ii) pengolahan kotoran, (b) pertanian meliputi (i) aplikasi urea (ii) pengolahan tanah (lahan) (iii) pengolahan sawah, dan (c) penggunaan lahan; pengelolaan limbah meliputi (a) landfill sampah dan (b) sanitasi domestik
2. Beban emisi GRK Kota Surakarta pada tahun 2018 berdasarkan kategori utama dan parameter diinventarisasi adalah
 - a. Penggunaan energi pada parameter karbondioksida mengemisikan 1210022,64 ton/tahun, parameter metana mengemisikan 123,7 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 15,37 ton/tahun
 - b. Proses industri dan penggunaan produk pada parameter karbondioksida mengemisikan 15,17 ton/tahun, pada parameter metana dan nitrogen dioksida tidak ada emisi
 - c. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan pada parameter karbondioksida mengemisikan 268,07 ton/tahun, pada parameter metana mengemisikan 62,90 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 10,52 ton/tahun
 - d. Pengelolaan limbah pada parameter karbondioksida tidak ada emisi, pada parameter metana mengemisikan 6373,37 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 15,78 ton/tahun
 - e. Secara keseluruhan untuk Kota Surakarta pada parameter karbondioksida mengemisikan 1210305,88 ton/tahun, parameter metana mengemisikan 6559,96 ton/tahun dan parameter nitrogen dioksida mengemisikan 41,68 ton/tahun atau seluruhnya setara dengan 1360887,39 ton CO₂ ekuivalen

3. Kategori kunci pada emisi GRK Kota Surakarta untuk parameter karbondioksida adalah penggunaan energi, untuk parameter metana adalah pengelolaan limbah dan untuk parameter nitrogen dioksida adalah pengelolaan limbah, penggunaan energi dan AFOLU.
4. Rekomendasi utama sebagai upaya mitigasi dan reduksi emisi Kota Surakarta adalah dengan manajemen transportasi jalan raya termasuk yang paling krusial adalah mengurangi jumlah kendaraan pribadi secara signifikan .

B. Rekomendasi

Bagian kesimpulan telah memuat rekomendasi yang bersifat utama, krusial dan mendesak dilakukan dalam upaya mereduksi emisi GRK di Kota Surakarta. Karbondioksida adalah parameter GRK dengan resiko nomor satu dalam menyebabkan dampak perubahan iklim. Oleh sebab itu, beberapa rekomendasi akan lebih diarahkan sebagai upaya mereduksi emisi parameter tersebut, terutama mempertimbangkan beban emisi yang begitu dominan dibandingkan parameter lainnya di Kota Surakarta. Berikut adalah ajuan rekomendasi berdasarkan kategori utama sumber emisi GRK IPCC

1. Penggunaan energi

- a. Manajemen lalu lintas jalan raya dalam wilayah Kota Surakarta melalui metode teknis penambahan ruas jalan lingkar yang melintas di luar wilayah untuk mengurangi kendaraan antarkota yang melintasi wilayah perkotaan.
- b. Reduksi kendaraan pribadi melalui pengetatan syarat kepemilikan kendaraan maupun regulasi mengemudi dan penambahan angkutan publik yang memadai
- c. Kampanye penggunaan angkutan publik dimulai dari instansi pemerintahan dan komunitas pendidikan (penyediaan bus kantor, bus sekolah atau kemudahan akses transportasi publik)
- d. Kampanye penggunaan kendaraan non bahan bakar fosil dimulai dari instansi pemerintahan dan komunitas pendidikan (penyediaan bus kantor, bus sekolah atau kemudahan akses transportasi publik)
- e. Pelaksanaan pengujian emisi kendaraan secara konsisten dan menginisiasi penilangan terhadap pelanggaran baku mutu emisi kendaraan
- f. Konversi bahan bakar ramah lingkungan pada sektor industri menengah dan besar
- g. Memulai pendataan dan dokumentasi penggunaan bahan bakar (jenis dan konsumsinya) pada industri kecil dan rumah tangga

- h. Kampanye dan penyelenggaraan program *reward-punishment* hemat energi pada masyarakat, sektor perdagangan, jasa dan perkantoran, khususnya dalam pemakaian energi listrik

2. Proses industri dan penggunaan produk

- a. Efisiensi penggunaan pelumas industri pada industri menengah dan besar
- b. Pendataan dan dokumentasi variabel aktivitas proses industri dan penggunaan produk seperti pelumas dan wax (lilin) terutama pada sektor-sektor yang saat ini belum terjangkau pendataan

3. Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan

- a. Kerjasama dengan akademisi untuk mengadakan penelitian terhadap jenis pakan dan pola pemberian pakan ternak ruminansia terutama untuk mengurangi fermentasi enterik
- b. Pemanfaatan kotoran atau limbah ternak menjadi lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis sebagai biogas atau pupuk agar mampu memberikan nilai positif tambahan sebelum teremisikan ke atmosfer
- c. Efisiensi dalam penggunaan pupuk dan penerapan local wisdom dalam selang waktu penanaman padi sawah irigasi penuh
- d. Upaya penambahan ruang terbuka hijau dan peningkatan jumlah vegetasi yang efektif dalam menyerap karbon khususnya pada kawasan pusat perekonomian

4. Pengelolaan limbah

- a. Modernisasi metode perlakuan timbulan sampah pada TPA Putri Cempo menjadi sanitary landfill untuk mereduksi emisi metana
- b. Pemasalan bank sampah dan penggalakan kegiatan 3R (*reduce, reuse and recycle*) terhadap sampah beserta pengembangan atau distribusi produknya untuk menarik minat masyarakat dan komunitas berpartisipasi aktif

REFERENSI

- Alyuz, U and Alp, K., 2014, Emission Inventory of Primary Air Pollutants in 2010 from Industrial Processes in Turkey, *Science of The Total Environment* 488-489 : 369-381. www.elsevier.com/locate/scitotenv. (diakses 15 November 2016).
- Badan Pusat Statistik Daerah Surakarta. 2017. *Surakarta Dalam Angka 2017*. Surakarta : BPSD Surakarta
- Dinas Komunikasi dan Informatika. 2017. *Figur Data Kota Surakarta 2016*. Surakarta : Dinas Komunikasi dan Informatika
- Gioli, B., Gualtieri, G., Busillo, C., Calastrini, F., Zaldei, A., and P. Toscano. 2015. Improving high resolution emission inventories with local proxies and urban eddy covariance flux measurement. *Atmospheric Environment* 115 : 246-256.
- Gulia, S., Nagendra, S.M.S., Khare, M., and I. Khanna. 2014. Urban Air Quality Management : A Review. *Atmospheric Pollution Research* 6 (2015) : 286-304
- Hill, M.K. 2004. *Understanding Environmental Pollution*. Second Edition. Cambridge-UK : Cambridge University Press
- IPCC. 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Japan : Institute for The Global Environmental Strategies
- IPCC. 2013. *Report on Climate Change 2013*. Greenfacts. www.greenfacts.org
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2011. *Pedoman Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. *Status Lingkungan Hidup Indonesia 2011*, Pilar Lingkungan Hidup Indonesia
- Keraf, S. 2002. *Etika Lingkungan*. Jakarta : Penerbit Kompas Gramedia
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang *Pengendalian Pencemaran Udara*
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 61 Tahun 2011 tentang *Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2011 tentang *Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang *Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara*
- Peraturan Daerah Kota Surakarta Nomor 2 Tahun 2006 tentang *Pengelolaan Lingkungan Hidup*
- Popescu, F. and Ionel, I. 2010. *Anthropogenic Air Pollution Sources. Air Quality* (Edited by Ashok Kumar). Intechopen Europe. Rijeka : Sciyo
- Ramanathan, V. and Feng, Y. 2009. Air pollution, Greenhouse Gases and Climate Change : Global and Regional Perspectives. *Atmospheric Environment* 43 (2009) pp 37-50. Elsevier Ltd

- Setyono, P., Pranoto, Purnawan, C., Himawan, W., Mawahib, S.H., Rahman, K., and Arsianti, A. 2014. *Final Report Emission Inventory for City of Surakarta*. Jakarta, Indonesia : Ministry of Environmental-GIZ.
- Shahbazi, H., Taghvaei, S., Hosseini, V., and H. Afhsin. 2016. A GIS based emission inventory development for Tehran. *Urban Climate* 17 (2016) : 216-229.
- Suhadi, D.R., Febrina, A.S., Setyono, P., Himawan, W., Pramadhony, Mahalana, A., Zakaria, M., Krisnawaty, L., Tambun, J.H., Harsono, Rena, T., Darajat, R., dan R.M. Rumaepa. 2013. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemaran Udara di Perkotaan*. Jakarta : Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia
- Sunarto, Wiryanto and W. Himawan. 2016. The estimation of emission from the gateways to Surakarta City, Indonesian using the software of Mobilev 3.0 as the basis for an action plan of emission control. *Nusantara Bioscience* 8 (2)
- Undang Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang *Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*
- Undang Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Mitigasi

LAMPIRAN I

Tabel Ringkasan Emisi dan Serapan Gas Rumah Kaca

No	Kategori	Emisi (ton/tahun)		
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1	Penggunaan energi	1210022,64	123,70	15,37
2	Proses industri dan penggunaan produk	15,17	0,00	0,00
3	Pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan	268,07	62,90	10,52
4	Pengelolaan limbah	0,00	6373,37	15,78
Total emisi GRK		1210305,88	6559,96	41,68

LAMPIRAN II

Tabel Basis Data Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi

1. Penjualan bahan bakar transportasi Kota Surakarta

No	Jenis bahan bakar	Konsumsi (kL)
1	Pertamax plus	904
2	Pertamax	22504
3	Premium	61936
4	Solar	264
5	Biosolar	22368
6	Solar NPSO	0
7	Dex	597
8	Pertalite	23376
9	Turbo	272

2. Trayek dan jarak tempuh kereta api di Kota Surakarta

a. Kereta penumpang

No	NAMA KERETA	ARAH	JENIS LOKOMOTIF	JENIS BAHAN BAKAR	Total Jarak Lintasan (km)
1	Matarmaja	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
2	Malabar	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
3	Majapahit	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
4	Bima	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
5	Mutiara Selatan	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
6	Gajayana	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
7	Brantas	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
8	Bangunkarta	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
9	Lodaya	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
10	Turangga	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
11	Argo Lawu	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
12	Pandan Wangi	SOLO BALAPAN-SEMARANG	Diesel	HSD (Solar)	3,731
13	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
14	Kahuripan	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
15	Senja Utama	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
16	Argo Lawu	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
17	Batara Kresna	SOLO BALAPAN-PWSARI	Diesel	HSD (Solar)	2,799
18	Sriwedari	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
19	Lodaya Pagi	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
20	Sriwedari	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
21	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
22	Argo Lawu	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
23	Manja AC	JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	12,646
24	Sancaka	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646

25	SriTanjung	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
26	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
27	Logawa	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
28	Argo Lawu	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
29	Sriwedari	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
30	Pandan Wangi	SEMARANG-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	3,731
31	Sancaka	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
32	Prameks	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
33	Banyubiru	SEMARANG-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	3,731
34	Pasundan	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
35	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
36	Prameks	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
37	Banyubiru	SOLO BALAPAN-SEMARANG	Diesel	HSD (Solar)	3,731
38	Logawa	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
39	Manja Ekonomi	JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	12,646
40	Molek	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
41	Sriwedari	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
42	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
43	Pasundan	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
44	Lodaya Pagi	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
45	Bengawan	SOLO KASUNANAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	6,412
46	Sriwedari	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
47	Brantas	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
48	Prameks	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
49	Argo Wilis	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
50	Argo Dwipangga	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
51	Gaya Baru Malam	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
52	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
53	Manja AC	JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	12,646
54	Sancaka Sore	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
55	Manja Ekonomi	JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	12,646
56	Batara Kresna	PWSARI-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	2,799
57	Kahuripan	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
58	Prameks	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
59	Senja Utama	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
60	Prameks	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
61	Argo Dwipangga	JAKARTA-SOLO BALAPAN	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
62	SriTanjung	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
63	Bangunkarta	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
64	Sriwedari	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
65	Lodaya Malam	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
66	Malabar	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
67	Sancaka Sore	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
68	Manja AC	SURABAYA	Diesel	HSD (Solar)	12,646

69	Argo Dwipangga	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
70	Sriwedari	SOLO BALAPAN-JAKARTA	Diesel	HSD (Solar)	4,215
71	Majapahit	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
72	Mutiara Selatan	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
73	Gajayana	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
74	Prameks	JAKARTA-SOLO BALAPAN	Diesel	HSD (Solar)	4,215
75	Gaya Baru Malam	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
76	Bima	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
77	Argo Dwipangga	SOLO BALAPAN-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	4,215
78	Matarmaja	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
79	Turangga	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
80	Bengawan	JAKARTA-SOLO KASUNANAN	CC 203-204	HSD (Solar)	6,412
81	Molek	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646

b. Kereta barang

1	Semen Gresik	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
2	Semen Gresik	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
3	BBM	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
4	Semen Gresik	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
5	Garuda Food	SEMARANG-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	7,946
6	Semen Gresik	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
7	Barang Cepat	SEMARANG-SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	9,965
8	Barang Cepat	SEMARANG-SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	9,965
9	Barang Cepat	SEMARANG-SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	9,965
10	Garuda Food	SEMARANG-JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	7,946
11	BBM	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
12	Semen Gresik	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
13	Barang Cepat	SEMARANG-SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	9,965
14	Semen Gresik	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
15	Semen Tiga Roda	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
16	Semen Tiga Roda	JAKARTA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
17	Semen Gresik	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
18	Barang Cepat	SEMARANG-SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	9,965
19	Semen Tiga Roda	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
20	Semen Tiga Roda	SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	12,646
21	Barang Cepat	SEMARANG-SURABAYA	CC 203-204	HSD (Solar)	9,965

c. Kereta langsir

1	Langsir Lok Bengawan	SOLO BALAPAN-SOLO KASUNANAN	BB 203-204	HSD (Solar)	2,197
2	Langsir Lok Bengawan	SOLO BALAPAN-SOLO KASUNANAN	BB 203-204	HSD (Solar)	2,197

3. Bahan Bakar Industri

Kelompok industri	Konsumsi/jenis bahan bakar					
	Bensin (l)	Solar (l)	Kerosen (l)	Batubara (ton)	LPG (ton)	LNG (ton)
Makanan	6470	193076	0	0	104,98	0
Tekstil	3960	185970	1255	4805,57	23,54	0
Pakaian jadi	20628	42551	0	0	2,65	0
Percetakan dan repro	80768	14450	515	0	0,17	0
Karet, barang karet&plastik	75154	330195	0	0	0	0
Furniture	110766	17236	0	0	2,20	3,50
Lainnya	64220	174245	1500	0	118,08	0
Total	361966	957723	3270	4805,57	251,62	3,50

4. Bahan Bakar Rumah Tangga dan Perdagangan

No	Sektor	Jenis LPG	Konsumsi (ton/tahun)
1	Domestik	LPG 3 kg	25358,886
		LPG 12 kg	5080,776
		Bright Gas 12 Kg	322,992
		Bright Gas 5,5 kg	78,716
Total konsumsi LPG domestik			30841,37
2	Perdagangan	LPG 50 kg	2969,9
		Total konsumsi LPG perdagangan	
Total konsumsi LPG domestik+perdagangan			33811,27

5. Konsumsi Listrik

No	Sektor konsumsi	Konsumsi (MWh/tahun)
1	Rumah tangga	337082
2	Industri	222792
3	Sosial	85017
4	Bisnis	258610
5	Kantor	14150
6	Penerangan Jalan	32726
Total konsumsi Kota Surakarta		950377

LAMPIRAN III

Tabel Basis Data Kegiatan Proses Industri dan Penggunaan Produk

1. Pemakaian Pelumas

Jenis Industri	Konsumsi	ton konversi	Konsumsi
	l	kg/l	ton
Makanan	3097	0,9389	2,907773
Tekstil	8096	0,9389	7,601334
Pakaian jadi	1328	0,9389	1,246859
Percetakan dan repro	4305	0,9389	4,041965
Karet, barang krt&pls	4788	0,9389	4,495453
Furniture	3800	0,9389	3,56782
Lainnya	1963	0,9389	1,843061
Sum total	27377		25,70427

LAMPIRAN IV

Tabel Basis Data Kegiatan Pertanian, Kehutanan dan Penggunaan lahan

1. Peternakan

No	Jenis Ternak Budidaya	Periode Dokumentasi		
		2016		
		Jumlah (ekor)	Umur Rata rata (hari)	Populasi tahunan (ekor)
1	Sapi Potong	21		21
2	Sapi Perah	568		568
3	Kerbau	13		13
4	Kambing	404		404
5	Domba	0		0
6	Babi	0		0
7	Kuda	0		0
8	Ayam Buras	15465	60	2542
9	Ayam Pedaging	4000	60	658
10	Ayam petelur	0	60	0
11	Bebek/itik	75	60	12
Total ternak		20546		4.218

2. Pertanian

Data umum

Keterangan	Jumlah	Satuan
Keseluruhan lahan pertanian	185	ha
Luas sawah tergenang	97	ha
Luas sawah tidak tergenang	88	ha

Aplikasi urea

No	Jenis Tanaman	Jumlah aplikasi			Luas area tanam
		Dosis N buatan	Dosis N organik	Dosis Urea	
		kg/ha	kg/ha	kg/ha	Ha
1	Padi Sawah	150	2.000	250	
2	Jagung			350	
3	Kedelai			50	
4	Kacang Tanah			50	
5	Kacang Hijau			100	
6	Ubi Kayu			300	

7	Ubi Jalar			200	
---	-----------	--	--	-----	--

Keseluruhan penggunaan pupuk

No	Tipe sawah	Konsumsi/Jenis pupuk (kg)		
		Urea	N buatan	N organik
1	Tergenang	245550	36450	486000
2	Tidak tergenang		13200	176000

Pola tanam

No	Variabel	Tipe Sawah					Satuan/ unit
		Non irigasi	Irigasi penuh	Irigasi intermitten	I. aerasi multipel	Tadah hujan	
1	Jumlah musim tanam/tahun	1	3			1	Kali
2	Luas area tanam padi	88	81			88	ha
3	Lama masa tanam	90	90			90	hari

3. Penggunaan lahan

Kategori	Tahun					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Lahan terbangun	3549,58	3601,37	3603,74	3607,3	3614,35	3618,15
Sawah	101,95	99,46	96,96	95,97	95,97	95,36
Pertanian lahan krg	117,46	110,74	109,28	108,1	102,04	98,45
Lahan terbuka	262,33	253,95	253,95	250,63	250,66	249,81

LAMPIRAN V

Tabel Basis Data Kegiatan Pengelolaan Limbah

1. Landfill sampah

Data timbulan sampah

Tahun	Produksi sampah/tahun	Sampah ke TPA	Sampah terbakar
	Ton	%	%
2007	81842	100	0
2008	80494	100	0
2009	82741	100	0
2010	91600	100	0
2011	88040	100	0
2012	89161	100	0
2013	92436	100	0
2014	96210	100	0
2015	100267	100	0
2016	109283	100	0
2017	106279	100	0

Data Komposisi sampah

No	Komposisi sampah	Persentase (%)
1	Kertas	12,26
2	Kayu	0,00
3	Kain	1,55
4	Karet/kulit	0,50
5	Plastik	13,39
6	Metal/logam	1,80
7	Gelas/kaca	1,72
8	Organik	61,95
9	Lainnya	6,83

2. Sanitasi Domestik

Kecamatan	Populasi	Fraksi populasi			Fraksi pengolahan limbah domestik			
		Pede- saan	Kota (pen- dapat an tinggi)	Kota (penda- patan rendah)	ST	CK	SR	BABS
Laweyan	88614	0	89,12	10,88	95,48	0	0	4,52
Serengan	44950	0	89,12	10,88	88,21	0	0	11,79
Pasar Kliwon	76474	0	89,12	10,88	95,06	0	0	4,94
Jebres	142152	0	89,12	10,88	93,96	0	0,19	5,85
Banjarsari	161981	0	89,12	10,88	90,24	0	1,2	8,56

Keterangan : Populasi pada tahun 2017, fraksi dalam persen, ST adalah septic tank, CK adalah cubluk, SR adalah sewer dan BABS adalah buang air besar sembarangan

LAMPIRAN VI

Tabel Ringkasan Analisis Kategori Kunci

No	Kategori	Sektor	Nilai (ton/tahun)			Lx,t			Lx,t overall		
			CO2	CH4	N2O	CO2	CH4	N2O	CO2	CH4	N2O
1	ENERGY	Transportasi									
2		Jalan raya	308107	122	15	25,46291	92,7107	96,60334			
3		Kereta api	2414,618	0,127085	0,127085	0,199551	0,096575	0,818457			
4		Industri	17706,71	1,570126	0,24243	1,463337	1,193176	1,561305			
5		Domestik	90882,42	7,20146	0,144029	7,510804	5,472561	0,92758			
6		Perdagangan	8751,612	0,693472	0,013869	0,72326	0,526986	0,089322			
7		Listrik	782160,3	0	0	64,64014	0	0			
Total Absolut			1210023	131,5921	15,52741				99,9766	2,003577	37,11645
1	IPPU	Pelumas	15,16901	0	0	100	0	0			
Total Absolut			15,16901	0	0				0,001253	0	0
	AFOLU	Peternakan									
1		Fermentasi enterik	0	38,37	0	0	61,00531	0			
2		Pengolahan kotoran	0	17,80016	0,652152	0	28,30087	6,197895			
		Pertanian				0	0	0			
3		Pembakaran biomass	0	0	0	0	0	0			
4		Aplikasi kapur	0	0	0	0	0	0			
5		Aplikasi urea	180,07	0	0	67,17275	0	0			
6		Pengolahan tanah	0	0	9,87	0	0	93,8021			
7	Pengolahan sawah	0	6,726	0	0	10,69382	0				
8	Penggunaan lahan	88	0	0	32,82725	0	0				
Total Absolut			268,07	62,89616	10,52215				0,022149	0,957636	25,15196

1	WASTE	Landfill	0	3705,47	0	0	58,13987	0			
2		Sanitasi Domestik	0	2667,901	15,78476	0	41,86013	100			
Total Absolut			0	6373,371	15,78476				0	97,03879	37,73159
Total Emisi Surakarta			1210306	6567,86	41,83432						

Kuning menunjukkan kategori kunci pada setiap kategori utama dan oranye menunjukkan kategori kunci secara keseluruhan emisi yang dihasilkan

LAMPIRAN VII DOKUMENTASI FOTO

1. Pelaksanaan Stakeholder Meeting I (FGD)



