



PEDOMAN TEKNIS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI PENCEMAR UDARA DI PERKOTAAN



KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP

HALAMAN KONTRIBUTOR

PEDOMAN PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI PENCEMAR UDARA DI PERKOTAAN

ASDEP PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA SUMBER BERGERAK
DEPUTI BIDANG PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN
KEMENTERIAN LINGKUNGAN HIDUP

Pengarah:

M R Karliansyah

Penanggung Jawab:

Sulistyowati

Penyusun:

Dollaris Riauaty Suhadi

Anissa S Febrina

Kontributor:

**Prabang Setyono, Widhi Himawan, Pramadhony Amran, Aditya Mahalana, M. Zakaria, Linda
Krisnawati, John HP. Tambun, M. Harsono, Tengku Rena, Rhesa Darajat, Richard M. Rumapea**

Didukung oleh:

Proyek Clean Air for Smaller Cities ASEAN-GIZ

Isi buku ini merefleksikan pandangan ahli penulis yang bertanggung jawab terhadap fakta dan keakuratan informasi yang tertuang didalamnya.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR GAMBAR.....	5
DAFTAR TABEL	6
DAFTAR SINGKATAN	7
DAFTAR ISTILAH	10
KATA PENGANTAR	12
UCAPAN TERIMA KASIH	13
1. PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Tujuan.....	15
1.3 Ruang Lingkup	15
2. PENGERTIAN INVENTARISASI EMISI	17
2.1 Definisi inventarisasi emisi.....	17
2.2 Kegunaan inventarisasi emisi.....	17
2.3 Pengelolaan kualitas udara	18
2.4 Pencemar-pencemar udara yang diinventarisir.....	20
2.4.1 Karbon monoksida (<i>carbon monoxide</i> - CO).....	21
2.4.2 Oksida nitrogen (<i>nitrogen oxides</i> – NO _x).....	22
2.4.3 Sulfur dioksida (<i>sulfur dioxide</i> – SO ₂).....	23
2.4.4 Partikulat berdiameter hingga 10 mikrometer (PM ₁₀)	24
2.4.5 Pencemar udara berbahaya – hidrokarbon.....	26
2.4.6 Pengertian Gas Rumah Kaca (GRK) dan inventarisasi emisi GRK.....	28
2.5 Kategori sumber yang diinventarisir	30
2.5.1 Sumber titik.....	31
2.5.2 Sumber area.....	31
2.5.3 Sumber bergerak	31
2.6 Proses inventarisasi emisi	32
2.7 Perencanaan inventarisasi emisi.....	33
2.7.1 Rencana Persiapan Inventarisasi	34
2.7.2 Ruang Lingkup Inventarisasi	35
2.7.3 Pedoman dokumentasi	35
2.7.4 Sumber daya yang dibutuhkan untuk melakukan inventarisasi emisi.....	35
2.8 Pendekatan dalam penyusunan inventarisasi emisi	36
2.9 Metode perhitungan emisi.....	36
2.9.1 Metode perhitungan emisi sumber titik dan sumber area.....	37
2.9.2 Metode perhitungan emisi sumber bergerak.....	41
3. STRATEGI DAN PENDEKATAN PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI.....	44
3.1 Strategi	44
3.1.1 Wilayah, interval waktu, dan tahun dasar inventarisasi emisi	44
3.1.2 Sumber daya manusia.....	44
3.1.3 Kebutuhan anggaran dan jangka waktu	46
3.1.4 Pengumpulan data.....	46
3.1.5 Komunikasi dan koordinasi.....	47
3.2 Pendekatan	47
4. LANGKAH-LANGKAH PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI	51

4.1	Menentukan wilayah geografis inventarisasi.....	51
4.2	Menyusun inventarisasi emisi sumber tidak bergerak (titik dan area).....	52
4.2.1	Mengidentifikasi sumber titik.....	52
4.2.2	Mengkategorikan sumber titik dan memilih faktor emisi	53
4.2.3	Mengumpulkan data aktivitas sumber titik.....	56
4.2.4	Menghitung emisi sumber titik.....	57
4.2.5	Mengidentifikasi sumber area.....	59
4.2.6	Mengkategorikan sumber area dan memilih faktor emisi	62
4.2.7	Mengumpulkan data aktivitas sumber area.....	63
4.2.8	Menghitung emisi sumber area.....	64
4.3	Menyusun inventarisasi emisi sumber bergerak <i>on-road</i>	65
4.3.1	Membangun basis data jaringan jalan.....	65
4.3.2	Menghitung volume lalu lintas pada setiap ruas jalan utama.....	66
4.3.3	Menentukan komposisi armada.....	67
4.3.4	Menentukan kualitas bahan bakar	68
4.3.5	Menghitung emisi sumber bergerak pada jalan utama.....	68
4.3.6	Memilih faktor emisi.....	69
4.3.7	Menghitung emisi sumber bergerak pada jalan kecil.....	70
4.3.8	Menghitung emisi sumber bergerak <i>on-road</i> di terminal angkutan umum	72
4.3.9	Menghitung emisi evaporasi di lokasi parkir	72
4.4	Menyusun inventarisasi emisi sumber bergerak <i>non-road</i>	73
4.4.1	Menghitung emisi sumber transportasi perairan.....	73
4.4.2	Menghitung emisi sumber transportasi kereta api	73
4.4.3	Menghitung emisi sumber transportasi udara	74
4.5	Prosedur QA/QC.....	74
4.5.1	Prosedur dan langkah-langkah QC.....	74
4.5.2	Prosedur dan langkah-langkah QA.....	75
4.5.3	Perangkat QA/QC.....	76
5.	STUDI KASUS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI	77
5.1	Pengalaman penyusunan inventarisasi emisi di Kota Palembang	77
5.1.1	Perencanaan dan pembentukan Tim.....	77
5.1.2	Pengumpulan data.....	78
5.1.3	Perhitungan dan validasi.....	79
5.1.4	Pembelajaran dan rekomendasi	80
5.2	Pengalaman penyusunan inventarisasi emisi di Kota Surakarta.....	81
5.2.1	Perencanaan dan pembentukan Tim.....	82
5.2.2	Pelaksanaan	84
5.2.3	Perhitungan emisi	89
5.2.4	Pembelajaran dan rekomendasi	92
	DAFTAR PUSTAKA	94
	LAMPIRAN.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Fungsi inventarisasi emisi	17
Gambar 2 Strategi pengelolaan kualitas udara.....	18
Gambar 3 Kedudukan inventarisasi emisi dalam strategi pengelolaan kualitas udara	19
Gambar 4 Diagram rinci pengelolaan kualitas udara.....	19
Gambar 5 Kategori sumber pencemar udara dalam inventarisasi emisi.....	31
Gambar 6 Tahapan inventarisasi emisi.....	33
Gambar 7 Diagram alir proses inventarisasi emisi.....	34
Gambar 8. Faktor-faktor yang mempengaruhi emisi kendaraan bermotor	41
Gambar 9 Peta digital dan grid Kota Palembang dengan ukuran sel 1 km x 1 km	52
Gambar 10 Distribusi beban emisi CO ₂ di Kota Palembang (2010)	52
Gambar 11 Skema perhitungan emisi sumber bergerak <i>on-road</i>	65
Gambar 12 Jaringan jalan utama di Kota Palembang (2010).....	66
Gambar 13 Struktur organisasi Tim Penyusun Inventarisasi Emisi di Kota Palembang.....	78
Gambar 14 Struktur organisasi Tim Penyusun Inventarisasi Emisi di Kota Surakarta	82
Gambar 15 Daftar faktor emisi dalam Excel	84
Gambar 16 Atribut (rompi) survei dan kartu identitas Tim Inventarisasi Emisi Kota Surakarta.....	86
Gambar 17 Kegiatan survei Tim Inventarisasi Emisi Kota Surakarta	87
Gambar 18 Contoh tabulasi data dalam aplikasi Excel.....	89
Gambar 19 Format perhitungan emisi dalam aplikasi Excel (1)	89
Gambar 20 Format perhitungan emisi dalam aplikasi Excel (2)	90
Gambar 21 Format perhitungan emisi dalam aplikasi Excel (3)	90
Gambar 22 Contoh rekapitulasi emisi dari 3 kategori sumber emisi dan kontribusi masing-masing kategori sumber terhadap total beban emisi	91

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Opsi pengendalian pencemaran udara	20
Tabel 2 Ambang batas CO di beberapa negara.....	21
Tabel 3 Ambang batas NO _x di beberapa negara.....	23
Tabel 4 Ambang batas SO ₂ di beberapa negara.....	24
Tabel 5 Ambang batas PM ₁₀ di beberapa negara	26
Tabel 6 Ambang batas benzena di beberapa negara.....	27
Tabel 7 Ambang batas 1,3 butadiena di beberapa negara	28
Tabel 8 Jenis -jenis hidrokarbon aromatik dan pengaruh pada kesehatan manusia.....	28
Tabel 9 Contoh langkah-langkah pengurangan emisi pencemar udara dan GRK (<i>co-benefits</i>).....	30
Tabel 10 Penggunaan metode perhitungan emisi	43
Tabel 11 Identifikasi sumber titik.....	54
Tabel 12 Contoh data aktivitas rumah sakit	57
Tabel 13 Faktor emisi untuk RS ABC	57
Tabel 14 Contoh hasil perhitungan emisi sumber titik	58
Tabel 15 Contoh data aktivitas industri pengilangan minyak.....	58
Tabel 16 Faktor emisi industri pengilangan minyak	59
Tabel 17 Identifikasi sumber area.....	60
Tabel 18 Faktor emisi kendaraan bermotor lama di Indonesia (kategori umum) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010	69
Tabel 19 Faktor emisi kendaraan bermotor lama di Indonesia (kategori tambahan) Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010	69
Tabel 20 Ekonomi bahan bakar kendaraan bermotor nasional (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010)	71
Tabel 21 Jumlah perjalanan (frekuensi masuk keluar terminal) dan konsumsi bahan bakar selama idling, Terminal Karya Jaya Palembang	72

DAFTAR SINGKATAN

APPBI	Asosisasi Pusat Perbelanjaan Indonesia
AQMS	<i>Air Quality Management Strategy</i> – Strategi Pengelolaan Kualitas Udara
ASEAN	<i>Association of South East Asia Nations</i> – Asosiasi Negara-negara Asia Tenggara
Bappeda	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah
BBM	bahan bakar minyak
BLH	Badan Lingkungan Hidup
BPS	Badan Pusat Statistik
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
CASC	<i>Clean Air for Smaller Cities</i> – Proyek Udara Bersih untuk Kota-kota Menengah
CCTV	<i>Closed Circuit Television</i> – televisi sirkuit tertutup
CEMS	<i>Continous Emission Monitoring System</i>
CFC	<i>Chlorofluorocarbon</i>
Dinkes	Dinas Kesehatan
Dishubkominfo	Dinas Perhubungan, Komunikasi dan Informasi
Disparbud	Dinas Pariwisata dan Kebudayaan
Disperindag	Dinas Perindustrian dan Perdagangan
DTRK	Dinas Tata Ruang Kota
EMEP	<i>Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe</i>
ESP	<i>electrostatic precipitator</i>
g	gram
GAPF	<i>Global Atmospheric Pollution Forum</i>
Gapkindo	Gabungan Pengusaha Karet Indonesia
Gcal	gigakalori (satu juta kalori)
GCV	<i>gross calorific value</i>
Gg	giga gram
GIS	<i>Geographic Information System</i> – Sistem Informasi Geografis
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit – German Technical Cooperation Agency</i>
GJ	gigajoule (satu miliar joule)
GPS	<i>Global Positioning System</i> – sistem navigasi berbasis satelit
GRK	gas rumah kaca
GWh	<i>gigawatt-hour</i>
HbCO	Karboksi-hemoglobin

HFO	<i>heavy fuel oil</i> (dikenal juga sebagai RFO atau <i>residual fuel oil</i>)
Hiswana Migas	Himpunan Wiraswasta Nasional Minyak dan Gas
IE	Inventarisasi Emisi
IMB	Izin Mendirikan Bangunan
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
J	joule
Jabodetabek	Jakarta Bogor Depok Tangerang Bekasi
kcal	kilokalori
KK	Kartu Keluarga
KLBI	Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia
KLH	Kementerian Lingkungan Hidup
kt	kiloton
LNB	low NO _x burner
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>
LPS	<i>large point source</i> atau sumber titik skala besar
LTO	<i>landing and take-off cycle</i> (siklus lepas landas dan mendarat pesawat)
LULUCF	<i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i>
Mg	megagram (satu ton)
MSW	<i>municipal solid waste</i>
Mt	<i>metric ton</i> (ton)
Mtoe	<i>megaton oil equivalent</i>
MW	megawatt
N ₂ O	<i>Nitrous oxide</i>
NH ₃	Amoniak
NMHC	<i>Non-methanic hydrocarbons</i> – Hidrokarbon non-metana
NM VOC	<i>non-methane volatile organic compounds</i> atau senyawa organik non metana yang mudah menguap (= NMHC)
NO	Nitrogen monoksida
NO _x	Oksida nitrogen
O ₃	Ozon
P	Pascal
PAH	<i>Polycyclic Aromatic Hydrocarbons</i>
Pb	<i>Plumbum</i> – Logam timbel
PERSI	Persatuan Rumah Sakit Seluruh Indonesia
PHRI	Perhimpunan Hotel dan Restoran Indonesia
PKL	Pedagang Kaki Lima

PM	<i>Particulate Matter</i> – Partikel halus
PP	Peraturan Pemerintah
PPLH	Pusat Penelitian Lingkungan Hidup
ppm	<i>part per million</i> , bagian per sejuta bagian
PROPER	Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan
PT	Perseroan Terbatas
QA	<i>Quality Assurance</i>
QC	<i>Quality Control</i> – <i>Pengawasan kualitas</i>
RKL	Rencana Pengelolaan lingkungan hidup
RON	<i>Research Octane Number</i>
RPL	Rencana Pemantauan Lingkungan Hidup
S	Sulfur
SAMSAT	Sistem Administrasi Manunggal Satu Atap
SK	Surat Keputusan
SKPD	Satuan Kerja Perangkat Daerah
SPBU	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum
STNK	Surat Tanda Nomor Kendaraan
t	ton
toe	<i>ton oil equivalent</i>
TPA	Tempat Pembuangan Akhir
UKL	Upaya Pengelolaan Lingkungan
UKM	Usaha Kecil dan Menengah
UMKM	Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNS	Universitas Negeri Surakarta
UNSRI	Universitas Sriwijaya
UPL	Upaya Pemantauan Lingkungan
UPTD	Unit Pelaksana Teknis Daerah
USEPA	United States of Environmental Protection Agency
VKT	<i>Vehicle Kilometer Traveled</i> – Panjang perjalanan kendaraan
VOC	<i>Volatile Organic Carbons</i>
WHO	World Health Organization

DAFTAR ISTILAH

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	satuan konsentrasi (jumlah zat dalam mikrogram per volume udara dalam meter kubik atau 1000 liter)
Aerosol	suspensi partikel padat atau cair di dalam gas
Akut	timbul secara mendadak dan cepat memburuk
Amoniak (NH_3)	senyawa kimia berupa gas dengan bau tajam yang khas; senyawa kaustik dan dapat merusak kesehatan
Antropogenik	dilakukan atau disebabkan oleh manusia
Eutrofikasi	proses pengayaan nutrisi dan bahan organik di dalam badan air
Hemoglobin	molekul protein pada sel darah merah yang berfungsi membawa oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh dan membawa karbondioksida dari jaringan tubuh ke paru-paru. Kandungan zat besi yang terdapat dalam hemoglobin membuat darah berwarna merah
Hidrokarbon (HC)	zat pencemar penting di udara luar yang terdapat dalam berbagai jenis; berasal dari pembakaran minyak, penguapan bensin, pelarut di industri, kebakaran hutan, dan asap rokok; penyebab meningkatnya ozon di permukaan; pemicu kanker
Karbon monoksida (CO)	gas tidak berwarna/berbau/berasa; berasal dari pembakaran tidak sempurna; mudah terbakar dan beracun; sumber utama dari kendaraan bermotor; mengganggu kemampuan darah mengikat oksigen; menyebabkan darah kekurangan oksigen
Kota besar	Kota berpenduduk 500.001 - 1.000.000 jiwa
Kota kecil	Kota berpenduduk sampai dengan 100.000 jiwa
Kota metropolitan	Kota berpenduduk > 1 juta jiwa (definisi di Adipura)
Kota sedang	Kota berpenduduk 100.001 - 500.000 jiwa
Nitrogen dioksida (NO_2)	gas hasil pembakaran pada suhu tinggi (gas nitrogen di udara dan unsur nitrogen yang terkandung dalam bahan bakar); membentuk lapisan kabut kecoklatan di langit; kendaraan bermotor, pembangkit listrik, dan proses industri adalah sumber utama; penyebab meningkatnya ozon di permukaan
Ozon (O_3)	pencemar sekunder yang terbentuk dengan bantuan sinar matahari; bersifat reaktif (menghancurkan/mengubah molekul-molekul); pembentuk kabut asap; pembentuk kabut asap yang berbahaya bagi kesehatan; mengurangi produksi tanaman; menimbulkan efek panas
Sulfur dioksida (SO_2)	gas mudah larut, berbau, dan tidak berwarna; berasal dari pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur (minyak, batu bara, bijih-bijihan mengandung logam); pembentuk hujan asam; sumber utama adalah pembangkit listrik; sumber lain: kendaraan bermotor (minyak solar dengan sulfur tinggi)
Timbel (Pb)	unsur logam yang terdapat pada baterai, peluru, bahan cat dan bangunan; menyebabkan gangguan pada sistem saraf dan dapat merusak otak; dahulu terdapat dalam bensin sebagai senyawa

Troposfer

untuk menaikkan angka oktan agar mesin tidak mengelitik

bagian paling bawah atmosfer yang tingginya dari permukaan bumi berkisar 9-17 km

KATA PENGANTAR

Sesuai dengan amanat Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945 Pasal 28H bahwa lingkungan hidup yang baik dan sehat merupakan hak asasi setiap warga negara Indonesia, upaya untuk mewujudkan amanat tersebut diatur dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Undang-Undang Nomor 32/2009 antara lain mengatur tentang tanggung jawab dan kewenangan pemerintah, pemerintah daerah, dan pemangku kepentingan dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan, serta hak masyarakat atas lingkungan hidup yang baik dan sehat dan kewajiban masyarakat dalam memelihara kelestarian fungsi lingkungan hidup dan mengendalikan pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup.

Dalam rangka meningkatkan kualitas udara dan mengurangi dampak negatif pencemaran udara, Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup menyelenggarakan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan. Inventarisasi emisi berfungsi sebagai landasan ilmiah dalam pembuatan kebijakan, strategi dan peraturan pengendalian pencemaran udara. Untuk dapat menentukan sumber-sumber pencemar udara dan memperkirakan jumlah spesifik pencemar-pencemar udara yang diemisikan dalam suatu wilayah, diperlukan pengetahuan, keterampilan dan kemampuan tertentu.

Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan memiliki tugas membangun kapasitas sumber daya manusia di daerah agar dapat menyusun inventarisasi emisi. Pembangunan kapasitas tersebut disertai dengan penyediaan metode dan tata cara perhitungan emisi seperti termuat dalam Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan.

Tujuan disusunnya Pedoman Teknis ini adalah agar pemangku kepentingan di perkotaan dapat melakukan inventarisasi emisi dan menggunakan hasilnya untuk menyusun kebijakan publik guna menurunkan beban pencemar udara di daerahnya. Semoga Pedoman Teknis ini bermanfaat dalam meningkatkan kualitas udara perkotaan di Indonesia.

Jakarta, Agustus 2013

M R Karliansyah

Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan
Kementerian Lingkungan Hidup

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya buku Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada para penulis dan kontributor yang telah memberikan kontribusinya sehingga buku Pedoman ini dapat diselesaikan. Pedoman ini berfungsi sebagai acuan bagi para pemangku kepentingan di daerah yang akan dan sedang menyusun inventarisasi emisi pencemar udara di daerahnya.

Pedoman ini dari waktu ke waktu akan dimutakhirkan sesuai dengan kebutuhan dan perkembangan metode dan prosedur penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara serta perubahan parameter-parameter yang digunakan.

Harapannya adalah agar Pedoman Teknis ini bermanfaat tidak hanya bagi pemangku kepentingan yang melakukan penyusunan inventarisasi pencemar udara, namun juga bagi pemangku kepentingan yang melakukan inventarisasi emisi gas rumah kaca.

Jakarta, Agustus 2013

Ir. Sulistyowati, MM

Asisten Deputi Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak
Deputi Pengendalian Pencemaran Lingkungan
Kementerian Lingkungan Hidup

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mengidentifikasi sumber-sumber pencemar udara dan memperkirakan jumlah spesifik pencemar-pencemar udara yang diemisikan dari satu atau lebih sumber pencemar di dalam suatu wilayah tertentu dan periode waktu tertentu merupakan langkah pertama di dalam pengelolaan kualitas udara. Pencatatan sumber pencemar dan jumlah pencemar udara tersebut dikenal dengan istilah '**inventarisasi emisi**'. Inventarisasi emisi pencemar udara berfungsi sebagai dasar penetapan strategi dan rencana aksi pengelolaan kualitas udara di suatu wilayah.

Dengan inventarisasi emisi, strategi pengurangan emisi pencemar udara disusun berdasarkan prioritas pencemar udara yang akan ditangani, jumlah pencemar yang akan dikurangi, dan sumber pencemar yang memberikan kontribusi terhadap pencemaran udara. Selanjutnya, pelaksanaan strategi, rencana aksi, dan program pengurangan emisi pencemar udara tersebut akan dievaluasi; apakah langkah-langkah pengendalian yang dilaksanakan efektif mengurangi jumlah pencemar pada saat itu. Ini berarti, inventarisasi emisi harus dimutakhirkan secara berkala agar para pengambil keputusan dapat mengetahui efektivitas strategi dan program yang dilaksanakan dan menyusun kembali perencanaan dan langkah-langkah pengendalian ke depan.

Pencemaran udara telah menjadi permasalahan yang serius di perkotaan termasuk di kota-kota metropolitan, besar, sedang dan kecil. Kota-kota menjadi motor penggerak utama pembangunan ekonomi di Indonesia. Pertumbuhan ekonomi kota tersebut mendorong urbanisasi, peningkatan kebutuhan perumahan dan jasa pelayanan lingkungan seperti air bersih, sanitasi, pengelolaan sampah, dan lain-lain dan kebutuhan energi serta transportasi yang dapat meningkatkan pencemaran udara. Pencemaran udara menimbulkan kerugian ekonomi. Angka kerugian akan semakin besar jika upaya-upaya untuk menangani pencemaran udara di perkotaan tidak segera dilakukan.

Rekomendasi penting dalam Laporan Evaluasi Kualitas Udara Perkotaan di Indonesia oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) tahun 2011 dan 2012 diantaranya adalah agar pemerintah kota:

1. Melakukan pemantauan kualitas udara ambien secara rutin
2. Mempublikasikan data hasil pemantauan tersebut kepada publik
3. Menyusun inventarisasi emisi kota dan memutakhirkannya secara berkala

Pemantauan kualitas udara ambien dan inventarisasi emisi saling melengkapi dalam pengelolaan kualitas udara, yaitu untuk penyusunan strategi dan rencana aksi pengelolaan kualitas udara kota, pengkajian ulang upaya pengendalian pencemaran udara, dan analisis efektivitas kebijakan dan strategi. Beberapa kota telah melakukan inventarisasi emisi dan dapat dijadikan model bagi kota-kota lainnya.

Dalam Laporan yang sama, rekomendasi kepada KLH adalah agar KLH:

1. Menyusun pedoman inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan
2. Meningkatkan kapasitas daerah dalam pengelolaan kualitas udara
3. Memasukkan inventarisasi emisi sebagai indikator Evaluasi Kualitas Udara Perkotaan di waktu mendatang

Secara normatif, Peraturan Pemerintah No. 41/1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Pasal 6 Ayat 4 memuat ketentuan mengenai perlunya dilakukan kegiatan inventarisasi potensi sumber pencemaran udara. Peraturan perundangan di daerah diantaranya Peraturan Daerah Provinsi DKI Jakarta

No. 2 tahun 2005 tentang Pengendalian Pencemaran Udara, Pasal 5 Ayat 1 memuat ketentuan mengenai status mutu udara ambien yang ditetapkan berdasarkan inventarisasi dan/atau penelitian terhadap mutu udara ambien, potensi sumber pencemaran udara, kondisi meteorologis dan geografis, serta tata guna tanah.

Untuk itu, sebagai pelaksanaan peraturan perundangan dan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, disusun Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan yang menjadi tugas pokok dan fungsi Asisten Deputi Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak, Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup.

1.2 Tujuan

Pedoman Teknis ini dimaksudkan untuk menjadi panduan bagi pemerintah daerah dan para pemangku kepentingan lainnya di daerah dalam menyusun inventarisasi emisi pencemar udara, yaitu menentukan sumber-sumber pencemar udara dan memperkirakan jumlah pencemar udara yang diemisikan dari sumber-sumber pencemar tersebut serta melakukan distribusi spasialnya di dalam wilayah administratif suatu kota sebagai daerah otonom.

Tujuan Pedoman Teknis ini adalah agar pemerintah daerah dan para pemangku kepentingan di daerah dapat melakukan inventarisasi emisi di kotanya dengan tepat dan lengkap berdasarkan tata cara yang dijelaskan dalam buku ini.

1.3 Ruang Lingkup

Buku Pedoman ini mencakup pembahasan sebagai berikut:

PENDAHULUAN	Latar belakang, maksud dan tujuan disusunnya Pedoman Teknis; ruang lingkup Pedoman Teknis
PENGERTIAN INVENTARISASI EMISI	Definisi dan kegunaan inventarisasi emisi; pengelolaan kualitas udara; pencemar-pencemar yang diinventarisir; kategori sumber yang diinventarisir; proses inventarisasi emisi; perencanaan inventarisasi emisi; sumber daya yang dibutuhkan; pendekatan dalam penyusunan inventarisasi emisi; metode perhitungan emisi
STRATEGI DAN PENDEKATAN PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI	Strategi (wilayah, interval waktu, dan tahun dasar inventarisasi emisi; sumber daya manusia; kebutuhan anggaran dan jangka waktu; pengumpulan data; komunikasi dan koordinasi) dan Pendekatan (langkah-langkah praktis penyusunan inventarisasi emisi)
LANGKAH-LANGKAH PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI	Langkah-langkah penyusunan inventarisasi yang merupakan uraian lebih rinci pendekatan penyusunan inventarisasi emisi. Langkah-langkah tersebut diberi nomor sesuai urutan langkah.
STUDI KASUS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI	Pengalaman dan pembelajaran penyusunan inventarisasi emisi di Kota Palembang dan Kota Surakarta
LAMPIRAN	Referensi faktor emisi, konversi satuan, formulir survei, formulir kontrol kualitas dan jaminan kualitas, teknologi pengendalian pencemar udara dari

Buku Pedoman ini dibagi atas 3 bagian yang dapat berdiri sendiri antara satu dengan lainnya, yaitu:

- 1) dasar-dasar inventarisasi emisi (Bab 1 dan Bab 2);
- 2) proses (langkah praktis) penyusunan inventarisasi emisi (Bab 3 dan Bab 4); dan
- 3) studi kasus penyusunan inventarisasi emisi (Bab 5).

Bagi para pemula, mereka dapat mulai dengan membaca Bab 1 dan Bab 2; sedangkan bagi mereka yang telah mengetahui dasar-dasar inventarisasi emisi dapat langsung membaca Bab 3 dan Bab 4 untuk mulai merencanakan dan melaksanakan penyusunan inventarisasi emisi. Bab 5 menjelaskan studi kasus proses penyusunan inventarisasi emisi di Kota Palembang dan Kota Surakarta yang diharapkan dapat memberikan pembelajaran bagi para pembaca tentang bagaimana inventarisasi emisi untuk suatu kota disusun.

2. PENGERTIAN INVENTARISASI EMISI

2.1 Definisi inventarisasi emisi

Inventarisasi emisi (*emission inventory*) adalah pencatatan secara komprehensif tentang jumlah pencemar udara dari sumber-sumber pencemar udara dalam suatu wilayah dan periode waktu tertentu. Dalam bahasa yang sederhana, inventarisasi emisi adalah menentukan sumber-sumber pencemar udara, apa yang keluar dari sumber pecemar udara tersebut dan berapa banyak.

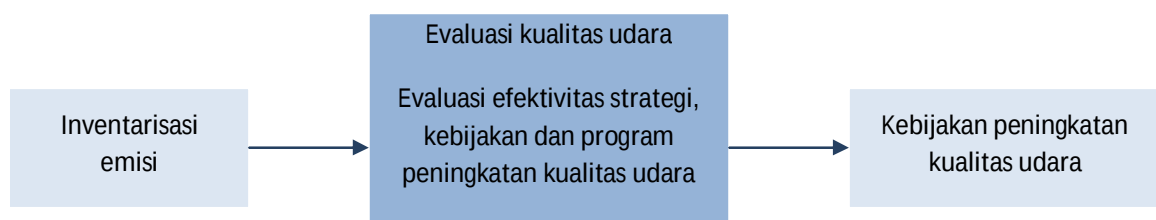
Inventarisasi emisi yang lengkap mencakup informasi sebagai berikut:

1. Latar belakang dilakukannya inventarisasi emisi
2. Kesimpulan mengenai estimasi emisi berdasarkan kategori sumber pencemar
3. Gambaran mengenai wilayah geografis inventarisasi
4. Interval waktu inventarisasi misalnya tahunan, musiman, atau harian
5. Data penduduk, data industri, data ketenagakerjaan, dan data ekonomi lainnya yang digunakan dalam perhitungan emisi
6. Penjelasan yang lengkap setiap kategori sumber, termasuk:
 - a) Prosedur yang digunakan dalam pengumpulan data
 - b) Sumber data
 - c) Kuesioner dan hasilnya (jumlah kuesioner yang disebar, jumlah responden, metode ekstrapolasi data untuk menentukan data non-respons dan asumsi-asumsi lainnya)
 - d) Faktor emisi
 - e) Identifikasi metode yang digunakan untuk menghitung emisi termasuk contoh perhitungan
 - f) Identifikasi sumber pencemar yang tidak termasuk dalam inventarisasi
 - g) Daftar referensi

2.2 Kegunaan inventarisasi emisi

Inventarisasi emisi berfungsi sebagai landasan dalam pembuatan kebijakan publik. Data inventarisasi emisi digunakan untuk:

1. menetapkan strategi dan peraturan;
2. mengevaluasi status kualitas udara terkait dengan baku mutu yang telah ditetapkan;
3. mengevaluasi efektivitas kebijakan pengendalian pencemaran udara; dan
4. melakukan perubahan kebijakan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 1 Fungsi inventarisasi emisi

Secara spesifik, inventarisasi emisi digunakan untuk:

1. mengidentifikasi sumber pencemar dan pola/kecenderungan emisi;
2. memprediksi konsentrasi pencemar di udara ambien melalui aplikasi model dispersi pencemar udara;

3. memberikan masukan bagi kajian-kajian resiko kesehatan;
4. menentukan tingkat penataan peraturan ambang batas baku mutu emisi; dan
5. menetapkan lokasi pemantauan udara ambien.

2.3 Pengelolaan kualitas udara

Pengelolaan kualitas udara (*air quality management*) adalah seluruh kegiatan yang ditujukan untuk menciptakan dan memelihara udara bersih untuk melindungi kesehatan manusia dan memberikan perlindungan bagi ekosistem. Kegiatan-kegiatan pengelolaan meliputi: penetapan baku mutu, pemantauan kualitas udara ambien, penyusunan perijinan, penegakan hukum, dan penetapan insentif ekonomi untuk mengurangi pencemaran udara. Pengelolaan kualitas udara –melalui kebijakan dan peraturan perundangan– menjabarkan tugas dan tanggung jawab serta hubungan antar institusi pemerintah di tingkat pusat dan daerah. Kebijakan pemerintah adalah landasan bagi pengelolaan kualitas udara. Tanpa kebijakan dan peraturan perundangan yang tepat dan memadai, akan sulit memelihara program pengelolaan kualitas udara yang baik.

Strategi pengelolaan kualitas udara (*air quality management strategy - AQMS*) adalah serangkaian cara atau rencana tindak untuk melaksanakan kebijakan dan peraturan perundangan pengelolaan kualitas udara. AQMS mencakup elemen-elemen sebagai berikut:

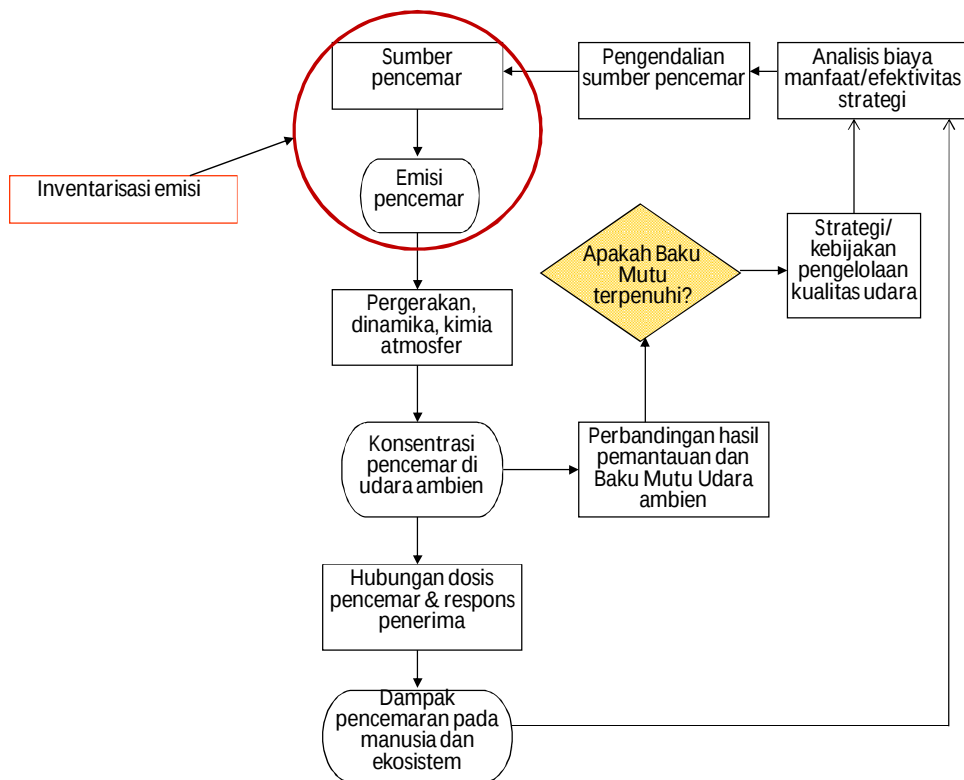
1. Inventarisasi emisi
2. Pemantauan kualitas udara ambien
3. Prediksi konsentrasi pencemar udara (dengan pemodelan dispersi pencemar udara)
4. Evaluasi dampak pencemaran udara terhadap manusia dan ekosistem
5. Analisis biaya-manfaat dan efektivitas langkah-langkah pengendalian
6. Implementasi langkah-langkah pengendalian

Elemen-elemen AQMS dan hubungan antar elemen-elemen tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.

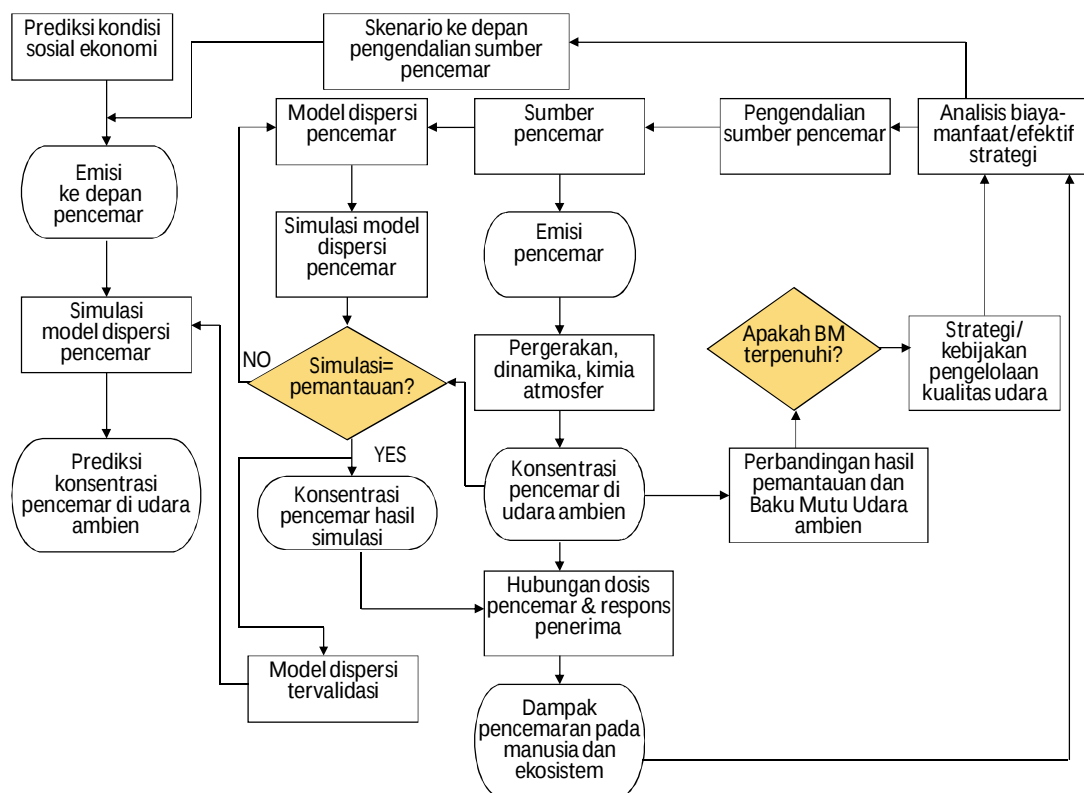


Gambar 2 Strategi pengelolaan kualitas udara

Sumber: Guttikunda, 2012.



Gambar 3 Kedudukan inventarisasi emisi dalam strategi pengelolaan kualitas udara



Gambar 4 Diagram rinci pengelolaan kualitas udara

BM = Baku Mutu

Lebih rinci, kedudukan inventarisasi emisi dalam AQMS dan hubungan antar elemen-elemen AQMS termasuk prediksi konsentrasi pencemar dan simulasi skenario pengendalian pencemaran udara ke depan ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Fungsi inventarisasi emisi sangat penting karena menentukan langkah-langkah selanjutnya dalam pengelolaan kualitas udara.

Langkah-langkah pengendalian pencemaran udara dapat dikelompokkan ke dalam kategori kebijakan, insentif ekonomi, teknologi, dan institusi/penegakan hukum (Tabel 1).

Tabel 1 Opsi pengendalian pencemaran udara

Kebijakan	Ekonomi
• Pemantauan • Zonasi industri, kawasan perumahan • Pengelolaan lalu lintas • Angkutan umum • Kendaraan tidak bermotor • Tata ruang dan wilayah	• Pajak • Subsidi • Harga • Denda • Lisensi
Institusi/penegakan hukum	Teknologi
• Baku mutu emisi • Efisiensi energi • Standar kualitas bahan bakar • Pembatasan pengoperasian • Pemeriksaan dan perawatan • Penataan industri • Pembangunan kapasitas • Peningkatan kesadaran masyarakat	• Bahan bakar lebih bersih • Teknologi bersih • Peralatan pengendali emisi • Produksi bersih

Sumber: Harshadeep et al., 2004.

2.4 Pencemar-pencemar udara yang diinventarisir

Terdapat 2 kategori pencemar udara yang umumnya diinventarisir, yaitu pencemar udara kriteria dan pencemar udara berbahaya. Pencemar udara kriteria adalah pencemar udara yang menimbulkan dampak terhadap kesejahteraan manusia. Pencemar udara ini digunakan sebagai indikator untuk menentukan kualitas udara. Termasuk di dalam pencemar udara kriteria adalah karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O₃), timbel (Pb), dan partikulat (PM). Sedangkan pencemar udara berbahaya adalah pencemar-pencemar yang diketahui atau dicurigai menyebabkan kanker atau penyakit serius lainnya seperti gangguan reproduksi, kelainan janin, dan kerusakan lingkungan yang tidak terkembalikan.

Pencemar udara juga dibagi atas pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah zat-zat yang diemisikan langsung dari suatu proses, seperti abu dari letusan gunung berapi, gas CO dari knalpot kendaraan bermotor atau gas SO₂ yang diemisikan dari cerobong pabrik. Pencemar sekunder adalah pencemar yang tidak langsung diemisikan dari suatu proses, melainkan terbentuk di udara ketika pencemar-pencemar primer bereaksi atau berinteraksi. Contoh pencemar udara sekunder yang penting adalah O₃ di lapisan atmosfer bawah (troposfer).

Dalam inventarisasi emisi, jenis pencemar yang diinventarisir adalah pencemar primer, umumnya pencemar udara kriteria dan pencemar berbahaya primer, yaitu karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), partikel halus (PM₁₀), hidrokarbon (HC). Selain itu, dapat ditambahkan salah satu gas rumah kaca, yaitu karbon dioksida (CO₂).

2.4.1 Karbon monoksida (*carbon monoxide* - CO)

CO adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau maupun berasa yang timbul akibat pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon. Gas ini tergolong kategori mudah terbakar dan beracun. Sumber CO terbagi dua, yaitu sumber alami dan sumber antropogenik. Secara alami CO dihasilkan dari aktivitas gunung berapi dan juga kebakaran hutan. Sementara CO juga dihasilkan sebagai produk sampingan aktivitas manusia, diantaranya kendaraan bermotor (lebih dari 75%). Emisi CO umumnya meningkat saat terjadi kemacetan di jalan. Selain itu CO juga dihasilkan dari aktivitas transportasi lain seperti pesawat terbang dan kereta api, proses pembakaran bahan bakar, pembakaran kayu, pembakaran sampah serta aktivitas industri.

CO tergolong gas yang beracun dan mematikan. Gas yang tidak menyebabkan iritasi ini memasuki tubuh melalui pernapasan dan kemudian diserap ke dalam peredaran darah. Gas ini juga mampu mengikat hemoglobin yang berfungsi untuk mengangkut oksigen dalam darah dengan daya ikat 240 kali lebih besar dibandingkan dengan daya ikat antara hemoglobin dan oksigen, sehingga menyebabkan berkurangnya kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Secara langsung kompetisi ini akan menyebabkan pasokan oksigen ke seluruh tubuh menurun, sehingga melemahkan kontraksi jantung dan menurunkan volume darah yang didistribusikan. Hal ini kemudian akan mempengaruhi fungsi organ-organ tubuh seperti otak, hati, pusat saraf dan janin. Pada konsentrasi di bawah 100 ppm, CO dapat menyebabkan pusing dan sakit kepala. Sementara konsentrasi 667 ppm dapat menyebabkan 50% hemoglobin dalam darah terikat dengan CO membentuk karboksi-hemoglobin (HbCO). Paparan pada konsentrasi ini dapat menyebabkan kematian (WHO, 1999).

Konsentrasi CO di udara ambien sebesar 200 ppm selama 7 jam dapat menyebabkan pusing-pusing pada manusia yang tidak melakukan kegiatan fisik dan 2 jam pada manusia yang melakukan kegiatan fisik berat seperti berolahraga. Sedangkan pada konsentrasi 400 ppm selama 2 jam atau 45 menit pada manusia yang melakukan aktivitas fisik yang berat dapat menyebabkan hilangnya kesadaran. Berdasarkan data epidemiologi tersebut dapat dilihat bahwa CO dapat menimbulkan dampak kesehatan akut, sehingga ambang batas baku mutu perlu ditetapkan pada durasi waktu yang pendek. Sebagai contoh beberapa ambang batas dari beberapa sumber (USEPA, WHO dan PP No. 41/1999) menetapkan durasi paparan mulai dari 15 menit hingga 24 jam.

Tabel 2 Ambang batas CO di beberapa negara

	Satuan	15 menit	30 menit	1 jam	8 jam	24 jam
USEPA	mg/m ³	-	-	40	10	-
WHO Europe	mg/m ³	10	60	30	10	-
Indonesia*	mg/m ³	-	-	30	-	10
China 1**	mg/m ³	-	-	10	-	4
China 2**	mg/m ³	-	-	10	-	4
China 3**	mg/m ³	-	-	10	-	4
Jepang	mg/m ³	-	-	-	22,9	11,5
Swiss	mg/m ³	-	-	-	-	-

Sumber: Naskah Akademik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Provinsi DKI Jakarta, 2007

* Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999

** China: Zone 1: Residential Areas; Zona 2: Commercial Areas; Zone 3: Industrial Areas

Tidak ditemukan laporan mengenai dampak langsung CO terhadap ekosistem. Secara tidak langsung CO dapat mendorong percepatan produksi nitrogen dioksida (NO₂) pada rantai reaksi yang menghasilkan ozon di udara ambien (di troposfer) yang merupakan pencemar sekunder yang dapat menimbulkan

dampak terhadap tumbuh-tumbuhan. Tetapi peran CO di dalam rantai reaksi yang kompleks tersebut tidak terlalu dominan dibandingkan dengan senyawa-senyawa hidrokarbon.

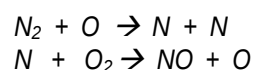
2.4.2 Oksida nitrogen (*nitrogen oxides* – NO_x)

NO_x terdiri atas nitrogen oksida (*nitrogen oxide* – NO) dan nitrogen dioksida (*nitrogen dioxide* – NO₂). Mekanisme utama di dalam pembentukan NO₂ di atmosfer adalah oksidasi NO. NO_x merupakan pemicu (prekursor) terbentuknya ozon (O₃) dan hujan asam. NO_x juga dapat bereaksi dengan komponen lain di udara membentuk partikulat (*particulate matter* – PM). NO_x terbentuk ketika bahan bakar terbakar pada suhu tinggi. NO₂ adalah salah satu pencemar yang timbul akibat proses pembakaran. Umumnya spesies dari NO_x merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Tetapi, NO₂ menjadi pengecualian dimana keberadaannya di daerah perkotaan dapat dilihat sebagai lapisan kabut kecoklatan di langit.

Sumber NO_x dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok, yaitu:

- NO termal

NO termal adalah NO yang terbentuk melalui reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara pada proses dengan suhu yang tinggi. Proses pembakaran selalu memproduksi NO dan NO₂, dengan komposisi NO umumnya lebih dari 90% total oksida nitrogen yang dihasilkan. Reaksi pembentukan NO pada suhu tinggi dijelaskan melalui mekanisme Zeldovich dimana molekul nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂) terpisah menjadi atom tunggal dan kemudian terlibat dalam beberapa reaksi yang menghasilkan molekul NO sebagaimana reaksi di bawah ini:



Produksi NO ini akan maksimum pada kondisi temperatur tertinggi di dalam ruang pembakaran (Colls, 2002).

- NO bahan bakar

NO bahan bakar adalah NO yang berasal dari kandungan nitrogen di dalam bahan bakar. Umumnya minyak bumi dan batu bara mengandung 0,5 – 1,5% nitrogen. Selama proses pembakaran, ikatan nitrogen yang terdapat dalam bahan bakar terlepas sebagai radikal bebas dan kemudian membentuk NO (Colls, 2002).

NO_x menimbulkan dampak pada kesehatan seperti gangguan pernapasan, radang paru-paru (pneumonia) bahkan kematian. Oksida nitrogen yang berada di udara dapat membentuk partikel oksida nitrogen seperti nitrat yang berukuran sangat halus sehingga dapat masuk ke jaringan sensitif paru-paru dan menyebabkan atau memperburuk penyakit pernapasan seperti bronkhitis dan emfisema. Orang yang sehat tidak akan terpengaruh pajanan NO_x dengan konsentrasi rendah. Sementara orang berpenyakit asma atau penyakit pernapasan lainnya lebih rentan terhadap NO_x karena menyebabkan penyempitan saluran napas.

Pajanan selama 30 menit dengan konsentrasi 560 µg/m³ pada penderita asma telah cukup untuk menimbulkan gangguan pernapasan, sementara pada orang dewasa yang sehat dampak baru akan teramati pada konsentrasi 560 µg/m³ (Harrop, 2002). Pada konsentrasi harian rerata (84–185) µg/m³, peningkatan rerata konsentrasi harian sebesar 10 µg/m³ berkaitan dengan kenaikan angka kematian

sebesar (0,2 –0,8)% dan kasus gawat darurat karena serangan asma sebesar (1,7–1,8)% (Ackermann-Liebriech, 1996).

Senyawa-senyawa oksida nitrogen banyak dihasilkan dari gas buang kendaraan bermotor. Gas NO_x juga dapat meningkatkan reaksi terhadap bahan-bahan alergen alamiah (misal, serbuk sari, dan lain-lain).

Tabel 3 Ambang batas NO_x di beberapa negara

	Satuan	1 jam	24 jam	1 tahun
USEPA	µg/m ³	-	-	100
WHO Europe	µg/m ³	200	-	40
Indonesia*	µg/m ³	400	150	100
China 1**	µg/m ³	120	80	40
China 2**	µg/m ³	120	80	40
China 3**	µg/m ³	240	120	80
Jepang	µg/m ³	-	75-113	-
Swiss	µg/m ³	100	80	30

Sumber: Naskah Akademik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Provinsi DKI Jakarta, 2007

* Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999

** China: Zone 1: Residential Areas; Zona 2: Commercial Areas; Zone 3: Industrial Areas

Dampak NO_x pada lingkungan diantaranya adalah:

- Hujan asam yang ditimbulkan dari reaksi antara NO_x dan senyawa-senyawa lain
- Pemanasan global yang disebabkan oleh salah satu spesies NO_x yaitu nitrous oksida atau dinitrogen monoksida (N₂O)
- Eutrofikasi atau kelebihan nutrisi pada badan air yang menyebabkan timbulnya hama eceng gondok sehingga menurunkan kualitas air, juga disebabkan oleh emisi NO_x. Eutrofikasi ini akan mengurangi konsentrasi oksigen terlarut dalam air sehingga menyebabkan banyak binatang-binatang air yang mati
- Berkurangnya jarak pandang yang disebabkan oleh partikel nitrat dan NO₂. Partikel nitrat dan NO₂ mampu menghalangi transmisi cahaya dan membentuk kabut sehingga mengganggu pemandangan

Baku mutu yang berkaitan dengan ekosistem dapat mempunyai ambang batas yang berbeda, yang ditetapkan berdasarkan dampaknya terhadap ekosistem/lingkungan yang berpengaruh. Konsentrasi yang berkaitan dengan dampak terhadap lingkungan ini disebut sebagai *critical level*; nilai *critical level* ini ditetapkan untuk senyawa NO_x dan SO₂ karena berkaitan dengan dampak hujan asam (WHO, 1987).

2.4.3 Sulfur dioksida (*sulfur dioxide* – SO₂)

SO₂ adalah salah satu spesies dari gas-gas oksida sulfur (SO_x). Gas ini sangat mudah terlarut dalam air, memiliki bau namun tidak berwarna. Sebagaimana O₃, pencemar sekunder yang terbentuk dari SO₂, seperti partikel sulfat, dapat berpindah dan terdeposisi jauh dari sumbernya. SO₂ merupakan salah satu unsur pembentuk hujan asam. SO₂ juga dapat bereaksi dengan komponen lainnya di udara dan membentuk PM.

SO₂ dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung unsur sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbel dan besi. Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber utama sulfur adalah kegiatan

pembangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak sebagai bahan bakarnya. Selain itu gas buang dari kendaraan yang menggunakan minyak solar, industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak bakar, juga merupakan sumber sulfur.

Gas SO₂ dikenal sebagai gas yang dapat menyebabkan iritasi pada sistem pernapasan, seperti pada selaput lendir hidung, tenggorokan dan saluran udara di paru-paru. Efek kesehatan ini menjadi lebih buruk pada penderita asma. Di samping itu SO₂ dapat terkonversi di udara menjadi pencemar sekunder seperti aerosol sulfat.

Aerosol yang dihasilkan sebagai pencemar sekunder umumnya mempunyai ukuran yang sangat halus sehingga dapat terhisap ke dalam sistem pernapasan bawah. Aerosol sulfat yang masuk ke dalam saluran pernapasan dapat menyebabkan dampak kesehatan yang lebih parah daripada partikel-partikel lainnya karena mempunyai sifat korosif dan karsinogenik. Oleh karena gas SO₂ berpotensi menghasilkan aerosol sulfat sebagai pencemar sekunder, kasus peningkatan angka kematian karena kegagalan pernapasan terutama pada orang tua dan anak-anak sering berhubungan dengan konsentrasi SO₂ dan partikulat secara bersamaan (Harrop, 2002).

Dalam bentuk gas, SO₂ dapat menyebabkan iritasi pada paru-paru yang menyebabkan timbulnya kesulitan bernapas, terutama pada kelompok orang yang sensitif seperti penderita asma, anak-anak dan orang lanjut usia.

Tabel 4 Ambang batas SO₂ di beberapa negara

	Satuan	10 menit	1 jam	24 jam	1 tahun
USEPA	µg/m ³	-	-	365	58
WHO Europe	µg/m ³	500	-	125	50
Indonesia*	µg/m ³	-	900	365	60
China 1**	µg/m ³	-	150	50	20
China 2**	µg/m ³	-	500	150	60
China 3**	µg/m ³	-	700	250	100
Jepang	µg/m ³	-	262	104	-
Swiss	µg/m ³	-	100	-	30

Sumber: Naskah Akademik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Provinsi DKI Jakarta, 2007

* Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999

** China: Zone 1: Residential Areas; Zona 2: Commercial Areas; Zone 3: Industrial Areas

SO₂ merupakan gas yang sangat mudah larut dalam air. Di udara, SO₂ dapat terlarut dalam uap air yang kemudian membentuk asam dan turun sebagai hujan asam. Jika terjadi hujan asam, maka akan terjadi kerusakan tanaman dan material. Dampak hujan asam dapat terjadi pada wilayah yang jauh dari sumber pencemar SO₂ karena adanya pengaruh meteorologi terutama angin. Selain menyebabkan hujan asam, SO₂ juga dapat mengurangi jarak pandang karena gas maupun partikel SO₂ mampu menyerap cahaya sehingga menimbulkan kabut.

2.4.4 Partikulat berdiameter hingga 10 mikrometer (PM₁₀)

Partikulat didefinisikan sebagai partikel-partikel halus yang berasal dari padatan maupun cairan yang tersuspensi di dalam gas (udara). Partikel padatan atau cairan ini umumnya merupakan campuran dari beberapa materi organik dan non-organik seperti asam (partikel nitrat atau sulfat), logam, ataupun partikel debu dan tanah. Ukuran partikel sangatlah penting untuk diketahui karena mempengaruhi dampak partikel tersebut terhadap manusia dan lingkungan. PM₁₀ adalah partikel yang berukuran 10 mikrometer atau lebih kecil.

Sumber partikulat dapat berasal dari sumber alami maupun sumber antropogenik. Sumber alami termasuk aktivitas gunung berapi, debu, hutan, dan sebagainya. Sementara beberapa aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil pada kegiatan industri maupun aktivitas kendaraan juga berkontribusi terhadap bertambahnya pencemar partikulat di udara. Kegiatan-kegiatan seperti konstruksi, penghancuran bangunan, dan jalan yang belum diaspal, juga interaksi gas-gas seperti amoniak (NH_3), SO_2 , dan hidrokarbon dengan komponen-komponen lainnya di udara akan membentuk partikulat.

Ukuran partikel memegang peranan penting dalam menentukan lokasi menetapnya partikulat serta dampak yang ditimbulkan saat terhisap ke dalam paru-paru. Partikel yang cukup besar biasanya akan tersaring di hidung dan tenggorokan serta tidak menimbulkan efek yang berbahaya. Sementara partikel-partikel yang lebih kecil (*inhalable*) seperti PM_{10} atau $\text{PM}_{2,5}$ akan masuk lebih dalam ke sistem pernapasan manusia dan menyebabkan gangguan-gangguan pernapasan. Beberapa penelitian menghubungkan antara pajanan pencemar partikulat dan beberapa gangguan sebagai berikut:

- Meningkatnya gejala gangguan pernapasan seperti iritasi, batuk-batuk dan kesulitan bernapas
- Menurunnya fungsi paru-paru
- Memperparah penyakit asma
- Menimbulkan bronkhitis kronis
- Serangan jantung ringan
- Kematian dini bagi penderita penyakit jantung dan paru-paru

PM_{10} dapat meningkatkan angka kematian yang disebabkan oleh penyakit jantung dan pernapasan. Pada konsentrasi $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{10} dapat menurunkan fungsi paru-paru pada anak-anak, sementara pada konsentrasi $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dapat memperparah kondisi penderita bronkhitis. Toksisitas dari partikel *inhalable* tergantung pada komposisinya. Partikel yang mengandung senyawa karbon dapat mempunyai efek karsinogenik, atau menjadi *carrier* pencemar toksik lain yang berupa gas atau semi-gas karena menempel pada permukaannya.

Partikel *inhalable* juga dapat merupakan partikulat sekunder, yaitu partikel yang terbentuk di atmosfer dari gas-gas hasil pembakaran yang mengalami reaksi fisik-kimia di atmosfer, misalnya partikel sulfat dan nitrat yang terbentuk dari gas SO_2 dan NO_x . Partikel sulfat dan nitrat yang *inhalable* karena berukuran kecil serta bersifat asam akan bereaksi langsung di dalam sistem pernapasan, menimbulkan dampak yang lebih berbahaya.

Termasuk ke dalam partikel *inhalable* adalah partikel logam timbel (Pb) yang diemisikan dari gas buang kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar mengandung Pb. Karena ukuran aerodinamisnya, partikel Pb dapat terhisap ke dalam saluran pernapasan dan akhirnya terakumulasi di dalam jaringan tubuh seperti tulang, lemak dan darah.

Tabel 5 Ambang batas PM₁₀ di beberapa negara

	Satuan	1 jam	24 jam	1 tahun
USEPA	µg/m ³	-	150	50
WHO Europe	µg/m ³	-	-	-
Indonesia*	µg/m ³	-	150	60
China 1**	µg/m ³	-	50	40
China 2**	µg/m ³	-	150	100
China 3**	µg/m ³	-	250	150
Jepang	µg/m ³	200	100	-
Swiss	µg/m ³	-	50	20

Sumber: Naskah Akademik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Provinsi DKI Jakarta, 2007

* Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 41 tahun 1999

** China: Zone 1: Residential Areas; Zona 2: Commercial Areas; Zone 3: Industrial Areas

Beberapa dampak yang disebabkan oleh PM₁₀ diantaranya adalah:

- Berkurangnya jarak pandang
- Timbulnya kerusakan lingkungan akibat mengendapnya partikel yang mengandung asam pada perairan-perairan, tanah serta hutan
- Timbulnya kerusakan bangunan atau monumen yang akan mengganggu keindahan karena beberapa partikel yang mengandung asam mampu menghancurkan beberapa jenis material

2.4.5 Pencemar udara berbahaya – hidrokarbon

Pencemar udara berbahaya adalah pencemar yang bersifat racun, dan dikategorikan sebagai pencemar yang bisa menyebabkan kanker atau gangguan kesehatan yang serius seperti kelainan reproduksi dan janin, atau gangguan ekologi yang tidak terkembalikan. Beberapa contoh pencemar udara berbahaya adalah hidrokarbon atau senyawa organik yang mudah menguap (*volatile organic carbons* – VOC) seperti benzena; formaldehida; dan pelarut seperti toluen, xilen, perkloroetilen dan metilen khlorida; dioksin, asbes, toluen, dan logam-logam seperti kadmium, merkuri, khromium, dan timbel. Setiap daerah dapat menetapkan kategori pencemar yang diinventarisir berdasarkan sumber daya dan skala prioritas di daerah tersebut. Hidrokarbon adalah pencemar yang penting diinventarisir selain karena dampaknya terhadap kesehatan juga karena merupakan prekursor pembentuk ozon troposfer. VOC diemisikan dari kendaraan bermotor, distribusi bahan bakar, industri manufaktur kimia, dan pelarut.

Terdapat banyak sekali senyawa hidrokarbon di atmosfer, umumnya efek terhadap manusia terjadi karena sifatnya yang karsinogenik. Senyawa hidrokarbon (HC) di atmosfer termasuk ke dalam kategori senyawa VOCs, yaitu *non-methanic hydrocarbons* (NMHC), halokarbon, dan HC teroksigenasi (alkohol, aldehida dan keton) [Harrop, 2002]. Umumnya HC diukur dan dinyatakan sebagai metana (CH₄) dan senyawa hidrokarbon non-metana (NMHC). Senyawa NMHC termasuk alkana, alkena dan senyawa aromatik. Selain sifat karsinogenik dan toksik yang membahayakan kesehatan manusia, senyawa NMHC mempunyai peran yang sangat penting dalam reaksi fotokimia yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi ozon terutama di troposfer (Colls, 2002; Harrop, 2002).

Senyawa HC yang umum diemisikan dari kendaraan bermotor adalah benzena, 1,3-butadiena dan PAH (*polyaromatic hydrocarbon*). Selain itu terdapat banyak spesies hidrokarbon yang merupakan senyawa prekursor pembentuk ozon pada reaksi fotokimia dengan NO_x dengan bantuan sinar matahari, baik yang berasal dari sumber antropogenik seperti yang bersumber dari bahan-bahan pelarut, maupun yang berasal dari sumber alamiah (biogenik) seperti isopren (C₅H₈) dan monoterpena (C₁₅H₂₄). Di bawah ini adalah penjelasan lebih lanjut mengenai benzena, 1,3-butadiena dan PAH.

Benzena (C₆H₆)

Benzena adalah senyawa kimia organik yang berbentuk cairan tidak berwarna dan mudah terlarut dalam air. Senyawa ini juga sangat mudah terbakar serta memiliki bau manis yang khas. Biasanya benzena digunakan sebagai campuran bahan bakar dan juga sebagai pelarut pada beberapa industri. Benzena tergolong ke dalam hidrokarbon aromatik dan bersifat karsinogenik.

Benzena terkandung secara alami dalam minyak mentah. Di udara, benzena berasal dari emisi yang dihasilkan dari pembakaran minyak dan batu bara, aktivitas kendaraan bermotor, serta penguapan bensin di pompa-pompa bensin. Sumber lain yang juga turut menyumbang benzena di udara ambien adalah asap rokok.

Pajanan terhadap benzena menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan. Menghirup benzena dalam jumlah yang banyak dan terus menerus dapat menyebabkan kematian. Sementara gejala ringan yang ditimbulkan oleh benzena adalah mengantuk, pusing, dan sakit kepala. Beberapa dampak kesehatan yang disebabkan oleh benzena adalah:

- Mengganggu sistem saraf sehingga mampu menghilangkan kesadaran
- Mempengaruhi sumsum tulang belakang yang memproduksi sel darah merah sehingga timbul gangguan-gangguan seperti anemia, pendarahan terus menerus dan menurunnya kekebalan tubuh akibat kehilangan sel-sel darah putih
- Mempengaruhi tingkat kesuburan wanita dan mengganggu pertumbuhan janin seperti kekurangan berat badan pada bayi yang baru lahir, pembentukan tulang yang terhambat serta kehancuran sumsum tulang belakang
- Menyebabkan leukimia

Tabel 6 Ambang batas benzena di beberapa negara

	1 tahun
Jepang	3 µg/m ³
Negara-negara Eropa	5 µg/m ³

Sumber: Naskah Akademik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Provinsi DKI Jakarta, 2007

Benzena memiliki dampak yang lebih serius terhadap kesehatan manusia daripada terhadap lingkungan. Dampak yang terasa pada lingkungan adalah terkontaminasinya air dan tanah akibat pajanan benzena.

1,3 Butadiena

1,3 butadiena yang biasa disebut butadiena adalah gas yang tidak berwarna yang biasa digunakan pada produksi karet dan plastik. Gas ini berbau seperti bensin. Butadiena diemisikan dari kendaraan bermotor, kegiatan industri, kebakaran hutan dan asap rokok. Apabila terhirup, butadiena dapat menyebabkan iritasi mata, gangguan hidung, tenggorokan dan paru-paru. Pada pajanan yang tinggi, butadiena dapat menyebabkan efek pada saraf seperti pandangan yang kabur, kelelahan, sakit kepala dan vertigo. Apabila terkena kulit maka kulit akan terasa dingin yang kemudian diikuti oleh sensasi panas terbakar yang kemungkinan akan menyebabkan *frostbite*. Untuk pajanan jangka panjang butadiena dapat menyebabkan meningkatnya penyakit jantung dan saraf, seperti rematik dan penyakit jantung arteri. Pekerja yang bekerja di kawasan industri plastik sintesis juga rentan terkena leukimia akibat pajanan butadiena.

Tabel 7 Ambang batas 1,3 butadiena di beberapa negara

	1 tahun
Negara-negara Eropa	2,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sumber: Naskah Akademik, Sistem Pemantauan Kualitas Udara Ambien di Provinsi DKI Jakarta, 2007

Butadiena memiliki dampak beracun yang ringan terhadap ekosistem air. Namun, belum ada penelitian lebih lanjut yang menjelaskan tentang dampak butadiena pada tanaman, burung dan hewan lain.

PAH

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) merupakan kelompok senyawa yang memiliki berat molekul besar, berbentuk datar, dan memiliki struktur dengan banyak cincin aromatik. Senyawa ini banyak terdapat di alam sebagai pencemar hasil pembakaran bahan-bahan organik, baik dalam bentuk partikel padat maupun gas. Beberapa jenis senyawa PAHs bersifat karsinogenik.

Terdapat 5 komponen sumber pencemar utama PAH, yaitu domestik, kendaraan bermotor, industri, pertanian, dan alam. PAH terbentuk dari proses pembakaran tidak sempurna material organik. Umumnya terbentuk dari aktivitas alam atau sumber alami, terutama proses biologi aktivitas geothermal seperti eksplorasi dan pemanfaatan gas alam dan minyak bumi, dan sebagainya. Jumlah yang cukup besar juga berasal dari proses dekomposisi bahan organik pada permukaan tanah. Demikian juga pembuangan sampah, kebakaran hutan dan kegiatan manusia lainnya mempunyai peranan yang cukup besar dalam memproduksi gas hidrokarbon di atmosfer. PAH juga berasal dari emisi kendaraan bermotor dan kegiatan industri. Apabila PAH masuk ke dalam paru-paru akan menimbulkan luka dan merangsang terbentuknya sel-sel kanker.

Tabel 8 Jenis-jenis hidrokarbon aromatik dan pengaruh pada kesehatan manusia

Jenis hidrokarbon	Konsentrasi (ppm)	Dampak kesehatan
Benzena (C_6H_6)	100	Iritasi membran mukosa
	3.000	Lemas setelah $\frac{1}{2}$ - 1 Jam
	7.500	Pengaruh sangat berbahaya setelah pemajanan 1 jam
	20.000	Kematian setelah pemajanan 5 – 10 menit
Toluena (C_7H_8)	200	Pusing lemah dan berkunang-kunang setelah pemajanan 8 jam
	600	Kehilangan koordinasi bola mata terbalik setelah pemajanan 8 jam

Sumber: Agung Sudrajat, Pencemaran Udara, Suatu Pendahuluan, 2006.

2.4.6 Pengertian Gas Rumah Kaca (GRK) dan inventarisasi emisi GRK

Gas rumah kaca (GRK) adalah gas-gas yang mempunyai sifat menyerap radiasi termal sinar infra merah dari permukaan bumi dan memantulkannya kembali ke lapisan troposfer bawah. Pantulan radiasi termal ini menyebabkan panas tidak dilepaskan ke atmosfer atas, namun terperangkap di permukaan bumi. Kondisi ini menyebabkan terjadinya peningkatan suhu, yang disebut sebagai efek rumah kaca.

Berbagai jenis gas dan aerosol yang secara alamiah berada di udara mempunyai sifat menimbulkan efek rumah kaca, misalnya uap air, karbon dioksida (CO_2) dan metana (CH_4). Terdapat korelasi yang erat antara konsentrasi CO_2 , CH_4 dan temperatur bumi baik dalam siklus jangka panjang ribuan tahun maupun

dalam periode waktu yang lebih singkat (IPCC, 2001) [seperti dikutip oleh Colls, 2002]. Komposisi alamiah gas-gas ini menyebabkan temperatur bumi menjadi hangat dengan temperatur rerata berkisar 15°C (Wayne, 2000) dan memungkinkan terjadinya kehidupan di planet bumi.

Pemanasan global terjadi ketika konsentrasi GRK tersebut meningkat akibat emisi dari kegiatan manusia, sehingga melebihi konsentrasi alamiahnya. Selain CO₂ dan CH₄, termasuk juga GRK adalah gas nitrous oksida (N₂O) dan senyawa halokarbon seperti senyawa CFC.

Gas rumah kaca umumnya tidak dipantau dalam suatu jaringan pemantau udara ambien karena tidak termasuk pencemar kriteria yang menentukan tingkat kualitas udara. Tetapi pemantauan kualitas udara masa kini yang memantau senyawa hidrokarbon sebagai total karbon dan senyawa hidrokarbon non-metana (NMHC) memungkinkan stasiun pemantau otomatis juga menghasilkan data salah satu GRK yang penting, yaitu CH₄.

GRK tidak menimbulkan dampak langsung terhadap kesehatan fisik manusia, namun pada ekosistem dan kesejahteraan manusia. Dampak pemanasan global adalah meningkatnya resiko bencana, seperti kekeringan, banjir, badai, kerusakan terumbu karang, hilangnya spesies-spesies hewan dan tumbuhan yang rentan terhadap perubahan iklim, dan lain-lain. Pengendalian pencemar udara umumnya bersifat segera, lebih pasti, dan terjadi pada tempat dimana langkah pengendalian dilakukan (skala lokal atau regional). Sedangkan dampak pengendalian terhadap perubahan iklim bersifat jangka panjang dan global. Dampak pencemar udara berskala lokal, sedangkan dampak GRK berskala global.

Terlepas dari perbedaan-perbedaan dalam penanganan kedua topik tersebut, mengendalikan pencemaran udara dan GRK secara simultan dan terpadu akan lebih efektif dibandingkan dengan jika mengendalikan secara terpisah, khususnya untuk negara-negara berkembang dimana pembangunan ekonomi dan sosial menjadi prioritas lebih utama dibandingkan mitigasi perubahan iklim. Memadukan upaya pengendalian pencemaran udara dan mitigasi perubahan iklim disebut dengan istilah 'Co-benefits' yang artinya strategi gabungan yang memaksimalkan sinergi.

Tabel 9 memperlihatkan langkah-langkah yang dapat mengurangi emisi pencemar udara dan GRK secara bersamaan.

Perbedaan antara inventarisasi emisi GRK dan inventarisasi pencemar udara terletak pada jenis zat-zat atau gas-gas yang diinventarisir dan sumber emisinya serta bahwa perhitungan emisi GRK tidak mempertimbangkan efisiensi pengendalian emisi. Sumber emisi (serapan) GRK dan sumber emisi pencemar udara ada yang beririsan, seperti sumber pembakaran (kendaraan bermotor, industri, pembangkit listrik, dan lain-lain), proses industri, dan penggunaan produk (pelarut); kecuali sumber-sumber berikut ini: konsumsi listrik¹, limbah padat, limbah cair, tata guna lahan, dan perubahan lahan. Sumber-sumber yang terakhir ini bukan merupakan sumber pencemar udara seperti yang didefinisikan pada bagian 2.4 dan bagian 2.5 buku ini.

Berikut ini merupakan jenis-jenis GRK:

- Karbon dioksida (CO₂)
- Metana (CH₄)
- Nitrous oxide (N₂O)
- Hydrofluorocarbons (HFCs)

¹ Listrik yang dikonsumsi di wilayah inventarisasi, termasuk transmisi dan kehilangan listrik. terlepas apakah terdapat pembangkit listrik di wilayah inventarisasi atau tidak, perhitungan emisi GRK dari pembangkitan listrik dihitung dari konsumsi listrik di wilayah inventarisasi dan sumber suplai listrik, bukan dari pengoperasian pembangkit listrik tersebut di wilayah inventarisasi.

- Perfluorocarbons (PFCs)
- Sulphur hexafluoride (SF₆)
- Nitrogen trifluoride (NF₃)
- Trifluoromethyl sulphur pentafluoride (SF₅CF₃)
- Halogenated ethers
- Halocarbons lainnya (seperti: CF₃I, CH₂Br₂, CHCl₃, CH₃Cl, CH₂Cl₂)

Tabel 9 Contoh langkah-langkah pengurangan emisi pencemar udara dan GRK (*co-benefits*)

Langkah pengurangan emisi	Efek
Beralih dari batu bara ke gas alam untuk pembangkitan listrik	Mengurangi emisi CO ₂ per kiloWatt listrik yang diproduksi. Emisi SO ₂ and NO _x juga berkurang
Peningkatan efisiensi peralatan listrik di rumah tangga dan efisiensi proses industri	Mengurangi emisi pencemar udara dan CO ₂ , namun langkah efisiensi kadang dapat mendorong meningkatnya kebutuhan
Konservasi energi (menggunakan energi lebih sedikit)	Mengurangi emisi pencemar udara dan GRK
Menggunakan teknologi baru kendaraan bermotor, misal: • mobil hibrid • mobil berbahan bakar hidrogen dari gas alam atau sumber energi terbarukan • kendaraan bensin dengan sistem pembakaran yang membakar lebih sedikit bensin dengan menggunakan penangkap NO_x	Mengurangi emisi CO ₂ per kilometer tempuh dan juga emisi NO _x dan PM. Harus diperhatikan pula emisi yang terkait dengan produksi hidrogen agar secara keseluruhan tidak menambah emisi
Manajemen kebutuhan/perubahan perilaku: peningkatan transportasi umum disertai dengan disinsentif bagi penggunaan mobil pribadi	Mengurangi emisi pencemar udara dan GRK

Source: www.defra.gov.uk.

CO₂, CH₄ dan N₂O adalah GRK yang paling utama karena emisinya yang besar, sehingga pada umumnya gas-gas tersebut lah yang diinventarisir dalam inventarisasi emisi GRK. Sedangkan GRK yang diatur dalam Kyoto Protocol² adalah CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, dan SF₆.

Gas-gas lain yang berfungsi sebagai prekursor GRK:

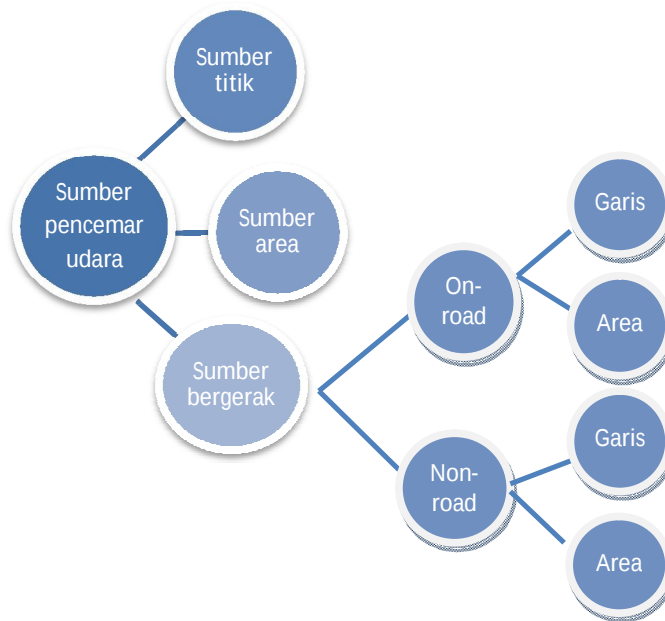
- NO_x
- Amoniak (NH₃)
- NMVOC
- CO
- SO₂

2.5 Kategori sumber yang diinventarisir

Sumber pencemar udara terdiri atas sumber bergerak dan sumber tidak bergerak. Sumber bergerak adalah sumber yang dapat bergerak atau berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Sumber tidak bergerak adalah sumber yang statis (diam) di suatu tempat. Dalam inventarisasi emisi, kategori sumber yang digunakan adalah: sumber titik, area, dan bergerak. Sumber tidak bergerak diwakili oleh sumber

² Kyoto Protocol adalah sebuah persetujuan sah dimana negara-negara perindustrian akan mengurangi emisi GRK mereka secara kolektif sebesar 5,2% dibandingkan dengan tahun 1990 (namun yang perlu diperhatikan adalah, jika dibandingkan dengan perkiraan jumlah emisi pada tahun 2010 tanpa Protokol, target ini berarti pengurangan sebesar 29%). Tujuannya adalah untuk mengurangi emisi dari 6 gas rumah kaca (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, dan SF₆) yang dihitung sebagai rata-rata selama masa 5 tahun antara 2008-2012.

titik dan sumber area. Sumber bergerak diwakili oleh sumber bergerak di jalan raya (*on-road*) dan di bukan jalan raya (*non-road*).



Gambar 5 Kategori sumber pencemar udara dalam inventarisasi emisi

2.5.1 Sumber titik

Sumber titik adalah sumber individu yang tidak bergerak. Suatu sumber dikategorikan sebagai sumber titik apabila sumber tersebut mengemisikan pencemar di atas ambang batas yang ditetapkan dalam inventarisasi. Ambang batas tersebut bisa didasarkan pada potensi emisinya, jenis sumber, atau toksisitas pencemar. Misalnya, ditetapkan bahwa sumber yang mengemisikan pencemar udara kriteria sebesar 10 ton per tahun dikategorikan sebagai sumber titik. Tipikal sumber titik adalah industri manufaktur atau pabrik produksi yang memiliki cerobong. Di dalam suatu sumber titik, bisa terdapat beberapa unit pembakaran/boiler atau beberapa unit proses. Untuk kota-kota sedang dan kecil, sumber titik ini selain industri manufaktur (skala besar), dapat pula mencakup insinerator di rumah sakit, boiler di hotel, krematorium, dan industri-industri skala menengah dan kecil.

2.5.2 Sumber area

Sumber area adalah sumber yang secara individu tidak memenuhi kualifikasi sebagai sumber titik. Sumber area mewakili berbagai kegiatan individu yang mengeluarkan sejumlah kecil pencemar, namun secara kolektif kontribusi emisinya menjadi signifikan. Misalnya, satu tungku pembakaran di industri rumah tangga di dalam wilayah inventarisasi tidak memenuhi kualifikasi sebagai sumber titik, namun secara kolektif emisi dari sejumlah fasilitas yang sama di wilayah tersebut akan signifikan sehingga sejumlah fasilitas tersebut harus diinventarisir sebagai sumber area.

Yang termasuk sumber area diantaranya adalah kegiatan memasak di rumah tangga, stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU), lokasi konstruksi, bengkel cat, terminal bis, klenteng, dan sejenisnya.

2.5.3 Sumber bergerak

Sumber bergerak terbagi menjadi dua, yaitu sumber bergerak di jalan raya (*on-road*), seperti mobil, truk, bus, sepeda motor; dan bukan di jalan raya (*non-road*) seperti pesawat terbang, kapal laut, kereta api,

peralatan pertanian dan konstruksi, dan mesin pemotong rumput. Lebih lanjut, sumber bergerak *on-road* dan *non-road* juga dapat diwakili oleh sumber bergerak garis dan sumber bergerak area. Sumber bergerak garis adalah sumber bergerak (di jalan raya atau bukan di jalan raya) yang emisinya secara individu maupun kolektif membentuk “garis” sepanjang ruas jalan atau jalur non-jalan di wilayah inventarisasi. Untuk mengetahui emisi sumber bergerak garis, diperlukan data aktivitas kendaraan/moda transportasi pada ruas atau jalur tersebut, misalnya volume kendaraan per hari atau jarak tempuh kereta api per hari. Apabila data aktivitas pada ruas jalan atau jalur non-jalan tidak diketahui, maka sumber bergerak dikategorikan sebagai sumber bergerak area, yaitu bahwa emisi kendaraan secara kolektif membentuk suatu area di wilayah inventarisasi.

2.6 Proses inventarisasi emisi

Proses inventarisasi emisi terdiri dari 6 bagian, yaitu:

a. Perencanaan

Perencanaan inventarisasi emisi adalah penjabaran tujuan dan prosedur yang mencakup kategori pencemar yang akan diinventarisir, identifikasi sumber, dan pelaporan data. Kegiatan perencanaan memastikan tindakan apa saja yang harus dilakukan dalam penyusunan inventarisasi emisi.

b. Penyusunan inventarisasi

Kegiatan ini merupakan bagian utama dalam proses penyusunan inventarisasi, yaitu pengumpulan data dan perhitungan emisi. Metode estimasi dan pendekatan yang digunakan harus merupakan metode yang paling akurat dan representatif terkait dengan data yang tersedia.

c. Prosedur jaminan kualitas (*quality assurance* – QA)/pengawasan kualitas (*quality control* – QC)

Program QA/QC yang komprehensif sangat penting dalam penyusunan inventarisasi emisi agar diperoleh hasil yang dapat dipertanggungjawabkan. Tanpa adanya pengawasan kualitas sepanjang proses inventarisasi, kesalahan-kesalahan yang terjadi bisa mengacaukan keseluruhan proses inventarisasi.

d. Dokumentasi

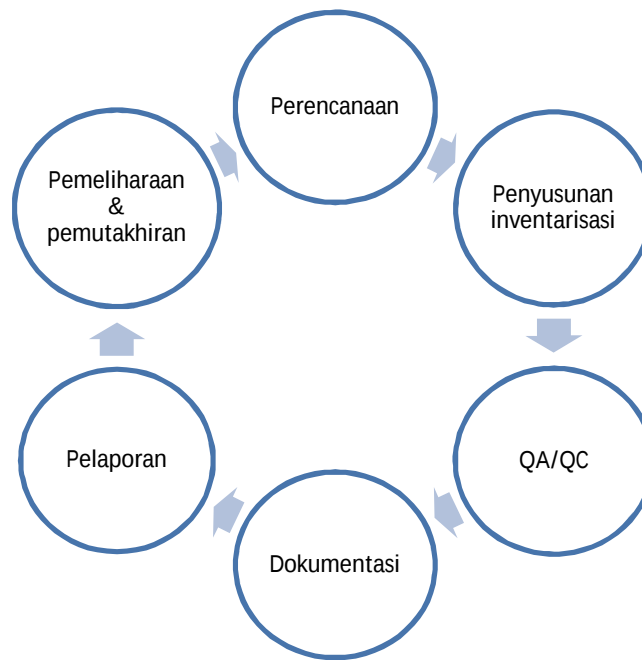
Dokumentasi yang lengkap dan terorganisir dengan baik adalah penting agar inventarisasi dapat dipertanggungjawabkan. Tujuan dari dokumentasi ini untuk memastikan bahwa kompilasi semua data menunjukkan upaya inventarisasi secara akurat.

e. Pelaporan

Pelaporan dalam penyusunan inventarisasi emisi mencakup penjelasan mengenai data yang telah dikumpulkan, diolah, dan dianalisis.

f. Pemeliharaan dan pemutakhiran

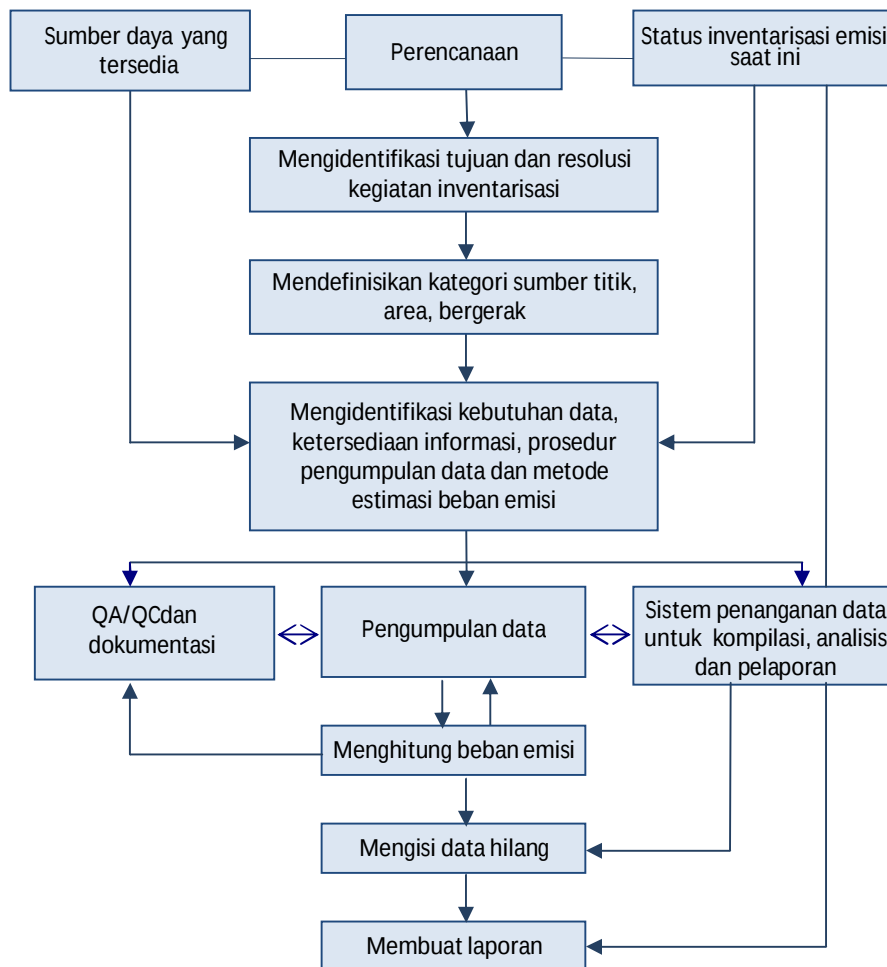
Kegiatan inventarisasi emisi merupakan suatu proses yang berkelanjutan. Pemeliharaan dan pemutakhiran inventarisasi setelah inventarisasi emisi disusun pertama kali akan menjamin kegunaannya di tahun-tahun mendatang.



Gambar 6 Tahapan inventarisasi emisi

2.7 Perencanaan inventarisasi emisi

Perencanaan inventarisasi yang baik akan memudahkan keseluruhan proses dan mencegah terjadinya perubahan yang memerlukan biaya besar selama dan setelah kegiatan inventarisasi berlangsung. Tergantung dari tujuan penyusunan inventarisasi emisi, misalnya untuk mengevaluasi kualitas udara ambien, menyusun peraturan, mengevaluasi efektivitas kebijakan, atau pemodelan kualitas udara, tujuan tersebut akan menentukan tingkat kompleksitas dan keakuratan inventarisasi. Namun demikian, setiap inventarisasi tetap memerlukan perencanaan yang baik. Di dalam melakukan perencanaan, penting untuk mempertimbangkan semua langkah dan sumber daya yang tersedia.



Gambar 7 Diagram alir proses inventarisasi emisi

2.7.1 Rencana Persiapan Inventarisasi

Sebelum proses inventarisasi dimulai, instansi terkait harus menyiapkan rencana persiapan inventarisasi untuk mengidentifikasi tenaga pelaksana dan sumber daya lainnya yang tersedia, dan jadwal pelaksanaan.

Rencana persiapan inventarisasi merupakan dokumen singkat yang menjelaskan pelaksanaan penyusunan inventarisasi. Perencanaan harus mengacu pada tujuan dan prosedur. Proses rencana persiapan inventarisasi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- **Kegunaan data** – pelaksana inventarisasi harus memastikan tujuan penggunaan data inventarisasi. Misalnya, digunakan sebagai pedoman pembuatan kebijakan/peraturan pemerintah, kajian resiko pencemar udara, dan pemodelan kualitas udara skala lokal.
- **Ruang lingkup inventarisasi** – pelaksana inventarisasi harus mengetahui jangka waktu, wilayah geografis inventarisasi, kategori pencemar, dan cakupan lainnya yang dibutuhkan.
- **Ketersediaan dan kegunaan data yang ada** – pelaksana inventarisasi harus mempelajari inventarisasi emisi yang pernah dilakukan, keakuratan datanya, dan seberapa jauh data tersebut bisa digunakan untuk pemutakhiran inventarisasi emisi.
- **Strategi pengumpulan dan pengelolaan data** – pelaksana inventarisasi harus mempertimbangkan pengumpulan dan pengelolaan data selama dan setelah proses penyusunan inventarisasi emisi, sistem data yang akan digunakan, dan cara pelaporan dan distribusi data.

- **Prosedur QA/QC** – pelaksana inventarisasi harus mempertimbangkan pengawasan kualitas data selama kegiatan pengumpulan, penyusunan, dan penulisan laporan inventarisasi.

2.7.2 Ruang Lingkup Inventarisasi

Ruang lingkup inventarisasi mencakup hal-hal sebagai berikut:

- Periode waktu inventarisasi
- Kategori sumber yang akan diinventarisir
- Wilayah geografis (nasional atau lokal)
- Kategori pencemar yang akan diinventarisir
- Strategi pengendalian emisi yang sedang diterapkan
- Prosedur estimasi beban emisi (pengumpulan, analisis, pengolahan data, pelaporan, dokumentasi)
- Lain-lain yang diperlukan selama perencanaan

2.7.3 Pedoman dokumentasi

Membuat pedoman dokumentasi merupakan langkah pertama di dalam penyusunan inventarisasi.

- Isi dokumen – para pelaksana harus memahami materi apa saja yang harus dimasukkan ke dalam dokumen
- Lokasi semua dokumen (buku/laporan/kertas dan dokumen elektronik)
- Memastikan seluruh dokumen tersedia dan selalu diperbaharui
- Adanya prosedur penambahan data atau keterangan ke dalam suatu dokumen
- Pelacakan data – mendokumentasikan siapa-siapa yang memasukkan atau mengubah data
- Akses ke dokumen – membuat peraturan tentang peminjaman buku/laporan/kertas dan pengamanan data elektronik
- Penduplikasian (*back-up*) dan pemeliharaan dokumen elektronik
- Pencatatan nama dokumen
- Pelaporan data – instansi apa saja yang akan menerima laporan inventarisasi dan bagaimana format laporannya

2.7.4 Sumber daya yang dibutuhkan untuk melakukan inventarisasi emisi

Komponen penting dalam perencanaan adalah menentukan sumber daya yang tersedia untuk melaksanakan inventarisasi emisi. Pada dasarnya, tingkat kualitas data yang dibutuhkan akan menentukan upaya yang harus dilakukan di dalam perencanaan, pelaksanaan, dan QA/QC hasil inventarisasi:

- Staf – orang-orang yang tepat dengan pengalaman yang sesuai dengan kebutuhan pelaksanaan inventarisasi emisi
- Anggaran – biaya yang dibutuhkan dan sumber dananya (pemerintah pusat atau pemerintah daerah, donor, dan lain-lain)
- Waktu – jangka waktu yang dibutuhkan untuk mengumpulkan seluruh informasi, melakukan perhitungan emisi, menyusun inventarisasi, dan melaksanakan QA/QC
- Pengolahan data – dibutuhkan piranti keras komputer dan aplikasi program komputer yang mampu mendukung keseluruhan proses pengolahan data ataupun pengambilan data dari instansi lain

- Komunikasi – dibutuhkan koordinasi antar pemangku kepentingan dan instansi terkait dalam proses penyusunan inventarisasi emisi

2.8 Pendekatan dalam penyusunan inventarisasi emisi

Dalam perencanaan inventarisasi, harus ditentukan pendekatan dan metodologi untuk menghitung emisi. Terdapat dua metode perhitungan, yaitu:

1. **Metode ‘top-down’:** metode estimasi emisi berdasarkan data skala nasional atau provinsi. Karakteristik metode ini adalah:
 - a. Biasanya digunakan untuk inventarisasi sumber area
 - b. Membutuhkan sumber daya minimum dengan cara mengelompokkan sumber emisi dengan menggunakan data emisi dan aktivitas yang tersedia
 - c. Digunakan ketika data lokal tidak tersedia, biaya untuk mengumpulkan data lokal tidak tersedia, atau kegunaan data tidak seimbang dengan biaya yang dikeluarkan
 - d. Faktor emisi nasional atau estimasi beban emisi nasional/provinsi digunakan untuk menghitung emisi lokal berdasarkan rasio parameter-parameter seperti jumlah/kepadatan penduduk, penjualan bahan bakar, pendapatan bruto daerah, dan lain-lain
 - e. Bisa menurunkan keakuratan hasil perhitungan karena ketidaktepatan ekstrapolasi emisi nasional/provinsi ke lokal
2. **Metode ‘bottom-up’:** metode estimasi yang dimulai dari satuan data lokal, yaitu menghitung emisi sumber individu dan menjumlahkan seluruh sumber untuk memperoleh emisi lokal atau nasional. Karakteristik metode ini adalah:
 - a. Biasanya digunakan untuk inventarisasi emisi sumber titik, namun bisa juga untuk sumber area, asalkan tersedia sumber daya yang akan melakukan pengumpulan data aktivitas lokal (melalui survei)
 - b. Membutuhkan sumber daya yang lebih besar untuk pengumpulan data spesifik sumber emisi, intensitas aktivitas, dan faktor emisi
 - c. Hasil estimasi lebih akurat dibandingkan dengan metode *top-down* karena data diperoleh langsung dari sumber individu dan tidak diekstrapolasi dari estimasi data nasional/provinsi

Kombinasi antara kedua metode tersebut di atas dalam inventarisasi emisi juga memungkinkan; dikenal sebagai metode semi *top-down* atau semi *bottom-up*. Misalnya, untuk sumber titik yang besar (cerobong industri besar) yang data spesifiknya tersedia, diterapkan metode *bottom-up*; sedangkan untuk sumber bergerak area diterapkan metode *top-down* karena menggunakan data nasional (panjang perjalanan dan ekonomi bahan bakar nasional).

2.9 Metode perhitungan emisi

Pada bagian ini dijelaskan metode-metode perhitungan emisi dan contoh perhitungannya. Metode-metode tersebut diterapkan baik untuk pendekatan *top-down* maupun *bottom-up*. Pemilihan metode ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- Ketersediaan data
- Kepraktisan metode
- Prioritas pencemar udara berbahaya dan kategori sumber
- Kegunaan inventarisasi emisi

- Sumber daya (dana dan tenaga)
- Jangka waktu yang tersedia
- Kompromi antara keakuratan metode dan biaya pelaksanaan

Metode perhitungan emisi dibagi atas metode perhitungan untuk sumber tidak bergerak (titik dan area) dan sumber bergerak.

2.9.1 Metode perhitungan emisi sumber titik dan sumber area

Metode-metode yang umumnya diterapkan di dalam perhitungan emisi sumber titik dan sumber area untuk pencemar-pencemar kriteria maupun pencemar-pencemar berbahaya terdiri atas:

- Faktor emisi
- Keseimbangan materi (*material balance*, termasuk analisa bahan bakar)
- Uji cerobong
- Model estimasi
- Survei dan kuesioner
- Pertimbangan pakar (*engineering judgment*)

Faktor emisi

Faktor emisi adalah suatu rasio yang menghubungkan emisi suatu pencemar dengan suatu tingkat aktivitas yang dapat diukur, misalnya jumlah materi yang diproses atau jumlah bahan bakar yang digunakan. Sebagai contoh, pembakaran 1 kiloliter minyak bakar pada tungku di pembangkit listrik akan menghasilkan 1,84 kilogram PM₁₀, dan ini berarti faktor emisi PM₁₀ untuk fasilitas tersebut adalah 1,84 kg/kL.

Apabila faktor emisi dan tingkat aktivitas diketahui, maka perkalian antara keduanya akan menghasilkan beban emisi. Faktor-faktor emisi umumnya ditentukan dari data pengukuran pada satu atau beberapa fasilitas di dalam suatu kategori industri, sehingga faktor emisi tersebut mewakili nilai yang sejenis untuk suatu industri tetapi tidak berarti mewakili apa yang sesungguhnya terjadi pada suatu sumber tertentu. Faktor emisi yang telah dipublikasikan telah tersedia. Faktor emisi memungkinkan perkiraan beban emisi dari beberapa kategori sumber atau sumber-sumber individu.

Untuk menghitung beban emisi dengan menggunakan faktor emisi, diperlukan 3 data masukan; yaitu informasi aktivitas, faktor emisi, dan informasi tentang efisiensi peralatan pengendali emisi (apabila menggunakan faktor emisi yang tidak mempertimbangkan efisiensi peralatan pengendali). Persamaan dasar perhitungan emisi adalah:

$$E = R \times FE \text{ (tanpa pengendalian)} \times (100 - C)/100 \quad (1)$$

dimana: E = Emisi

R = tingkat aktivitas (misalnya, jumlah materi yang diproses)

FE = faktor emisi, dengan asumsi tanpa pengendalian

C = efisiensi peralatan pengendali (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Persamaan (1) di atas akan menjadi: $E = R \times FE$, jika menggunakan faktor emisi yang telah mempertimbangkan efek pengendalian.

Emisi sumber area umumnya sulit dihitung melalui pengukuran aktivitas secara langsung. Dalam hal ini, digunakan faktor emisi yang didasarkan pada variabel penentu yang dapat dikaitkan dengan emisi, misalnya penduduk atau tenaga kerja di dalam industri.

Untuk saat ini, Indonesia belum memiliki dokumen/publikasi yang memuat faktor-faktor emisi yang berlaku nasional. Beberapa publikasi di luar negeri yang memuat referensi faktor-faktor emisi untuk berbagai fasilitas dan kategori industri berdasarkan tingkat aktivitas di negara dimana faktor emisi tersebut disusun diantaranya adalah: EMEP/CORINAIR, U.S. EPA AP-42, dan IPCC. Adopsi faktor-faktor emisi dari publikasi tersebut sebaiknya dilakukan secara berhati-hati karena adanya perbedaan kondisi/karakteristik pengoperasian.

Contoh perhitungan emisi dengan menggunakan faktor emisi:

Perhitungan beban emisi CO pada fasilitas turbin dengan bahan bakar gas.

$R = 50.000 \text{ MJ}$ (total panas/kalori masukan dari bahan bakar gas)

$FE_{CO} = 0,0473 \text{ kg/MJ}$ (dari U.S.EPA AP-42, edisi 5, bab 3, bagian 1, tabel 3.1-1)

Emisi CO = $50.000 \times 0,0473 = 2.365 \text{ kg}$

Keseimbangan materi

Emisi dari keseimbangan materi ditentukan atas jumlah materi yang masuk ke dalam proses, jumlah yang keluar dari proses, dan produk yang dihasilkan. Analisa bahan bakar merupakan contoh keseimbangan materi. Emisi dihitung dengan menerapkan hukum konservasi massa. Adanya unsur-unsur tertentu di dalam bahan bakar dapat digunakan untuk memperkirakan adanya unsur-unsur tersebut di dalam aliran emisi. Misalnya, emisi SO_2 dari pembakaran minyak dapat diperkirakan dari konsentrasi sulfur di dalam minyak tersebut. Pendekatan ini mengasumsikan konversi sulfur yang sempurna menjadi SO_2 . Untuk setiap kg sulfur yang dibakar, akan diemisikan 2 kg SO_2 .

Keseimbangan materi dapat diterapkan untuk menghitung emisi sumber titik dan area. Keseimbangan materi khususnya berguna untuk sumber-sumber yang menimbulkan penguapan, misalnya pelarutan bahan-bahan dan proses pelapisan. Metode ini sebaiknya tidak digunakan untuk proses yang bahan-bahannya bereaksi menghasilkan produk sekunder atau yang bahan-bahannya mengalami perubahan kimiawi.

Persamaan dasar perhitungan emisi untuk keseimbangan materi adalah:

$$E_x = (Q_{in} - Q_{out}) \times C_x \quad (2)$$

dimana: E_x = beban emisi pencemar x

Q_{in} = jumlah materi yang masuk ke dalam proses

Q_{out} = jumlah materi yang keluar dari proses, seperti produk atau sisa/buangan

C_x = konsentrasi pencemar x di dalam materi

Variabel Q_{out} meliputi beberapa wujud pencemar yang berbeda-beda. Ini termasuk jumlah materi yang dihasilkan kembali atau didaur ulang, atau jumlah materi yang keluar dari proses dalam bentuk produk akhir atau sisa/buangan.

Contoh perhitungan emisi dengan menggunakan metode keseimbangan materi:

Perhitungan emisi HC dari proses pelarutan:

$(14,2 \text{ ton materi} - 1,6 \text{ ton buangan}) \times 0,5\% \text{-berat HC dalam materi} = 0,063 \text{ ton HC yang diemisikan}$

Materi = total jumlah senyawa dalam proses

%-berat HC dalam materi = kandungan HC dalam materi yang umumnya diketahui dari label bahan.

Analisa bahan bakar

Data analisa bahan bakar dapat digunakan untuk memperkirakan emisi dengan menerapkan hukum konservasi massa, seperti halnya pada metode keseimbangan materi. Perbedaannya adalah bahwa dalam analisa bahan bakar, massa yang diperhitungkan adalah massa bahan bakar. Jika konsentrasi suatu pencemar atau prekursor pencemar di dalam bahan bakar diketahui, maka emisi pencemar tersebut dapat dihitung. Metode ini sesuai untuk pencemar-pencemar seperti logam, SO_2 , dan CO_2 .

Persamaan dasar untuk analisa bahan bakar adalah:

$$E = Q_f \cdot C_f \cdot (MW_p / MW_f) \cdot \frac{(100 - CE)}{100} \quad (3)$$

dimana: E = emisi pencemar (kg/jam)

Q_f = laju alir bahan bakar (kg/jam)

C_f = %-berat unsur pencemar dalam bahan bakar (%)

MW_p = berat molekul pencemar yang diemisikan (kg/kg-mol)

MW_f = berat molekul unsur pencemar dalam bahan bakar (kg/kg-mol)

CE = efisiensi pengendali emisi pencemar (%)

Contoh perhitungan emisi dengan menggunakan metode analisa bahan bakar:

Perhitungan beban emisi SO_2 dari pembakaran batu bara.

$$Q_f = 20.000 \text{ kg/jam}$$

$$C_{\text{SO}_2} = 1,5\%$$

$$MW_{\text{SO}_2} = 64 \text{ kg/kg-mol}$$

$$MW_{\text{sulfur}} = 32 \text{ kg/kg-mol}$$

$$CE = 0\% \text{ (tanpa pengendalian)}$$

$$\text{Emisi } \text{SO}_2 = 20.000 \times 1,5/100 \times (64/32) = 600 \text{ kg/jam}$$

Uji cerobong

Laju emisi di cerobong diperoleh dari pengukuran sesaat di cerobong. Data emisi kemudian diekstrapolasi untuk memperkirakan emisi jangka panjang (harian atau tahunan) dari sumber yang sama atau yang sejenis. Pengukuran emisi kontinyu (*continuous emission monitoring* – CEM) yang umumnya dilakukan oleh pelaku industri mencatat data-data emisi aktual selama kurun waktu pengoperasian CEM. Data CEM juga dapat digunakan untuk memperkirakan emisi untuk kurun waktu pengoperasian yang berbeda dan

nilai rerata emisi jangka panjang. Hasil uji cerobong yang dilakukan oleh instansi pemerintah atau oleh industri bersangkutan dapat digunakan untuk memperkirakan emisi pencemar udara.

Walaupun uji cerobong umumnya menghasilkan perkiraan emisi yang lebih akurat dibandingkan dengan faktor emisi atau keseimbangan materi, namun penggunaannya di dalam inventarisasi emisi terbatas karena: 1) uji cerobong cukup mahal dan 2) uji cerobong yang sesaat dari suatu proses hanya merefleksikan laju emisi dan kondisi selama uji berlangsung. Karena kondisi proses bisa berubah selama kurun waktu tertentu (harian, mingguan, bulanan), maka diperlukan metode referensi uji cerobong yang standar agar hasil uji dapat merefleksikan nilai rerata untuk jangka waktu berbeda. Metode tersebut belum dikembangkan untuk semua pencemar udara, terutama pencemar-pencemar udara berbahaya.

Data uji cerobong bermanfaat untuk mendapatkan informasi tentang karakteristik suatu industri, pencemar-pencemar yang diemisikan, dan parameter operasional alat pengendali emisi. Data hasil pengukuran yang tercantum dalam laporan dapat digunakan untuk menentukan faktor emisi untuk setiap pencemar dan proses yang diuji. Walaupun data uji cerobong bersifat spesifik, data-data tersebut dapat diekstrapolasi sehingga berlaku bagi sumber-sumber lainnya yang representatif. Hal ini dilakukan untuk tujuan perhitungan emisi.

Contoh perhitungan beban emisi dengan metode uji cerobong:

Perhitungan beban emisi SO₂ pada *boiler* dengan minyak bakar.

Laju alir gas di cerobong = 4.392 m³/menit

Konsentrasi SO₂ terukur = 1.004 ppmvd (*part per million volume dry*)

$$E_x = \frac{(C_x \cdot MW_x \cdot Q \cdot 60)}{(V \cdot 10^6)}$$

E_x = emisi SO₂ (kg/jam)

C_x = konsentrasi SO₂ (ppmvd)

MW_x = berat molekul SO₂ = 64 (gr/gr-mol)

Q = laju alir gas (m³/menit)

V = volume 1 mol gas pada suhu dan tekanan standar = 24,04 liter/gr-mol

$$E_x = \frac{(C_x \cdot MW_x \cdot Q \cdot 60)}{(V \cdot 10^6)} = \frac{(1004 \times 64 \times 4392 \times 60)}{24,04 \times 10^6} = 704,4 \text{ kg/jam}$$

Model estimasi

Model estimasi emisi adalah persamaan empiris untuk memperkirakan emisi dari sumber-sumber tertentu. Beberapa model estimasi emisi diantaranya adalah *Landfill Gas Emissions Model*, TANKS (untuk mengestimasi VOC dari tangki penyimpanan bahan bakar), WATER (untuk mengestimasi emisi udara dari pengolahan limbah cair). Beberapa model yang tersedia saat ini didasarkan pada data-data hasil pengukuran atau data-data empiris. Aplikasi piranti lunak estimasi emisi digunakan apabila perhitungan emisi melibatkan banyak persamaan dan interaksi senyawa-senyawa kimia, dan harus memperhitungkan efek berbagai parameter.

Survei dan kuesioner

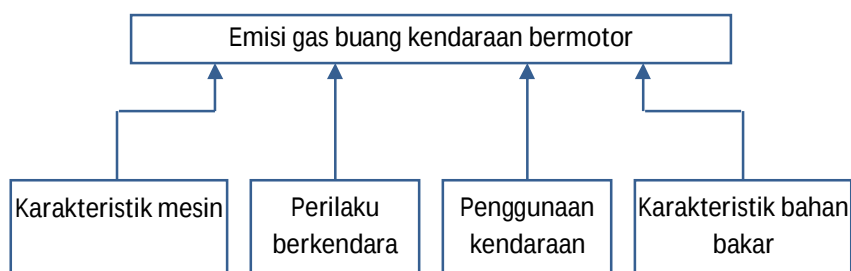
Survei dan kuesioner umumnya digunakan untuk mendapatkan data spesifik emisi pencemar dan sumber pencemar pada suatu fasilitas. Metode ini juga dapat digunakan untuk mengumpulkan data lokal atau nasional untuk kategori sumber tertentu. Ruang lingkup survei harus ditentukan sejak tahap perencanaan inventarisasi. Misalnya, suatu survei yang rinci mentargetkan semua fasilitas dalam satu kategori sumber atau mencatat pencemar-pencemar spesifik. Cara ini akan mengurangi jumlah responden yang dihubungi dan meningkatkan kualitas data karena kuesioner disusun khusus untuk jenis-jenis sumber tertentu dengan proses-proses yang sejenis. Alternatif lainnya, sasaran survei bisa saja tidak hanya mencakup sumber-sumber spesifik atau dibatasi pada pencemar-pencemar yang akan diinventarisir. Cara ini akan memerlukan desain kuesioner survei yang lebih generik, dan konsekuensinya adalah bahwa data yang dihasilkan pun akan kurang rinci dan kurang akurat. Cara mana pun yang diambil, instansi terkait perlu memastikan ketersediaan tenaga dan dana untuk melaksanakan survei, mulai dari perancangan, pengiriman melalui pos atau survei tatap muka, pengolahan, dan analisa hasil survei.

Pertimbangan pakar (engineering judgement)

Metode pertimbangan pakar dilakukan apabila metode-metode lainnya seperti faktor emisi, keseimbangan materi, uji cerobong, atau analisa bahan bakar tidak memungkinkan untuk dilaksanakan. Dalam metode ini, estimasi emisi dibuat oleh seorang pakar yang menguasai proses dan mekanisme timbulnya emisi sumber tidak bergerak atau area di wilayah tersebut berdasarkan kaidah-kaidah keilmuan yang berlaku yang kemudian memberikan pertimbangan. Pertimbangan pakar ini bisa berupa penerapan ide-ide yang spekulatif atau inovatif, faktor emisi yang tidak terdokumentasi, atau keseimbangan materi awal. Namun demikian, metode pertimbangan pakar merupakan pilihan terakhir.

2.9.2 Metode perhitungan emisi sumber bergerak

Perhitungan emisi sumber bergerak umumnya menggunakan metode faktor emisi. Secara spesifik, emisi dari kendaraan bermotor ditimbulkan dari proses pembakaran di dalam mesin yang mengeluarkan gas buang (nitrogen, CO₂, air, dan pencemar-pencemar udara); evaporasi bahan bakar pada mesin, saat pengisian bahan bakar, dan lainnya.



Gambar 8. Faktor-faktor yang mempengaruhi emisi kendaraan bermotor
Sumber: Meyer dan Miller, 2001.

Jenis dan jumlah pencemar yang diemisikan dari berbagai kategori kendaraan dipengaruhi oleh tingkat penggunaan kendaraan dalam ton- atau kilogram-kilometer. Faktor emisi dipengaruhi oleh berbagai parameter, diantaranya adalah karakteristik mesin, teknologi kendaraan, karakteristik bahan bakar, usia dan perawatan kendaraan, dan penggunaan kendaraan.

Karakteristik mesin

Setiap jenis mesin memiliki karakteristik emisi tersendiri. Mesin pembakaran empat langkah (4-tak) cenderung mengemisikan CO, HC, dan NO_x, namun emisi partikulatnya umumnya rendah (Heck dkk., 2002). Mesin 2-tak memiliki karakteristik emisi yang sama tetapi lebih kotor karena penggunaan campuran oli yang berlebihan (yang menghasilkan emisi oli yang tidak terbakar) dan penggunaan oli dengan kandungan asap tinggi (Hensher dan Button, 2003). Sepeda motor 2-tak dan bajaj umumnya terdapat di negara-negara berkembang. Di Indonesia, jumlah sepeda motor 2-tak telah berkurang banyak (0.03% dari jumlah sepeda motor saat ini). Mesin diesel pada truk dan bis cenderung mengeluarkan CO dan HC yang lebih rendah dibandingkan mesin bensin, tetapi NO_x dan partikulatnya lebih tinggi (Meyer dan Miller, 2001).

Teknologi kendaraan

Dalam dekade terakhir, teknologi kendaraan memegang peranan yang penting dalam mengurangi emisi kendaraan-kendaraan baru (Eisinger, 2005). Semakin maju teknologi, semakin ketat ambang batas emisi. Di negara-negara seperti Amerika Serikat, Eropa Barat, dan Jepang, penelitian dan pengembangan selama 30 tahun telah berhasil mengurangi emisi sebanyak 95%, yaitu sebesar target pengurangan yang ditetapkan dalam peraturan di negara-negara tersebut (Colville dkk., 2001; Walsh, 1994).

Di Indonesia, ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor tipe baru dan kendaraan bermotor yang sedang diproduksi diberlakukan efektif secara bertahap mulai 1 Januari 2005³. Ambang batas emisi ini ekuivalen dengan standar EURO II yang diberlakukan di negara-negara Uni Eropa pada 1996⁴, dan sejak 1 Januari 2006 standar yang lebih ketat yaitu EURO IV telah diberlakukan di Uni Eropa. Untuk kendaraan lama, ambang batas emisi di Indonesia mengacu pada Peraturan Menteri No. 5/2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Untuk sepeda motor tipe baru, ambang batas yang berlaku adalah EURO III (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 10/2012).

Karakteristik bahan bakar

Bahan bakar motor adalah produk yang kompleks dan mengandung berbagai senyawa yang mempengaruhi kualitas udara. Senyawa-senyawa ini secara langsung dapat memicu timbulnya pencemar yang berbahaya selama pembakaran atau penyimpanan, atau dapat secara tidak langsung merusak alat pengendali emisi. Variasi bahan bakar berasal dari karakteristik minyak mentah yang menjadi bahan baku atau dari karakteristik kilang minyak itu sendiri. Bahan aditif dapat pula ditambahkan ke dalam bahan bakar minyak untuk tujuan tertentu, diantaranya adalah untuk meningkatkan kinerja mesin dan mengurangi dampak negatif lingkungan.

Spesifikasi bahan bakar di Indonesia mengacu pada Surat Keputusan (SK) Direktur Jenderal Minyak dan Gas (Dirjen Migas) No. 3674 K/24/DJM/2006 tentang Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan di Dalam Negeri dan SK Dirjen No. 3675 K/24/DJM/2006 tentang Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri. Dalam spesifikasi ini, bensin dengan angka RON (*Research Octane Number*) 88 dibagi atas bensin bertimbel dan tanpa timbel. Pada bensin bertimbel kandungan timbel maksimum yang diperbolehkan adalah 0,3 g/L. Sedangkan pada bensin RON 88 tanpa timbel dan bensin dengan RON 91 dan 95, kandungan timbel maksimum yang diperbolehkan adalah 0,0013 g/L. Untuk minyak solar, terdapat 2 kategori yaitu minyak solar dengan angka setana 48 yang

³ Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 141/2003 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru dan Kendaraan Bermotor yang Sedang Diproduksi (*Current Production*)

⁴ Directives 94/12/EC, 96/69/EC, 91/542/EEC EU Emission Standards

kandungan sulfur maksimum yang diperbolehkan adalah 3500 ppm dan minyak solar dengan angka setana 51 yang kandungan sulfur maksimum yang diperbolehkan adalah 500 ppm.

Usia dan perawatan kendaraan

Sejalan dengan usia pakai kendaraan, komponen-komponen mesin pun mengalami penurunan kinerja yang akan menyebabkan emisi meningkat. Pada kendaraan yang dirawat dengan baik, peningkatan emisi tidak signifikan, tetapi pada kendaraan yang tidak dirawat dengan baik peningkatan emisi terjadi lebih cepat. Di negara-negara berkembang kendaraan-kendaraan yang tidak terawat merupakan sumber emisi yang penting; data memperkirakan bahwa 10% dari jumlah seluruh kendaraan mengeluarkan 50% emisi HC dan CO (Hickman, 1994). Distribusi emisi NO_x juga bersifat condong, walaupun kecondongannya lebih sedikit dibandingkan dengan distribusi emisi HC dan CO.

Perilaku berkendara dan penggunaan kendaraan

Perilaku berkendara mempengaruhi emisi kendaraan. Emisi semua pencemar akan lebih tinggi apabila kendaraan dikemudikan pada beban yang berat (akselerasi tinggi) atau pergantian beban yang cepat. Ketika akselerasi tinggi, kendaraan mengalami pengayaan bahan bakar; selama itu campuran bahan bakar yang berlebihan akan membebani alat pengendali emisi dan mengemisikan CO seratus kali lebih cepat dari kondisi normal dan HC sepuluh kali lebih cepat (Brundell-Freij dkk., 2005).

Perilaku mengemudi yang agresif, seperti misalnya melakukan pengereman mendadak atau akselerasi yang cepat mempengaruhi emisi gas buang. Pada keadaan lalu lintas yang padat, kendaraan berhenti lebih sering dibandingkan pada kondisi lalu lintas yang lancar sehingga meningkatkan emisi gas buang.

Secara umum, metode perhitungan emisi untuk setiap sumber dapat dirangkum seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 Penggunaan metode perhitungan emisi

Sumber titik	Sumber area	Sumber bergerak
• <i>Continuous emission monitoring</i> • Uji cerobong • Faktor emisi x data aktivitas • Keseimbangan materi • Analisa bahan bakar • Model emisi	• Survei dan kuesioner • Faktor emisi x data aktivitas • Keseimbangan materi • Model emisi	• Model emisi • Faktor emisi x data aktivitas • Analisa bahan bakar

3. STRATEGI DAN PENDEKATAN PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI

3.1 Strategi

Penyusunan inventarisasi memerlukan strategi yang efektif agar hasil yang diharapkan, yaitu inventarisasi emisi yang lengkap dan akurat dapat dicapai dengan cara yang paling efektif dengan menggunakan sumber daya yang tersedia.

3.1.1 Wilayah, interval waktu, dan tahun dasar inventarisasi emisi

Wilayah geografis inventarisasi emisi suatu kota mencakup wilayah kota dengan batas-batas administrasi. Jika terdapat sumber pencemar yang penting (misalnya, pembangkit listrik atau industri besar lainnya) yang berada pada perbatasan kota di luar wilayah administrasi, maka sumber tersebut dapat diinventarisasi dengan membuat catatan bahwa lokasi sumber berada di luar wilayah inventarisasi. Tujuannya adalah untuk memberikan informasi kepada instansi bertanggung jawab di wilayah yang berbatasan dengan wilayah inventarisasi atau instansi berwenang di tingkat provinsi dan pusat mengenai sumber tersebut dan kontribusi emisinya yang besar dan diperkirakan mempengaruhi kualitas udara di wilayah inventarisasi.

Interval waktu inventarisasi emisi untuk suatu kota pada umumnya adalah 1 tahun. Inventarisasi tersebut dimutakhirkan setiap satu tahun atau dua tahun sekali. Sedangkan tahun dasar inventarisasi ditetapkan berdasarkan pertimbangan kelengkapan data pada tahun dimaksud. Misalnya, jika sekarang bulan Juli tahun 2013, maka tahun dasar inventarisasi yang disarankan adalah tahun 2011 atau 2012 mengingat ketersediaan data statistik. Parameter yang diinventarisir meliputi: CO, NO_x, SO₂, PM₁₀, HC, dan CO₂.

3.1.2 Sumber daya manusia

Penyusunan inventarisasi emisi memerlukan pelibatan para pemangku kepentingan, yaitu: **pemilik data** dan **penyusun inventarisasi**. Peran dan kontribusi pemilik data sangat penting. Tanpa adanya data aktivitas sumber emisi, perhitungan emisi tidak dapat dilakukan. Data tersebut dapat berupa data primer (dari pengukuran dan survei) atau data sekunder (dari statistik, direktori, laporan pemantauan, laporan riset, dan publikasi lainnya). Perolehan data primer akan memerlukan sumber daya yang lebih besar dibandingkan dengan data sekunder. Untuk itu, pengumpulan data sekunder adalah prioritas utama dalam penyusunan inventarisasi emisi.

Secara umum, inventarisasi emisi dapat dilakukan dengan hanya menggunakan data sekunder, kecuali beberapa data aktivitas mungkin harus diperoleh dengan melakukan survei (terbatas) yang tidak memerlukan biaya yang besar. Sebelum menentukan apakah survei diperlukan atau tidak, penyusun inventarisasi harus memastikan terlebih dahulu apakah data aktivitas yang dimaksud tersedia, misalnya, dari laporan pemantauan atau direktori atau dokumen lainnya.

Mengingat pentingnya peran pemilik data, maka hubungan antara penyusun inventarisasi dan pemilik data harus dibangun sejak awal mulai dari persiapan inventarisasi hingga pelaksanaannya (pengumpulan data, perhitungan emisi, validasi hasil, dan pelaporan). Yang termasuk pemilik data adalah: instansi pemerintah daerah dan pusat, pihak swasta (industri dan komersial), lembaga penelitian, individu-individu peneliti, lembaga internasional yang dijadikan referensi. Sebagian besar data umumnya diperoleh dari pemangku kepentingan di daerah karena penyusunan inventarisasi harus diupayakan menerapkan metoda '*bottom-up*' (estimasi yang dimulai dari satuan data lokal) karena lebih tepat.

Penyusun inventarisasi adalah mereka yang memiliki kapasitas (waktu dan tenaga) dan kompetensi (keahlian) untuk melakukan pengumpulan data, survei, perhitungan, pengolahan data, analisis, dan pengelolaan sistem informasi geografis (peta digital). Sebaiknya, penyusun inventarisasi adalah universitas setempat untuk menjamin keberlanjutan pemutakhiran inventarisasi di masa mendatang ataupun transfer pengetahuan dan keterampilan kepada pemerintah daerah/pemangku kepentingan lainnya jika suatu saat diperlukan. Penyusun inventarisasi membentuk Tim yang anggotanya terdiri atas, namun tidak terbatas pada sebagai berikut:

- a. **Manajer/Pimpinan Tim:** bertanggung jawab dalam manajemen kegiatan inventarisasi secara keseluruhan; memberikan arahan kepada anggota tim; memastikan komunikasi dan koordinasi yang baik dengan para pemangku kepentingan; bekerja bersama dengan pemangku kepentingan; menyusun rencana kerja rinci; mengukur, mengevaluasi dan melaporkan kemajuan dibandingkan dengan rencana kerja; mengelola dan mengawasi anggaran; mengkoordinasi dan mengelola kegiatan-kegiatan yang dilakukan oleh anggota tim; mengatasi permasalahan-permasalahan yang muncul akibat pelaksanaan kegiatan; menyelenggarakan dan memimpin pertemuan rutin tim; membahas kemajuan dan kendala-kendala; memeriksa kualitas dokumen-dokumen sebelum diserahkan kepada pihak ketiga.
- b. **Staf Administrasi dan Keuangan:** melaksanakan tugas-tugas administrasi dan kesekretarian (dokumentasi, pengumpulan dan penyiapan laporan dan presentasi, korespondensi); melakukan pengelolaan keuangan (pembayaran kas, dokumentasi transaksi); menyiapkan laporan pengelolaan kas; memastikan semua transaksi sesuai dengan kebijakan dan prosedur yang berlaku.
- c. **Koordinator Pemangku Kepentingan (Pemilik Data):** berhubungan dengan instansi-instansi pemerintah terkait dan pemangku kepentingan lainnya dalam akuisisi, kompilasi, dan verifikasi data; menyiapkan surat-surat permohonan, dukungan dan rekomendasi; menindaklanjuti kemajuan surat-surat permohonan; menanggapi dan mengatasi permasalahan dalam akuisisi data.
- d. **Koordinator/Ahli** yang berlatar belakang ilmu keteknikan (teknik lingkungan, mesin, kimia, sipil, industri, fisika) atau sains (lingkungan, kimia, fisika): bertanggung jawab dalam perhitungan, verifikasi dan validasi emisi dari sumber-sumber pencemar (titik, area, dan bergerak); menyiapkan metode inventarisasi dan prosedurnya termasuk desain survei jika suatu survei diperlukan; menentukan faktor emisi dan data input; memberikan arahan kepada staf lapangan dan enumerator; menyusun format kertas kerja untuk perhitungan emisi; menanggapi dan mengatasi permasalahan yang terkait dengan ketersediaan data dibandingkan dengan kebutuhan data untuk perhitungan emisi.

Koordinator/Ahli ini dapat dibagi berdasarkan sumber emisi: Koordinator Sumber Titik, Koordinator Sumber Area, dan Koordinator Sumber Bergerak. Tergantung pada skala inventarisasi emisi, Koordinator Sumber Titik dan Sumber Area dapat dijadikan satu menjadi Koordinator Sumber Tidak Bergerak karena pengelolaan inventarisasi kedua sumber tersebut hampir sama.

- e. **Operator Sistem Informasi Geografis (GIS):** bertanggung jawab dalam pengelolaan basis data dengan menggunakan referensi spasial (GIS); menyiapkan peta digital kota/wilayah dan jaringan jalan dengan menggunakan aplikasi GIS; mengolah data input GIS (untuk semua sumber emisi) dan distribusinya ke dalam grid/sel; mengelola data GIS dan perhitungan dalam platform GIS; menyusun tampilan grafis emisi per grid pada peta kota.

- f. **Staf Lapangan:** melaksanakan kegiatan-kegiatan di lapangan –pengumpulan, verifikasi, dan presentasi data; mengkoordinasi pelaksanaan survei (jika survei diperlukan); memberikan arahan kepada enumerator survei; membantu dalam perhitungan emisi yang dilakukan oleh Ahli. Jumlah Staf Lapangan disesuaikan dengan kebutuhan, sedikitnya 2 orang untuk masing-masing bidang Sumber Tidak Bergerak (titik dan area) dan Sumber Bergerak.
- g. **Enumerator Survei:** tergantung pada ketersediaan data, Tim Penyusun mungkin perlu melakukan survei untuk mendapatkan data yang tidak tersedia, misalnya data fasilitas pengemisi (boiler, generator, insinerator) yang digunakan di hotel, rumah sakit, bangunan komersial, dan lain-lain. Mengingat sumber daya yang terbatas, survei tersebut dilakukan terbatas pula, yaitu dengan mengambil beberapa sampel untuk mendapatkan informasi aktivitas sumber tipikal. Selanjutnya untuk menentukan data fasilitas sumber lainnya yang tidak tersurvei, dilakukan ekstrapolasi.

3.1.3 Kebutuhan anggaran dan jangka waktu

Secara umum, kebutuhan anggaran penyusunan inventarisasi emisi dapat dibagi atas kebutuhan pembiayaan untuk:

- a. **Remunerasi** sumber daya manusia
- b. **Operasional:** transportasi lokal (termasuk transportasi untuk pengumpulan data), kertas dan alat tulis, fotokopi, penjilidan, kurir, komunikasi (telepon, internet, fax), penterjemahan (jika diperlukan)
- c. **Kegiatan-kegiatan:** logistik untuk rapat koordinasi, training staf, survei
- d. **Kontingensi:** biaya-biaya tidak terduga

Dalam penyusunan inventarisasi tidak diperlukan biaya untuk pengukuran karena tidak dilakukan pengukuran. Satuan biaya ditentukan pula oleh jangka waktu. Jangka waktu penyusunan inventarisasi berkisar antara 6 bulan - 1 tahun. Jangka waktu 6 bulan dapat dicapai apabila Tim Penyusun memiliki rencana kerja yang rinci dengan tolok ukur hasil yang jelas, terukur, dan realistis; memiliki manajemen tim dan komunikasi internal dan eksternal yang efektif; melakukan pemantauan kemajuan yang ketat antara rencana dan hasil; dan mendapatkan pendampingan dari instansi/kementerian terkait atau ahli independen.

3.1.4 Pengumpulan data

Pengumpulan data merupakan salah satu faktor penentu dalam kegiatan penyusunan inventarisasi emisi. Sebelum melakukan pengumpulan data, penyusun inventarisasi harus terlebih dahulu menentukan jenis data input atau data aktivitas yang diperlukan. Untuk menentukan jenis data yang diperlukan, harus ditetapkan metode perhitungan dan parameter-parameternya. Berdasarkan pertimbangan kegunaan inventarisasi, ketersediaan data, kepraktisan metode serta keseimbangan antara keakuratan metode dan biaya pelaksanaan, maka metode perhitungan emisi yang digunakan dalam inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan adalah METODE FAKTOR EMISI.

Metode Faktor Emisi: $E = R \times FE \text{ (tanpa pengendalian)} \times (100 - C)/100$

dimana: E = Emisi

R = tingkat aktivitas (misalnya, jumlah materi yang diproses)

FE = faktor emisi, dengan asumsi tanpa pengendalian

C = efisiensi peralatan pengendali (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Langkah pertama dalam penggunaan metode faktor emisi adalah menentukan: 1) faktor emisi untuk menghitung emisi dari sumber yang telah diidentifikasi dan 2) tipe data input yang diperlukan ketika menggunakan faktor emisi tersebut. Setelah itu, pengumpulan data baru dapat dilakukan.

Boks 1 Data Pemantauan Cerobong:

Industri-industri besar umumnya melakukan pemantauan emisi cerobong secara rutin untuk melaporkan pemenuhan baku mutu emisi industri. Penyusun inventarisasi emisi dapat memanfaatkan data uji cerobong tersebut. Namun demikian, sering data uji cerobong tersebut hanya memperlihatkan hasil pengukuran konsentrasi pencemar dan tidak laju alir gas yang keluar dari cerobong atau dimensi cerobong. Karena perhitungan emisi = konsentrasi x laju alir (debit), maka data laju alir harus diperoleh. Laju alir dapat diperoleh pula dengan cara mengalikan kecepatan alir (dalam m/detik) dan luas penampang cerobong (m^2).

3.1.5 Komunikasi dan koordinasi

Pengumpulan data dari pemilik data perlu ditindaklanjuti dari waktu ke waktu karena terdapat kemungkinan data tidak dapat diperoleh dalam 1 kali pertemuan. Untuk itu diperlukan komunikasi dan koordinasi yang efektif dengan para pemangku kepentingan termasuk dengan instansi pemerintah terkait dan pihak swasta. Pertemuan perlu dijadwalkan secara berkala selama pelaksanaan inventarisasi emisi untuk membangun hubungan dan kepemilikan atas inventarisasi emisi ini. Pertemuan dapat difasilitasi oleh instansi pemerintah yang bertanggung jawab dalam inventarisasi emisi, umumnya adalah instansi lingkungan hidup di daerah. Kunjungan satu per satu ke pemangku kepentingan juga perlu dilakukan untuk memastikan data diperoleh.

Penyusun memiliki waktu yang terbatas untuk mengumpulkan data. Untuk itu, harus ditetapkan tenggat waktu pengumpulan data. Apabila dalam jangka waktu tersebut data aktivitas tidak juga diperoleh, maka penyusun inventarisasi harus membuat asumsi-asumsi. Asumsi-asumsi tersebut perlu di verifikasi oleh pemilik data pada kesempatan pertemuan berikutnya. Disamping itu, ketidakpastian dalam perhitungan emisi termasuk penggunaan asumsi-asumsi juga harus dianalisis.

3.2 Pendekatan

Mengacu pada studi kasus pelaksanaan inventarisasi emisi di beberapa kota, pendekatan dalam penyusunan inventarisasi emisi dijabarkan dalam langkah-langkah praktis dibawah ini. Penyesuaian terhadap pendekatan ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan karakteristik dan kondisi-kondisi tertentu di kota bersangkutan.

1. Pendahuluan:

- a. Identifikasi sumber-sumber awal emisi dan sumber datanya
- b. Tentukan peta digital kota dengan batas-batas administrasi hingga tingkat kelurahan
- c. Definisikan ukuran grid dan referensi geografis, dan bagi wilayah kota ke dalam grid/sel berukuran ...km x ...km (untuk luas wilayah $> 100 \text{ km}^2$, ukuran grid yang dianjurkan adalah $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$; untuk wilayah dengan luas lebih kecil, ukuran grid-nya $0,5 \text{ km} \times 0,5 \text{ km}$ atau $0,25 \text{ km} \times 0,25 \text{ km}$)

- d. Lakukan studi pendahuluan untuk menentukan faktor emisi yang akan digunakan dalam menghitung emisi dari sumber-sumber emisi yang telah diidentifikasi
- e. Buat format lembar kerja untuk faktor emisi dan referensi faktor emisi serta tipe data input yang diperlukan ketika menggunakan faktor emisi tersebut
- f. Tentukan apakah data primer (melalui survei) diperlukan; identifikasi sumber emisi yang memerlukan survei dan parameter yang akan disurvei
- g. Apabila menggunakan aplikasi program komputer untuk menghitung emisi (misal, perangkat Mobilev), pelajari cara mengoperasikan aplikasi tersebut; tentukan tipe data input yang diperlukan; identifikasi ketersediaan data dan susun ke dalam lembar kerja.
- h. Lakukan studi pendahuluan untuk menentukan prosedur jaminan dan kontrol kualitas QA/QC
- i. Susun prosedur QA/QC
- j. Siapkan rencana kerja rinci dan lengkap yang mencakup:
 - i. Pernyataan tujuan penyusunan inventarisasi emisi
 - ii. Pelingkupan: wilayah geografis, pencemar yang diinventarisir, sumber yang diinventarisir, interval dan tahun dasar inventarisasi
 - iii. Metodologi dan pendekatan: daftar awal faktor emisi, data input yang diperlukan, pengumpulan data (sekunder dan survei), pengelolaan data, perhitungan dan analisis, penggunaan aplikasi program komputer (misal, Mobilev)
 - iv. Rencana komunikasi dan koordinasi antar pemangku kepentingan
 - v. Tolok ukur capaian hasil dan jangka waktu
 - vi. Analisis resiko dan rencana penanganannya

2. Mobilisasi Tim Penyusun: Kerangka Acuan, kontrak kerja, deskripsi tugas dan tanggung jawab

- a. Siapkan kerangka acuan, kontrak kerja, deskripsi tugas dan tanggung jawab Tim Penyusun
- b. Dewan Pengarah/Pengawas yang mengawasi dan memberikan arahan kepada Tim Penyusun dapat dibentuk. Dewan ini terdiri atas pejabat dari pemerintah kota dan universitas
- c. Surat Tugas Tim IE dapat disiapkan oleh instansi terkait

3. Kick-off - pertemuan Tim Penyusun dan Dewan Pengarah/Pengawas

Agenda:

- a. Mempresentasikan, mengklarifikasi dan menyetujui rencana kerja (dengan penekanan pada prosedur, tolok ukur capaian hasil, dan kontingensi)
- b. Memperkenalkan Tim IE dan para penghubung utama
- c. Menentukan pertemuan koordinasi berikutnya
- d. Menandatangani notulensi pertemuan

4. Pertemuan koordinasi pemangku kepentingan I

Agenda:

- a. Menyampaikan kepada pemangku kepentingan publik dan swasta tentang tujuan inventarisasi emisi dan rencana kerja
- b. Mempresentasikan, mendiskusikan, mengklarifikasi dan menyetujui rencana kerja
- c. Memperkenalkan Tim IE dan para penghubung utama
- d. Mengikat pemangku kepentingan untuk mengambil peran dalam akusisi (penyediaan) data
- e. Memperoleh komitmen instansi penanggung jawab untuk memfasilitasi penyediaan data dan menyiapkan surat referensi
- f. Menentukan pertemuan koordinasi berikutnya

- g. Menandatangani notulensi pertemuan
- 5. Identifikasi data yang memerlukan survei terbatas dan susun kerangka acuan survei.** Kerangka acuan mencakup: parameter survei, metodologi, sampling, penyusunan kuesioner, uji dan verifikasi kuesioner, dan implementasi.
- 6. Pengumpulan data dan perhitungan emisi - Tahap I:**
- Finalisasi grid di wilayah inventarisasi dan buat *spreadsheet* untuk setiap grid
 - Mutakhirkan faktor emisi dan referensinya
 - Kumpulkan dan verifikasi data aktivitas untuk sumber titik dan sumber area (sumber tidak bergerak)
 - Kumpulkan dan verifikasi data aktivitas untuk sumber bergerak: sumber bergerak di jalan raya dan non-jalan raya (kapal laut, kereta api, pesawat, peralatan/alat angkut di pertanian)
 - Segera lakukan perhitungan dengan data yang telah tersedia (jangan tunggu hingga semua data terpenuhi/ lengkap) dan tentukan lokasi geografis dan grid untuk setiap sumber
 - Lakukan QC pada data dan hasil perhitungan
- 7. Identifikasi data yang belum tersedia dan berikan informasi/alasan mengapa data belum terkumpulkan, usulkan solusinya**
- 8. Konsultasi dengan ahli untuk mengkaji ulang metode dan hasil perhitungan Tahap I**
- 9. Pertemuan koordinasi pemangku kepentingan II**
- Agenda:
- Mempresentasikan hasil pengumpulan data dan perhitungan emisi sementara
 - Mendiskusikan dan mencari solusi pemenuhan data yang masih hilang, menyepakati solusi serta menentukan siapa yang melakukan apa
 - Menentukan waktu dan agenda pertemuan berikutnya (pastikan bahwa pemangku kepentingan pemilik data diundang)
 - Menandatangani notulensi rapat
- 10. Pengumpulan data yang masih hilang dan perhitungan emisi - Tahap II:**
- Kumpulkan dan verifikasi data aktivitas untuk sumber titik dan sumber area (sumber tidak bergerak)
 - Kumpulkan dan verifikasi data aktivitas untuk sumber bergerak: sumber bergerak di jalan raya dan non-jalan raya
 - Hitung emisi dan tentukan lokasi geografis dan grid untuk setiap sumber
 - Lakukan QC
- 11. Pertemuan koordinasi pemangku kepentingan III**
- Agenda:
- Mempresentasikan draft perhitungan emisi
 - Menentukan strategi dan menyepakati tindak lanjut terhadap data yang masih belum diperoleh; menentukan tenggat waktu perolehannya
 - Menentukan waktu dan agenda pertemuan berikutnya (pastikan pemangku kepentingan pemilik data diundang)
 - Menandatangani notulensi rapat

12. Penyiapan laporan naratif IE – sambil meneruskan pengumpulan data dan perhitungan

13. Pertemuan koordinasi pemangku kepentingan IV (dengan kehadiran pemangku kepentingan/pemilik data yang datanya masih dibutuhkan)

Agenda:

- a. Mempresentasikan draft perhitungan emisi (termasuk emisi dari sumber penting yang datanya belum tersedia namun tetap dihitung dengan menggunakan data asumsi atau masukan ahli)
- b. Memperoleh validasi dari pemangku kepentingan terkait data dan hasil perhitungan dari sumber-sumber emisi yang menjadi kepentingannya
- c. Menyetujui tenggat waktu penyampaian hasil inventarisasi emisi
- d. Menentukan jadwal presentasi hasil akhir inventarisasi
- i. Menandatangani notulensi rapat

14. Pemutakhiran perhitungan – lakukan terus pemutakhiran perhitungan bersamaan dengan diperolehnya masukan akhir dan validasi dari pemangku kepentingan; jika diperlukan lakukan pertemuan khusus dengan masing-masing pemangku kepentingan, dan siapkan draft laporan yang telah direvisi

15. Penyiapan *power point* dan lembar fakta inventarisasi emisi untuk presentasi akhir

16. Pertemuan koordinasi pemangku kepentingan V (dengan kehadiran pejabat Pemerintah Kota)

Agenda:

- a. Mempresentasikan hasil akhir inventarisasi emisi
- b. Memperoleh masukan dari pejabat dan pemangku kepentingan lainnya
- c. Menyepakati kesimpulan dan rekomendasi
- d. Menandatangani notulensi rapat

17. Pemeriksaan akhir oleh ahli independen – untuk memeriksa keseluruhan metode dan pemenuhan prosedur QA/QC, dan menguji hasil perhitungan

18. Perbaikan laporan dan penyerahan laporan akhir inventarisasi emisi

4. LANGKAH-LANGKAH PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI

Bagian ini menjabarkan langkah-langkah penyusunan inventarisasi yang dilakukan oleh Tim Penyusun IE yang merupakan uraian lebih rinci dari bagian 3.2 (pendekatan penyusunan inventarisasi emisi). Langkah-langkah tersebut diberi nomor sesuai urutan langkah.

4.1 Menentukan wilayah geografis inventarisasi

Langkah 1:

- Siapkan peta digital kota dengan menggunakan aplikasi GIS
- Buat grid yang mencakup wilayah administrasi kota
- Tentukan ukuran sel sesuai dengan luas wilayah kota
- Beri identitas untuk setiap sel dengan koordinat geografisnya masing-masing

Bentang yang harus dicakup dalam inventarisasi emisi kota adalah bentang dalam batas-batas administrasi kota. Hal ini dilakukan karena intervensi yang dapat dilakukan oleh Pemerintah Kota hanya mencakup sumber-sumber emisi yang berada di dalam wilayah yang menjadi kewenangan pemerintah daerah dimaksud. Pengecualian dapat dilakukan apabila terdapat suatu sumber yang diperkirakan menyumbangkan beban emisi yang signifikan dan berkontribusi terhadap kualitas udara kota namun terletak di luar wilayah administrasi kota di daerah perbatasan dalam suatu wilayah aglomerasi. Salah satu faktor utama yang harus dipertimbangkan adalah peran Pemerintah Kota dalam mempengaruhi kebijakan daerah aglomerasinya.

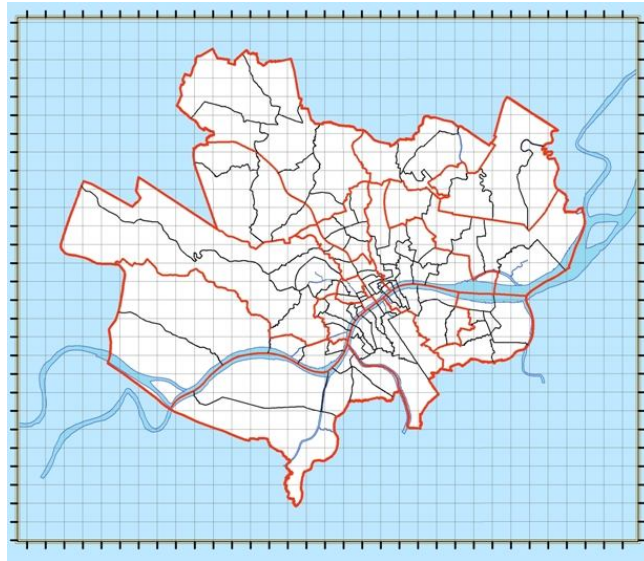
Setelah batas bentang ditentukan, Tim Penyusun harus menyiapkan peta digital kota karena beban emisi akan distribusikan secara spasial berdasarkan lokasi geografis (koordinat) sumber. Ketersediaan peta digital dan perangkat aplikasi GIS dibutuhkan untuk kemudahan pemetaan dan pemutakhiran distribusi spasial emisi. Titik referensi peta mengacu pada sistem referensi koordinat nasional.

Setelah peta digital kota (hingga batas kelurahan) tersedia, perlu diketahui besaran bentang kota untuk penentuan ukuran grid. Tidak ada rumus baku dalam menentukan ukuran grid, namun dalam Pedoman ini ditetapkan sebagai berikut:

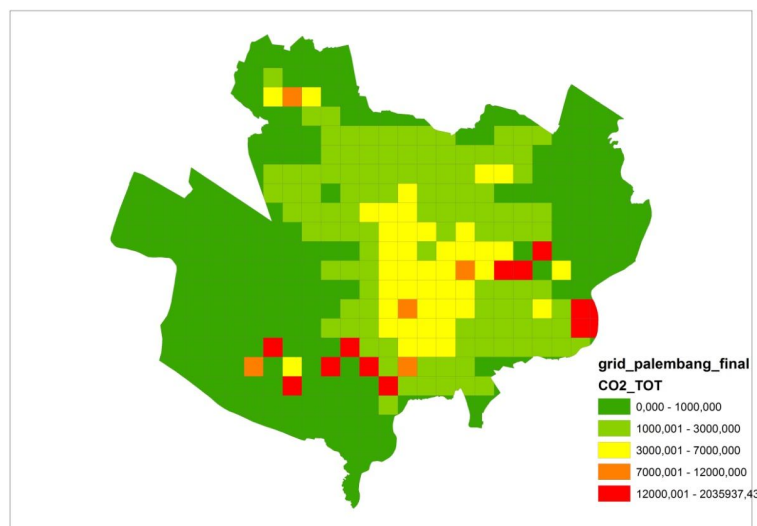
- untuk luas wilayah $> 100 \text{ km}^2$, ukuran grid adalah $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$;
- untuk wilayah dengan luas lebih kecil ($< 100 \text{ km}^2$), ukuran grid-nya $0,5 \text{ km} \times 0,5 \text{ km}$ atau $0,25 \text{ km} \times 0,25 \text{ km}$

Gambar 9 menunjukkan peta Kota Palembang yang memiliki luas wilayah sekitar 400 km^2 dengan ukuran grid $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$.

Selanjutnya setiap grid diberi identitas yang digunakan untuk mengidentifikasi lokasi geografis beban emisi berdasarkan posisi sumbernya. Gambar 10 menunjukkan contoh distribusi spasial beban emisi CO_2 di Kota Palembang. Peta distribusi ini digunakan untuk mengidentifikasi intensitas beban emisi dalam setiap grid dan selanjutnya dapat digunakan untuk pemodelan kualitas udara.



Gambar 9 Peta digital dan grid Kota Palembang dengan ukuran sel 1 km x 1 km



Gambar 10 Distribusi beban emisi CO₂ di Kota Palembang (2010)

4.2 Menyusun inventarisasi emisi sumber tidak bergerak (titik dan area)

4.2.1 Mengidentifikasi sumber titik

Langkah 2: Identifikasi sumber titik

- Buat daftar seluruh sumber titik yang terdapat di kota dan tentukan koordinatnya
- Masukkan ke dalam grid inventarisasi emisi dengan identitas
- Buat daftar kebutuhan data awal dan sumber informasi untuk setiap sumber titik

Sumber titik (*point source*) adalah sumber tidak bergerak yang biasanya berupa industri manufaktur besar yang memiliki cerobong asap atau unit pembakaran. Pada kota-kota di Asia, sumber titik dapat juga mencakup tempat pembakaran sampah rumah sakit, ketel rumah sakit, ketel hotel, tempat pembakaran jenazah (krematorium) dan industri.

Ada beberapa cara untuk mengidentifikasi dan mengumpulkan data sumber titik. Diantaranya adalah dengan merujuk pada daftar industri yang dikeluarkan oleh Kementerian Perindustrian (<http://www.kemenperin.go.id/direktori-perusahaan>) atau juga dapat dicari pada direktori industri. Badan Pusat Statistik (BPS) menerbitkan dokumen Direktori Industri Manufaktur di Indonesia dimana terdapat daftar industri kecil, menengah dan besar di provinsi dan kota/kabupaten di seluruh Indonesia. Data ini harus diverifikasi kembali ke Dinas Perindustrian kota sebagai institusi pembina di daerah. Data industri dapat juga diperoleh dari dokumen pengelolaan dan pemantauan lingkungan atau penilaian kinerja lingkungan, seperti PROPER. Dokumen-dokumen tersebut terdapat di instansi lingkungan hidup.

Informasi mengenai lokasi sumber titik umumnya tersedia dalam bentuk alamat, bukan dalam koordinat kecuali di dalam dokumen-dokumen khusus seperti PROPER atau laporan hasil pengelolaan dan pemantauan lingkungan. Jika data koordinat tidak tersedia, dapat diperkirakan dari alamat atau ketika melakukan verifikasi di lapangan (untuk memastikan keberadaan sumber dimaksud dan sekaligus mengumpulkan data), Tim Penyusun dapat membawa GPS dan menentukan koordinatnya.

Tabel 11 adalah contoh sumber titik di kota. Daftar tersebut dapat ditambahkan sesuai dengan identifikasi sumber titik di kota bersangkutan.

4.2.2 Mengkategorikan sumber titik dan memilih faktor emisi

Langkah 3: Pengkategorian sumber dan pemilihan faktor emisi

- Kategorikan sumber titik berdasarkan klasifikasi (misal, untuk industri adalah KLBI- Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia) dan deskripsi kegiatan industri (fasilitas pengemisi dan spesifikasinya)
- Periksa basis data yang diperoleh dari instansi terkait (BPS, perindustrian dan perdagangan, lingkungan hidup)
- Tanyakan kepada instansi terkait (perindustrian dan perdagangan, kesehatan, lingkungan hidup) di tingkat pusat dan daerah (provinsi dan kota) mengenai laporan hasil pengukuran atau pemantauan emisi industri
- Pilih faktor/model emisi menurut kategori dan spesifikasi fasilitas pengemisi. Sedapat mungkin gunakan metode faktor emisi dengan tingkat kompleksitas dan keakuratan yang lebih tinggi

Setelah mengidentifikasi sumber titik berdasarkan informasi yang diperoleh, selanjutnya untuk dapat menghitung emisi dari setiap sumber titik diperlukan faktor emisi dan model estimasi emisi yang sesuai. Misalnya untuk dapat mengkategorikan sumber titik (industri) dan menentukan faktor emisi yang sesuai, Tim Penyusun membutuhkan informasi sebagai berikut:

- jenis industri dan lokasi koordinat
- jumlah pekerja
- output (keluaran) produk
- jumlah bahan baku (*feed*) di setiap proses
- penyimpanan bahan baku
- usia peralatan/mesin
- pengoperasian fasilitas pengemisi (durasi- jam per tahun/musim)
- kegiatan pembakaran (konfigurasi, kondisi pengoperasian, spesifikasi bahan bakar, konsumsi bahan bakar)
- data cerobong (bentuk, ukuran, laju alir) dan hasil pengukuran emisi cerobong
- peralatan pengendali emisi
- peralatan pemantauan emisi dan hasil pemantauan

Tabel 11 Identifikasi sumber titik

KATEGORI	DATA YANG DIBUTUHKAN	SUMBER DATA
Industri manufaktur, pembangkit listrik	Jenis dan kategori industri Lokasi geografis (koordinat/alamat) Kapasitas produksi, jumlah tenaga kerja Data pemantauan kualitas lingkungan Diagram alir proses produksi Fasilitas-fasilitas pengemisi lain, termasuk pembangkitan listrik Bahan baku yang digunakan Proses penyimpanan Durasi pengoperasian (jam/tahun) Jenis sumber energi/bahan bakar yang digunakan Cerobong dan data pengukuran emisi cerobong Peralatan pengendali emisi dan efisiensinya	BPS, Dinas Perindustrian, Dinas Tenaga Kerja, BLH (Badan Lingkungan Hidup) Kuesioner dan wawancara langsung
Rumah Sakit	Lokasi geografis/alamat Kategori rumah sakit Jumlah kamar Peralatan yang digunakan (genset, boiler, insinerator) Jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk peralatan di atas (termasuk jumlah sampah medis yang dibakar di insinerator)	Dinas Kesehatan, Persatuan Rumah Sakit Seluruh Indonesia (PERSI) Kuesioner dan wawancara langsung
Hotel	Nama perusahaan dan alamat Lokasi geografis Kategori hotel Jumlah kamar Peralatan yang digunakan (genset dan boiler) Jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk peralatan di atas	Dinas Pariwisata, Perhimpunan Hotel dan Restoran Indonesia (PHRI) Kuesioner dan wawancara langsung
Pusat Perbelanjaan/ Mall	Lokasi geografis/alamat Kategori mall Luas bangunan Peralatan yang digunakan (genset dan boiler) Jenis dan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk peralatan di atas	Dinas Perdagangan, Dinas Tata Kota, Asosiasi Pusat Perbelanjaan Indonesia (APPBI) Kuesioner dan wawancara langsung
Krematorium dan insinerasi sampah kota	Lokasi geografis/alamat Jumlah jenazah yang dikremasi (untuk krematorium) Jumlah sampah yang dibakar dan komposisinya (untuk insinerator) Jenis dan jumlah konsumsi bahan bakar Spesifikasi peralatan (insinerator) yang digunakan	Kementerian Lingkungan Hidup (ijin insinerator), BLH Kuesioner dan wawancara langsung

Informasi awal terkait parameter tersebut di atas diperlukan untuk menentukan metode perhitungan emisi. Selama belum tersedia data emisi (hasil pengukuran/pemantauan) dari industri atau aktivitas-aktivitas lain yang termasuk dalam kategori sumber titik, maka metode perhitungan emisi dilakukan dengan menggunakan faktor emisi. Selain informasi tentang kategori industri dan jenis produksi, diperlukan pula informasi mengenai fasilitas atau unit operasi lainnya yang berpotensi menimbulkan

emisi pencemar di pabrik/industri dimaksud, seperti penggunaan ketel untuk memproduksi panas, uap air, dan penggunaan pelarut.

Untuk memperoleh data aktivitas sumber titik secara lengkap khususnya sumber titik besar (industri besar), dilakukan dengan cara survei langsung ke pengelola pabrik. Contoh kuesioner untuk industri besar terdapat pada Lampiran dalam Buku Pedoman ini. Emisi dari industri besar seperti pembangkit listrik, semen, petrokimia, besi baja, pengilangan minyak, dan lain-lain harus diperhitungkan secara lengkap karena kontribusinya yang besar terhadap beban emisi total kota.

Sedapat mungkin emisi sumber titik besar diperoleh dari pengukuran yang dilakukan oleh industri, yaitu pengukuran emisi secara kontinyu (*Continuous Emissions Monitoring* - CEM) atau pengukuran emisi cerobong. Namun, jika informasi tersebut tidak tersedia, maka perhitungan dilakukan dengan menggunakan faktor emisi. Saat ini, kewajiban CEM baru diberlakukan terhadap industri-industri besar, yaitu sektor energi (pembangkit listrik), baja, semen, *pulp* dan *paper*. Sedangkan pengukuran emisi cerobong umumnya dilakukan oleh industri-industri menengah dan besar. Data emisi cerobong perlu dilengkapi dengan data aktivitas karena pengukuran emisi cerobong dilakukan pada suatu waktu (tidak kontinyu) sehingga tidak merefleksikan emisi total. Laju emisi tersebut harus dikalikan dengan waktu pengoperasian, yaitu $\text{emisi} = \text{konsentrasi} \times \text{laju alir (debit)} \times \text{waktu pengoperasian/tahun}$.

Untuk ketepatan perhitungan, faktor emisi yang digunakan sebaiknya yang mewakili kondisi pengoperasian fasilitas di industri dimaksud. Namun, saat ini faktor emisi nasional dan lokal tidak tersedia, sehingga dalam Pedoman ini telah disepakati untuk menggunakan faktor emisi Eropa (CORINAIR). Referensi faktor emisi CORINAIR tersedia di: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>. Panduan tersebut berisi faktor emisi untuk berbagai kategori dan sub-kategori sumber. Jika suatu fasilitas tidak ditemukan faktor emisinya di CORINAIR, maka dapat menggunakan referensi faktor emisi U.S. EPA AP-42 <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>. Khusus untuk parameter CO₂, faktor emisi mengacu pada IPCC <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Rujukan mengenai daftar faktor emisi yang umum dipakai untuk kota-kota di Indonesia terdapat pada Lampiran 1 Buku Pedoman ini.

Tingkat faktor emisi (Tier)

Emisi dapat diestimasi dengan tingkat kompleksitas yang berbeda-beda. Dalam CORINAIR dan IPCC, tingkat kompleksitas tersebut disebut 'Tier'. Terdapat 3 Tier, yaitu Tier 1, Tier 2, dan Tier 3. Semakin tinggi angka Tier, semakin kompleks perhitungan emisinya dan semakin spesifik data yang diperlukan, serta semakin akurat emisinya.

Metode faktor emisi Tier 1: paling sederhana

- Data aktivitas: data statistik intensitas proses, misal jumlah bahan bakar dalam satuan vol/waktu
- Faktor emisi: nilai *default*. Nilai *default* ini mengasumsikan hubungan linier antara intensitas proses dan emisi yang dihasilkan, dan juga mengasumsikan deskripsi proses secara rerata atau tipikal.

Metode faktor emisi Tier 2: lebih kompleks dari Tier 1

- Data aktivitas: sama dengan Tier 1
- Faktor emisi: nilai spesifik berdasarkan jenis proses dan kondisi spesifik proses yang berlaku di negara dimaksud

Metode faktor emisi Tier 3: lebih rinci dari Tier 2

- Data aktivitas dan faktor emisi: nilai spesifik untuk kategori sumber sesuai dengan jenis bahan bakar, teknologi pembakaran, kondisi pengoperasian, teknologi pengendalian, pemeliharaan dan usia peralatan, faktor oksidasi.

Sedapat mungkin, Tim Penyusun menggunakan metode faktor emisi Tier 2 atau Tier 3. Khususnya, untuk sumber titik besar, gunakan Tier 3 supaya lebih akurat. Tier 1 hanya digunakan apabila data yang diperlukan untuk menggunakan Tier yang lebih tinggi tidak tersedia. Tier 2 memerlukan data yang lebih rinci dan spesifik dibandingkan dengan Tier 1. Ketersediaan data dan kesesuaian faktor emisi menentukan penggunaan metode.

4.2.3 Mengumpulkan data aktivitas sumber titik

Langkah 4: Pengumpulan data aktivitas sumber titik

- Periksa basis data instansi terkait (perindustrian dan perdagangan, lingkungan hidup) untuk memastikan ketersediaan data yang diperlukan
- Jika data tidak tersedia, lakukan survei dengan kuesioner tertulis atau wawancara langsung
- Periksa kelengkapan dan keakuratan data

Setelah mengidentifikasi kategori sumber, ketersediaan dan sumber data serta memilih faktor emisi berdasarkan informasi awal sumber dimaksud, proses selanjutnya adalah mengumpulkan data aktivitas.

Pengumpulan data dapat dilakukan dengan cara-cara atau melalui:

- Laporan penelitian individu dan/atau institusi
- Direktori Industri Manufaktur
- Statistik perindustrian, perdagangan, ketenagakerjaan
- Dokumen perizinan (misal, Izin Usaha)
- Laporan pemantauan kinerja lingkungan di industri (PROPER)
- Laporan pengelolaan dan pemantauan lingkungan (Upaya Pengelolaan Lingkungan/Upaya Pemantauan Lingkungan -UKL/UPL dan Rencana Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan - RKL/RPL)
- Survei dengan kuesioner
- Kunjungan ke pabrik (wawancara langsung)

Pengumpulan data tersebut harus direncanakan dengan baik karena proses ini memerlukan waktu yang cukup lama. Para staf lapangan yang bertugas mengumpulkan data harus memiliki pemahaman tentang data yang dikumpulkan dan dapat menjelaskan kepada pemilik data mengapa data tersebut diperlukan. Manajer Tim harus memastikan efektivitas pengumpulan data dengan berkoordinasi dengan instansi pemerintah terkait dan sektor swasta (misal, asosiasi industri/usaha) melalui Koordinator Pemangku Kepentingan. Surat pengantar survei/pengumpulan data difasilitasi oleh instansi berwenang.

Dalam konteks inventarisasi emisi, emisi pencemar udara berasal dari 2 sumber aktivitas, yaitu: 1) pembakaran dan 2) penguapan bahan. Untuk menghitung emisi, data aktivitas yang dibutuhkan setidaknya adalah jumlah bahan baku, jumlah bahan bakar, dan keluaran produk. Misalnya:

1. Data terkait bahan bakar yang digunakan, contohnya massa kayu yang dibakar dalam satuan ton/tahun
2. Data terkait pelarut yang digunakan dalam satuan ton/tahun atau liter/tahun
3. Data terkait massa keluaran produk dalam satuan ton/tahun

4.2.4 Menghitung emisi sumber titik

Langkah 5: Lakukan perhitungan beban emisi sumber titik

- Kumpulkan data aktivitas yang dibutuhkan dalam perhitungan
- Periksa kembali rujukan faktor emisi yang digunakan dan verifikasi ke ahli
- Masukkan data aktivitas dan faktor emisi dalam satu tabel
- Buat *spreadsheet* (dengan aplikasi Excel) perhitungan emisi untuk setiap sumber

Perhitungan beban emisi dengan metode faktor emisi:

$$E = R \times FE \times (100 - C)/100 \quad (4)$$

dimana:

E = beban emisi

R = tingkat aktivitas (misalnya, jumlah materi yang diproses)

FE = faktor emisi, dengan asumsi tanpa pengendalian

C = efisiensi peralatan pengendali (%)

C = 0, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Contoh perhitungan beban emisi dari rumah sakit

Emisi yang dihasilkan dari kegiatan di rumah sakit umumnya bersumber dari fasilitas boiler, genset dan insinerator (pembakaran sampah medis). Data aktivitas yang dibutuhkan terangkum dalam tabel berikut:

Tabel 12 Contoh data aktivitas rumah sakit

Nama	Fasilitas	Merek	Kapasitas	Unit	BB	Konsumsi BB (l/thn)	Unit	Sampah dibakar (kg/thn)
RS ABC	Boiler	...	75	kva	Solar	3.000	Liter	-
	Genset	...	375	kva	Solar	2.000	Liter	-
	Insinerator		0.5	m ³	Solar	1.440	Liter	112

Catatan: Tidak terpasang alat pengendali emisi

BB = bahan bakar

Selanjutnya dipilih faktor emisi yang sesuai, yaitu seperti pada tabel sebagai berikut:

Tabel 13 Faktor emisi untuk RS ABC

	NOx	CO	SO ₂	CO ₂	HC	PM ₁₀	
Insinerator ^b	1,4	2,8	1,4	*	0,7	0,35	kg/ton sampah
Genset (Diesel) ^a	100	40	140	74.100	10	21,5	g/GJ
Boiler (Diesel) ^a	100	40	140	74.100	10	21,5	g/GJ

Catatan:

Nilai kalor solar: 27,78 liter/GJ

^a)Tier 1: Code 1.A.4.a.i

^b)Tier 1: Code 6.C.a Table 3.6. Untuk PM₁₀ diasumsikan 0.7 x TSP

*Nilai default IPCC Chapter 5, Table 5.2: $Emisi\ CO_2 = \sum_i (SW_i \cdot dm_i \cdot CF_i \cdot FCF_i \cdot OF_i) \times 44/12$.

Dimana: SW_i = jumlah sampah jenis i yang dibakar (sampah klinis) = 112 kg/tahun
 dm_i = kandungan bahan kering dalam sampah (fraksi) = 1
 CF_i = fraksi karbon dalam bahan kering (kandungan total karbon) = 0,6
 FCF_i = fraksi karbon fosil dalam total karbon = 0,4
 OF_i = faktor oksidasi (fraksi) = 1

Sehingga menghasilkan emisi $CO_2 = (112 \times 1 \times 0,6 \times 0,4 \times 1) \times 44/12 = 98,56$ kg/tahun

Dengan menggunakan rumus perhitungan beban emisi, diperoleh hasil pada tabel berikut:

Tabel 14 Contoh hasil perhitungan emisi sumber titik

		Emisi (ton/tahun)					
		NO _x	CO	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂	HC
RS ABC	Boiler	0,011	0,004	0,015	0,002	8,026	0,001
	Genset	0,007	0,003	0,010	0,002	5,350	0,001
	Insinerator	0,018	0,007	0,025	0,039	0,099	0,002

Contoh perhitungan untuk beban emisi dari industri pengilangan minyak

Industri pengilangan minyak mengubah minyak mentah menjadi banyak produk olahan termasuk LPG, bensin, minyak tanah, avtur, solar, minyak bakar, pelumas, dan *feedstock* untuk industri petrokimia. Kegiatan pengilangan minyak dimulai dengan penerimaan minyak mentah untuk disimpan di kilang, lalu seluruh penanganan dan operasi minyak, dan berakhir dengan penyimpanan hingga pengapalan dari kilang. Pengilangan melibatkan berbagai proses dan bervariasi dari satu kilang ke kilang lainnya. Untuk memperkirakan emisi dari industri ini, perlu diketahui diagram alir proses sehingga dapat ditentukan proses-proses apa saja yang memiliki sumber emisi langsung. Secara umum, proses-proses yang merupakan sumber emisi adalah: *distilasi, coking, catalytic cracking, sweetening, asphalt blowing*, dan *sulfur recovery*. Selain dari unit proses, emisi uap HC juga dapat berasal dari sambungan perpipaan, katup, sekat, menara pendingin, saluran pembuangan.

Contoh kebutuhan data aktivitas industri pengilangan minyak terdapat pada tabel di bawah:

Tabel 15 Contoh data aktivitas industri pengilangan minyak

Kapasitas operasi (<i>feedstock</i>)	Fasilitas					
ton/thn	Unit	BB	Konsumsi	Unit BB	Nilai kalor	Energi (GJ)
...	Furnace CDU	Gas	...	m ³ /thn	978,00	Btu/scf 465.942,03
		Fuel oil	...	t/thn	8.991,83	kcal/kg 172.322,99
...	Furnace Polymerisation	Gas	...	m ³ /thn	978,00	Btu/scf 58.398,60
...	Furnace Alkylation	Gas	...	m ³ /thn	978,00	Btu/scf 192.967,63
...	Furnace BB Distillation	Gas	...	m ³ /thn	978,00	Btu/scf 138.651,88
		Fuel oil	...	t/thn	8.991,83	kcal/kg 127.792,72
...	Boiler A	Gas	...	m ³ /thn	978,00	Btu/scf 129.153,14
		Fuel oil	...	t/thn	8.991,83	kcal/kg 754.494,71
...	Gas Turbin Power Plant	Gas	...	m ³ /thn	978,00	Btu/scf 4.657.311,52
	Fluid Catalytic Cracker	Faktor emisi			(lb/10 ³ bbl)	
	Vapor Recovery & Flaring				(lb/10 ³ bbl)	

Sedangkan contoh kompilasi faktor emisi untuk industri pengilangan minyak (referensi U.S. EPA AP-42, Table 5.1.1, CORINAIR code 1.A.1.b Tabel 4.5 - 4.10, dan IPCC Chapter 2 1.A.1.b) tertera pada Tabel 16 berikut ini:

Tabel 16 Faktor emisi industri pengilangan minyak

	Faktor emisi (g/GJ)					
	NO _x	CO	SO ₂	HC	CO ₂	PM ₁₀
<i>Fluid catalytic cracking</i>	0,695	39,2	1,413	0,63	-	0,695
<i>Fluid coking</i>	-	-	-	-	-	1.5
<i>Compressor engine</i>	4,7	1,94	-	0,28	-	-
<i>Blowdown system</i>	-	-	-	1.662*	-	-
<i>Vacuum distillation</i>	-	-	-	0,14	-	-
<i>Fuel oil (furnace)</i>	100	40	140	2,5	74.100	2,5
<i>Fuel gas (furnace)</i>	70	25	0,5	10	61.300	0,5

*dalam kg/liter feedstock

Umumnya peralatan pengendali emisi di industri pengilangan minyak merupakan bagian dari sistem keseluruhan proses mengingat industri ini termasuk kategori sumber penting yang memberikan kontribusi yang besar terhadap emisi total kota. Perhitungan beban emisi dengan metode faktor emisi harus mempertimbangkan efisiensi pengendali emisi. Sistem pengendalian emisi di pengilangan minyak diantaranya adalah *process integration, electrostatic precipitator, vapor recovery & flaring, sulfur recovery*.

4.2.5 Mengidentifikasi sumber area

Langkah 6: Identifikasi sumber area

- Buat daftar sumber area di wilayah inventarisasi dan tentukan lokasi koordinatnya
- Masukkan data ke dalam sistem basis data inventarisasi emisi untuk setiap grid
- Tentukan jumlah penduduk/rumah tangga untuk setiap grid
- Buat daftar kebutuhan awal data dan sumber informasi untuk setiap sumber area

Sumber area adalah sumber yang secara individu terlalu kecil untuk dikategorikan sebagai sumber titik namun secara kolektif signifikan. Sumber area juga meliputi sumber yang membentuk suatu area, misalnya pembakaran terbuka. Beberapa sumber area di wilayah inventarisasi adalah:

- Pembakaran lahan pertanian, pembakaran terbuka
- Memasak
- Tempat memasak daging dan ikan
- SPBU
- Proyek konstruksi
- Area pengadukan semen (*cement batching plant*)
- Kegiatan pengaspalan
- Bengkel cat mobil
- Penggunaan pelarut
- Pencucian kering (*dry cleaners*)
- Seni grafis (dengan menggunakan cat aerosol)

Tabel berikut ini merangkum contoh sumber area yang ditemukan di kota. Daftar tersebut dapat ditambah sesuai dengan hasil identifikasi sumber area di kota bersangkutan.

Tabel 17 Identifikasi sumber area

KATEGORI	DATA YANG DIBUTUHKAN	SUMBER DATA
SPBU ¹⁾	Lokasi koordinat Jumlah penjualan bahan bakar per kategori per tahun Frekuensi pengisian bahan bakar per tahun	Dinas Energi, Hiswana Migas, PT Pertamina
Proyek konstruksi ²⁾	Lokasi konstruksi selama periode inventarisasi Luas lantai bangunan (m ²)	Dinas Tata Kota Instansi yang mengeluarkan IMB
Bengkel cat mobil ³⁾	Lokasi koordinat Konsumsi cat mobil Luas bangunan	Dinas UKM Asosiasi bengkel & otomotif Kuesioner dan wawancara langsung
Rumah tangga ⁴⁾	Jumlah KK Penggunaan peralatan penghasil emisi selain kompor (misal, genset) Penjualan LPG Pemakaian kayu bakar/arang	BPS (untuk jumlah KK per kelurahan) PT Pertamina (untuk data LPG) Kuesioner dan wawancara langsung
Sampah (untuk pengelolaan non insinerator) ⁵⁾	Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Jumlah timbulan sampah Komposisi sampah Jumlah sampah terangkut Jumlah sampah dibakar Jumlah sampah yang masuk ke TPA Fraksi sampah terbakar di TPA Sistem pengelolaan sampah kota	Dinas Kebersihan Laporan penelitian tentang sampah di wilayah inventarisasi
Hotel & restoran	Lokasi koordinat Jumlah tempat tidur (untuk hotel) Kapasitas pengunjung restoran Fasilitas yang menghasilkan emisi (boiler, genset, <i>dry cleaners</i> , tungku) Jenis dan konsumsi bahan bakar untuk setiap fasilitas	Dinas Pariwisata PT Pertamina Hiswana Migas Asosiasi perhotelan dan restoran Kuesioner dan wawancara langsung
Perkantoran besar/ Komersial ⁶⁾	Lokasi koordinat Luas lantai bangunan Fasilitas yang menghasilkan emisi (genset) Jenis dan konsumsi bahan bakar	Dinas Tenaga Kerja Direktori bangunan komersial Kuesioner dan wawancara langsung
Pencuci kering ⁷⁾ (<i>dry cleaning</i>)	Lokasi koordinat Jumlah tekstil yang dicuci kering (kg)	Instansi yang mengeluarkan izin gangguan (HO) Kuesioner dan wawancara langsung
Penggunaan cat domestik ⁸⁾	Lokasi konstruksi bangunan/perumahan Jumlah penjualan cat di wilayah inventarisasi (kg)	Dinas Tata Kota atau instansi yang mengeluarkan IMB
Penyimpanan/ pergudangan	Lokasi koordinat Jumlah materi mineral yang disimpan (kg atau ha)	Kuesioner dan wawancara langsung

mineral (misal, batu bara, pasir, batu kapur, dan lain-lain)⁹⁾

***Catatan:**

- ¹⁾ Lokasi tersebar namun data terkumpul di satu atau dua institusi utama (PT Pertamina untuk data total penjualan dan Hiswana Migas untuk data per SPBU). Data penjualan per SPBU biasanya memiliki kerahasiaan tinggi, perlu pendekatan untuk memperoleh data rinci. Data frekuensi/intensitas pengisian biasanya tidak tersedia, perlu dilakukan observasi dan sampling di beberapa lokasi.
- ²⁾ Data mengacu pada ijin bangunan yang dikeluarkan Dinas Tata Kota atau yang mengeluarkan IMB pada tahun dasar inventarisasi. Selama tahun dasar tersebut, Tim Penyusun harus memperkirakan kemajuan pembangunan konstruksi. Misalnya, IMB dikeluarkan pada bulan Juni 2012 untuk konstruksi 1000 m² luas lantai bangunan tingkat 4. Selama 1 tahun tersebut, pembangunan diperkirakan mencapai 40%. Artinya, luas lantai terbangun pada 2012 adalah 400 m². Faktor emisi PM₁₀ Tier 1 untuk konstruksi (CORINAIR code 2.A.7.b) = 0,0812 kg/m²/tahun. Sehingga emisi PM₁₀ menjadi = 400 m² x 0,0812 kg/m²/tahun = 32,48 kg/tahun.
- ³⁾ Data relatif mudah diperoleh untuk bengkel besar dan terdaftar. Data untuk bengkel kecil harus disurvei.
- ⁴⁾ Data populasi dan konsumsi bahan bakar total (LPG) cukup mudah diperoleh. Untuk mengetahui konsumsi rata-rata per KK harus dilakukan survei per kategori rumah tangga (kelompok sosial ekonomi tinggi, menengah, dan rendah). Walaupun konversi minyak tanah ke LPG telah selesai dilakukan di seluruh Indonesia, namun penggunaan minyak tanah, kayu bakar, arang batok/briket di beberapa daerah mungkin terjadi. Untuk itu, perlu dilakukan survei.
- ⁵⁾ Data relatif mudah diperoleh dari Dinas Kebersihan. Perlu dilakukan verifikasi apakah ada pengolahan sampah tambahan (*waste-to-energy*, Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu). Data komposisi sampah biasanya diperoleh dari studi/penelitian dan/atau pemantauan oleh Dinas Kebersihan.
- ⁶⁾ Data relatif mudah diperoleh. Prioritas diberikan ke bangunan perkantoran bertingkat. Fasilitas yang umum digunakan adalah genset sebagai cadangan sumber energi listrik. Namun perlu dipertimbangkan frekuensi listrik padam di kota. Disarankan melakukan investigasi awal untuk mengetahui penggunaan genset di beberapa gedung perkantoran.
- ⁷⁾ Emisi HC berasal dari penggunaan (penguapan) pelarut organik klorin dalam proses pencucian kering. Faktor emisi CORINAIR: Tier 1 code 3.B.2. Pencucian basah, misalnya laundry skala rumah tangga tidak mengemisikan pencemar udara namun limbah cair.
- ⁸⁾ Pengecatan bangunan mengemisikan HC yang berasal dari pelarut organik dalam cat. Lokasi pengecatan dapat diperkirakan dari lokasi konstruksi bangunan dan perumahan. Data penjualan cat dapat diperoleh dari distributor cat di wilayah kota. Faktor emisi CORINAIR: Tier 1 atau Tier 2 code 3.A.1.
- ⁹⁾ Apabila penyimpanan diperhitungkan terpisah dari perhitungan emisi di industri mineral (misal, industri semen, keramik). Pencemar yang diperhitungkan adalah PM₁₀. Faktor emisi CORINAIR: Tier 2 2.A.7.c Tabel 3.2 SNAP 040900 atau Tier 3 Tabel 3.3.

Boks 2 Perhitungan emisi pencemar udara dari TPA:

Dalam inventarisasi emisi pencemar udara, pencemar yang diperhitungkan di TPA adalah hidrokarbon non-metana (HC) yang terkandung dalam gas *landfill*. Kandungan gas landfill yang dominan adalah CH₄ dan CO₂ yang merupakan GRK, sedangkan HC hanya terkandung sebagian kecil. Faktor emisi HC di TPA (CORINAIR code 6.A) adalah 5,65 g/m³ gas *landfill*. Untuk mengetahui volume gas *landfill* di TPA, formulanya adalah:

$$Q_{CH_4} = L_o \cdot R (e^{-kc} - e^{-kt}) - (1 - \text{methane recovery})$$

dimana:

Q_{CH_4} = timbunan gas metan pada waktu t (m³/tahun)

L_o = potensi timbunan metan (m³ CH₄/ton sampah)

R = Jumlah sampah terangkut ke TPA (ton/tahun)

k = konstanta laju timbunan CH₄ (1/tahun)

c = waktu ditutupnya TPA, tahun (c = 0 jika *landfill* masih aktif)

t = waktu dimulainya pembukaan TPA (tahun) - untuk Indonesia digunakan tahun 1990

$$L_o = \frac{16}{12} \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F$$

dimana:

MCF = faktor koreksi metan. Untuk Indonesia, digunakan 0,8 karena landfill tidak dikelola

DOC = kandungan karbon organik yang mudah terurai di dalam sampah (ton karbon/ton sampah, dihitung berdasarkan komposisi sampah) - dihitung dari komposisi sampah di kota (data aktivitas)

DOC_F = fraksi disimilasi DOC (digunakan nilai 0,5)

F = fraksi metan dalam gas landfill (digunakan nilai 0,5)

Untuk memudahkan, perhitungan gas *landfill* dilakukan dengan menggunakan *spreadsheet IPCC Waste Model* yang dapat diunduh di <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>.

Data aktivitas yang diperlukan adalah komposisi sampah di setiap kota. Nilai-nilai lainnya diambil nilai *default* IPCC. *Spreadsheet* model untuk Indonesia tersedia dalam dokumen terpisah.

Perhatikan satuan gas yang digunakan (m³ atau ton), dan lakukan konversi.

4.2.6 Mengkategorikan sumber area dan memilih faktor emisi

Langkah 7: Pengkategorian sumber area dan pemilihan faktor emisi

- Kategorikan sumber area berdasarkan deskripsi kegiatan
- Periksa basis data yang diperoleh dari sumber data (instansi pemerintah, asosiasi industri, publikasi, statistik) untuk menentukan ketersediaan data dan aksesibilitasnya
- Pilih faktor/model emisi menurut kategori dan spesifikasi fasilitas pengemisi

Sama halnya dengan sumber titik, setelah mengidentifikasi sumber area, langkah berikutnya adalah mengkategorikan sumber area berdasarkan deskripsi kegiatan dan memilih faktor emisi yang sesuai. Referensi faktor emisi yang digunakan sama, yaitu CORINAIR. Faktor emisi untuk beberapa kategori sumber area dirangkum pada Lampiran 1.

4.2.7 Mengumpulkan data aktivitas sumber area

Langkah 8: Pengumpulan data aktivitas sumber area

- Periksa basis data instansi terkait (perindustrian dan perdagangan, lingkungan hidup) untuk memastikan ketersediaan data yang diperlukan
- Jika data tidak tersedia, lakukan survei dengan kuesioner tertulis atau wawancara langsung
- Sebelum melakukan survei, siapkan desain survei (lokasi, sampel, kuesioner) dan rencana kerja

Sedapat mungkin data aktivitas diperoleh dari sumber data seperti disebut pada tabel-tabel di atas atau dari sumber data lainnya. Jika data tidak tersedia, maka lakukan survei dengan menggunakan kuesioner atau kunjungan langsung. Contoh kuesioner terdapat pada Lampiran. Jumlah sampel ditentukan oleh faktor-faktor: jumlah populasi (misal, jumlah hotel, restoran, perkantoran di kota), tingkat keakuratan yang diinginkan, jangka waktu, anggaran. Umumnya keterbatasan waktu dan anggaran menjadi pertimbangan utama dalam melakukan survei, sehingga dilakukan kompromi antara kedua faktor tersebut dan tingkat keakuratan.

Ilustrasi berikut ini menjelaskan tentang survei untuk memperoleh data aktivitas sumber area. Populasi survei adalah sumber area dalam kategori yang sama. Misalnya, jika jumlah populasi = 200, tingkat kepercayaan (*confidence level*) ditetapkan 95%, maka jika rentang kepercayaan (*confidence interval*) diambil 9%, jumlah sampel yang harus disurvei = 75. Apabila *confidence interval* dinaikkan menjadi 20%, jumlah sampel menjadi = 22. Artinya, jika 60% responden memberikan respons, misalnya nilai 5, maka dengan keyakinan 95% jumlah responden yang memberikan nilai 5 adalah sebanyak $60\% \pm 20\%$ atau antara 40% dan 80% responden. Semakin lebar rentang semakin rendah keakuratannya.

Boks 3 Survei sumber area (hotel): studi kasus

Tim Penyusun hendak melakukan perhitungan emisi dari hotel di kota A. Daftar hotel telah diperoleh dari Persatuan Hotel dan Restoran Indonesia (PHRI) di kota A. Tercatat jumlah hotel sebanyak 100 hotel bintang 3; 10 hotel bintang 4; dan 3 hotel bintang 5. Informasi yang tersedia untuk setiap hotel: nama, alamat, kategori hotel, jumlah tempat tidur. Data aktivitas pengemisi (penggunaan boiler, genset, tungku) tidak tersedia, sehingga perlu dilakukan survei. Tim memiliki waktu 5 hari untuk melakukan survei dan anggaran untuk 2 orang surveyor. Dengan difasilitasi oleh PHRI dan Dinas Pariwisata, Tim melakukan survei lapangan.

Seluruh hotel bintang 5 disurvei dengan mengirimkan kuesioner. Hingga tenggat waktu, hotel bintang 5 yang belum mengembalikan kuesioner (2 hotel) dikunjungi oleh Tim. Untuk hotel bintang 4, kuesioner dikirimkan ke seluruh hotel dan Tim menetapkan target survei sebagai berikut: *confidence interval* 25%, *confidence level* 95%, sehingga jumlah sampel adalah 6. Tidak ada satupun hotel bintang 4 yang mengembalikan kuesioner, dan Tim melakukan kunjungan ke 6 hotel bintang 4. Untuk hotel bintang 3, diperkirakan hotel tidak akan memberikan respons terhadap kuesioner tertulis, maka Tim memutuskan untuk melakukan kunjungan langsung ke 13 hotel bintang 3 sebagai sampel (*confidence level* dan *interval* sama dengan di atas). Dengan membuat asumsi-asumsi berikut ini:

1. Dalam kategori yang sama, hotel mengoperasikan fasilitas pengemisi yang sama (boiler, genset).
2. Laju konsumsi bahan bakar per satuan tempat tidur adalah sama untuk masing-masing kategori hotel.

Berdasarkan asumsi tersebut, data aktivitas sumber yang tidak tersurvei diperoleh dengan cara ekstrapolasi, sebagai berikut:

$$A_{is} = \frac{\sum_{ir}^n B_{isr}}{\sum_{ir}^n T_{ir}}$$

A_{is} = konsumsi bahan bakar fasilitas i per satuan tempat tidur untuk kategori hotel s

B_{isr} = konsumsi bahan bakar fasilitas i di hotel r untuk kategori s

T_{ir} = jumlah tempat tidur di hotel r untuk kategori s

Dengan mengalikan laju konsumsi bahan bakar per satuan tempat tidur, maka konsumsi bahan bakar di hotel yang tidak tersurvei adalah $B_{ns} = T_{ns} \times A_{ns}$

4.2.8 Menghitung emisi sumber area

Langkah 9: Perhitungan beban emisi sumber area

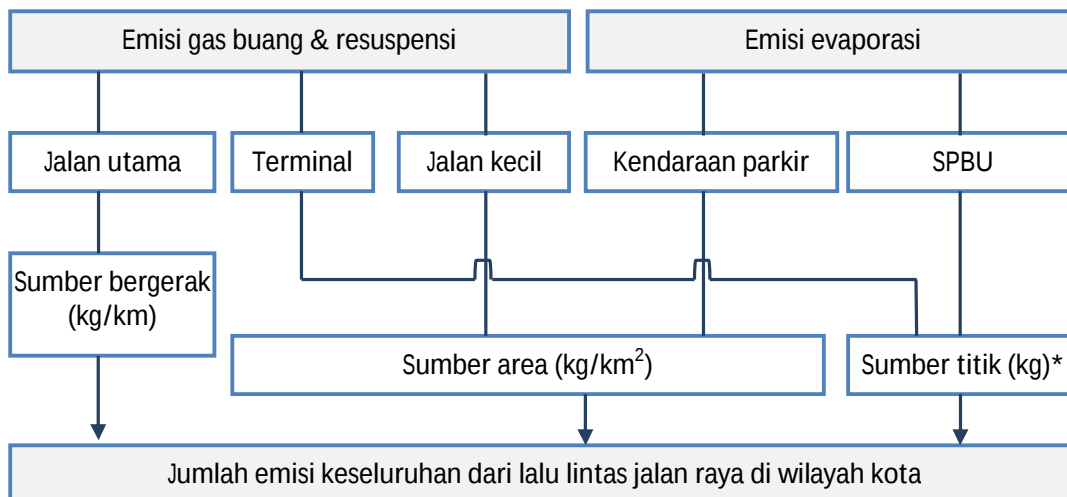
- Kumpulkan data aktivitas yang dibutuhkan dalam perhitungan
- Periksa kembali rujukan faktor emisi yang digunakan dan verifikasi ke ahli
- Masukkan data aktivitas dan faktor emisi dalam satu tabel
- Buat *spreadsheet* (dengan aplikasi Excel) perhitungan emisi untuk setiap sumber

Metode perhitungan emisi adalah dengan menggunakan faktor emisi.

4.3 Menyusun inventarisasi emisi sumber bergerak *on-road*

Sumber bergerak dibagi atas *on-road* dan *non-road*. Sumber bergerak *on-road* meliputi seluruh kendaraan bermotor yang beroperasi di jalan raya. Sumber bergerak *non-road* termasuk kereta api, kapal laut, pesawat terbang, mesin-mesin pertanian, dan lain-lain. Untuk menghitung emisi sumber bergerak *on-road*, sedapat mungkin digunakan metode Tier 3 karena sumber emisi ini termasuk kategori sumber utama. Tim Penyusun disarankan menggunakan perangkat Mobilev. Untuk dapat menggunakan perangkat ini, diperlukan pelatihan sedikitnya 2 hari.

Jika penggunaan metode Tier 3 tidak dapat dilakukan pada saat ini, maka pilihan berikutnya adalah dengan menggunakan metode faktor emisi Tier 2 dengan catatan bahwa hal tersebut bersifat sementara hingga tersedianya data yang lebih lengkap dan terbangunnya kemampuan untuk mengoperasikan Mobilev di kota bersangkutan. Untuk itu, pengumpulan data aktivitas Tier 2 juga telah mempertimbangkan kebutuhan data Tier 3, sehingga ketika Tim Penyusun atau pemangku kepentingan di daerah ingin meningkatkan keakuratan perhitungan emisi sumber bergerak *on-road* di kemudian hari, data aktivitas Tier 3 telah tersedia.



Gambar 11 Skema perhitungan emisi sumber bergerak *on-road*
catatan: *dalam pelaporannya, emisi ini dimasukkan ke dalam sumber area

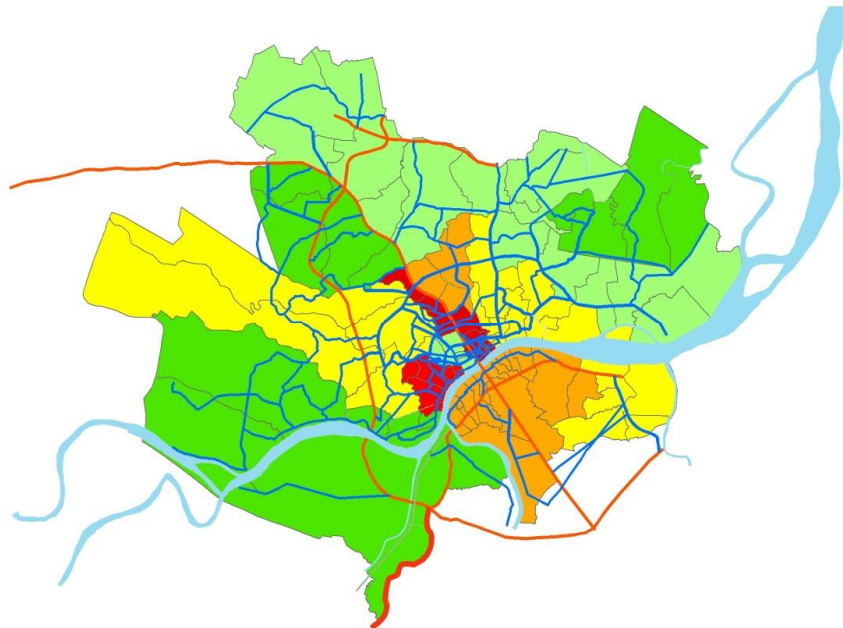
Langkah-langkah penyusunan emisi sumber bergerak *on-road* dengan menggunakan Tier 2 dijelaskan dalam Pedoman ini. Sedangkan untuk Tier 3 (perangkat Mobilev) penjelasannya terdapat dalam dokumen terpisah.

4.3.1 Membangun basis data jaringan jalan

Langkah 10: Penentuan jaringan jalan di wilayah inventarisasi

- Dapatkan peta digital jaringan jalan
- Alokasikan setiap ruas jalan ke grid dan buat basis data untuk seluruh jalan. Dalam setiap grid mungkin terdapat lebih dari 1 ruas jalan
- Masukkan atribut-atribut jalan ke dalam basis data

Langkah pertama dalam perhitungan emisi sumber bergerak *on-road* adalah membangun basis data jaringan jalan. Basis data ini dapat disusun dengan menggunakan aplikasi Excel. Ruas jalan adalah segmen jalan yang bersifat homogen yang terletak antara 2 persimpangan yang berdekatan.



Gambar 12 Jaringan jalan utama di Kota Palembang (2010)

Untuk setiap ruas jalan di setiap grid, parameter data yang diperlukan:

- Identitas grid
- Identitas ruas jalan dan posisi geografis
- Panjang dan lebar ruas jalan
- Fungsi jalan (tol, arteri, lokal, distributor) dan kecepatan
- Jumlah jalur
- Gradien (kemiringan) jalan

4.3.2 Menghitung volume lalu lintas pada setiap ruas jalan utama

Langkah 11: Memperkirakan volume lalu lintas per kategori dan sub-kategori kendaraan pada setiap ruas jalan utama

- Periksa ketersediaan data volume lalu lintas (*traffic count*) dari instansi terkait dan studi-studi sebelumnya
- Tentukan volume lalu lintas pada setiap ruas jalan utama dari data yang tersedia dan/atau dari survei langsung oleh Tim Penyusun apabila data volume lalu lintas tidak tersedia
- Pastikan data lalu lintas pada jalan utama tercakup seluruhnya

Volume lalu lintas pada suatu ruas jalan adalah jumlah kendaraan bermotor yang melintasi ruas jalan tersebut pada semua jalur per hari dan per tahun. Data volume lalu lintas dapat diperoleh dari instansi terkait seperti Dinas Perhubungan dan Kepolisian Daerah atau dari studi-studi sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti atau institusi riset. Instansi-instansi tersebut melakukan *traffic count* (pencacahan lalu lintas) untuk keperluan perencanaan transportasi dan pengaturan lalu lintas dan penelitian di bidang transportasi. *Traffic count* dapat dilakukan dengan cara menghitung kendaraan yang melintas pada suatu

ruas jalan secara manual atau dengan rekaman CCTV. Jika data volume lalu lintas yang tersedia adalah untuk tahun-tahun sebelum tahun dasar inventarisasi, maka data tersebut dapat diekstrapolasi untuk tahun dasar dengan mengalikan faktor pertumbuhan.

Apabila tidak tersedia data volume lalu lintas, Tim Penyusun harus melakukan survei *traffic count* pada sejumlah jalan utama. Tata cara *traffic count* dapat diperoleh dari Asisten Deputi Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak, Kementerian Lingkungan Hidup. Jumlah sampel jalan harus mencakup jalan-jalan utama di wilayah kota dan jalan-jalan dari kategori lainnya. Pada jalan-jalan yang tidak disurvei, volume lalu lintasnya dapat diestimasi dari jalan yang disurvei yang homogen atau memiliki karakteristik lalu lintas yang sama. Untuk itu, pemilihan lokasi survei atau jalan yang akan disurvei harus dilakukan secara seksama dengan memperhatikan peta jaringan jalan, kategori dan fungsi jalan, kondisi lalu lintas. Penentuan volume lalu lintas di seluruh ruas jalan dapat pula dilakukan dengan simulasi model perencanaan transportasi, misalnya dengan menggunakan aplikasi EMME. Aplikasi komputer tersebut memerlukan data input *traffic count* pada beberapa ruas jalan.

Secara keseluruhan, kategori kendaraan bermotor yang terdapat di Indonesia adalah:

- Mobil sedan
- Minibus/van
- Jeep
- Bus kota
- Sepeda motor
- Kendaraan roda 3
- Pick-up
- Truk 2 engkel
- Truk 2 engkel

4.3.3 Menentukan komposisi armada

Langkah 12: Komposisi armada

- Periksa basis data pendaftaran kendaraan (STNK) dari instansi terkait (Kepolisian Daerah, SAMSAT dan Dinas Pendapatan Daerah) untuk mendapatkan komposisi kendaraan rinci di wilayah inventarisasi
- Tentukan komposisi armada berdasarkan tahun pembuatan dan bahan bakar

Komposisi armada diperlukan untuk menentukan sub-kategori kendaraan berdasarkan spesifikasi dan teknologi (jenis dan kapasitas mesin, standar emisi, jumlah berat beban, bahan bakar) agar dapat ditentukan faktor emisi yang tepat. Apabila data tersebut tidak diperoleh, maka gunakan kategori kendaraan seperti tersebut pada 4.3.2 di atas.

Pada suatu saat, komposisi armada di Indonesia dapat ditentukan berdasarkan nomor kendaraan yang terekam di CCTV yang kemudian dibandingkan dengan data pendaftaran kendaraan. Hal tersebut dapat dimulai dengan menggunakan model emisi (misalnya, Mobilev) yang menggabungkan observasi dan model lalu lintas ke dalam basis data. Perbandingan antara komposisi armada berdasarkan pendaftaran dan komposisi armada awal dari pemodelan emisi (nilai *default*) akan memberikan petunjuk jika model emisi tersebut memuat informasi rinci armada kendaraan yang sesuai.

4.3.4 Menentukan kualitas bahan bakar

Langkah 13: Kualitas bahan bakar

- Tentukan kualitas bahan bakar dari hasil pemantauan atau spesifikasi dari instansi terkait (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral atau Pertamina)

Jenis dan kualitas bahan bakar diperlukan untuk menentukan faktor emisi jika menggunakan metode Tier 3. Parameter kualitas bahan bakar berikut ini harus diketahui:

- Kandungan sulfur
- Tekanan uap air
- Kandungan aromatik dan alkohol

Kualitas bahan bakar yang digunakan di wilayah inventarisasi harus dibandingkan dengan nilai *default* model emisi. Jika perlu, disesuaikan.

4.3.5 Menghitung emisi sumber bergerak pada jalan utama

Langkah 14: Perhitungan emisi sumber bergerak pada jalan utama

- Ketika semua data yang diperlukan untuk perhitungan emisi (Tier 2 atau Tier 3) telah dikumpulkan, lakukan perhitungan
- Hasil perhitungan akan menampilkan beban emisi untuk setiap kategori kendaraan pada setiap ruas jalan
- Alokasikan beban emisi ke grid

Perhitungan emisi Tier 3 dilakukan langsung dalam model emisi. Sedangkan metode Tier 2 menggunakan faktor emisi berbasis kilometer jalan kendaraan (*vehicle kilometer traveled-VKT* atau panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun) yang dijelaskan sebagai berikut. Untuk jaringan jalan utama, emisi diperlakukan sebagai sumber garis atau *line source*.

Dalam perhitungan VKT setiap kategori kendaraan pada suatu ruas jalan diasumsikan karakteristik lalu lintasnya tetap sehingga perhitungannya dapat dilakukan sebagai berikut:

$$VKT_{j,line} = \sum_{i=1}^n Q_{ji} \cdot l_i \quad (5)$$

$$E_{cji} = VKT_{ji} \cdot EF_{cj} (100 - C) / 100 \quad (6)$$

Di mana:

$VKT_{j,line}$ = VKT kategori kendaraan j pada ruas jalan i yang dihitung sebagai sumber garis (km/tahun)

Q_{ji} = volume kendaraan dalam kategori j pada ruas jalan i (kendaraan/tahun)

l_i = panjang ruas jalan i (km)

E_{cji} = emisi pencemar c untuk kendaraan kategori j pada ruas jalan i

C = efisiensi peralatan pengendali emisi (%)

$C = 0$, jika tidak terpasang peralatan pengendali

Peralatan pengendali emisi sumber bergerak adalah katalis yang dapat mengurangi emisi CO, HC, NO_x hingga lebih dari 90%. Peralatan tersebut umumnya telah terpasang pada kendaraan-kendaraan baru

yang memenuhi standar EURO II ke atas, sehingga faktor emisinya telah mempertimbangkan efisiensi peralatan pengendali. Artinya, $C = 0$.

4.3.6 Memilih faktor emisi

Tier 3: Faktor emisi mengacu pada standar EURO untuk kendaraan tipe baru yang sesuaikan dengan faktor-faktor komposisi armada termasuk usia kendaraan, teknologi kendaraan, kondisi lalu lintas, perilaku berkendara, jenis dan kualitas bahan bakar.

Tier 2: Untuk saat ini hingga ditetapkan lain, faktor emisi mengacu pada faktor emisi nasional (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah).

Tabel 18 Faktor emisi kendaraan bermotor lama di Indonesia (kategori umum)
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010

Kategori	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/kg BBM)	(g/km)
Sepeda motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil penumpang (bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil penumpang (solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Mobil penumpang	32,4	3,2	2,3	0,12	3178	0,11
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Tabel 19 Faktor emisi kendaraan bermotor lama di Indonesia (kategori tambahan)
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010

Kategori	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/kg BBM)	(g/km)
Angkutan kota (minibus)	43,1	5,08	2,1	0,006	3180	0,029
Taksi	55,3	5,6	2,8	0,008	3180	0,025
Roda 3 (bajaj)	70,7	33,8	0,25	1,2	3180	0,013
Pick-up	31,8	3,5	2	0,026	3178	0,13
Jeep	36,7	3,86	2,36	0,039	3178	0,145
Van/minibus	24	2,9	1,55	0,029	3178	0,14
Sedan	33,8	3,7	1,9	0,004	3180	0,023

4.3.7 Menghitung emisi sumber bergerak pada jalan kecil

Langkah 15: Perhitungan emisi sumber bergerak pada jalan kecil

- Dalam hal data jaringan jalan dan volume lalu lintas jalan-jalan kecil tidak tersedia, emisinya dihitung sebagai sumber area
- Hitung total VKT kendaraan bermotor per kategori = VKT per kategori kendaraan x jumlah kendaraan per kategori (statistik)
- Hitung VKT sumber area = VKT total - VKT sumber garis
- Alokasikan VKT sumber area ke grid berdasarkan fungsi dan aktivitas di sel grid serta kebutuhan transportasi
- Hitung beban emisi dengan mengalikan antara VKT dan faktor emisi

Untuk jaringan jalan kecil, emisi diperlakukan sebagai sumber area. Perhitungan VKT dilakukan dengan mengurangi VKT total per kategori dengan VKT sumber garis.

Total VKT sumber bergerak area = total VKT sumber bergerak – total VKT sumber bergerak garis.

Persamaan untuk memperkirakan total VKT sumber bergerak adalah:

$$VKT_{b,c} = \overline{VKT}_{b,c_{odo}} \cdot N_{b,c} \quad (7)$$

Dimana:

$\overline{VKT}_{b,c_{odo}}$ = VKT kendaraan kategori b dan berbahan bakar c berdasarkan survei odometer (km/tahun)

$VKT_{b,c}$ = VKT seluruh kendaraan bermotor kategori b yang menggunakan bahan bakar c (km/tahun)

$N_{b,c}$ = jumlah kendaraan bermotor kategori b yang menggunakan bahan bakar c

Langkah 16: Survei VKT di wilayah inventarisasi

- Lakukan survei VKT terhadap kendaraan yang beroperasi di jalan (untuk fraksi perjalanan yang dilakukan di dalam wilayah inventarisasi)

Survei VKT adalah untuk menentukan panjang perjalanan rerata kendaraan per kategori akumulatif selama 1 tahun dari bacaan odometer atau jawaban responden. Teknis survei adalah wawancara tatap muka dengan sejumlah sampel pengemudi untuk setiap kategori dan sub-kategori kendaraan. Pertanyaan kunci dalam wawancara tersebut: Berapa bacaan odometer kendaraan? Berapa konsumsi bahan bakar per kilometer atau per hari? Berapa kilometer yang ditempuh per hari yang dilakukan di dalam kota? Hasil survei diharapkan mewakili panjang perjalanan dan ekonomi bahan bakar rerata jumlah kendaraan masing-masing kategori di wilayah inventarisasi. Tim Penyusun harus memperhatikan bahwa jumlah perjalanan yang diukur adalah yang dilakukan di dalam wilayah inventarisasi. Misalnya, jika bacaan odometer suatu kendaraan adalah 10.000 km per tahun dan 70% perjalanan tersebut dilakukan di dalam kota, maka VKT-nya adalah 7.000 km per tahun. Kementerian Lingkungan Hidup (Asisten Deputi Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak) memiliki data survei VKT di kota-kota di Indonesia. Sebelum melakukan survei, Tim Penyusun dapat memperoleh data-data VKT tersebut. Apabila data tidak tersedia untuk kategori kendaraan tertentu, maka lakukan survei.

Data ekonomi bahan bakar kendaraan di wilayah inventarisasi diperlukan untuk perbandingan dengan faktor ekonomi bahan bakar nasional (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010).

Tabel 20 Ekonomi bahan bakar kendaraan bermotor nasional
(Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2010)

Kategori	km/liter
Sedan	9,8
Van/minibus	8
Taksi	8,7
Angkot	7,5
Bis sedang	4
Bis besar	3,5
Pickup	8,5
Truk 2 engkel	4,4
Truk 3 engkel	4
Jeep	8
Sepeda motor	28

Total VKT sumber bergerak area kemudian didistribusikan ke dalam grid berdasarkan fungsi dan aktivitas di grid dan kebutuhan transportasi. Tim Penyusun harus memperkirakan berapa % dari VKT sumber area tersebut terdapat di area: permukiman, komersial, pertanian, industri, pelabuhan, bandara, jalan perdesaan, jalan perkotaan, dan sebagainya. Peta tata guna lahan kota dapat membantu menetapkan alokasi tersebut.

Setelah VKT didistribusikan berdasarkan aktivitas dan fungsi lahan, selanjutnya VKT didistribusikan ke setiap grid untuk setiap kategori sumber bergerak area. Misalnya, untuk jalan permukiman, alokasi VKT sumber areanya adalah 50% dari total VKT sumber area. Distribusi VKT permukiman dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Total VKT area permukiman didistribusikan ke grid permukiman mengikuti kepadatan penduduk dan luas jalan di setiap grid. Variabel yang pertama mewakili kebutuhan transportasi penduduk, sedangkan variabel yang kedua mewakili kapasitas lalu lintas.

VKT sumber area didistribusikan ke setiap grid dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Untuk grid } k, \quad VKT_{kj} = (K_1^k + K_2^k) M \cdot e_j \quad (8)$$

dimana: VKT_{kj} = VKT sumber area untuk grid k dan kategori kendaraan j

M = total VKT sumber area permukiman (dimana 50% dari total VKT sumber area teralokasikan)

e_j = fraksi kategori kendaraan j

$K_1^k = \frac{\alpha p_k}{p_t}$ = faktor pemberat kepadatan penduduk

$K_2^k = \frac{(1-\alpha)L_k}{L_t}$ = faktor pemberat luas jalan

p_k = penduduk di grid k

p_t = total penduduk di wilayah permukiman

L_k = luas jalan di grid k

L_t = total luas jalan di wilayah permukiman

α = faktor (dalam fraksi) yang mendefinisikan pengaruh penduduk dan luas jalan terhadap VKT (nilai: 0 – 1). Nilai α adalah arbitrer. Untuk kondisi di kota besar di Indonesia digunakan 0,35.⁵

4.3.8 Menghitung emisi sumber bergerak *on-road* di terminal angkutan umum

Langkah 17: Perhitungan emisi di terminal angkutan umum

- Kumpulkan data jumlah angkutan umum yang masuk keluar terminal dalam 1 hari dan 1 tahun dari instansi terkait (Dinas Perhubungan)
- Diasumsikan selama kendaraan berada di terminal, kendaraan dalam keadaan berhenti namun mesin menyala (*idling*)
- Lakukan survei berapa lama kendaraan menunggu di terminal
- Hitung emisi berdasarkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi selama *idling*

Sebagai contoh, di terminal Karya Jaya di Kota Palembang, hasil survei menunjukkan bahwa angkutan umum yang masuk keluar terminal dan konsumsi bahan bakar selama *idling* adalah seperti pada Tabel 21.

Tabel 21 Jumlah perjalanan (frekuensi masuk keluar terminal) dan konsumsi bahan bakar selama *idling*, Terminal Karya Jaya Palembang

Kategori	Frekuensi/tahun	Konsumsi bahan bakar (liter/frekuensi)
Angkutan kota (minibus)	4228	0,5
Bis sedang	9529	0,675
Bis besar	43406	1

4.3.9 Menghitung emisi evaporasi di lokasi parkir

Langkah 18: Perhitungan emisi di lokasi parkir

- Tentukan lokasi-lokasi parkir di wilayah inventarisasi termasuk perparkiran pada badan jalan dan di lokasi lainnya, misalnya gedung parkir
- Kumpulkan data jumlah kendaraan yang parkir per hari dari pengelola parkir
- Hitung emisi HC dengan menggunakan faktor emisi

Emisi evaporasi (pencemar HC) di lokasi parkir berasal dari kendaraan berbahan bakar bensin, yaitu mobil penumpang dan sepeda motor. Ketika kendaraan bermotor berhenti setelah dari pengoperasian panas, penguapan bahan bakar masih berlangsung hingga kondisi temperatur dingin.

Referensi faktor emisi HC di lokasi parkir: CORINAIR GB 2009 1.A.3.b.v *Gasoline evaporation* code: 1.A.3.b.v. Table 3.1, *Tier 1 evaporative emissions emission factors for gasoline fuelled road vehicles — when daily temperature range is around 20 to 35 °C.*

1. Mobil penumpang: 24,9 g/kendaraan/hari
2. Sepeda motor: 5 g/kendaraan/hari

⁵ Tim Penyusun diminta untuk melakukan uji sensitivitas terhadap nilai α yang berbeda-beda.

4.4 Menyusun inventarisasi emisi sumber bergerak *non-road*

Selain dari sumber di jalan raya, emisi sumber bergerak juga dihasilkan dari sumber bergerak bukan di jalan raya (*non-road*). Di dalamnya termasuk:

1. Transportasi perairan (laut dan sungai)
2. Kereta api
3. Transportasi udara

4.4.1 Menghitung emisi sumber transportasi perairan

Langkah 19: Perhitungan emisi sumber transportasi perairan

- Kumpulkan data input yang diperlukan untuk menghitung emisi dengan mengacu pada faktor emisi CORINAIR
- Sedapat mungkin menggunakan metode faktor emisi Tier 3, khususnya di wilayah inventarisasi dimana transportasi perairan penting
- Jika data untuk penggunaan metode Tier 3 tidak tersedia, gunakan metode Tier 2
- Hitung emisi dengan menggunakan faktor emisi

Sama halnya dengan VKT transportasi di jalan raya, dalam perhitungan emisi transportasi perairan, VKT kapal juga dihitung, yaitu jumlah kilometer perjalanan kapal dalam wilayah administrasi kota.

Parameter data input Tier 2:

- Jenis kapal (*tanker, tug boat, vessel, container*, kapal motor kecil, dan lain-lain)
- Jumlah kapal yang datang dan pergi/singgah di pelabuhan untuk setiap jenis kapal
- Jenis bahan bakar/mesin
- Panjang lintasan kapal
- Kapasitas mesin, kecepatan kapal, konsumsi bahan bakar/km tempuh (untuk kapal-kapal kecil)

Parameter data Tier 3: seluruh data input pada Tier 2 ditambah dengan berat kotor kapal (GT - *gross tonnage*).

4.4.2 Menghitung emisi sumber transportasi kereta api

Langkah 20: Perhitungan emisi sumber transportasi Kereta Api

- Kumpulkan data input yang diperlukan untuk menghitung emisi dengan mengacu pada faktor emisi CORINAIR
- Sedapat mungkin menggunakan metode faktor emisi Tier 3, khususnya di wilayah inventarisasi dimana transportasi kereta api penting
- Jika data untuk penggunaan metode Tier 3 tidak tersedia, gunakan metode Tier 2
- Hitung emisi dengan menggunakan faktor emisi

Sama halnya dengan VKT transportasi di jalan raya dan perairan, dalam perhitungan emisi kereta api, VKT kereta api juga dihitung, yaitu jumlah kilometer perjalanan kereta api dalam wilayah administrasi kota (fraksi perjalanan kereta api yang dilakukan dalam wilayah administrasi kota).

Parameter data input Tier 2:

- Jenis angkutan (penumpang, barang, transportasi bahan bakar seperti batubara, dan lain-lain)
- Jumlah dan frekuensi kereta api yang berangkat dan datang

- Jenis lokomotif dan jenis bahan bakarnya
- Konsumsi bahan bakar lokomotif/km tempuh
- Panjang lintasan kereta api (dalam wilayah inventarisasi)

Parameter data Tier 3: seluruh data input pada Tier 2 ditambah dengan spesifikasi lokomotif (merek dan jenisnya).

4.4.3 Menghitung emisi sumber transportasi udara

Langkah 21: Perhitungan emisi sumber transportasi udara

- Kumpulkan data input yang diperlukan untuk menghitung emisi dengan mengacu pada faktor emisi CORINAIR
- Sedapat mungkin menggunakan metode faktor emisi Tier 3
- Jika data untuk penggunaan metode Tier 3 tidak tersedia, gunakan metode Tier 2
- Hitung emisi dengan menggunakan faktor emisi

Perhitungan emisi transportasi udara meliputi emisi ketika pesawat melakukan *landing* dan *take-off* (LTO). Sedangkan emisi pada fase *cruise* (pada ketinggian tertentu setelah take-off) dalam inventarisasi emisi kota dapat diabaikan.

Parameter data input yang diperlukan:

- Jenis dan seri pesawat (misal, Boeing 737 800, Airbus A 320, dan lain-lain)
- Jumlah LTO untuk setiap pesawat dalam setahun

Data LTO pesawat di bandara di dunia termasuk bandara-bandara di Indonesia dapat diperoleh dari www.flightstats.com. Jika data tidak tersedia (misalnya di bandara-bandara perintis/kecil atau militer), maka data dapat diperoleh dari instansi berwenang di kota/provinsi/pusat.

4.5 Prosedur QA/QC

QA adalah serangkaian prosedur untuk memastikan inventarisasi memenuhi tingkat kualitas yang ditetapkan. QA dilakukan oleh orang yang tidak terlibat langsung dalam proses inventarisasi. Sedangkan QC adalah sistem kegiatan teknis rutin yang dirancang untuk mengukur dan mengawasi kualitas inventarisasi selama penyusunan. QC dilakukan oleh orang yang terlibat langsung dalam penyusunan inventarisasi emisi.

QA/QC diperlukan untuk:

- meningkatkan keyakinan dalam estimasi emisi
- meningkatkan keakuratan estimasi
- meningkatkan kajian emisi terhadap kualitas udara
- memberikan masukan kajian emisi yang lebih baik untuk pemodelan
- menurunkan biaya program untuk pemeliharaan basis data selanjutnya

4.5.1 Prosedur dan langkah-langkah QC

Prosedur penerapan QC sebaiknya menggunakan daftar periksa (*checklist*). *Checklist* tersebut memeriksa:

- Pengumpulan data
- Perhitungan/pengolahan data
- Evaluasi ketepatan data

- Evaluasi kelengkapan data
- Pengkategorian dan penerjemahan data
- Penelusuran data

Sedangkan langkah-langkah QC yang dilakukan:

1. Cek kewajaran data dengan memeriksa kembali dokumen-dokumen data dan memverifikasi kepada sumber/pemilik data –apakah angkanya wajar, apakah masuk akal.
2. Cantumkan asumsi-asumsi yang dibuat dalam perhitungan emisi sebagai bagian dari analisis ketidakpastian. Pada prinsipnya, perhitungan emisi harus terlacak asal usul angka yang digunakan dalam perhitungan terlepas dari ketepatan nilai atau pendekatan yang dilakukan.
3. Periksa hasil perhitungan di komputer (formula dan replikasi perhitungannya, fungsi-fungsi, satuan, kisaran batas minimum dan maksimum). Hal ini untuk memeriksa kebenaran perhitungan matematis, kewajaran dan validitas angka.
4. Cek statistik dalam sampling dan perhitungan: statistik deskriptif, prosedur untuk mengidentifikasi *outliers*, uji statistik.
5. Validasi hasil perhitungan emisi dengan data pengukuran (jika tersedia) atau data penjualan/statistik.
6. Lakukan analisis sensitivitas khususnya terhadap nilai/faktor subjektif (arbitrer). Analisis ini adalah untuk memeriksa validitas metode estimasi dan asumsi-asumsi yang digunakan. Selain itu, pandangan/kajian oleh ahli juga dapat dilakukan.

Boks 4 Kesalahan-kesalahan yang kerap teridentifikasi dalam proses QC:

- Sumber-sumber yang belum diidentifikasi
- Sumber yang ganda (terdublikasi)
- Sumber yang sudah tidak beroperasi
- Lokasi sumber yang tidak tepat
- Data belum lengkap
- Data teknis salah
- Penentuan ukuran/skala sumber titik dan area yang tidak konsisten
- Perhitungan ganda
- Kesalahan perhitungan
- Kesalahan pengkategorian, input data, transposisi

4.5.2 Prosedur dan langkah-langkah QA

QA sebaiknya dilakukan oleh ahli/auditor independen. Tujuan QA adalah untuk memberikan keyakinan dalam keakuratan dan kelengkapan data emisi dan penerimaan hasil inventarisasi emisi. Proses QA menitikberatkan pada: identifikasi isu sumber daya manusia, evaluasi efektivitas prosedur teknis dan kualitas, tingkat akurasi, kesebandingan (komparabilitas), kelengkapan, keterwakilan.

4.5.3 Perangkat QA/QC

Contoh formulir QA/QC terdapat pada Lampiran 4.

5. STUDI KASUS PENYUSUNAN INVENTARISASI EMISI

Menyadari kebutuhan pengelolaan kualitas udara perkotaan, Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) melakukan kegiatan pendampingan beberapa tahun yang lalu. Dengan dukungan lembaga kerja sama pembangunan internasional *Deutsche Gesellschaft fuer Internationale Zusammenarbeit* (GIZ), melalui proyek *Clean Air for Smaller Cities* (CASC), KLH melakukan seleksi 2 kota percontohan di Indonesia pada tahun 2010. Kedua kota percontohan ini menjadi bagian dari 11 kota di kawasan Asia Tenggara/ASEAN yang melakukan serangkaian aktivitas dalam pengelolaan kualitas udara bersih, termasuk didalamnya penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara, diikuti dengan penyusunan Rencana Aksi Udara Bersih.

Hasil seleksi yang berdasarkan kriteria-kriteria yang ditetapkan diantaranya komitmen pemerintah kota dalam pengelolaan pencemaran udara, dipilihlah Kota Palembang dan Kota Surakarta. KLH bersama dengan GIZ CASC, dan kedua pemerintah kota yaitu Palembang dan Surakarta mengawali kegiatan dengan membahas visi, misi serta peta jalan menuju Rencana Aksi Udara Bersih. Dari rangkaian kegiatan awal ini, teridentifikasi pentingnya inventarisasi emisi yang merupakan basis ilmiah pokok disamping hasil pemantauan kualitas udara yang akan digunakan sebagai landasan penyusunan rencana aksi udara bersih.

Di kedua kota, pendekatan yang dilakukan dalam penyusunan inventarisasi emisi adalah meletakkan kepemilikan kegiatan di tangan Pemerintah Kota dan universitas setempat serta sektor swasta yang bertanggung jawab dalam pengelolaan sumber-sumber emisi. Pemerintah Kota dengan Satuan Kerja Perangkat Daerah (SKPD)-nya merupakan pemangku kepentingan kunci dalam melakukan koordinasi antar instansi dan memberikan arahan kepada universitas setempat sebagai pelaksana inventarisasi. Keterlibatan SKPD dan universitas setempat adalah untuk membangun kapasitas lokal. Kegiatan ini diawali dengan pelatihan penyusunan inventarisasi emisi yang diikuti oleh semua SKPD kota terkait dan tim universitas setempat.

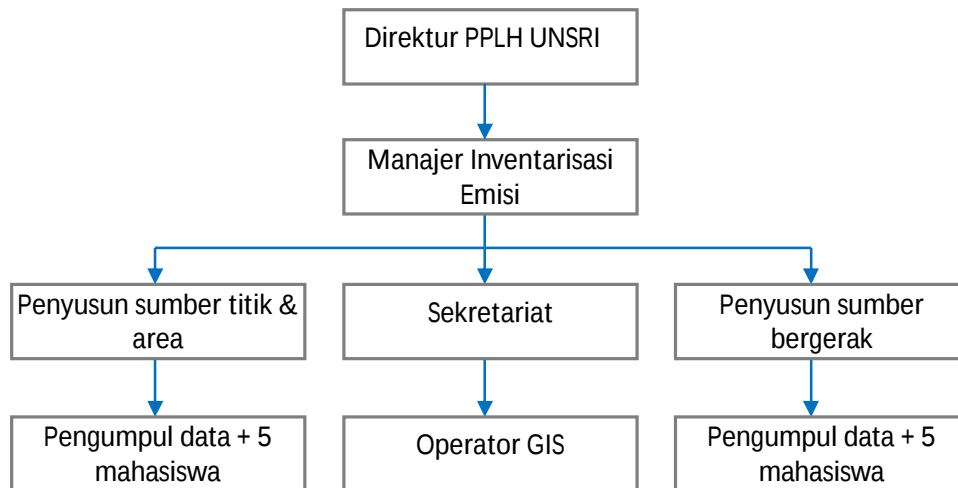
5.1 Pengalaman penyusunan inventarisasi emisi di Kota Palembang

Pemerintah Kota Palembang menunjuk Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Universitas Sriwijaya (PPLH UNSRI) sebagai penyusun inventarisasi emisi di Kota Palembang. Pelibatan sumber daya lokal akan memberikan manfaat bagi penguatan kapasitas lokal dan memastikan keberlanjutan pemutakhiran inventarisasi emisi di waktu mendatang.

Beberapa kendala awal yang dihadapi antara lain tidak tersedianya informasi mengenai pelaksanaan inventarisasi emisi di kota-kota di Indonesia, kecuali kota besar seperti Jakarta dan wilayah aglomerasi Jakarta Bogor Depok Tangerang Bekasi (Jabodetabek) dalam kerangka studi pengelolaan kualitas udara perkotaan pada tahun 1990-an dan yang diperbaharui pada tahun 2008. Dalam hal inventarisasi emisi di kota-kota lebih kecil, Kota Palembang termasuk kota pertama di Pulau Sumatera yang melakukan inventarisasi emisi secara menyeluruh.

5.1.1 Perencanaan dan pembentukan Tim

Sebagai langkah awal dalam inventarisasi emisi, PPLH UNSRI membentuk tim yang bertugas melakukan kompilasi data, perhitungan emisi, dan pelaporan. Struktur organisasi Tim Penyusun adalah sebagai berikut:



Gambar 13 Struktur organisasi Tim Penyusun Inventarisasi Emisi di Kota Palembang

Setelah pembentukan tim, langkah berikutnya adalah dengan melakukan identifikasi awal sumber emisi dan sumber datanya; termasuk pula menentukan wilayah inventarisasi dan ukuran grid (1 km x 1 km). Semakin kecil ukuran grid yang diambil, semakin rinci hasil yang diperoleh, akan tetapi tingkat kesulitannya juga akan semakin meningkat. Langkah terakhir dalam persiapan ini adalah pembagian tugas dari masing-masing anggota Tim.

Untuk kelancaran pelaksanaan kegiatan, dengan difasilitasi oleh GIZ CASC, KLH dan Badan Lingkungan Hidup (BLH) Kota Palembang, Tim Penyusun dibekali surat pengantar permohonan data. Langkah selanjutnya adalah merekrut mahasiswa untuk membantu dalam pengumpulan data. Selain surat pengantar, kuesioner juga disiapkan untuk mempermudah proses pengumpulan data. Khusus untuk responden sektor industri besar, disusun kuesioner yang lebih rinci agar data yang diperoleh selengkap mungkin.

5.1.2 Pengumpulan data

Rencana pengumpulan data dan informasi yang dilakukan oleh PPLH UNSRI di bagi menjadi 3 tahap:

1. Tahap pertama: data sumber bergerak
2. Tahap kedua: data sumber titik
3. Tahap ketiga: data sumber area

Dalam pelaksanaannya, proses pengumpulan data ini tidak seluruhnya berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Beberapa data tidak dapat diperoleh sesuai dengan jangka waktu. Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi pengumpulan data:

1. Kurangnya pemahaman para pemangku kepentingan mengenai fungsi dan manfaat inventarisasi emisi
2. Pada mulanya kuesioner yang dikirim mempunyai kerumitan yang cukup tinggi (khususnya untuk Industri), sehingga pemilik data mengalami kesulitan dalam mengisinya
3. Adanya keberatan dari pemilik data untuk membagi datanya karena enggan atau menganggap rahasia
4. Terbatasnya kapasitas sumber daya PPLH UNSRI sendiri dalam hal memahami metode perhitungan emisi, penggunaan faktor emisi, dan identifikasi data aktivitas serta kemampuan dalam berkomunikasi dengan para pemangku kepentingan

5. Pengumpulan data ini memerlukan ketekunan dan stamina yang memadai, mengingat luas wilayah Kota Palembang yang mencapai 400 km².
6. Tidak adanya kepemimpinan dan arahan yang jelas dalam Tim sehingga para anggota Tim kesulitan melaksanakan tugas pengumpulan data dan perhitungan emisi

Untuk mengatasi kendala-kendala di atas, beberapa langkah perbaikan yang dilakukan agar pengumpulan dan validasi data serta perhitungan emisi berjalan lebih lancar adalah:

1. Membuat kuesioner lebih sederhana. Kebutuhan data mengacu pada penjelasan aktivitas data dalam pedoman faktor emisi CORINAIR
2. Meminta surat pengantar dari badan, lembaga atau instansi yang membina sektor usaha dimana data aktivitas diperlukan. Contoh: Gapkindo (Gabungan Pengusaha Karet Indonesia), PERSI (Perhimpunan Rumah Sakit Indonesia), dan Dinas Perindustrian dan Perdagangan
3. Berkonsultasi dengan BLH terkait dengan data yang sulit diperoleh. Dalam hal ini BLH akan langsung mengirimkan surat permohonan data langsung kepada pemilik data
4. Melaksanakan pertemuan antara Tim Penyusun PPLH UNSRI dan seluruh pemangku kepentingan untuk saling bertukar informasi mengenai kemajuan kegiatan dan kesulitan-kesulitan yang masih dihadapi serta memvalidasi data dan perhitungan sementara. Pertemuan pemangku kepentingan ini pada akhirnya memperkuat hubungan dan kerjasama antara Tim Penyusun dan pemangku kepentingan

5.1.3 Perhitungan dan validasi

Selain permasalahan dalam pengumpulan data, Tim Penyusun juga menghadapi permasalahan dalam perhitungan emisi. Salah satunya adalah keterbatasan kemampuan Tim mengingat latar belakang keilmuan di bidang keteknikan anggota Tim yang terbatas. Perhitungan emisi dengan menggunakan faktor emisi memerlukan pemahaman mengenai sumber emisi, aktivitas-aktivitas yang menghasilkan emisi, proses terjadinya emisi, peralatan pengendalian emisi, konstanta-konstanta yang diperlukan, konversi satuan energi, dan lain-lain.

Secara teori perhitungan emisi melibatkan formula yang sederhana: aktivitas x faktor emisi. Faktor tersulitnya adalah menentukan faktor emisi yang tepat dan memperoleh data aktivitas. Sebaiknya perhitungan dilakukan sesegera mungkin setelah data diperoleh. Selain untuk mensegerakan pelaksanaan, juga untuk menjamin bahwa semua data yang diperoleh telah sesuai dengan keperluan perhitungan emisi.

Perhitungan emisi dari sumber area memiliki tingkat kesulitan yang terendah diantara perhitungan dari sumber bergerak dan titik. Tingkat kesulitan pada sumber titik (khususnya sumber industri besar, yaitu petrokimia, pengilangan minyak, pembangkit listrik, pengolahan karet remah) terletak pada pemahaman tentang fasilitas-fasilitas, bahan baku dan proses yang menimbulkan emisi di industri-industri tersebut. Sehingga Tim Penyusun dituntut untuk terus belajar dan mencari referensi mengenai emisi dari sumber-sumber terkait.

Dalam perhitungan emisi dari sumber bergerak, kesulitan tertinggi terletak pada perhitungan emisi dari jalan raya. Permasalahan dalam perhitungan emisi dari sumber bergerak antara lain:

1. Perhitungan emisi dari jalan raya menggunakan perangkat Mobilev. Pada awalnya, kemampuan mengoperasikan perangkat tersebut terbatas karena setelah pelatihan, tidak tersedia pendampingan. Sehingga staf pelaksana melakukan *trial error* sampai akhirnya menguasai pengoperasian perangkat dimaksud. Selain itu, terdapat keterbatasan kapabilitas perangkat

Mobilev karena perangkat tersebut yang diadaptasi untuk negara-negara berkembang masih dalam pengembangan terus menerus.

2. Perhitungan emisi di jalan-jalan yang kecil memerlukan data perkiraan VKT sumber bergerak area. Data-data yang diperlukan untuk itu termasuk survei odometer, jumlah kendaraan aktif yang beroperasi di wilayah Kota Palembang, dan ekonomi bahan bakar rerata per kategori kendaraan. Selanjutnya, perhitungan tersebut perlu divalidasi dengan data konsumsi BBM (data penjualan dari PT. Pertamina). Estimasi emisi di jalan-jalan yang tidak terdapat data *traffic count*-nya ini dilakukan dengan tingkat ketidakpastian yang tinggi karena menggunakan hasil survei yang terbatas dan asumsi-asumsi yang perlu diuji. Namun, Tim Penyusun tidak dapat melakukan uji ketidakpastian tersebut.

Langkah akhir perhitungan adalah memvalidasi hasil perhitungan emisi kepada para pemangku kepentingan yang memiliki kepentingan terhadap hasil perhitungan ini. Dalam pertemuan berikutnya, Tim Penyusun mempresentasikan hasil inventarisasi emisi untuk mendapatkan komentar dari peserta pertemuan. Dengan terjalinnya komunikasi dan hubungan yang baik antara Tim Penyusun dan pemangku kepentingan, hasil perhitungan emisi dapat divalidasi dan dihitung ulang sesuai dengan koreksi data aktivitas yang dilakukan oleh pemilik data. Pembelajaran penting dari proses penyusunan inventarisasi emisi ini adalah bahwa kerjasama yang baik antara Tim Penyusun dan BLH serta para pemangku kepentingan, khususnya pemilik data, diperlukan untuk memastikan inventarisasi emisi mencapai hasil yang diharapkan.

5.1.4 Pembelajaran dan rekomendasi

Inventarisasi emisi merupakan komponen penting dalam pengelolaan kualitas udara perkotaan. Hasil inventarisasi emisi diharapkan menjadi acuan dasar dalam menyusun strategi dan rencana tindak pengendalian pencemaran udara, menetapkan kebijakan dan peraturan perundangan pengelolaan kualitas udara perkotaan, dan evaluasi upaya pengendalian pencemaran udara. Untuk itu, inventarisasi harus dimutakhirkan secara berkala untuk menentukan dampak dari penerapan rencana tindak tersebut. Untuk memastikan keseluruhan proses inventarisasi berlangsung baik, hal-hal berikut ini perlu diperhatikan:

A. Perencanaan inventarisasi dan pembentukan Tim Penyusun

1. Bentuklah tim dengan latar belakang pendidikan yang diperlukan seperti Teknik Lingkungan, Teknik Kimia, Teknik Sipil (khususnya transportasi), Teknik Mesin, dan lain-lain
2. Identifikasi dan diskusikan secara rinci setiap sumber emisi dan sumber datanya
3. Siapkan surat permohonan data yang dilengkapi dengan keterangan data yang diperlukan; jangan lupa sertakan surat pengantar dari pihak-pihak terkait (surat dimasukkan ke dalam amplop dan sertakan bukti tanda terima surat pengantar data)
4. Buatlah surat pengantar permohonan data dan kuesioner sesederhana mungkin. Hindari pemakaian kata-kata atau kalimat yang asing bagi orang awam
5. Hal yang tidak kalah penting, mintalah surat pengantar dari lembaga atau instansi pemerintah yang membina sektor usaha dimana data diperlukan
6. Bila memungkinkan, lakukan perhitungan emisi awal dengan faktor emisi yang dipilih untuk memastikan kebutuhan data aktivitas

B. Pengumpulan data

1. Berpakaian yang rapih dan pantas

2. Berlaku sopan dan ramah terhadap semua pegawai di instansi atau perusahaan tempat kita meminta data. Hal ini sangat penting karena mereka akan menghargai kita apabila kita juga menghargai mereka
3. Perkenalkan diri Anda, jelaskan maksud, tujuan dan manfaat, serta kegiatan inventarisasi emisi ini dengan sesederhana dan sejelas mungkin. Hal ini penting karena inventarisasi emisi merupakan hal yang baru bagi banyak orang dan banyak pihak yang belum memahaminya
4. Sebelum menyerahkan surat permintaan data, jangan lupa untuk menggandakan surat permintaan data, dan mintalah tanda tangan dan nomor kontak pada tanda terima surat yang telah dipersiapkan sebelumnya
5. Beberapa hari setelah penyerahan surat permohonan data, hubungi perusahaan tersebut melalui telepon atau akan lebih baik jika dapat mendatanginya langsung
6. Jika setelah dilakukan langkah-langkah tersebut di atas data belum juga diperoleh, minta bantuan kepada instansi/lembaga terkait (BLH, Dinas Perindustrian dan Perdagangan, PHRI, PERSI, Gapindo, dan lain-lain) untuk melakukan pendekatan-pendekatan lainnya, misalnya melalui hubungan kerja yang telah dibangun sebelumnya antara instansi dan perusahaan

C. Perhitungan dan validasi

1. Setelah data diperoleh, lakukan penyimpanan data dengan rapih dan terstruktur. Ada baiknya, selain disimpan dalam bentuk *hardcopy*, data juga didokumentasikan (di-scan) dan disimpan dalam bentuk *softcopy*
2. Input data ke dalam lembar kerja Excel, dan mulailah melakukan perhitungan beban emisi.
3. Akan lebih baik apabila hasil perhitungan diperiksa oleh staf yang berbeda dalam Tim untuk menjaga keakuratan perhitungan
4. Karena proses pengumpulan data tidak dapat dilakukan dengan cepat, jangan menunggu sampai data selesai terkumpul. Lakukanlah perhitungan beban emisi sesegera mungkin
5. Atur waktu sebaik mungkin, untuk jam dan hari kerja (Senin – Jumat/08:00 – 16:00) digunakan untuk proses pengumpulan data. Dan untuk waktu yang lain dapat digunakan untuk melakukan persiapan surat-menyurat atau melakukan perhitungan
6. Berkonsultasi dengan ahli sesegera mungkin ketika menemukan kesulitan dan perlu melakukan koreksi hasil perhitungan beban emisi
7. Dan terakhir, terus jalin komunikasi dan kerjasama dengan semua pihak, baik itu antar anggota Tim maupun dengan para pemilik data, karena kegiatan ini tidak dapat berjalan dengan baik tanpa dengan dukungan dan partisipasi semua pihak.

5.2 Pengalaman penyusunan inventarisasi emisi di Kota Surakarta

Inventarisasi emisi juga merupakan hal yang baru bagi pemangku kepentingan di Kota Surakarta. Pekerjaan ini menjadi tantangan tersendiri bagi Tim Penyusun Universitas Negeri Surakarta (UNS) terkait dengan pengumpulan data, penggunaan faktor emisi, dan perhitungan beban emisi. Data aktivitas tidak semuanya tersedia pada instansi pemerintah, sektor swasta maupun individu-individu. Untuk itu, setelah mengidentifikasi ketersediaan data sekunder dari berbagai dokumentasi dan sumber data, Tim memutuskan melakukan survei. Sebelumnya, Tim melakukan identifikasi lokasi sumber, misalnya lokasi pedagang kaki lima (PKL) 'kuliner' yang diperkirakan menjadi sumber area yang penting karena jumlahnya yang banyak.

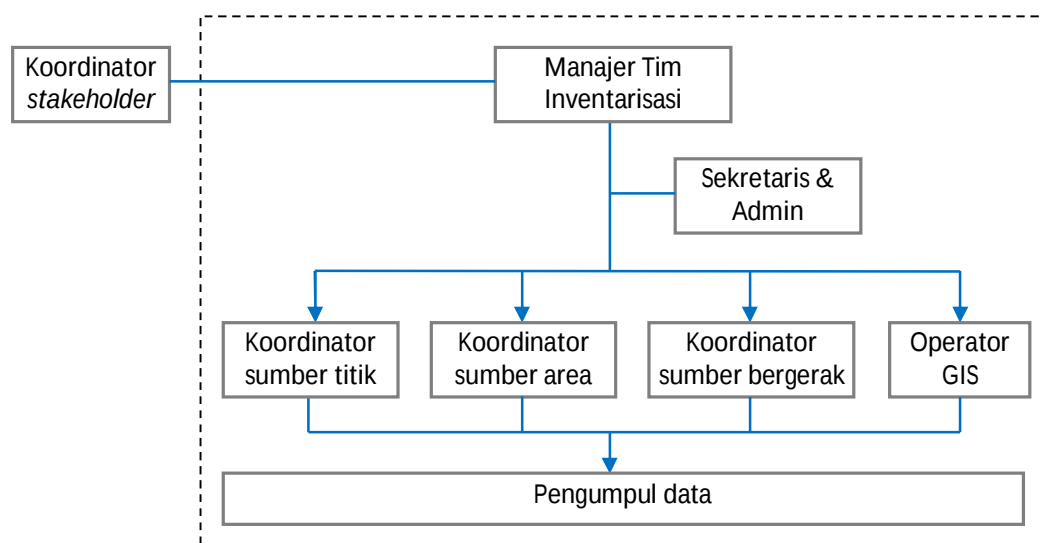
Belajar dari pengalaman inventarisasi emisi di Kota Palembang, Tim UNS menyusun rencana kerja yang rinci dan lengkap dengan tenggat waktu agar pelaksanaan inventarisasi efektif, khususnya pengumpulan data tidak berulang-ulang. Kegiatan inventarisasi dibagi atas tahapan sebagai berikut:

1. Perencanaan dan pembentukan Tim
2. Identifikasi sumber emisi, metode perhitungan, dan kebutuhan data
3. Pengumpulan data
4. Perhitungan dan validasi data dan beban emisi
5. Pelaporan

5.2.1 Perencanaan dan pembentukan Tim

Struktur Tim Penyusun diperlihatkan pada Gambar 14. Koordinator *stakeholder* yang mewakili instansi pemerintah (BLH) berada di luar Tim UNS. Tugasnya adalah berhubungan dengan para pemangku kepentingan dalam perolehan data dan verifikasi; mengkoordinir dukungan dan surat pengantar dari instansi pemerintah; memantau kemajuan pekerjaan; dan membantu menyelesaikan masalah dalam perolehan data.

Pemilihan anggota Tim selain keahlian, komitmen dan ketekunan serta kemampuan kerjasama tim juga menjadi pertimbangan utama. Anggota Tim juga dipilih karena telah saling mengenal dan pernah bekerja bersama sebelumnya. Manajer Tim menegaskan bahwa kekompakan Tim adalah persyaratan penting dalam melaksanakan inventarisasi emisi. Tugas dan tanggung jawab setiap anggota Tim dijelaskan dalam dokumen rencana kerja dan dikomunikasikan kepada seluruh anggota Tim. Namun demikian, terlepas dari tugas dan tanggung jawab masing-masing anggota, sesama anggota tetap saling membantu apabila diperlukan.



Gambar 14 Struktur organisasi Tim Penyusun Inventarisasi Emisi di Kota Surakarta

Manajer Tim bertanggung jawab secara keseluruhan terhadap pelaksanaan inventarisasi emisi; memberikan arahan kepada Tim; memastikan komunikasi dan koordinasi yang baik dengan pemangku kepentingan; bekerja bersama dengan pemangku kepentingan; menyiapkan rencana kerja rinci; mengukur, mengevaluasi dan melaporkan kemajuan dibandingkan dengan rencana kerja; mengkoordinasi dan mengelola kegiatan yang dilaksanakan oleh anggota Tim; mengatasi permasalahan yang muncul akibat pelaksanaan inventarisasi; menyelenggarakan dan memimpin pertemuan rutin Tim.

Koordinator sumber (titik, area, bergerak) bertanggung jawab dalam menentukan faktor emisi dan data aktivitas; menyusun metode dan prosedur inventarisasi emisi; kompilasi dan verifikasi data, perhitungan dan validasi beban emisi dari sumber-sumber emisi yang menjadi tanggung jawabnya; memberikan

masuk ke teknis sesuai dengan bidang keahliannya; memberikan arahan kepada staf pengumpul data; menyusun *template* data dan perhitungan; memecahkan masalah terkait dengan ketersediaan data dibandingkan dengan kebutuhan data untuk menghitung emisi.

Operator GIS bertanggung jawab dalam pengelolaan basis data geospasial; menyiapkan peta digital kota dan jaringan jalan dengan aplikasi GIS; mengelola data input untuk semua sumber dan menghitung dalam platform GIS; menyiapkan presentasi distribusi spasial emisi. Pengumpul data melaksanakan kegiatan lapangan termasuk pengumpulan data, verifikasi, presentasi; mengkoordinasi/melaksanakan survei; membantu dalam perhitungan emisi yang dilakukan oleh Koordinator Sumber (ahli).

Pada awalnya, tingkat pemahaman setiap anggota Tim tentang dasar-dasar, metode perhitungan dan proses inventarisasi emisi berbeda-beda karena inventarisasi emisi merupakan pengetahuan dan pengalaman baru bagi Tim UNS. Untuk itu, pertemuan Tim pada tahap awal dilakukan lebih intensif untuk menyamakan pemahaman termasuk tentang tujuan dan fungsi inventarisasi emisi serta kebutuhan data dan survei jika data tidak tersedia. Beberapa anggota Tim mendapatkan pelatihan inventarisasi emisi sebelumnya, sehingga membantu membangun kapasitas anggota Tim lainnya. Pertemuan rutin Tim dalam membangun kapasitas bersama merupakan salah satu kunci keberhasilan penyusunan inventarisasi emisi di Kota Surakarta.

Peran para pengumpul data/surveyor sangat penting mengingat sebagian data diperoleh melalui survei. Selain itu, ruang lingkup wilayah survei juga cukup luas sehingga diperlukan persiapan yang baik dan ketekunan dalam pelaksanaannya. Jumlah pengumpul data/surveyor dalam Tim adalah 8 orang mahasiswa sarjana strata 1 (S1) yang memiliki kompetensi, ketekunan, dan komitmen. Setelah para surveyor terpilih, mereka mendapatkan arahan dan penjelasan rinci mengenai kegiatan yang akan dilakukan. Ruang lingkup tugas, jangka waktu dan renumerasi Tim survei disepakati sebelum kegiatan dimulai. Wilayah kerja Tim ini dibagi atas 2, yaitu wilayah utara dan selatan Kota Surakarta agar pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu. Pergantian surveyor selama pelaksanaan survei menjadi tanggung jawab anggota Tim survei yang sudah terikat perjanjian.

Komunikasi dan koordinasi dengan BLH Kota Surakarta dibangun oleh Tim Penyusun sejak awal. Hal ini untuk meningkatkan kepemilikan terhadap inventarisasi emisi dan memperkuat kerjasama antara Tim Penyusun dan Pemerintah Kota Surakarta. Penunjukan Koordinator Stakeholder dari BLH Kota Surakarta memperkuat koordinasi antar pemangku kepentingan khususnya pemilik data. Selain itu, keterbukaan masyarakat Surakarta yang responsif terhadap survei juga menyokong keberhasilan pelaksanaan pengumpulan data inventarisasi emisi.

Perencanaan kegiatan inventarisasi meliputi tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan grid peta Kota Surakarta
2. Penentuan tahun dasar inventarisasi emisi
3. Identifikasi sumber emisi dan sumber data
4. Penentuan metodologi perhitungan dan faktor emisi
5. Penyusunan desain survei (setelah identifikasi ketersediaan data)
6. Pembuatan rencana kerja dan jangka waktu
7. Pelaksanaan

5.2.2 Pelaksanaan

Rapat koordinasi

Serangkaian rapat koordinasi dilakukan, dimulai dengan pertemuan *kick-off*. Tim Penyusun memaparkan rencana kerja dan hasil kajian pendahuluan termasuk peta digital kota dan ukuran grid, tahun dasar inventarisasi, identifikasi sumber emisi, metodologi perhitungan dan faktor emisi, dan identifikasi ketersediaan data. Dalam kick-off tersebut yang dihadiri oleh BLH, KLH, ahli dari GIZ, dan instansi pemerintah kota serta asosiasi terkait, disepakati rencana kerja dan hasil kajian pendahuluan serta penetapan tahun dasar (2011), ukuran grid (0,5 km x 0,5 km), pencemar yang diinventarisir (CO, SO₂, NO_x, PM₁₀, HC, CO₂), metoda faktor emisi (CORINAIR dan IPCC), dan komitmen para pemangku kepentingan untuk memberikan akses data.

Identifikasi sumber emisi

Dalam rapat koordinasi dan pertemuan-pertemuan lanjutan serta konsultasi dengan para pemangku kepentingan, identifikasi sumber emisi dan sumber data terus dilakukan.

Sumber titik: pusat perbelanjaan modern (mall), rumah sakit, hotel, industri

Sumber area: SPBU, PKL, restoran, pergudangan, perkantoran, sekolah, perumahan, universitas, konstruksi, bengkel, penggunaan cat, pasar tradisional

Sumber bergerak on-road: lalu lintas jalan raya, parkir, terminal bis

Sumber bergerak non-road: kereta api

Faktor emisi

Setelah mengidentifikasi sumber-sumber emisi, Tim Penyusun menyiapkan daftar faktor emisi yang akan digunakan untuk menghitung beban emisi. Dalam tabel tersebut, dicantumkan referensi faktor emisi, kode faktor emisi, dan keterangan-keterangan lainnya (misal, Tier) untuk memudahkan penelusuran angka faktor emisi. Referensi faktor emisi yang digunakan adalah CORINAIR 2009 dan IPCC 2006. Faktor emisi yang digunakan juga tercantum pada Lampiran.

PERHITUNGAN ASUMSI EMISI KOTA SURAKARTA						
TABEL PENENTUAN METODE PERHITUNGAN DAN EMISSION FACTORS CORINAIR						
KATEGORI (K) SUMBER	ALAT	SPEKTRUM FUEL	EMISSION FACTOR SOURCE	CARBONDIKSID	TABEL	CARBONDIKSID
Bank	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Perumahan	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Sekolah	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Restoran	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Tungku	Arang	Arang	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Grill	Arang	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Rice Cooker	LPG	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	LPG	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Pengisian Bahan Bakar	NA	Var	1.B.2.a Distribution of oil products	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.B.2.a Distribution of oil products	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Universitas	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Alat Lab Mesin	Solar	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Etanol	Etanol	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Perkantoran	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Mart&Minimarket	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Pasar	Kompor Gas	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Tungku	Arang	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Parutan Mesin	Bensin	Bensin	1.A.3.b Road transport GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	Table 3-24 NFR 1.A.3.b.iv	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Gilingan Mesin	Bensin	1.A.3.b Road transport GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	Table 3-24 NFR 1.A.3.b.iv	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Bengkel	Genset	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Bensin	Bensin	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Las	LPG	LPG	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.b Residential plants	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Oven	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
Kompresor	Solar	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional
	Solar	Solar	1.A.4 Small combustion GB 2009	IPCC Guidelines Ch 2 Stationary Combustion	1.A.4.a Commercial/institutional	Table 2.3 EF stationary comb in manufacturing/institutional

Gambar 15 Daftar faktor emisi dalam Excel

Satuan faktor emisi yang berbasis bahan bakar umumnya menggunakan satuan massa per satuan energi. Sehingga, data aktivitas (konsumsi bahan bakar) harus dikonversikan ke dalam satuan energi (Joule) dengan menggunakan faktor kalor untuk setiap massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik bahan bakar. Dalam inventarisasi emisi Kota Surakarta, Tim Penyusun menggunakan nilai kalor standar internasional karena kesulitan mendapatkan nilai kalor bahan bakar di Indonesia yang konsisten. Nilai kalor berbeda antara satu instansi dan instansi lainnya.

Identifikasi sumber data

Instansi pemerintah adalah sumber data yang utama karena pemerintah mengeluarkan izin, melakukan pembinaan, pemantauan dan pengawasan kegiatan-kegiatan. Sebelum memutuskan apakah Tim perlu melakukan survei atau pengukuran (misal, pencacahan lalu lintas), Tim mengidentifikasi ketersediaan data di instansi-instansi pemerintah secara menyeluruh. Pertemuan koordinasi berkala dengan para pemangku kepentingan khususnya instansi pemerintah kota terbukti efektif dalam membantu mengidentifikasi ketersediaan data dan pengumpulannya. Selain itu, dalam setiap rapat koordinasi, hambatan-hambatan dalam pengumpulan data disampaikan kepada instansi-instansi terkait. Berikut ini adalah data-data yang diperoleh dari instansi pemerintah:

- direktori hotel dan data pengelolaan dan pemantauan lingkungannya dari BLH Kota Surakarta;
- direktori rumah sakit dan data aktivitasnya dari Dinas Kesehatan Kota Surakarta;
- data penjualan bahan bakar dari Asosiasi Hiswana Migas yang difasilitasi oleh Dinas Perindustrian dan Perdagangan;
- data restoran dari Dinas Pariwisata;
- data awal PKL dari Dinas Pengelolaan Pasar;
- data volume lalu lintas dari Dinas Perhubungan, Komunikasi dan Informasi, dan tesis mahasiswa UNS;
- data parkir dari UPTD Parkir;
- data jumlah angkutan umum yang masuk keluar terminal diperoleh dari UPTD Terminal;
- data industri besar dari dokumen PROPER melalui BLH;
- data industri menengah dan kecil dari Dinas Koperasi dan UMKM;
- data konstruksi (luas lantai bangunan) dari Dinas Tata Ruang Kota.

Pengumpulan data

Setelah identifikasi sumber emisi dan sumber data, Tim Penyusun melakukan pengumpulan data. Terlebih dahulu deksripsi data yang diperlukan disusun dalam format diantaranya seperti terdapat pada Lampiran. Jadwal pengumpulan data, pembagian tugas anggota Tim dan target perolehan data di tetapkan secara ketat namun realistis dan terukur. Pengumpulan data berlangsung intensif selama 2 minggu pertama, mulai dari jam 08.00 hingga 16.00. Pada hari Jumat, evaluasi dilakukan bersama untuk membahas kemajuan pekerjaan dan memecahkan permasalahan-permasalahan yang dihadapi.

Surat permintaan data diperoleh dari BLH Kota Surakarta. Surat dari pemerintah ini penting karena perusahaan-perusahaan umumnya bersedia membagi data mereka jika penggunaan data tersebut diketahui dan didukung oleh pemerintah serta diperlukan untuk kepentingan pemerintah pula. Selain surat pengantar, pengumpul data juga harus berkomunikasi dengan baik dengan pemilik data. Cara informal dalam pengumpulan data juga dilakukan oleh Tim Penyusun, misalnya melalui hubungan pribadi dengan pemilik data bersangkutan. Tekun, fokus, serius dan tidak mudah menyerah dalam pengumpulan data merupakan faktor penentu keberhasilan. Pengumpulan data kadang tidak dapat tercapai dalam satu kali pertemuan melainkan beberapa kali. Kadang pula, anggota Tim senior ikut terlibat langsung dalam pengumpulan data terutama bertemu dengan pimpinan institusi pemilik data.

Perlengkapan

Tim menyiapkan perlengkapan-perengkapan untuk keperluan pengumpulan data/survei, seperti:

1. surat pengantar
2. lembar kuesioner/daftar pertanyaan
3. alat pengukur posisi geografis (GPS)
4. kartu identitas Tim IE Kota Surakarta
5. rompi (untuk survei lapangan, khususnya identifikasi sumber area seperti PKL)



Gambar 16 Atribut (rompi) survei dan kartu identitas Tim Inventarisasi Emisi Kota Surakarta

Foto: Widhi Himawan

Pemeriksaan data sekunder

Segara setelah diperoleh, data sekunder kemudian diperiksa. Tidak semuanya mengandung informasi yang diperlukan untuk menghitung emisi. Misalnya, di dalam dokumen data PKL tidak terdapat lokasi PKL, jenis dan konsumsi bahan bakar, jumlah keluaran usaha PKL. Demikian pula halnya dengan data hotel, restoran, perbankan dan bengkel, pergudangan, sekolah, mall, industri. Untuk itu, Tim Penyusun membuat catatan data aktivitas yang harus diperoleh melalui survei.

Pelaksanaan survei

Tim Penyusun memutuskan melaksanakan survei pendahuluan untuk sumber PKL, restoran, perbankan, dan bengkel cat mobil. Tim survei yang telah terbagi dalam 2 wilayah kerja (utara dan selatan) menyisir jalan-jalan pada setiap grid dan mencatat jumlah PKL dan jenis bahan bakarnya, jumlah dan jenis bengkel, dan lokasi bank. Survei lokasi ini diselesaikan dalam waktu seminggu dengan menempuh jarak perjalanan 400 km dengan sepeda motor. Tim berhasil menyajikan data lengkap lokasi PKL, bengkel, rumah makan, dan perbankan di Kota Surakarta.

Setelah lokasi sumber teridentifikasi, selanjutnya Tim melakukan pengumpulan data dengan metoda sampling. Kesulitan-kesulitan dalam survei dihadapi oleh anggota Tim survei, mulai dari responden yang tidak bersedia diwawancara, responden yang tidak memberikan jawaban atas kuesioner yang ditinggalkan beberapa hari sebelumnya, hingga responden yang langsung menolak. Pada pertemuan evaluasi Tim, dibahas kendala-kendala tersebut dan diketahui bahwa penolakan responden disebabkan beberapa hal, antara lain: masalah komunikasi (tidak disampaikannya dengan jelas maksud dan tujuan survei dan penggunaan data survei) dan penampilan fisik anggota Tim (tidak memakai pakaian yang rapih dan pantas). Responden umumnya menganggap survei adalah untuk keperluan skripsi mahasiswa. Setelah dilakukan koreksi pelaksanaan survei, pada pekan-pekan selanjutnya survei berlangsung lebih lancar.

Waktu yang dibutuhkan untuk survei ternyata lebih lama dari yang diperkirakan semula. Hal ini karena: Tim harus menunggu lebih lama untuk memperoleh respons dan kadang individu yang berwenang melakukan wawancara tidak berada di tempat pada waktu yang dijanjikan. Selain itu, pada kondisi-kondisi tertentu Tim langsung datang ke lokasi tanpa membuat perjanjian waktu, sehingga responden tidak dapat menyiapkan data yang diperlukan segera. Pada situasi lainnya, Tim juga menemukan beberapa narasumber tidak tahu menjawab kuesioner. Dalam hal ini, Tim melakukan pengamatan langsung pada mesin-mesin penghasil emisi yang digunakan. Untuk beberapa sumber yang membutuhkan izin khusus hingga tingkat regional seperti data perkeretaapian, stasiun-stasiun di Kota Surakarta mewajibkan Tim terlebih dahulu mendapatkan izin dari Kepala DAOP VI di Yogyakarta untuk mengambil data dan informasi.

Boks 5 Kisah pasukan rompi hijau:

Mobilitas tinggi Tim survei pada awal pelaksanaan survei memunculkan cerita rompi hijau di masyarakat. Seringnya Tim yang menggunakan rompi hijau ini lalu lalang membuat warga mengetahui kegiatan yang dilakukan oleh Tim ('pasukan rompi hijau'). Kondisi ini juga diperkuat dengan publikasi kegiatan di media lokal oleh Manajer Tim Penyusun. Publikasi dimaksudkan bukan untuk memberi popularitas Tim, namun untuk kemudahan dan kelancaran kegiatan.



Kunjungan ke hotel berbintang



Tim survei menyusuri Pasar Jongke



Di industri menengah, pabrik batik cap



Salah satu obyek survei: bengkel

Gambar 17 Kegiatan survei Tim Inventarisasi Emisi Kota Surakarta

Foto: Widhi Himawan

Pengalaman Tim menunjukkan bahwa survei terhadap pelaku usaha skala rumah tangga dan kecil lebih mudah dibandingkan terhadap industri besar. Industri besar memilih menjaga kerahasiaan data mereka. Sementara, pelaku usaha rumah tangga dan kecil lebih terbuka. Untuk PKL, kerumitan yang dihadapi berbeda. Hal ini karena jumlahnya yang banyak dan ragamnya berbeda pada pagi dan malam hari. Dalam inventarisasi emisi Kota Surakarta, PKL diperkirakan sebagai sumber emisi penting karena jumlah dan ragamnya banyak walaupun intensitas emisi per individu kecil. PKL kuliner merupakan salah satu wisata budaya Kota Surakarta. Fasilitas pengemisi di PKL meliputi kompor gas, tungku dan pemanggang arang. Metode samplingnya adalah acak terstratifikasi pada siang dan malam hari.

Selama pelaksanaan survei, Tim juga menemukan sumber emisi potensial lain seperti minimarket dan menara pemancar telekomunikasi yang memiliki fasilitas pengemisi, yaitu genset. Data lokasi menara pemancar diperoleh dari Dishubkominfo. Selain itu, Tim juga mengidentifikasi penggunaan kayu bakar dan arang di lokasi-lokasi tertentu. Secara keseluruhan, pelaksanaan survei mencapai tujuannya, yaitu diperolehnya data-data aktivitas sumber-sumber emisi dalam waktu 3 bulan. Keberhasilan ini juga dipengaruhi oleh kinerja para anggota Tim survei yang memahami dasar-dasar inventarisasi emisi, data aktivitas yang diperlukan, memiliki komunikasi yang baik, berpenampilan rapih dan percaya diri, dan memperoleh arahan dari Manajer Tim.

Konversi satuan

Dalam pelaksanaan survei, beberapa responden memberikan data dalam satuan kualitatif, misalnya konsumsi LPG dalam 2 tabung ukuran sedang atau konsumsi solar dalam 1 jerigen kecil. Untuk itu, Tim survei harus langsung mengkonversikan ke dalam satuan internasional (kg untuk LPG dan liter untuk bahan bakar minyak). Pada beberapa kasus, PKL menyebutkan konsumsi arang sebanyak 2 kantong plastik besar atau pelaku industri rumah tangga menyebutkan jumlah kayu bakar sebanyak 3 gerobak. Dalam hal ini, Tim survei harus dapat memperkirakan ukuran kantong plastik dan gerobak tersebut.

Boks 6 Faktor keberhasilan pengumpulan data di Kota Surakarta:

1. Perencanaan yang rinci
2. Jadwal yang realistis dengan target terukur
3. Deskripsi kebutuhan data yang rinci
4. Evaluasi pelaksanaan secara rutin dan pemecahan masalah
5. Koordinasi dan komunikasi dengan BLH Kota Surakarta dan instansi terkait lainnya
6. Kepemimpinan Manajer dan anggota senior Tim Penyusun
7. Kerjasama antar anggota Tim
8. Pemahaman materi inventarisasi emisi dan data aktivitas sumber emisi
9. Anggota Tim yang tekun, fokus, serius, tidak mudah menyerah, saling mendukung
10. Komunikasi dengan pemilik data/pemangku kepentingan
11. Pengelolaan anggaran secara efektif

Pengelolaan data

Proses selanjutnya setelah data terkumpul adalah tabulasi data ke dalam aplikasi Excel. Pada awalnya tabulasi data berlangsung lambat karena Tim survei mengalami kelelahan setelah pelaksanaan survei yang intensif. Akibatnya, pengolahan dan analisis data serta perhitungan emisi oleh Koordinator Sumber tertunda. Setelah dilakukan evaluasi dan pemecahan masalah, Tim mengambil keputusan bahwa pengumpulan data dan tabulasinya dilakukan secara paralel. Segera setelah setiap data terkumpul, tabulasi dan analisis data serta perhitungan emisi awal dilakukan.

The screenshot shows a complex Excel spreadsheet with multiple columns for different pollutants: NOx, SOx, NMVOC, PM10, CO, and CO2. Each pollutant has a 'Final Value' column. The spreadsheet is divided into several sections, with some rows highlighted in blue. A diagram with labels 'c' and 'd' is overlaid on the spreadsheet, indicating specific calculation steps. Label 'c' points to a cell in the NMVOC section, and label 'd' points to a cell in the CO section.

Gambar 20 Format perhitungan emisi dalam aplikasi Excel (2)

Catatan: Langkah 2: Menghitung emisi dengan mengalikan data aktivitas dan faktor emisi (b), konversi volume/jumlah bahan bakar ke Gigajoule (c), dan hasil perhitungan emisi dalam ton per tahun (d)

The screenshot shows a simplified Excel spreadsheet with columns for CO, Final Value, CO2, Final Value, and Keterangan. The spreadsheet is divided into several sections, with some rows highlighted in green. A diagram with label 'e' is overlaid on the spreadsheet, indicating a specific calculation step. Label 'e' points to a cell in the CO2 section.

Gambar 21 Format perhitungan emisi dalam aplikasi Excel (3)

Catatan: Langkah 3: Perhitungan emisi akhir (e)

Kesulitan yang dihadapi Tim Penyusun dalam perhitungan emisi adalah menentukan faktor emisi dan konversi satuan. Untuk menentukan faktor emisi terlebih dahulu Tim memilih Tier-nya. Pada awalnya, Tim mengutamakan penggunaan faktor emisi Tier 2 atau Tier 3, namun data aktivitas yang diperoleh adalah konsumsi bahan bakar, sehingga sebagian besar perhitungan emisi menggunakan faktor emisi Tier 1 kecuali untuk sumber bergerak (Tier 3).

Perhitungan emisi sumber bergerak on-road

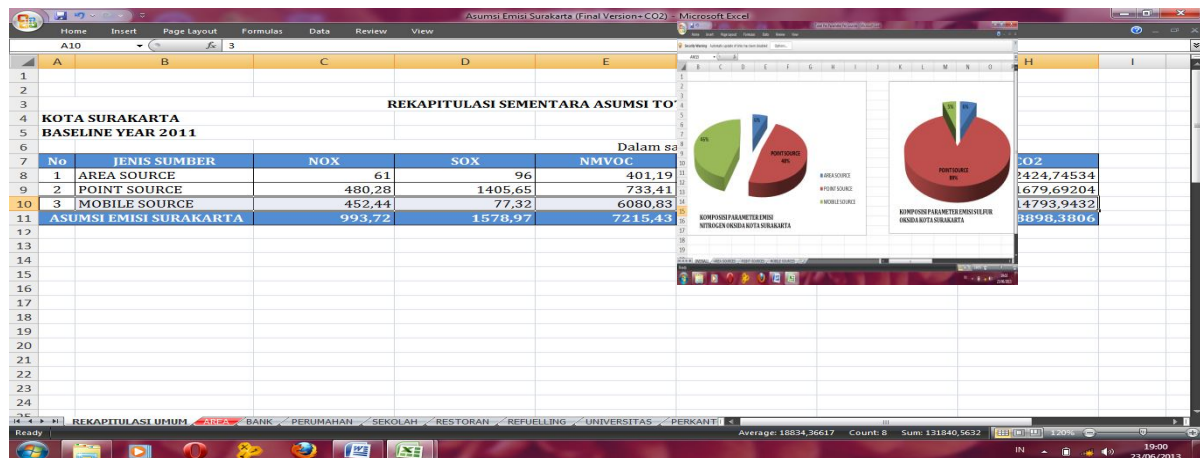
Tim Penyusun menggunakan perangkat Mobilev (Tier 3) untuk menghitung emisi sumber bergerak *on-road*. Sebelumnya, beberapa anggota Tim memperoleh pelatihan Mobilev dari GIZ CASC selama 2 hari untuk dapat mengoperasikan Mobilev. Penggunaan model emisi ini merupakan hal yang baru bagi Tim IE Kota Surakarta, sehingga penanganannya pun dilakukan terpisah dan terpusat. Perangkat Mobilev membantu dalam perhitungan emisi, namun fitur-fiturnya masih terbatas karena perangkat ini masih

dalam pengembangan untuk konteks negara-negara berkembang di Asia. Beberapa parameter masih mengacu pada kondisi di Eropa seperti temperatur, kecepatan, komposisi kendaraan. Untuk itu, nilai *default* digunakan oleh Tim. Khusus untuk komposisi kendaraan, Tim mengacu pada kategori yang digunakan SAMSAT. Komposisi tersebut dibagi berdasarkan tahun pembuatan, yaitu sebelum 2007 dan tahun 2007 ke atas. Pembagian ini mengikuti pengelompokan teknologi kendaraan standar EURO II yang diberlakukan di Indonesia mulai 2007.

Data volume lalu lintas pada 25 jalan utama diperoleh dari Dishubkominfo berdasarkan pemantauan CCTV di simpang-simpang jalan. Tambahan data lainnya diperoleh dari studi transportasi yang dilakukan mahasiswa UNS. Agar 70% dari total panjang jalan utama di Kota Surakarta tercakup dalam perhitungan di Mobilev, Tim Penyusun melakukan estimasi volume lalu lintas pada jalan-jalan yang datanya tidak tersedia dengan cara replikasi data dari jalan yang memiliki karakteristik yang sama. Untuk VKT kendaraan bus dan truk, seluruhnya tercakup dalam perhitungan emisi jalan utama, sehingga tidak terdistribusi ke jalan-jalan kecil. Sedangkan VKT mobil penumpang, sepeda motor, dan pick-up terdistribusi ke jalan-jalan kecil sebanyak 20-30% dari total VKT masing-masing kategori.

Presentasi hasil awal dan verifikasi

Hasil perhitungan emisi awal dipresentasikan dalam rapat koordinasi pemangku kepentingan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan masukan dan koreksi atas hasil perhitungan. Selain dalam bentuk tabel, pangsa emisi dari 3 kategori sumber emisi juga diperlihatkan dalam bentuk *pie charts*.



Gambar 22 Contoh rekapitulasi emisi dari 3 kategori sumber emisi dan kontribusi masing-masing kategori sumber terhadap total beban emisi

Pada rapat tersebut yang diikuti dengan pertemuan-pertemuan lanjutan, Tim Penyusun melakukan:

1. verifikasi data kepada para pemilik data untuk memastikan keakuratan dan ketepatan data
2. evaluasi dan validasi hasil perhitungan emisi bersama dengan ahli dari KLH/GIZ

Beberapa temuan yang harus dikoreksi, antara lain: konversi satuan, emisi dari industri besar yang belum memperhitungkan efisiensi alat pengendali emisi, validasi jumlah bahan bakar hasil perhitungan dengan data penjualan bahan bakar (khususnya untuk sumber area), dan analisis ketidakpastian VKT sumber bergerak *on-road* hasil perhitungan.

5.2.4 Pembelajaran dan rekomendasi

Para pemangku kepentingan di Kota Surakarta (BLH dan instansi terkait lainnya⁶, Tim Penyusun UNS, asosiasi, para pelaku usaha) menyatakan bahwa inventarisasi emisi merupakan hal yang baru yang diharapkan memberikan manfaat bagi pembangunan berkelanjutan. Bagi pemerintah, inventarisasi emisi akan digunakan sebagai landasan kebijakan pengelolaan kualitas udara perkotaan. Tim IE UNS mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dari pelaksanaan inventarisasi emisi selama 6 bulan. Pengalaman tersebut tidak terbatas pada pengumpulan data dan pelaksanaan survei serta perhitungan emisi termasuk pengoperasian Mobilev, namun juga manajemen sumber daya, komunikasi dan koordinasi. Bagi Tim UNS pengalaman melaksanakan inventarisasi emisi akan menambah bidang keahlian lembaga sehingga di masa mendatang UNS dapat membantu memutakhirkan inventarisasi emisi Kota Surakarta dan membagi pengetahuan dan pengalamannya kepada pemangku kepentingan lainnya di Kota Surakarta maupun di daerah-daerah lainnya.

Berikut ini adalah pembelajaran yang diperoleh Tim Penyusun:

1. Kerjasama tim

Inventarisasi emisi adalah kegiatan multi-disiplin dan multi-sektoral yang melibatkan individu-individu dari beberapa latar belakang keilmuan. Individu-individu tersebut harus memiliki kemampuan bekerjasama dalam satu tim selain kemampuan individu seperti analisis kritis, komunikasi efektif, dan ketekunan. Manajer Tim harus memiliki kepemimpinan yang kuat, memberikan arahan kepada anggota Tim, menjaga motivasi dan kekompakan Tim.

2. Delegasi tugas dan tanggung jawab

Setiap anggota Tim Penyusun harus memiliki tugas dan tanggung jawab yang rinci dengan keluaran yang terukur. Tugas dan tanggung jawab tersebut tertuang dalam deksripsi tugas dan tanggung jawab yang merupakan bagian dari kesepakatan kerja. Manajer Tim harus mendelegasikan pekerjaan ke setiap anggota Tim sesuai dengan tugas dan tanggung jawabnya dan memfasilitasi kebutuhan-kebutuhan anggota Tim.

3. Hubungan dengan instansi pemerintah

Pelaksanaan inventarisasi emisi memerlukan komitmen, keikutsertaan dan kontribusi berbagai pihak termasuk instansi pemerintah, pelaku usaha, asosiasi, dan masyarakat. Tim Penyusun IE merupakan bagian dari pemangku kepentingan IE secara keseluruhan yang tidak bisa bekerja sendiri. Tim Penyusun harus menjaga hubungan baik dengan pemangku kepentingan, terutama instansi pemerintah yang memiliki tugas pokok dan fungsi inventarisasi emisi, yaitu Badan Lingkungan Hidup. BLH mengkoordinasikan instansi-instansi lainnya dan memfasilitasi akses data ke sektor swasta

4. Perencanaan dan evaluasi

Proses inventarisasi emisi yang efektif ditentukan oleh perencanaan yang rinci dan lengkap. Selama pelaksanaan kegiatan, Tim Penyusun harus melakukan evaluasi secara rutin untuk memantau kemajuan kegiatan dan memecahkan masalah-masalah yang dihadapi. Perubahan rencana dapat saja terjadi ditengah proses karena inventarisasi ini merupakan hal yang baru sehingga Tim Penyusun kadang melakukan pendekatan yang berbeda. Namun, dengan evaluasi

⁶ Disperindag, Dishubkominfo, Dinkes, Disparbud, BPS, Samsat, DTRK, Dinas Koperasi dan UMKM, Dinas Pengelolaan Pasar, Bappeda, dan lain-lain

rutin Tim akan dapat mencegah terjadinya pengulangan pekerjaan atau perubahan yang memerlukan biaya besar selama dan setelah kegiatan inventarisasi berlangsung.

5. Komunikasi pemangku kepentingan

Keberhasilan memperoleh data aktivitas juga dipengaruhi oleh kemampuan berkomunikasi secara efektif dengan para pemilik data. Tim Penyusun IE harus memiliki strategi komunikasi untuk mencapai tujuan, yaitu membuat pemilik data meyakini pentingnya inventarisasi emisi dan memberikan akses data yang diperlukan. Berkomunikasi dengan pelaku usaha mikro (misal, PKL) dan pelaku usaha industri besar akan berbeda. Terhadap PKL, Tim mengutamakan pendekatan kekeluargaan tanpa memperlihatkan formalitas. Sedangkan terhadap sektor swasta besar, pendekatannya lebih resmi dengan penampilan rapih.

Berdasarkan pengalaman dan pembelajaran dalam penyusunan inventarisasi emisi, Tim Penyusun IE UNS memberikan rekomendasi sebagai berikut:

1. Diseminasi informasi tentang perkembangan kegiatan inventarisasi emisi melalui media komunikasi yang tersedia, misal media sosial, buletin, kolom berita untuk memperkenalkan inventarisasi emisi kepada masyarakat
2. Pemberian akses publik seluas-luasnya terhadap data aktivitas untuk perhitungan emisi
3. Penyusunan sistem basis data dan memusatkan pengelolaannya di suatu instansi untuk memudahkan pemutakhiran data inventarisasi di masa mendatang
4. Dalam jangka panjang, pembuatan aplikasi perhitungan emisi yang sesuai dengan kondisi di Indonesia dengan data *default* Indonesia
5. Penyiapan pedoman teknis penyusunan inventarisasi emisi untuk memudahkan pelaksanaan inventarisasi emisi di daerah-daerah lain
6. Penyediaan pusat informasi inventarisasi emisi di Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- Asif, F. (1993). Automotive emissions in developing countries-relative implications for global warming, acidification and urban air quality. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 27, 167-186.
- Babcock, Jr., L.R., Nagda, N.L., Koval, E.J., & Allen, R.J. (1975). Land-use aspects of air quality management. *The Science of the Total Environment*, 4, 63-77.
- Baldasano, J.M., Valera, E., & Jimenez, P. (2003). Air quality data from large cities. *The Science of the Total Environment*, 307, 141-165.
- Balenovic, M., Edwards, J., & Backx, T. (2006). Vehicle application of model-based catalyst control. *Control Engineering Practice*, 14, 223-233.
- Boardman, A.E., Greenberg, D.H., Vining, A.R., & Weimer, D.L. (1996). *Cost benefit analysis: Concepts and practice*. New Jersey, USA: Prentice-Hall, Inc.
- Bond, T.C., Streets, D.G., Yarber, K.F., Nelson, S.M., Woo, J., & Klimont, Z. (2004). A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. *Journal of Geophysical Research*, 109, D14203.
- Cheremisinoff, N.P. (2002). *Handbook of air pollution and control*. USA: Elsevier Science.
- Davis, W.T., Herrick, T.J., Noll, K., Pilat, M., McKenna, J.D., & Turner, J.H. (2000). Control of particulate matter. In T.D. Wayne (Ed.), *Air pollution engineering manual* (2nd ed.). New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Delucchi, M.A., Greene, D.L., Wang, M.Q. (1994). Motor-vehicle fuel economy: The forgotten hydrocarbon control strategy? *Transportation Research Part A: policy and practice*, 28, 223-244.
- European Environment Agency. (2009). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2009 [Electronic version].
- European Monitoring and Evaluation Program (EMEP)/ Coordination Information on the Environment in the European Community-Air (CORINAIR) [Uni Eropa]
- Faiz, A., Weaver, C.S., & Walsh, M.P. (1996). *Air pollution from motor vehicles: standards and technologies for controlling emissions*. Washington, DC: World Bank.
- Hare, C.T. (1986). The effects of diesel fuel properties on particulate emissions. In S.D Lee, T. Schneider, L.D. Grant, & P.J. Verkerk, (Eds.), *Aerosols: Research, risk assessment and control strategies* (pp. 501-514). Chelsea, MI: Lewis Publisher.
- Harrison, R.M., & Perry, R. (1986). *Handbook of air pollution analysis* (2nd ed.). New York: Chapman and Hall Ltd.
- Indonesia. Directorate General of Electricity and Energy Development. (2003). *Statistics of electricity and energy 2002*. Jakarta, Indonesia: Ministry of Mining & Mineral Resources.
- Indonesia. Directorate General of Oil and Gas. (2002). Indonesia energy balance 2000. Jakarta, Indonesia: Ministry of Mining & Mineral Resources.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [Perserikatan Bangsa Bangsa].
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2009). *Naskah Akademis 'Penyusunan Petunjuk Teknis Perkiraan Beban Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor di Indonesia'*. Volume 2: Uji Coba Perhitungan.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. (2009). *Naskah Akademis 'Penyusunan Petunjuk Teknis Perkiraan Beban Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor di Indonesia'*. Volume 3: Prosedur Perkiraan Beban Pencemar Udara.
- U.S.EPA. (1996). *Emission Inventory Improvement Program: Preferred and alternative methods for gathering and locating specific emission inventory data*. Washington, DC: U.S.EPA.
- UNFCCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (1996). *Revised 1996 guidelines for national*

greenhouse gases inventories [Electronic version]. Retrieved March 12, 2002, from <http://www.ipcc.ch/pub/reports>

Winarto, W. (1989). *Contributions to emissions of gases and particulates by the combustion of fuels by industry, motor vehicles, household and waste incineration in Jakarta: An excerpt from NILU and Inst.* Jakarta, Indonesia: Institut Teknologi Bandung & World Bank.

World Bank. (1995). *The industrial pollution projection system* (WPS 1431). Washington, DC: World Bank.

LAMPIRAN

Lampiran 1: DAFTAR FAKTOR EMISI

FAKTOR EMISI SUMBER TITIK

Pembakaran sampah perkotaan dengan insinerasi

	NO _x	CO	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	1,8	0,7	0,02	0,4	0,23	kg/ton sampah
Tier-2	1,8	0,7	0,02	1,7	13,70	kg/ton sampah

Sumber: Tier-1 EF for Sumber category 6.C.c Municipal waste incineration

Pembakaran sampah perkotaan dengan open burning

	NO _x	CO	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	3	42	3,34	0,5	8	kg/ton sampah

Sumber: Tier-1 EF for Sumber category 6.C.c Municipal waste incineration

Emisi CO₂ dari pembakaran sampah sangat tergantung dari komposisi sampah tersebut, oleh karena itu IPCC (2006) membuat nilai default dari perkiraan kandungan karbon setiap kategori sampah sebagai berikut:

Jenis Sampah	Faktor emisi CO ₂ (kg/Gg sampah)
Makanan	0,323
Kertas	0,009
Plastik	1,595
Kayu	0,904
Tekstil	1,595
Karet	0,239
Lainnya	0,239

Sumber: IPCC GHG Inventory Guidelines, 2006

Pembakaran jenazah di krematorium

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1 (emisi dari pembakaran jenazah)	0,309	0,141	-	0,013	0,544	-	kg/jenazah
Tier-1 (emisi dari pembakaran bahan bakar)	100	40	74.100	10	16,24	21,5	g/GJ

Sumber: Tier-1 EF for Sumber category 6.C.d, cremation of human bodies

Boiler berbahan bakar gas

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	70	25	69,4	2,5	0,5	0,5	g/GJ

Sumber: Tier-1 EF for NFR Sumber category 1.A.4.a/c, 1.A.5.a using using gaseous fuels

Boiler berbahan bakar cair

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	100	40	74,1	10	140	21,5	g/GJ

Sumber: Tier-1 EF for NFR Sumber category 1.A.4.a/c, 1.A.5.a using liquid fuels

Pembangkit berbahan bakar *hard coal*

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	310	150		1,2	820	20	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using hard coal

Pembangkit berbahan bakar brown coal

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	360	113		1,7	820	20	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using hard coal

Pembangkit berbahan bakar gas alam

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	89	39		1,5	0,3	0,9	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using natural gas

Pembangkit berbahan bakar *derived gas*

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	140	10		2,5	0,3	5	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using derived gas

Pembangkit berbahan bakar *heavy fuel oil*

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	215	5		0.8	485	18	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using heavy fuel oil

Pembangkit berbahan bakar *other liquid fuels*

Polutan	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	180	15		0.8	460	2	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using other liquid fuels

Pembangkit berbahan bakar biomassa

	NO _x	CO	CO ₂	NMVOC	SO _x	PM ₁₀	Keterangan
Tier-1	211	258		7.3	11	38	g/GJ

Sumber: EF for Sumber category 1.A.1.a using biomass

Proses industri mineral

*Default emission factors for industrial process emissions
(Mineral products)*

Sub-sector/Process	Emission factors (kg per tonne product output)						
	SO ₂	NO _x	CO	NMVOC	NH ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Mineral products (ISIC Division 26)							
Cement production:							
Wet process kiln (uncontrolled)	0.3 ^a	NA	NA	NA	NA	16 ^b	4.64 ^b
Wet process kiln with ESP	0.3 ^a	NA	NA	NA	NA	0.33 ^b	0.25 ^b
Dry process kiln with fabric filter	0.3 ^a	NA	NA	NA	NA	0.084 ^b	0.045 ^b
Lime production							
Coal-fired rotary kiln (uncontrolled)	NA	NA	NA	NA	NA	22 ^b	2.57 ^b
Coal-fired rotary kiln (with ESP)	NA	NA	NA	NA	NA	2.2 ^b	0.62 ^b
Asphalt roofing production	NA	NA	0.0095 ^c	0.046 ^c	NA	0.6 ^c	-
Asphalt blowing	NA	NA	0.014 ^b	0.66 ^d	NA	0.33 ^e	-
Road paving:							
Asphalt plant - Batch Mix Hot Mix, (uncontrolled)	NA	NA	NA	0.018 ^b	NA	2.25 ^b	0.14 ^b
Asphalt plant- Batch Mix Hot Mix, (fabric filter PM control)	NA	NA	NA	0.018 ^b	NA	0.0135 ^b	0.0042 ^b
Asphalt plant -Drum Mix Hot Mix, (uncontrolled)	NA	NA	NA	0.016 ^b	NA	3.25 ^b	0.75 ^b
Asphalt plant - Drum Mix Hot Mix, (fabric filter PM control)	NA	NA	NA	0.016 ^b	NA	0.0115 ^b	0.0015 ^b
Liquefied asphalt - rapid cure (RC)	NA	NA	NA	170 ^f	NA	NA	NA
Liquefied asphalt -medium cure (MC)	NA	NA	NA	140 ^f	NA	NA	NA
Liquefied asphalt - slow cure (SC)	NA	NA	NA	50 ^f	NA	NA	NA
Brick manufacturing							
Grinding and screening (dry material; uncontrolled)	NA	NA	NA	NA	NA	0.26 ^b	

Sumber : The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

Proses industri kimia

Sub-sector/Process	Emission factors (kg per tonne output)						
	SO ₂	NO _x	CO	NMVOC	NH ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Chemical industry (ISIC Division 24)							
Ammonia	0.03 ^a	NA	7.9 ^a	4.7 ^b	2.1 ^a	NA	NA
Nitric acid	NA	12 ^c	NA	NA	0.01 ^d	NA	NA
Adipic acid	NA	8.1 ^a	34.4 ^a	9 ^a	NA	0.5 ^{a,j}	-
Carbon black	3.1 ^e	0.4 ^e	10 ^e	40 ^e	NA	6.56 ^{a,j}	-
Urea (uncontrolled)	NA	NA	NA	NA	11.8 ^f	125.6 ^f	-
Urea (wet scrubber)	NA	NA	NA	NA	11.8 ^f	0.71 ^f	-
Ammonium nitrate	NA	NA	NA	NA	29 – 63 ^g	4.7-9.0 ^{g,j}	-
Ammonium phosphate	0.04 ^h	NA	NA	NA	0.07 ^h	0.34 ^{h,j}	-
Sulfuric acid	0 – 48 ⁱ	NA	NA	NA	NA	NA	-
Titanium dioxide	14.6 ^e	NA	NA	NA	NA	-	-
Other (user specified)							

Sumber : The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

Proses industri logam dan kertas/pengolahan kertas

Sub-sector/Process	Emission factors (kg per tonne output)						
	SO ₂	NO _x	CO	NM VOC	NH ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Metal production (ISIC Division 27)							
Pig iron production	3 ^a	0.076 ^d	1.34 ^c	0.12 ^c	NA	0.05 ⁱ	-
Aluminum production	15.1 ^e	2.15 ^e	135 ^d	0.02 ^d	NA	47 ^b	-
Copper smelting (primary)	2120 ^f	NA	NA	0.03 ^d	NA	230 ^f	193 ^f
Lead smelting (primary)	320 ^g	NA	NA	NA	NA	0.43 ^k	-
Lead smelting (secondary)	40 ^h	NA	NA	NA	NA	162 ^h	-
Zinc smelting (primary)	1000 ^g	NA	NA	NA	NA	293 ^j	-
Pulp and Paper Industries (ISIC Division 15)							
Kraft or Alkaline soda pulping	3.8 ^l	1.5 ^m	5.6 ^m	3.7 ^m	NA	92 ^p	81 ^p
Acid sulfite pulping	30 ^m	NA	NA	NA	NA	1.5 ^o	1.3 ^o
Neutral sulfite semi-chemical (NSSC)	-	0.5 ⁿ	NA	0.15 ⁿ	NA	-	-

Sumber : The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

Proses industri makanan dan minuman

Sub-sector/Process	Emission factors (kg per tonne or hectolitre output)						
	SO ₂	NO _x	CO	NM VOC ^a	NH ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Food and Drink (ISIC Division 29)							
Alcoholic Beverages							
Beer	NA	NA	NA	0.035	NA	-	-
Red wine	NA	NA	NA	0.08	NA	-	-
White wine	NA	NA	NA	0.035	NA	-	-
Wine (unspecified)	NA	NA	NA	0.08	NA	-	-
Malt whiskey	NA	NA	NA	15	NA	-	-
Grain whiskey	NA	NA	NA	7.5	NA	-	-
Brandy	NA	NA	NA	3.5	NA	-	-
Other Spirits (unspecified)	NA	NA	NA	15	NA	-	-
Food Production							
Meat, fish and poultry	NA	NA	NA	0.3	NA	-	-
Sugar	NA	NA	NA	10	NA	-	-
Margarines and solid cooking fats	NA	NA	NA	10	NA	-	-
Cakes, biscuits and breakfast cereals	NA	NA	NA	1	NA	-	-
Bread	NA	NA	NA	4.5	NA	-	-
Animal feed	NA	NA	NA	1	NA	-	-
Coffee roasting	NA	NA	NA	0.55	NA	-	-

Sumber : The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

FAKTOR EMISI SUMBER AREA

Faktor emisi proyek konstruksi

Category	Building Area Emission Factor (kg/m ² /year)		
	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
Constructions	0.162	0.0812	0.00812

Sumber: Table 3.1 Section 2.A.7.b of EMEP/EEA Guidebook (2009)

Faktor emisi bengkel pengecatan

Garages	EF of VOC	Conditions	Remark
Industrial coating application	720 g/kg paint	Vehicle refinishing	Tier 2

Sumber: CORINAIR Table 3.7 section 3.A

Faktor emisi pemakaian gas rumah tangga

Categories	Type	Emission Factor (g/GJ))					
		NOx	CO	SO ₂	NM VOC	CO ₂	PM ₁₀
Household	LPG	50	50	0.5	20	63,100	0.5

Sumber: CORINAIR Table 3.13 section 1.A.4.b.i

FAKTOR EMISI SUMBER BERGERAK

Faktor emisi transportasi udara

Table A4.11 Emissions for LTO^a and cruise activities of domestic aircraft.

Domestic flights: aircraft type (* =old fleet)	Fuel consumption per LTO (kg/LTO)	SO ₂ emission factor per LTO (kg/LTO)	SO ₂ emission factor for cruise activities (kg/t)	NOx emission factor per LTO (kg/LTO)	NOx emission factor for cruise activities (kg/t)	CO emission factor per LTO (kg/LTO)	CO emission factor for cruise activities (kg/t)	NM VOC emission factor per LTO (kg/LTO)	NM VOC emission factor for cruise activities (kg/t)	PM ₁₀ emission factor per LTO (kg/LTO)	PM ₁₀ emission factor for cruise activities (kg/t)	PM _{2.5} emission factor per LTO (kg/LTO)	PM _{2.5} emission factor for cruise activities (kg/t)	CO ₂ emission factor per LTO (kg/LTO)	CO ₂ emission factor for cruise activities (kg/t)
	Default ^b	Default ^c	Default ^c	Default ^b	Default ^b	Default ^b	Default ^b	Default ^b	Default ^b	Default ^d	Default ^d	Default ^d	Default ^d	Default ^e	Default ^e
Airbus A310	1540.5	1.5	1	23.2	10.3	25.8	2.0	5	0.1	0.14	0.2	0.14	0.2	4853	3150
Airbus A320	802.3	0.8	1	10.8	10.3	17.6	2.0	1.7	0.1	0.09	0.2	0.09	0.2	2527	3150
Airbus A330	2231.5	2.2	1	36.1	10.3	21.5	2.0	1.9	0.1	0.19	0.2	0.19	0.2	7029	3150
Airbus A340	2019.9	2	1	35.4	10.3	50.6	2.0	16.9	0.1	0.21	0.2	0.21	0.2	6363	3150
BAe 111	681.6	0.7	1	4.9	10.3	37.7	2.0	19.3	0.1	0.17	0.2	0.17	0.2	2147	3150
BAe 146	569.5	0.6	1	4.2	10.3	9.7	2.0	0.9	0.1	0.08	0.2	0.08	0.2	1794	3150
Boeing 727*	1412.8	1.4	1	12.6	9.4	26.4	2.0	6.5	0.8	0.22	0.2	0.22	0.2	4450	3150
Boeing 737-100	919.7	0.9	1	8	10.3	4.8	2.0	0.5	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	2897	3150
Boeing 737-400	825.4	0.8	1	8.3	10.3	11.8	2.0	0.6	0.1	0.07	0.2	0.07	0.2	2600	3150
Boeing 747 100-300	3413.9	3.4	1	55.9	10.3	78.2	2.0	33.6	0.1	0.47	0.2	0.47	0.2	10754	3150
Boeing 747-400	3402.2	3.4	1	56.6	10.3	19.5	2.0	1.6	0.1	0.32	0.2	0.32	0.2	10717	3150
Boeing 757	1253	1.3	1	19.7	10.3	12.5	2.0	1.1	0.1	0.13	0.2	0.13	0.2	3947	3150
Boeing 767 300 ER	1617.1	1.6	1	26	10.3	6.1	2.0	0.8	0.1	0.15	0.2	0.15	0.2	5094	3150
Boeing 777	2562.8	2.6	1	53.6	10.3	61.4	2.0	20.5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	8073	3150
McDonnell Douglas DC-8*	1839.4	1.8	1	14.8	9.4	65.2	2.0	52.2	0.8	0.16	0.2	0.16	0.2	5794	3150
McDonnell Douglas DC-9*	876.1	0.9	1	7.3	9.4	5.4	2.0	0.7	0.8	0.16	0.2	0.16	0.2	2760	3150
McDonnell Douglas DC-10	2381.2	2.4	1	41.7	10.3	61.6	2.0	20.5	0.1	0.32	0.2	0.32	0.2	7501	3150
McDonnell Douglas M81-68	1093.1	1	1	12.3	10.3	6.5	2.0	1.4	0.1	0.12	0.2	0.12	0.2	3160	3150
Fokker 28	666.1	0.7	1	5.2	10.3	32.7	2.0	29.6	0.1	0.15	0.2	0.15	0.2	2098	3150
Fokker 100	744.4	0.7	1	5.8	10.3	13.7	2.0	1.3	0.1	0.14	0.2	0.14	0.2	2345	3150
Type unknown: (old fleet ^f)	920	1	1	8	10.3	4.8	2.0	0.5	0.8	0.1	0.2	0.1	0.2	2898	3150
Type unknown: (average fleet ^g)	825	0.85	1	8.3	10.3	11.8	2.0	0.5	0.1	0.07	0.2	0.07	0.2	2599	3150
Other (Please specify)			1		10.3		2.0				0.2		0.2	0	3150

^a Landing/Take-off (LTO) cycle. Consists of one take-off and one landing and includes engines running idle, taxi-in and out, and climbing and descending under 914 metres (3000 feet).

^b Factors given by EMEP/Corinair (2001)

^c Assuming 0.05% S content of the jet kerosene. Adjust the emission factor if actual S content differs e.g., if S content is 0.01 %, the SO₂ emission factor should be divided by 5.

^d Assume PM10 = PM2.5

^e Factors given by EMEP/Corinair

^f From sheet 1.1.2

^g Default given by EMEP/Corinair (2001) for 'average fleet' represented by Boeing B737-400.

^h Default given by EMEP/Corinair (2001) for 'old fleet' represented by Boeing B737-100.

Table A4.12 Emissions for LTO^a activities of international aviation.

International flights: aircraft type (* =old fleet)	Fuel consumption per LTO (needed for BC and OC emissions)	SO ₂ emission factor per LTO (kg/LTO)	NO _x emission factor per LTO (kg/LTO)	CO emission factor per LTO (kg/LTO)	NM VOC emission factor per LTO (kg/LTO)	PM ₁₀ emission factor per LTO (kg/LTO)	PM _{2.5} emission factor per LTO (kg/LTO)	BC emission factor for LTO activities (kg/tonne fuel)	OC emission factor for LTO activities (kg/tonne fuel)	CO ₂ emission factor per LTO (kg/LTO)
	Default ^b	Default ^{bc}	Default ^b	Default ^b	Default ^b	Default ^d	Default ^e	Default ⁱ	Default ⁱ	Default ^b
Airbus A310	1540.5	1.5	23.2	25.8	5	0.14	0.14	0.098	0.028	4853
Airbus A320	802.3	0.8	10.8	17.6	1.7	0.09	0.09	0.098	0.028	2527
Airbus A330	2231.5	2.2	36.1	21.5	1.9	0.19	0.19	0.098	0.028	7029
Airbus A340	2019.9	2	35.4	50.6	16.9	0.21	0.21	0.098	0.028	6363
BAe 111	681.6	0.7	4.9	37.7	19.3	0.17	0.17	0.098	0.028	2147
BAe 146	589.5	0.6	4.2	9.7	0.9	0.08	0.08	0.098	0.028	1794
Boeing 727*	1412.8	1.4	12.6	26.4	6.5	0.22	0.22	0.098	0.028	4450
Boeing 737-100	919.7	0.9	8	4.8	0.5	0.1	0.1	0.098	0.028	2897
Boeing 737-400	825.4	0.8	8.3	11.8	0.6	0.07	0.07	0.098	0.028	2600
Boeing 747 100-300	3413.9	3.4	55.9	78.2	33.6	0.47	0.47	0.098	0.028	10754
Boeing 747-400	3402.2	3.4	56.6	19.5	1.6	0.32	0.32	0.098	0.028	10717
Boeing 757	1253	1.3	19.7	12.5	1.1	0.13	0.13	0.098	0.028	3947
Boeing 767 300 ER	1617.1	1.6	26	6.1	0.8	0.15	0.15	0.098	0.028	5094
Boeing 777	2562.8	2.6	53.6	61.4	20.5	0.2	0.2	0.098	0.028	8073
McDonnell Douglas DC-8*	1839.4	1.8	14.8	65.2	52.2	0.16	0.16	0.098	0.028	5794
McDonnell Douglas DC-9*	876.1	0.9	7.3	5.4	0.7	0.16	0.16	0.098	0.028	2760
McDonnell Douglas DC-10	2381.2	2.4	41.7	61.6	20.5	0.32	0.32	0.098	0.028	7501
McDonnell Douglas M81-88	1003.1	1	12.3	6.5	1.4	0.12	0.12	0.098	0.028	3160
Fokker 28	666.1	0.7	5.2	32.7	29.6	0.15	0.15	0.098	0.028	2098
Fokker 100	744.4	0.7	5.8	13.7	1.3	0.14	0.14	0.098	0.028	2345
Type unknown (old fleet ^h)	920	1	8	4.8	0.5	0.1	0.1	0.098	0.028	7500
Type unknown (average fleet ⁱ)	825	0.85	8.3	11.8	0.5	0.07	0.07	0.098	0.028	5094

^a Landing/Take-off (LTO) cycle. Consists of one take-off and one landing and includes engines running idle, taxi-in and out, and climbing and descending under 914 metres (3000 feet)

^b Factors given by EMEP/Corinair (2001)

^c Assuming 0.05% S content of the jet kerosene. Adjust the emission factor if actual S content differs e.g., if S content is 0.01 %, the SO₂ emission factor should be divided by 5.

^d Assume PM₁₀ = PM_{2.5}

^e Factors given by EMEP/Corinair

^f Default given by EMEP/Corinair (2001) for 'average fleet' represented by Boeing B737-400.

^g Default given by EMEP/Corinair (2001) for 'old fleet' represented by Boeing B737-100.

ⁱ Default values from Bond et al 2004

12

Sumber : The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

Faktor emisi transportasi sungai/ laut

Emission Factor					
NO _x	HC (NMVOC)	CO	PM ₁₀	SO _x	CO ₂
kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/GJ
63,1*	2,4*	7,4**	1,5*	2 x S % Fuel	74,1***

* 1.A.3.d Navigation GB2009 update Mar 2011, Table 3-4, Page 17

** 1.A.3.d Navigation GB2009 update Mar 2011, Table 3-2, Page 14

*** <http://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol2.pdf> Table 1.4 Page 1.25

Sumber: Inventarisasi Emisi Kota Palembang, 2010

Faktor emisi kereta api

Type of Locomotive	Emission Factor					
	NO _x (kg/ton)	SO _x (kg/ton)	HC (NMVOC) (kg/ton)	PM ₁₀ (kg/ton)	CO (kg/ton)	CO ₂ (kg/ton)
Line-haul Locomotive	63	=2 x % S x Fcm	4.8	1,2	18	3 140
Shunting Locomotive	54.4	=2 x % S x Fcm	4.6	2.1	10.8	3 190
Rail Cars	39.9	=2 x % S x Fcm	4.7	1.1	10.8	3 140

Sumber: Inventarisasi Emisi Kota Palembang, 2010

DAFTAR FAKTOR EMISI TIPIKAL KOTA-KOTA INDONESIA

AKTIVITAS	REFERENSI CORINAIR	TABEL	SNAP	TIER	UNIT	NO _x	CO	CO ₂ * (kg/GJ)	HC	SO _x	PM ₁₀
MESIN PEMBAKARAN TIDAK BERGERAK (STATIONARY COMBUSTION ENGINES)											
Boiler berbahan bakar gas alam	1.A.4. Small combustion GB 2009	Table 3-8 NFR 1.A.4.a.i Commercial/ institutional	020103b	1	g/GJ	70	25	74,1	2,5	0,5	0,5
Boiler berbahan bakar solar	1.A.4. Small combustion GB 2009	Table 3-9 NFR 1.A.4.a.i Commercial/ institutional	020103b	1	g/ GJ	100	40	74,1	10	140	21,5
Genset berbahan bakar solar	1.A.4. Small combustion GB 2009	Table 3-9 NFR 1.A.4.a.i Commercial/ institutional	020103b	1	g/GJ	100	40	74,1	10	140	21,5
Genset berbahan bakar bensin	1.A.4. Small combustion GB 2009	Table 3-5 NFR 1.A.4.b.i Residential plants	020205	1	g/GJ	68	46	-	15,5	140	3,7
Insinerator – rumah sakit & klinik	6.C.a Clinical waste incineration GB2009	Table 3-1 NFR 6.C.a Clinical waste incineration	090207	1	kg/Mg sampah	1,4	2,8	-	0,7	1,4	-
Insinerator – sampah padat kota	6.C.c Municipal waste incineration	Table 3-1 NFR 6.C.c Municipal waste incineration	090201	1	kg/Mg sampah	1,8	0,7	-	0,02	0,4	0,23
Kompas gas berbahan bakar LPG	1.A.4. Small combustion GB 2009	Table 3-4 NFR 1.A.4.b, using natural gas and Derived Gas	020205	2	g/GJ	57	31	63,1	10,5	0,5	0,5
Krematorium – emisi dari pembakaran bahan bakar	6.C.d Cremation GB 2009	Table 3-9 NFR 1.A.4.a/c, 1.A.5.a	090901	1	g/GJ	100	40	74.100	10	16,24	21,5
Krematorium – emisi dari pembakaran jenazah	6.C.d Cremation GB 2009	Table 3-1 NFR 6.C.d Cremation	090901	1	kg/jenazah	0,309	0,141	-	0,013	0,544	-
Tungku berbahan bakar arang	1.A.4. Small combustion GB 2009	Table 3-17 NFR 1.A.4.b.i Residential plants	020205	2	g/GJ	50	6.000		1.200	10	810
Penggiling kecil berbahan bakar bensin	1.A.3.b Road transport GB 2009	Table 3-24 NFR 1.A.3.b.iv	0704	2	g/GJ	0,067	24,3		9,97		

Pembangkit berbahan bakar biomasa	1.A.1 Energy industries GB 2009 update June 2010		020202a	1	g/GJ	211	258		7,3	11	38
Pembangkit berbahan bakar brown coal	1.A.1 Energy industries GB 2009 update June 2010	Table 3-4 NFR 1.A.1.a Public electricity and heat production	01	1	g/GJ	360	113		1,7	820	20
Pembangkit berbahan bakar heavy fuel oil	1.A.1 Energy industries GB 2009 update June 2010	Table 3-7 NFR 1.A.1.a Public electricity and heat production	01	1	g/GJ	215	5		0,8	485	18
Pembangkit berbahan bakar hard coal	1.A.1 Energy industries GB 2009 update June 2010	Table 3-3 NFR 1.A.1.a Public electricity and heat production	01	1	g/GJ	310	150		1,2	820	20
Pembangkit berbahan bakar other liquid fuels	1.A.1 Energy industries GB 2009 update June 2010	Table 3-8 NFR 1.A.1.a Public electricity and heat production	01	1	g/GJ	215	5		0,8	485	18
Scrubber berbahan bakar solar	1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009	Table 3-4 NFR 1.A.2 Combustion in industry using liquid fuels	03	1	g/GJ	100	40	74,1	10	140	21,5
Scrubber berbahan bakar batu bara	1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009	Table 3-2 NFR 1.A.2 Combustion in industry using hard or brown coal	03	1	g/GJ	173	931	97,5	88,8	900	117
Scrubber berbahan bakar gas alam	1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009	Table 3-3 NFR 1.A.2 Combustion in industry using natural gas or derived gas	03	1	g/GJ	70	25	56,1	2,5	0,5	0,5
Scrubber berbahan bakar cangkang	1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009	Table 3-5 NFR 1.A.2 Combustion in industry using biomass	03	1	g/GJ	150	159,6	100	146,6	38,4	149,9
MESIN PEMBAKARAN BERGERAK (<i>MOBILE COMBUSTION ENGINES</i>)											
Jalan - Kendaraan penumpang berbahan bakar bensin	1.A.3.b Road transport GB 2009 update May 2012	Table 3-16 & 3-17 NFR 1.A.3.b.i	0701	2	g/km						

Jalan - Kendaraan penumpang berbahan bakar solar	1.A.3.b Road transport GB 2009 update May 2012	Table 3-16 & 3-17 NFR 1.A.3.b.i	0701	2	g/km	Harap mengacu langsung pada tabel CORINAIR					
Jalan - Truk berbahan bakar solar LDV	1.A.3.b Road transport GB 2009 update May 2012	Table 3-18 & 3-19 NFR 1.A.3.b.ii	0702	2	g/km	Harap mengacu langsung pada tabel CORINAIR					
Jalan – Truk berbahan bakar solar HDV	1.A.3.b Road transport GB 2009 update May 2012	Table 3-20 & 3-21 NFR 1.A.3.b.iii	0703	2	g/km						
Jalan - Bus berbahan bakar solar	1.A.3.b Road transport GB 2009 update May 2012	Table 3-22 & 3-23 NFR 1.A.3.b.iii	0703	2	g/km						
Jalan - Sepeda motor	1.A.3.b Road transport GB 2009 update May 2012	Table 3-24 & 3-25 NFR 1.A.3.b.iv	0704	2	g/km	Harap mengacu langsung pada tabel CORINAIR					
Rel - Lokomotif	1.A.3.c Railways GB 2009	Table 3-1 NFR 1.A.3.c Railways	080200	1	kg/ ton bahan bakar	52,4	10,7	3.140	4,65	= 2 x % S x FCm	-
Rel- Lokomotif line haul	1.A.3.c Railways GB 2009	Table 3-2 NFR 1.A.3.c Railways	080200	2	kg/ ton bahan bakar	63	18	3.140	4,8	= 2 x % S x FCm	1,2
Rel – Lokomotif shunting	1.A.3.c Railways GB 2009	Table 3-3 NFR 1.A.3.c Railways	080200	2	kg/ ton bahan bakar	54,4	10,8	3.190	4,6	= 2 x % S x FCm	2,1
Rel – Lokomotif rail car	1.A.3.c Railways GB 2009	Table 3-4 NFR 1.A.3.c Railways	080200	2	kg/ ton bahan bakar	39,9	10,8	3.140	4,7	= 2 x % S x FCm	1,1
Sungai/laut – speed boad	1.A.3.d Navigation GB 2009 update Mar 2011	Table 3-2, 3-4, 3-6, 3-15 1.A.3.d Navigation GB 2009	080403	2	kg/ ton bahan bakar	63,1	7,4	74,1	2,4	= 2 x % S x FCm	1,5
Sungai/laut - tanker	1.A.3.d Navigation GB 2009 update Mar 2011	Table 3-2, 3-4, 3-6, 3-15 1.A.3.d Navigation GB 2009	080304	2	kg/ ton bahan bakar	57,1	19,8	74,1	7,45	= 2 x % S x FCm	4,6
Sungai/laut – tug boat	1.A.3.d Navigation GB 2009 update Mar 2011	Table 3-2, 3-4, 3-6, 3-15 1.A.3.d Navigation GB 2009	080402	2	kg/ ton bahan bakar	57,1	19,8	74,1	7,45	= 2 x % S x FCm	4,6
Sungai/ laut - vessel	1.A.3.d Navigation GB 2009 update Mar 2011	Table 3-2, 3-4, 3-6, 3-15 1.A.3.d Navigation GB 2009	080304	2	kg/ ton bahan bakar	57,1	19,8	74,1	7,45	= 2 x % S x FCm	4,6
Udara – Airbus 320	1.A.3.a Aviation GB 2009 update Dec 2010	Table 3-5	080501	2	kg/ TJ	10,8	17,6	2.527	1,7	0,8	0,009
Udara – Airbus 330	1.A.3.a Aviation GB 2009 update Dec	Table 3-5	080501	2	kg/ TJ	36,1	21,5	7.029	1,9	2,2	0,19

	2010										
Udara – ATR 72-500	IPCC & Klein et al. (2012) Methods for calculating the emissions of transport in NL - set of tables (Sheet 6.9)	http://www.ipcc.ch/meetings/session25/doc4a4b/vol2.pdf Table 3.6.9 Page 3-21	080501	2	kg/ TJ	1,82	2,33	620	0,5	0,2	0,07
Udara – Boeing 737	1.A.3.a Aviation GB 2009 update Dec 2010	Table 3-5	080501	2	kg/ TJ	8,3	11,8	2.600	0,6	0,8	0,07
Udara – Boeing 767	1.A.3.a Aviation GB 2009 update Dec 2010	Table 3-5	080501	2	kg/ TJ	26	6,1	5.094	0,8	1,6	0,15
LAIN-LAIN											
Evaporasi kendaraan penumpang,	1.A.3.b.v Gasoline evaporation GB 2009 update July 2012	Table 1 NFR 1.A.3.b.v, t 20°-35° C	0706	1	g/kendaraan /hari	-	-	-	24,9	-	-
Evaporasi kendaraan LDV	1.A.3.b.v Gasoline evaporation GB 2009 update July 2012	Table 1 NFR 1.A.3.b.v, t 20°-35° C	0706	1	g/kendaraan /hari	-	-	-	37,9	-	-
Evaporasi kendaraan sepeda motor	1.A.3.b.v Gasoline evaporation GB 2009 update July 2012	Table 1 NFR 1.A.3.b.v, t 20°-35° C	0706	1	g/kendaraan /hari	-	-	-	5,0	-	-
Bengkel pengecatan	3.A Paint application GB 2009	Table 3-7 NFR 3.A	0601	2	g/kg cat	-	-	-	720	-	-
Proyek konstruksi	2.A.7.b Construction and demolition GB 2009	Table 3.1. NFR 2.A.7.b	040624	1	kg/m ² /thn	-	-	-	-	-	0,0812
Pergudangan	2.A.7.c Storage, handling mineral GB 2009	Table 3.2 NFR 2.A.7.c	6302	2	g/Mg produk	-	-	-	-	-	5
Pembuangan sampah di landfill	6.A Solid waste disposal on land GB 2009	Table 3-1 NFR 6.A		1	g/m ³ gas landfill	-	-	-	5,65	-	-
Pembakaran terbuka sampah padat kota	6.C.e Small scale waste burning GB 2009	Table 3-1 NFR 6.C.e	0907	1	kg/Mg sampah	-	-	-	2	-	0,979
Pembakaran dupa	Lee & Wang, 2004	-	-	1	mg/g dupa	1,3	156,2	186	8,10	-	72,8

FAKTOR EMISI TERKAIT PROSES PRODUKSI (g/GJ kecuali tertulis berbeda)

JENIS INDUSTRI	Aldehyd	Ammonia	NO _x	CO	SO ₂	HC	CO ₂ ²⁾	PM ₁₀
Pengilangan minyak								
Fluid Catalityc Cracking Unit ¹⁾ (Unit : lb/10 ³ bbl)	0,054	0,155	0,695	39,2	1,413	0,63	-	0,695
Moving Bed Catalityc ¹⁾ (Unit : lb/10 ³ bbl)	0,034	0,017	0,014	10,8	0,171	0,250	-	0,040
Fluid Cooking Unit ¹⁾ (Unit : lb/10 ³ bbl)	-	-	-	-	-	-	-	1,5
Compressor Engine ¹⁾ (Unit : lb/10 ³ bbl)	-	-	4,7	1,94	-	0,28	-	-
Blowdown system ¹⁾	-	-	-	-	-	1,662	-	-
Vacuum Destilation ¹⁾ (Unit : lb/10 ³ bbl)	-	-	-	-	-	0,14	-	-
Fuel Oil (Boiler / Furnace) ³⁾	-	-	60	16	46	1,1	74.100	3,2
Fuel Gas (Boiler / Furnace) ⁴⁾	-	-	60	39	0,3	2,6	56.100	0,89
Gas Turbine ⁵⁾	-	-	153	39,2	0,281	1	56.100	0,908
Produksi pupuk urea								
Boiler ⁶⁾	-	-	70	20	0,5	1,2	56.100	0,5
Gas Turbine ⁵⁾	-	-	153	39,2	0,281	1	56.100	0,908
Reformer ⁷⁾ (kg/Ton produksi amonia)	-	0,05	1	0,1	-	-	-	-
Pembangkitan listrik								
Gas Turbine ⁵⁾	-	-	70	25	0,5	2,5	61.300	0,5
Diesel Engine ⁸⁾	-	-	180	15	21,5	0,8	71.400	2
Semen								
Bagging Unit ⁹⁾ (g/Mg)			-	-	-	-	-	200
Crumb rubber								
Monomer Recovery ¹⁰⁾ (g/kg)	-	-	-	-	-	2,6	-	-
Absorber Vent ¹⁰⁾ (g/kg)	-	-	-	-	-	0,26	-	-
Blend / Cougulation Tank ¹⁰⁾ (g/kg)	-	-	-	-	-	0,42	-	-

Dryer ¹⁰⁾ (g/kg)	-	-	-	-	-	2.51	-	-
Blend Tank ¹⁰⁾ (g/kg)	-	-	-	-	-	0.1	-	-
Scrubber / Heater (dengan bahan bakar)								
Solar ³⁾	-	-	100	40	140	10	74100	21.5
Cangkang ¹¹⁾	-	-	150	1596	38.4	146.4	10000	149.9
Gas alam ⁴⁾	-	-	70	25	0.5	21.5	56100	0.5
Batu bara ¹²⁾	-	-	173	931	900	88.8	97500	117
Pembangkit ⁸⁾	-	-	1450	385	46	37	74100	22.4
Makanan & minuman								
Boiler (cangkang) ¹⁰⁾	-	-	150	1596	38.4	146.4	10000	149.9
Boiler (gas alam) ⁴⁾	-	-	70	25	0.5	2.5	56100	0.5
Oven ¹³⁾	-	-	70	25	0.5	2.5	56100	0.5
Cakes, biscuits and breakfast cereals (kg/Mg produk) ¹⁴⁾	-	-	-	-	-	1 Kg/Mg	-	-
Perakitan & pengecatan								
Oven (gas alam) ⁴⁾	-	-	70	25	0.5	2.5	61300	0.5
Painting (kg/ton cat yang digunakan) ¹⁵⁾	-	-	-	-	-	400	-	-
Beton								
Raw Material (semen) ¹⁶⁾ (kg/ton)	-	-	-	-	-	-	-	0,72
Raw Material (pasir) ¹⁶⁾ (kg/ton)	-	-	-	-	-	-	-	0,0021
Raw Material (batu) ¹⁶⁾ (kg/ton)	-	-	-	-	-	-	-	0
Mesin ⁷⁾	-	-	100	40	140	21,5	74,100	10
Percetakan								
Tinta (ton/ton tinta) ¹⁷⁾	-	-	-	-	-	0,5	-	-

Sumber: ¹⁾ EPA efa Oil Refiner, Table 5.1-1 (Kg/10³L):

²⁾ IPCC (2006): Rate of CO2 emission of LPG, Diesel, Heavy fuel Oil, Gasoline, Charcoal are 63,100, 74,100, 77,400, 69,300, and 112,000 kg/TJ

³⁾ 1.A.1 Energy industries GB2009 update June2010, Table 4-6 Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.b, process furnaces using gas oil

⁴⁾ 1.A.1 Energy industries GB2009 update June2010, Table 4-8 Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.b, process furnaces using natural gas

⁵⁾ 1.A.1 Energy industries GB2009 update June2010, Table 3-20 Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.b, gas turbines using gassous fuels

⁶⁾ 1.A.1 Energy industries GB2009 update June2010, Table 3-34 Tier 2 emission factors for non-residential sources, medium sized (> 1 MWth to ≤50 MWth) boilers burning natural gas

⁷⁾ 2.B Chemical industry GB2009, Table 3.6 Tier 2 emission factors for source category 2.B.1 ammonia production, steam reforming (040403)

⁸⁾ 1.A.1 Energy industries GB2009 update June2010, Table 3-22 Tier 2 emission factors for source category 1.A.1.a, reciprocating engines using gas oil

- ⁹⁾ 2.A.7.c Storage, handling and transport of mineral products GB2009, Table 3.2 Tier 2 emission factors for source category 2.A.7.c Storage, handling and transport of mineral products
- ¹⁰⁾ EPA efa styrenbuta rubber, Table 6.10-1 (Metric And English Units). EMISSION FACTORS FOR EMULSION STYRENE-BUTADIENE COPOLYMER PRODUCTION
- ¹¹⁾ 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009, Table 3-5 Tier 1 emission factors for 1.A.2 combustion in industry using biomass
- ¹²⁾ 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009, Table 3-2 Tier 1 emission factors for 1.A.2 combustion in industry using hard or brown coal
- ¹³⁾ 1.A.2 Combustion in manufacturing industries and construction GB2009, Table 3-3 Tier 1 emission factors for 1.A.2 combustion in industry using natural gas or derived gases
- ¹⁴⁾ 2.D.2 Food and drink GB2009, Table 3-18 Tier 2 emission factors for source category 2.D.2 Food and drink, Cakes, biscuits and breakfast cereals
- ¹⁵⁾ 3.A Paint application GB2009, Table 3-2 Tier 1 emission factors for source category 3.A.2 Industrial coating application
- ¹⁶⁾ AP-42 Concrete Batching (US. EPA., 2004)
- ¹⁷⁾ 3.D.1 Printing GB2009, Table 3-1 Tier 1 emission factors for source category 3.D.1 Printing

Lampiran 2: KONVERSI SATUAN

Konversi Energi

	TJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
TJ	1	238,8	$2,388 \times 10^{-5}$	947,8	0,2778
Gcal	$4,1868 \times 10^{-3}$	1	10^{-7}	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$
Mtoe	$4,1868 \times 10^{-4}$	10^{-7}	1	$3,968 \times 10^{-7}$	11.630
MBtu	$1,0551 \times 10^{-3}$	0,252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
GWh	3,6	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3.412	1

Sumber: The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

Konversi Massa

	kg	t	l.t	st	Lb
Kilogram (kg)	1	0,001	$9,84 \times 10^{-4}$	$1,102 \times 10^{-3}$	2,2046
Ton (t)	1.000	1	0,984	1,1023	2.204,6
Long ton (l.t)	1.016	1,016	1	1,120	2.240,0
Short ton (s.t)	907,2	0,9072	0,893	11	2.000,0
Pound	0,454	$4,54 \times 10^{-4}$	$4,46 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$	1

Sumber: The Global Atmospheric Pollution Forum – Air Pollutant Emission Inventory Manual, 2012

Satuan

Pg	petagram = 10^{15} gram
Tg	teragram = 10^{12} gram
Gg	gigagram = 10^9 gram
Mg/ton	megagram = 10^6 gram
kg	kilogram = 10^3 gram
hg	hectogram = 10^2 gram

Lampiran 3: FORMAT FORMULIR SURVEI & KUESIONER

1. Survei Industri Besar

INFORMASI UMUM PABRIK/PERALATAN:

(1) Nama Perusahaan : _____

(2) No. Ijin Usaha : _____

(3) Lokasi Pabrik/Peralatan :

Jalan _____

Kota _____ Kode Pos _____ Provinsi _____

(5) Penanggung Jawab:			
Nama:	Telepon:	Fax:	E-mail:
Alamat:	Kota:	Provinsi:	Kode Pos:

(6) Kode Klasifikasi Industri/KKI : _____ / _____

(7) Produk Utama : _____

(8) Lintang/Bujur atau Koordinat UTM Pabrik: LS : ____ ° ____ ' ____ " BT : ____ ° ____ ' ____ "

(9) Apakah fasilitas ini dapat dipindahtempatkan (seperti unit pembuatan aspal, beton, atau generator bergerak)? _____

Jika iya, di wilayah mana emisi dihasilkan? _____

Setelah seluruh data lengkap, cantumkan tandatangan dan tanggal di bawah ini. Dengan tanda tangan Anda berarti Anda menyatakan bahwa informasi yang diberikan lengkap dan akurat.

(10) Tandatangan _____ Tanggal _____

Nama: _____

FORMULIR INFORMASI PROSES PEMBAKARAN BAHAN BAKAR

Instruksi: Lengkapi formulir dibawah ini untuk setiap operasi pembakaran pada pabrik/peralatan Anda. Jika diperlukan tambahan halaman, gandakan formulir ini.

Perhitungan emisi akan bergantung pada data produksi yang diberikan.

[illegible]

* Unit untuk Output/Keluaran Pembakaran: Gas = m³, Bahan Bakar Minyak (termasuk LPG) = kiloliter, Bahan Bakar Padat (termasuk Batu Bara) = ton.

FORMULIR INFORMASI PROSES EMISI EVAPORATIF

Instruksi: Setiap proses yang menghasilkan VOC evaporatif dapat dihitung dengan metode keseimbangan materi. Gunakan rumus di bawah ini untuk tiap input VOC. Setiap nilai merupakan berat tahunan dari VOC:

[Berat kotor VOC input – (Berat VOC Residu +Berat VOC yang Dibuang dalam limbah cair)] x (1- Efisiensi Alat Kontrol)

Identifikasi Proses		
ID	KLBI	Bahan Baku
EI	2211	Red #1
EI	2211	Primer #5

Informasi Output (kg untuk materi)								
Laju Pengoperasian (kg output/jam)		Jadwal Pengoperasian Normal			Output Musiman (%)			
Maks	Normal	Jam/ Hari	Hari/ Minggu	Minggu/ Tahun	Maret -Mei	Juni- Agust us	Sept- Nov	Des- Feb
25000	20000	24	7	52	25	25	25	25
15000	12000	24	7	52	30	10	30	30

Keseimbangan Materi (kg dari VOC)			
Jumlah kotor VOC Input	Jumlah VOC Residu	Jumlah VOC yang dibuang sebagai limbah cair	VOC tak terkontrol
14000	0	2000	12000
20000	0	3000	17000

Keterangan:
VOC = Volatile Organic Compound = senyawa organik volatil merupakan senyawa kimia organik yang mudah menguap
Input = Yang masuk
Output = Yang keluar
Evaporatif = Hasil dari proses penguapan/proses yang menghasilkan uap
Residu = sisa/ampas

FORMULIR INFORMASI PROSES LAINNYA

Instruksi: Lengkapilah formulir di bawah ini untuk tiap pengoperasian pada fasilitas Anda yang tidak tercakup dalam halaman proses “Pembakaran Bahan Bakar” atau “Proses Emisi Evaporatif”. Perhitungan emisi akan bergantung pada data produksi yang diberikan.

[illegible]

Keterangan:

Fasilitas = Suatu perangkat alat, sistem atau unit dalam proses (industri) yang digunakan untuk mengubah suatu materi menjadi materi lainnya

Contoh: Boiler, generator, tungku, turbin, penggilingan, insinerator, dan sebagainya.

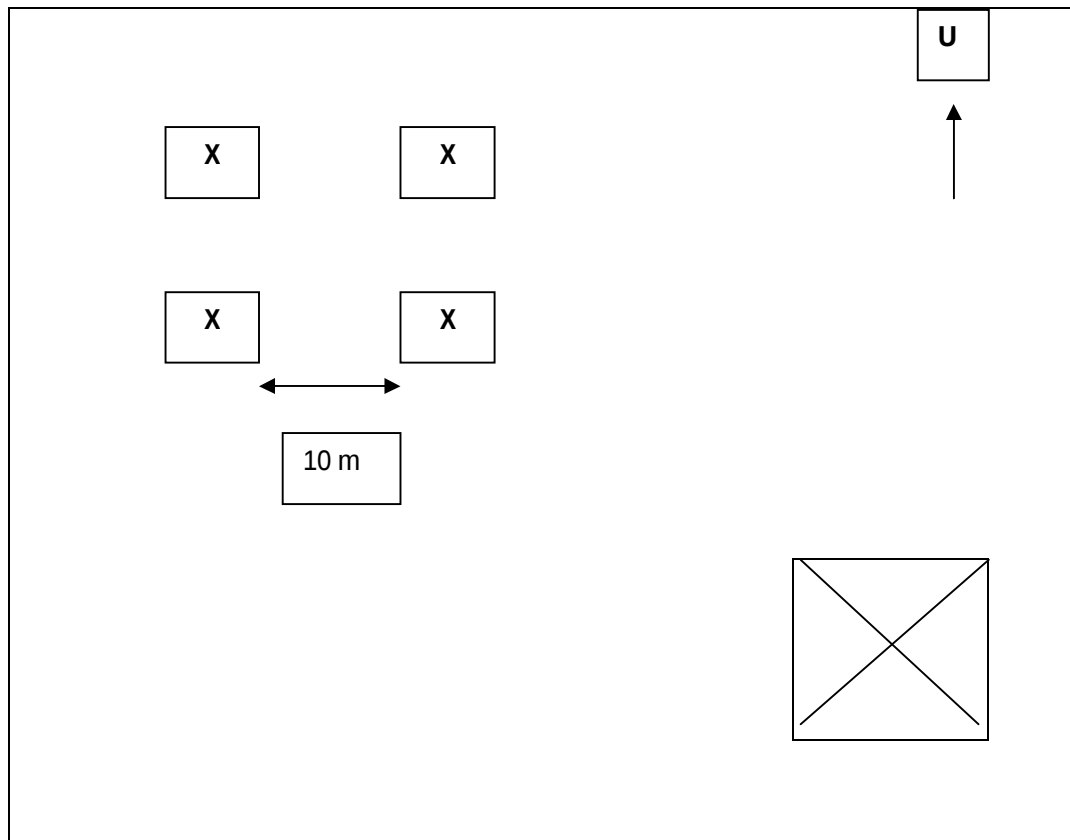
FORMULIR INFORMASI CEROBONG

Instruksi: Catat setiap cerobong dan identifikasi kekhasannya seperti di bawah ini. Setiap cerobong mengalirkan buangan dari satu atau beberapa proses. Jika suatu proses membuang ke beberapa cerobong, catat proses yang mengalirkan buangan ke cerobong-cerobong tersebut secara terpisah, dan sebutkan persentase aliran buangan ke tiap cerobong.

ID Cerobong	ID Proses Buangan	Deskripsi	Jika satu proses membuang ke beberapa cerobong, catat % buangan ke tiap cerobong	Bentuk	Tinggi (m)	Diameter Atas (m)	Diameter Bawah (m)	Kecepatan (m/detik)	Temperatur Keluar Cerobong (°C)	Laju Alir	Sumber Emisi	Jenis Proses	Alat Pengendali Emisi
1	F1, F2, F3	Cerobong Boiler	n/a		60	8		70	500	630			

LOKASI/DENAH CEROBONG

Contoh:



FORMULIR INFORMASI ALAT KONTROL EMISI

Instruksi: Catat setiap alat kontrol emisi seperti di bawah ini yang BUKAN merupakan bagian terintegrasi dari suatu proses. Pastikan ID proses sesuai dengan yang tercantum pada proses apakah pembakaran bahan bakar, emisi evaporatif, atau proses lainnya.

ID Proses	Polutan (VOC, CO atau NO _x)	Alat Kontrol Utama	Efisiensi Kontrol Primer (%)		Alat Kontrol Sekunder	Efisiensi Control Sekunder (%)	
			Tangkapan	Kontrol		Tangkapan	Kontrol
El	VOC	Termal Oxidizer	90	99.5	n/a	n/a	n/a

FORMULIR CONTINUOUS EMISSIONS MONITORING SYSTEM (CEMS)

Contoh Output CEMS untuk Pembakaran pada Boiler, dengan								
Waktu	O ₂ (% V)	Laju Bahan Bakar, Q _f (10 ³ kg/jam)	Laju Aliran Gas Cerobong Terukur, Q (dm ³ /menit)	Konsentrasi Terukur (ppm per hari)				
				CO	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	HC
11.00	2.1	20.9	4392					
11.15	2	21.1	4416					
11.30	2.1	20.9	4392					
11.45	1.9	21	4364					
12.00	1.9	21.2	4421					
12.15	1.8	21	4351					
12.30	2	21	4397					
12.45	2	21.1	4416					

FORMULIR SAMPLING CEROBONG

Contoh Hasil Sampling Cerobong						
Hasil Sampling	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	Rata-rata
Output Generator, (MW)	100	101	100	100	100	100.2
Emisi Polutan, kg/hari	215	218	213	216	215	215.4
Laju Emisi Polutan @ 100 W Output = 215.4/100.2*100						215

2. Survei Industri Menengah dan Kecil

Nama Alamat Koordinat Skala Besar Menengah Kecil							
DATA UMUM							
Jenis Produksi							
Bahan Mentah							
Jumlah Pekerja							
Kapasitas Produksi							
Produksi/Bulan							
Operasional (Jam)							
PERALATAN DIMILIKI	Genset	Boiler	Kompas Gas	Oven	Kompresor	Lainnya (sebutkan)	Lainnya
Jumlah Peralatan							
Jenis Bahan Bakar							
Konsumsi/Bulan							
PERPARKIRAN							
Kapasitas Maks							
Rata-rata/Hari							
Rata-rata Durasi Parkir							

3. Survei SPBU

Nama SPBU						
Alamat SPBU						
Jenis Bahan Bakar	Pertamax Plus	Pertamax	Bensin	Solar	LPG	Minyak Tanah
Kapasitas Tangki Penyimpan						
Intensitas Pengisian Tangki Penyimpan						
Volume Yang Diisikan						
Lama Pengisian Tangki						
Volume Penjualan/Hari						
Intensitas Kendaraan Costumer/Hari						
Rata-rata Lama Pengisian Kendaraan						
Perlengkapan Yang Dimiliki				Genset	Kompresor	Kompur
Jumlah						
Daya						
Jenis Bahan Bakar						
Penggunaan Bahan Bakar/Bulan						
Perparkiran						
Kapasitas Lahan Parkir (Maks)						
Rata-rata Parkir/Hari (Mobil&Motor)						
Rata-rata lama parkir						
Wawancara lain, tuliskan di lembar jika ada informasi penting lainnya terkait emisi						

4. Survei Rumah Sakit/Klinik

Nama Klinik				
Alamat Klinik				
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler/Pemanas Air	Kompor Gas	Lainnya (sebutkan)
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar digunakan				
Volume Penggunaan Bahan Bakar/Bulan				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jml Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rataan Lama Parkir				
Wawancara lain, tuliskan di lembar jika ada informasi penting lainnya terkait emisi				

5. Survei Hotel

Nama Hotel				
Kategori	Bintang	*	**	***
	Melati			****
Alamat				
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompor	Lainnya (sebutkan jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Bulan				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rata-rata Lama Parkir				
<i>pilih salah satu kategori hotel</i>				

6. Survei Pusat Perbelanjaan

Nama Mall				
Alamat				
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompas Gas	Lainnya (Sebutkan jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Bahan Bakar Digunakan				
Volume Bahan Bakar/Bulan				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) per hari				
Rata-rata Lama Parkir				
Wawancara lain, tuliskan di lembar jika ada informasi penting lainnya terkait emisi				

7. Survei Sekolah

Nama Sekolah				
Alamat				
Tingkatan	SD	SMP	SMA	
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompas Gas	Lainnya (Sebut jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Hari				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rata-rata Lama Parkir				

8. Survei Restoran

Nama Resto Alamat Kategori Kapasitas				
	Internas	Besar	Kecil	
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompor Gas	Lainnya (Sebutkan Jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Bahan Bakar Digunakan				
Volume Bahan Bakar/Hari				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rata-rata Lama Parkir				

9. Survei Universitas

Nama Lembaga Alamat Kategori Akademi Sekolah Tinggi Universitas Kapasitas Lembaga Besar Kecil				
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompor Gas	Lainnya (Sebut jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Janis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Hari				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rata-rata Lama Parkir				

10. Survei Bengkel

Nama Bengkel				
Alamat				
Ukuran/Cap	BESAR	KECIL		
Jenis Bengkel	SERVIS	LAS	CAT	LAINNYA
Jenis Kendaraan	Motor	Mobil	Bis	Lainnya
Jumlah/Hari				
Rataan Lama Penyalaan Mesin				
Rasio Bahan Bakar Terpakai				
Peralatan Dimiliki	Genset	Lainnya (Sebutkan Jenisnya)		
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Bulan				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan Parkir/Hari				
Lama Parkir				
Pengecatan				
Rataan Jumlah Cat Digunakan				
Penggunaan Campuran Bahan Bakar Fosil	Ada	Tidak Ada		
Jenis Bahan Bakar				
Rata-rata Konsumsi/Bulan				

11. Survei TPA

Nama				
Alamat				
Kapasitas TPA				
Sampah/Hari				
Volume Pengangkutan/Hari				
Jumlah Pengangkut/Hari				
Lama Penurunan Sampah				
Kendaraan Lain (sebut Jenis)	X1	X2	X3	X3
Jumlah				
Lama Berhenti				
Peralatan Digunakan	X1	X2	X3	X4
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Bulan				

12. Survei Gudang

Nama Gudang Alamat Luas Area Gudang Jenis Materi Disimpan Jumlah Volume/Massa Kapasitas Pengisian				
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompor Gas	Lainnya (Sebut Jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Bulan				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rata-rata Lama Parkir/Hari				

13. Survei Perkantoran

Nama Instansi				
Alamat				
Koordinat				
Perlengkapan Dimiliki	Genset	Boiler	Kompas Gas	Lainnya (Sebut Jenisnya)
Jumlah				
Daya				
Jenis Bahan Bakar				
Volume Bahan Bakar/Bulan				
Perparkiran				
Kapasitas Maks				
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari				
Rata-rata Lama Parkir/Hari				

14. Survei Pasar

Nama Pasar							
Alamat							
Ukuran							
Perlengkapan Dimiliki	Parutan (berbahan bakar)	Gilingan(berbahan bakar)	Tungku	Kompor	Pemanggang	Genset	Lainnya(sebut)
Daya							
Jumlah							
Jenis Bahan Bakar							
Konsumsi Bahan Bakar							
Fossil Fuel Selling	Arang	Kayu Bakar	Lainnya				
Jumlah							
Penjualan/Hari							
Perparkiran							
Kapasitas Maksimum	MC	PC	HDV				
Rata-rata Parkir/Hari	MC	PC	HDV				
Rata-rata Lama Parkir	MC	PC	HDV				

15. Survei PKL

Lokasi				
Jenis Usaha				
Skala Usaha		Kecil	Besar	
PERALATAN DIGUNAKAN	Kompor Gas	Tungku	Panggangan	Lainnya
Jumlah				
Jenis Bahan Bakar				
Konsumsi/Hari				
PERPARKIRAN				
Kapasitas Maks				
Rata-rata Parkir/Hari				
Rata-rata Durasi				

16. Survei Terminal

Nama Terminal							
Alamat							
Jenis Kendaraan	Bis Kota	Bis Besar	Angkot	Travel	Taksi	Truk	Lainnya
Jumlah/Harinya							
Jenis Bahan Bakar Digunakan							
Lama Berhenti							
Peralatan Dimiliki	Kompas Gas	Tungku	Genset				
Jumlah							
Bahan Bakar Digunakan							
Volume Bahan Bakar Digunakan/Hari							
Perparkiran							
Kapasitas Maks							
Jumlah Kendaraan (Mobil/Motor) Parkir/Hari							
Rata-rata Lama Parkir							

17. Survei Stasiun

Nama					
Alamat					
PERLENGKAPAN DIMILIKI	Genset	Kompresor	Kompur Gas	Panggangan	Lainnya
Jumlah					
Jenis Bahan Bakar					
Konsumsi/Hari					
PERPARKIRAN					
Kapasitas Maks					
Rataan Parkir/Hari					
Rataan Durasi					
PERKERETAAPIAN					
Lalu lintas KA/Hari					
Rata-rata Durasi Berhenti					
Bahan Bakar KA					
Jenis Lokomotif					

Lampiran 4: CONTOH FORMULIR KONTROL KUALITAS DAN PEMERIKSAAN JAMINAN KUALITAS (QC/QA)

Identifikasi Inventarisasi _____

Diperiksa oleh _____ Tanggal _____

Lengkapi informasi yang diminta disertai dengan dokumen referensi dan/atau data-data terkait. Setelah melengkapi formulir ini, sebutkan tindakan yang akan diambil, batas waktu penyelesaian dan tanggal diselesaikannya tindakan.

KATEGORI SUMBER:

- | | | |
|--|----|-------|
| • Didefinisikan sebelum pengumpulan data? [referensi] | Ya | Tidak |
| • Apakah definisi-definisi tersebut tetap konsisten (tidak berubah) selama pengumpulan data? | Ya | Tidak |
| • Apakah mencakup seluruh pencemar yang diinventarisir? [referensi] | Ya | Tidak |

PENGLASIFIKASIAN SUMBER TITIK:

- | | | |
|---|----|-------|
| • Apakah teridentifikasi selama pengumpulan data? [referensi] | Ya | Tidak |
| • Apakah didokumentasikan dan dilaporkan kepada mereka yang terlibat dalam inventarisasi sumber area? | Ya | Tidak |

Judul/Nomor Laporan

Tanggal

HASIL SURVEI:

- | | | |
|--|----|-------|
| • Apakah persentase jumlah responden yang menjawab survei diketahui? | Ya | Tidak |
|--|----|-------|

%

- | | | |
|--|----|-------|
| • Apakah persentase jumlah informasi yang tidak lengkap untuk setiap responden yang memberikan respons telah diperkirakan? | Ya | Tidak |
|--|----|-------|

%

VERIFIKASI PERHITUNGAN EMISI:

- | | | |
|---|----|-------|
| • Apakah menggunakan metodologi estimasi yang tercantum dalam prosedur perkiraan emisi? | Ya | Tidak |
| • Perhitungan emisi diperiksa? _____ | Ya | Tidak |

Diperiksa oleh

Tanggal

- | | | |
|--|----|-------|
| • Apakah persamaan/rumus secara eksplisit diperlihatkan? [referensi] | Ya | Tidak |
|--|----|-------|

PEMERIKSAAN KELAYAKAN:

- Apakah hasil perhitungan emisi dibandingkan dengan kategori-kategori sumber lainnya? Identifikasikan referensi kedua atau lokasi referensi data. [referensi]

Ya Tidak

-
- Apakah besaran (hasil perhitungan) emisi dibandingkan dengan peringkat kategori sumber nasional/provinsi?

Ya Tidak

Dilakukan oleh

Tanggal

- Apakah hasil temuan (perbandingan) dilaporkan dan didokumentasikan?

Ya Tidak

DATA SUMBER PENCEMAR:

- Apakah keakuratan data aktivitas sumber area telah diverifikasi dengan menggunakan sumber-sumber data yang tersedia?

Ya Tidak

Diverifikasi oleh

Tanggal

- Apakah faktor emisi didokumentasikan? Sebutkan

Ya Tidak

-
- Apakah fasilitas yang tingkat emisi dan aktivitasnya diketahui, dibandingkan dengan faktor emisi untuk memeriksa kelayakan faktor emisi?

Ya Tidak

Ya Tidak

Dilakukan oleh

Tanggal

Nomor dokumen

- Apakah asumsi-asumsi untuk penyesuaian dan koreksi faktor emisi didokumentasikan? [referensi]

Ya Tidak

-
- Apakah emisi sumber-sumber titik sudah dikurangi dari emisi sumber area? [referensi]

Ya Tidak

-
- Apakah koreksi sumber titik terhadap estimasi emisi sumber area telah didokumentasikan dalam perhitungan? [referensi]

Ya Tidak

Gunakan formulir berikut ini untuk mencatat langkah tindak lanjut yang akan diambil untuk menanggapi setiap permasalahan yang ditemukan. Tentukan batas waktu untuk penyelesaian tindakan dan tunjukkan ketika tindakan telah dilakukan.

Kontrol Kualitas (QC) Konsistensi dan Keakuratan Kategori Sumber

[illegible]

PENGENDALIAN GAS

ABSORPSI

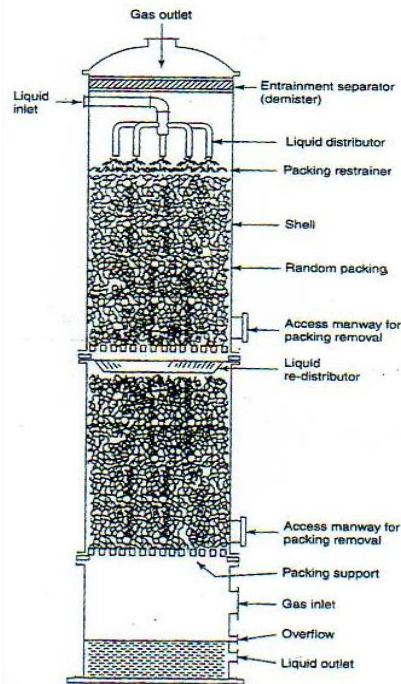
Wet scrubber adalah nama umum dari alat pengendali pencemar udara yang menggunakan proses absorpsi untuk memisahkan pencemar dari suatu aliran gas. Absorpsi merupakan proses fisik (terkadang ditambah dengan proses kimiawi) dimana pencemar dipisahkan dari gas dan dilarutkan (*scrubbing*) dalam zat cair.

Konsep Absorpsi

Absorpsi gas merupakan penghilangan satu atau lebih pencemar dari aliran gas yang terkontaminasi dengan membiarkan gas masuk ke dalam suatu wadah dimana di dalamnya terdapat zat cair yang memungkinkan pencemar terlarut ke dalamnya. Faktor yang menentukan kinerja pengendalian adalah solubilitas (daya larut) pencemar dalam cairan penyerap (*absorbing liquid*). Laju perpindahan di dalam zat cair ditentukan oleh proses difusi yang terjadi pada setiap sisi dari permukaan gas-cairan. Molekul pencemar pada fase gas mencapai permukaan gas-cairan melalui proses difusi dengan melewati lapisan film fase gas. Ketika berada pada permukaan gas-cairan, molekul pencemar berdifusi ke dalam cairan melalui lapisan film fase cair. Ketika perpindahan massa melalui salah satu dari film ini lebih cepat dari pada melalui film lainnya, maka proses difusi yang lebih lambat mengontrol keseluruhan proses transfer massa.

Pencemar yang terserap ke cairan perlu dihilangkan sebelum cairan diolah dan digunakan kembali. Dengan demikian, *wet scrubber* membutuhkan peralatan, tempat penyimpanan, bahan aditif, dan sebagainya untuk mengolah cairan penyerap. Ini artinya, selain pemenuhan ambang batas baku mutu emisi pencemar udara, perlu diperhatikan pula pemenuhan baku mutu limbah cair untuk cairan yang telah diolah yang dibuang ke sistem pengolahan limbah perkotaan.

Umumnya, air digunakan sebagai cairan penyerap. Bila menggunakan air, perlu diperhatikan daya larut pencemar dalam air. Jika daya larutnya rendah, maka sebaiknya gunakan cairan lain agar absorpsi lebih efektif.



Contoh skema *wet scrubber* vertikal

Keuntungan

1. Penurunan tekanan yang relatif rendah
2. Standarisasi konstruksi *fiberglass-reinforced plastic* (FRP) memungkinkan pengoperasian dalam atmosfer dengan korosif tinggi
3. Kemampuan untuk mencapai efisiensi transfer massa yang relatif tinggi
4. Penambahan tinggi dan/atau jenis packing atau jumlah pelat dapat meningkatkan transfer massa tanpa pembelian peralatan baru
5. Biaya yang relatif rendah
6. Memerlukan tempat yang relatif kecil
7. Kemampuan untuk mengumpulkan partikulat sebaik gas

Kerugian

1. Dapat menimbulkan masalah air (cairan) buangan
2. Produk dikumpulkan dalam kondisi lembab
3. Pengendapan partikulat dapat menyebabkan penyumbatan *bed* atau pelat
4. Konstruksi FRP sensitif terhadap temperatur

ADSORPSI

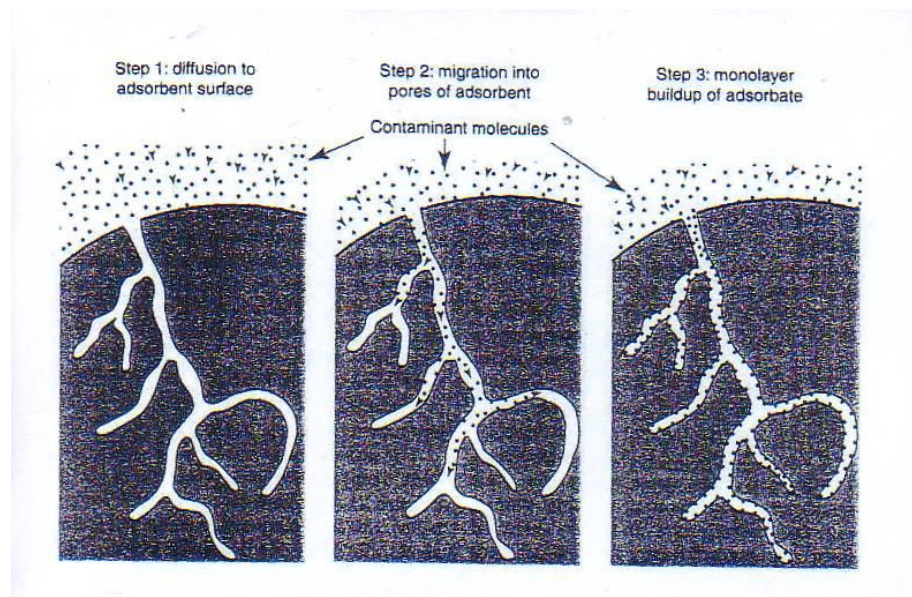
Proses adsorpsi adalah proses melekatnya molekul atau ion pada permukaan zat padat.

Selama adsorpsi, komponen gas dihilangkan dari aliran efluen gas dengan melekatkannya pada permukaan padatan. Molekul-molekul gas yang dihilangkan disebut dengan adsorbat, sedangkan padatan yang mengadsorpsi disebut adsorben. Adsorben merupakan partikel yang berdaya serap tinggi.

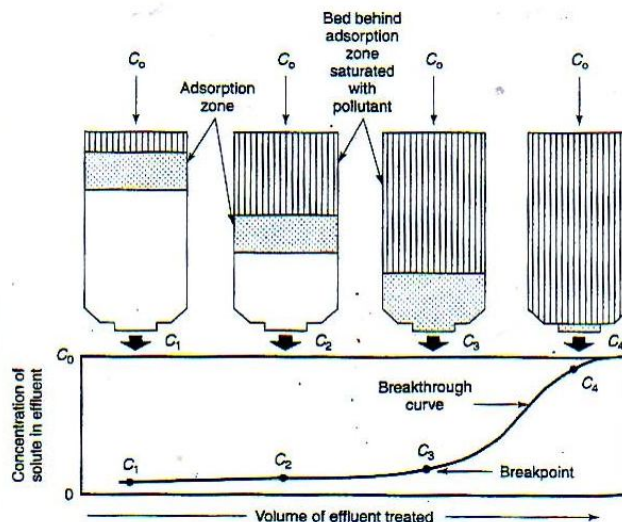
Penggunaan teknologi adsorpsi biasanya untuk mengontrol senyawa organik. Umumnya, setiap senyawa organik yang memiliki berat molekul lebih besar dari 45 merupakan adsorbat yang baik. Adsorpsi digunakan untuk mengontrol emisi pada banyak operasi yang menggunakan pelarut seperti pencucian kering, penghilangan lemak, pelapisan permukaan, pemrosesan getah karet, dan percetakan. Sistem adsorpsi juga telah digunakan untuk mengontrol uap beracun atau beraroma yang dihasilkan dari pemrosesan makanan, pengolahan air kotor, dan berbagai proses kimia industri (seperti produksi bahan bakar, pupuk, dan produk obat).

Adsorben yang paling umum digunakan di industri adalah karbon aktif, gel silika, alumina aktif (alumina oksida), dan zeolit (debu molekular). Karakteristik adsorben ditentukan oleh sifat kimianya, luas area permukaan, distribusi ukuran pori, dan ukuran partikel. Satu dari karakteristik terpenting yang khas pada adsorben adalah polaritas permukaan. Polaritas menentukan jenis uap dimana suatu adsorben memiliki afinitas (daya serap/ikat) yang paling tinggi. Dari adsorben di atas, karbon aktif merupakan adsorben non-polar yang utama. Adsorben polar cenderung menyerap setiap uap air yang mungkin dihasilkan dari aliran gas. Karena kelembaban terkandung dalam sebagian besar aliran polutan udara, penggunaan adsorben polar sangat terbatas untuk sistem polusi udara.

Karbon aktif diproduksi dari berbagai macam bahan dasar seperti kayu, batu bara, dan produk dasar minyak bumi. Istilah "aktif" mengacu pada perluasan area permukaan internal dan eksternal melalui proses pengolahan khusus. Proses aktivasi, pertama-tama, melibatkan karbonisasi. Karbonisasi merupakan proses pemanasan bahan pada temperatur yang cukup tinggi untuk menghilangkan seluruh materi yang mudah menguap (*volatile*). Untuk menambah luas area permukaan, karbon kemudian "diaktivasi" dengan menggunakan uap, udara, atau karbon dioksida pada temperatur tinggi. Temperatur dan jenis bahan dasar secara keseluruhan mempengaruhi kualitas adsorpsi karbon.



Mekanisme Adsorpsi



Proses Adsorpsi

Keuntungan

1. Memungkinkan penggunaan kembali produk
2. Kontrol dan respons yang baik terhadap perubahan proses
3. Tidak terdapat masalah buangan kimia ketika polutan (produk) dikendalikan dan dikembalikan ke proses
4. Kemampuan sistem untuk bekerja penuh secara otomatis, tanpa pengoperasian
5. Kemampuan untuk menghilangkan polutan gas atau uap dari aliran proses ke kadar yang sangat rendah

Kerugian

1. Penggunaan kembali produk membutuhkan suatu rangkaian distilasi (atau ekstraksi) yang unik dan mahal
2. Kapasitas adsorban secara progresif menurun semakin bertambahnya siklus pengoperasian
3. Regenerasi adsorban membutuhkan sumber arus atau vakum
4. Biaya investasi relatif tinggi
5. Pra-penyaringan partikulat yang berpotensi menyumbat adsorban mungkin diperlukan
6. Pendinginan aliran gas biasanya diperlukan untuk mencapai suhu pengoperasian (kurang dari 120°F)

KONDENSASI

Kondensasi merupakan proses konversi gas atau uap air menjadi zat cair. Tiap gas dapat direduksi menjadi zat cair dengan menurunkan temperatur ataupun menaikkan tekanan secukupnya. Pendekatan yang paling umum adalah menurunkan temperatur dari aliran gas, karena penambahan tekanan gas umumnya mahal.

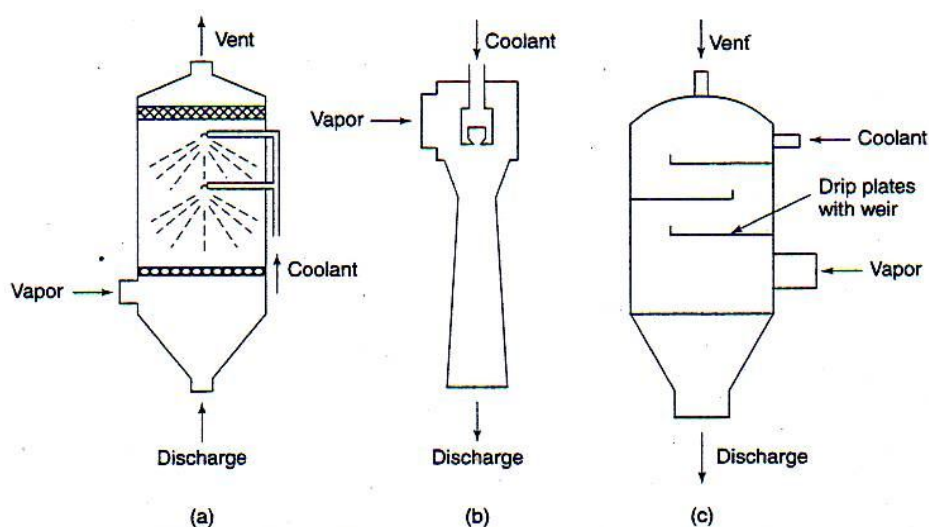
Kondenser adalah alat yang sederhana, relatif tidak mahal yang umumnya menggunakan air atau udara untuk mendinginkan dan mengembunkan aliran uap. Karena alat ini biasanya tidak mampu untuk menjangkau temperatur yang rendah (di bawah 100°F), efisiensi tinggi penghilangan polutan gas tidak didapatkan kecuali jika uap mengembun pada temperatur tinggi. Kondenser umumnya digunakan sebagai

alat pra-pengolahan. Alat tersebut dapat digunakan sebelum adsorber, absorber, dan insinerator untuk mengurangi volume gas total yang akan diolah dengan peralatan kontrol yang lebih mahal. Dengan demikian, alat ini akan membantu menurunkan keseluruhan biaya pengendalian.

Ketika uap panas bersinggungan dengan medium pendingin, panas ditransfer dari gas panas ke medium pendingin. Ketika temperatur aliran uap menurun, energi kinetik rata-rata dari gas menurun. Akhirnya, molekul gas perlahan-lahan dan padat sangat berdekatan dimana gaya tarik (Van der Waals) antar molekul membuatnya terkondensasi (mengembun) menjadi zat cair. Dua kondisi yang membantu kondensasi (pengembunan) adalah temperatur rendah, sehingga energi kinetik molekul gas rendah, dan tekanan tinggi, sehingga molekul saling berdekatan satu sama lain. Kondisi aktual dimana suatu molekul gas tertentu akan mengembun (terkondensasi) bergantung pada sifat fisik dan kimianya. Kondensasi terjadi ketika tekanan parsial polutan pada aliran gas sama dengan tekanan uapnya sebagai unsur murni pada temperatur pengoperasian.

Sebagaimana dijelaskan, kondensasi dari gas dapat terjadi dalam tiga cara:

- (1) Pada suatu temperatur yang diberikan, tekanan sistem meningkat (menekan volume gas) hingga tekanan parsial gas sama dengan tekanan uapnya;
- (2) Pada suatu tekanan tetap, gas didinginkan hingga tekanan parsial sama dengan tekanan uapnya; atau
- (3) Dalam suatu cara kombinasi, gas ditekan dan didinginkan hingga tekanan parsial sama dengan tekanan uapnya.



Gambar Kondenser Kontak: (a) Semburan, (b) Pancaran, (c) Barometrik

Keuntungan

1. Pengendalian produk murni (pada kasus kondenser kontak tidak langsung)
2. Air digunakan sebagai pendingin pada kondenser kontak tidak langsung (seperti: pertukaran panas kerangka-tabung) tidak dapat berinteraksi dengan aliran gas yang terkontaminasi dan dapat digunakan kembali setelah pendinginan

Kerugian

1. Efisiensi penghilangan polutan gas relatif rendah
2. Memerlukan pendingin yang mungkin sangat mahal

INSINERASI UAP

Insinerasi umumnya dikenal sebagai proses penghancuran limbah dengan cara pembakaran. Jika kata pembakaran diartikan sebagai proses pembakaran aktif yang mengeluarkan api, maka insinerasi lebih tepat didefinisikan sebagai proses oksidasi dengan temperatur tinggi dimana oksigen di udara melawan molekul limbah dan mengubahnya menjadi zat yang lebih sederhana seperti karbon dioksida dan air. Insinerator adalah metode yang umumnya digunakan untuk mengontrol bahan kimia berbau, beracun, atau berbahaya, seperti pestisida atau gas-gas yang karena struktur organik molekulnya menimbulkan bau atau bersifat toksik. Insinerator tidak sesuai untuk pengolahan limbah-limbah yang bermasalah karena kandungan elemennya (seperti lumpur industri yang mengandung logam berat).

Bagi banyak orang awam, insinerator dikaitkan dengan pembuangan limbah padat atau berbahaya, dan prosesnya dianggap menimbulkan bising, bau, dan pemandangan yang tidak menyenangkan serta menimbulkan resiko bagi masyarakat sekitar; belum lagi persoalan debu yang dihasilkan dalam jumlah banyak yang harus dibuang. Namun, jika terkait dengan kontrol uap atau gas, maka proses insinerasinya (disebut insinerasi uap) tidak mengganggu, tidak menimbulkan bau, sedikit atau tidak ada abu yang terbentuk, dan secara keseluruhan prosesnya tidak menimbulkan banyak pertentangan dari publik. Karena perbedaan fisik dan persepsi publik antara insinerator limbah padat atau cair dan insinerator uap, dan karena konotasi negatif dari kata insinerator, insinerator uap sering disebut sebagai "oksidasi setelah pembakaran" atau "oksidasi termal", dan peralatannya disebut sebagai pengoksidasi termal bukan insinerator.

Walaupun namanya dibedakan, prinsip dasar dari insinerasi tetap sama, yaitu selama proses oksidasi, molekul limbah organik dilawan oleh oksigen dan dihancurkan, dan zat yang lebih sederhana seperti karbon dioksida dan air terbentuk. Senyawa yang akan dihancurkan haruslah yang dapat dioksidasi yang umumnya berupa senyawa organik volatil – *volatile organic compounds* (VOCs) dan/atau karbon monoksida (CO). Umumnya, insinerator uap diterapkan terhadap aliran VOCs di udara (seperti misalnya yang keluar dari proses percetakan atau tungku bakar cat) atau gas buang dari pembakaran yang tidak sempurna atau proses pembakaran lainnya (seperti gas yang berasal dari ruang pembakaran utama insinerator limbah padat atau cair).

Heat Recovery (Penggunaan kembali panas)

Terkait dengan upaya efisiensi energi, *heat recovery* merupakan satu cara memanfaatkan kembali panas dari pembakaran dalam insinerator. Panas yang telah dikendalikan dapat digunakan dalam beberapa cara: untuk memanaskan kembali limbah gas yang dihasilkan, untuk memanaskan dan mendidihkan air, atau untuk memanaskan aliran materi lainnya.

Keuntungan dan Kerugian Insinerator

Keuntungan

1. Kemudahan dalam pengoperasian
2. Kemampuan untuk menghasilkan panas (*heat recovery*) yang dapat digunakan untuk keperluan lain

3. Kemampuan untuk menghancurkan polutan organik dengan efisiensi tinggi

Kerugian

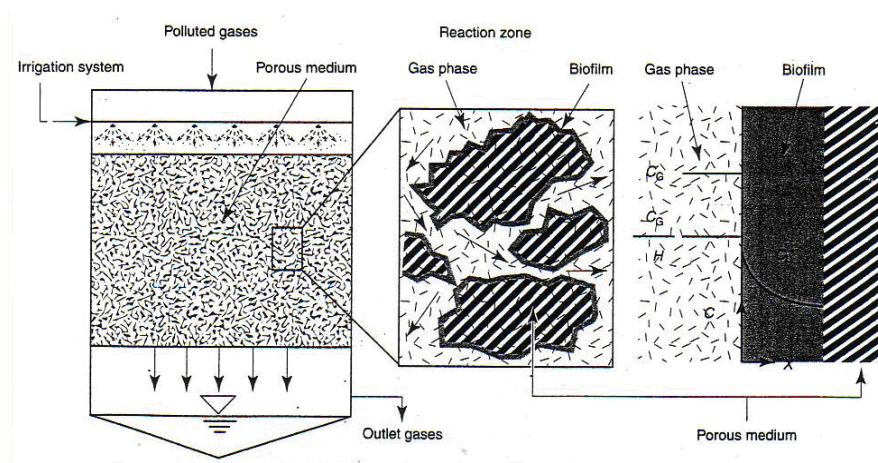
1. Biaya pengoperasian relatif tinggi (sebagian berhubungan dengan kebutuhan bahan bakar)
2. Berpotensi menimbulkan bahaya ledakan kilas balik dan yang akan datang
3. Meracuni katalis (pada kasus insinerasi dengan katalis)
4. Pembakaran tidak sempurna yang dapat menimbulkan potensi pencemaran lebih buruk

SISTEM KONTROL BIOLOGIS

Sistem biologis dapat digunakan untuk mengendalikan emisi udara yang terkontaminasi dengan VOCs yang mudah terurai secara biologis (*biodegradable*) pada konsentrasi rendah hingga sedang, pencemar udara berbahaya, dan senyawa berbau. Sistem kontrol biologis mencakup 3 jenis desain proses:

- *Biofilter*
- *Biotrickling filter*
- *Bioscrubber*

Pada *biofilter* dan *biotrickling filter*, biofilm lembab dipasang pada media berpori dalam bioreaktor. Aliran gas terkontaminasi dilewatkan melalui pelat media biologis aktif, dimana pencemar diurai oleh mikroorganisme. Perbedaan penting antara *biofilter* dan *biotrickling filter* adalah: pada *biotrickling filter*, fase cair berpindah (mengalir) melalui media berpori, sedangkan pada *biofilter* fase cair tidak bergerak. Pada sistem *bioscrubber*, absorpsi berlangsung di satu unit, yaitu di suatu kolom pelat, *spray tower*, atau *bubble column scrubber*, sedangkan biodegradasi berlangsung terutama dalam bioreaktor fase cair, mirip dengan reaktor lumpur aktif. *Biofilter* merupakan jenis sistem kontrol biologis yang paling umum digunakan untuk mengendalikan bau dan VOC.



Gambar Model konseptual dari tiga fase Sistem Kontrol Biologis. Udara yang terkontaminasi (C_G) bergerak melewati Medium berpori. Pemisahan kandungan zat terlarut dalam aliran gas ke dalam Biofilm berdasar pada Hukum Henry ($C_L = C_G/H$) dimana disalurkan melalui difusi dan pengurai biologis (*biodegraded*)

Keuntungan

1. Biaya pengoperasian rendah. Sistem kontrol biologis dioperasikan pada temperatur dan tekanan ambien sehingga konsumsi energi minimal. Walaupun energi harus didayai dari *blower*, penurunan tekanan melalui sistem kontrol biologis umumnya kurang dari 10 cm kolom air per meter dari kedalaman pelat media. Pemompaan mungkin diperlukan untuk pengoperasian sistem pembasahan (humidifikasi) atau penambahan air tambahan. Nutrien dan/atau penyangga (*buffer*) juga diperlukan dalam *biotrickling filter*, dan media berpori akan memerlukan penggantian secara periodik pada *biofilter*
2. Tidak adanya residu dan ampas produk. Kandungannya biasanya dimineralisasi menjadi produk yang aman seperti CO_2 , H_2O , dan ion anorganik seperti Cl^- , SO_4^{2-} , dan NO_3^- . Alternatif kontrol fasa gas lainnya menghasilkan residu seperti karbon aktif dan lumpur kimia dimana memerlukan pengolahan atau pembuangan lanjutan
3. Tidak seperti proses oksidasi termal, proses bio-oksidasi memproduksi emisi CO_2 dan NO_x minimal

Kerugian

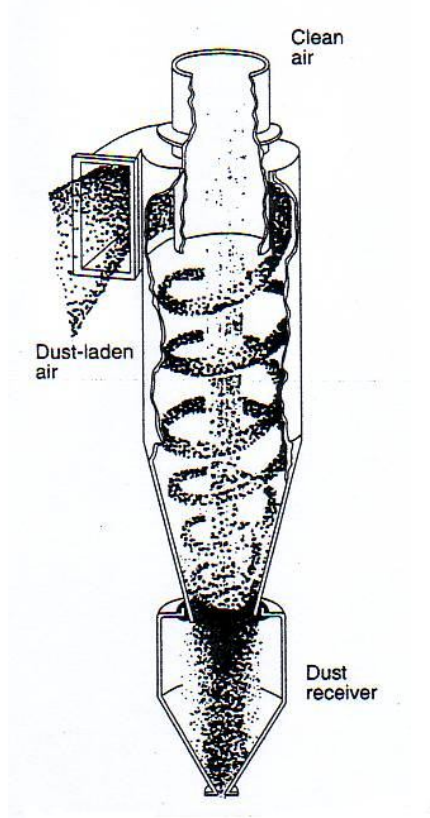
1. Membutuhkan luas area yang relatif tinggi
2. Biaya modal cukup tinggi

PENGENDALIAN PARTIKULAT

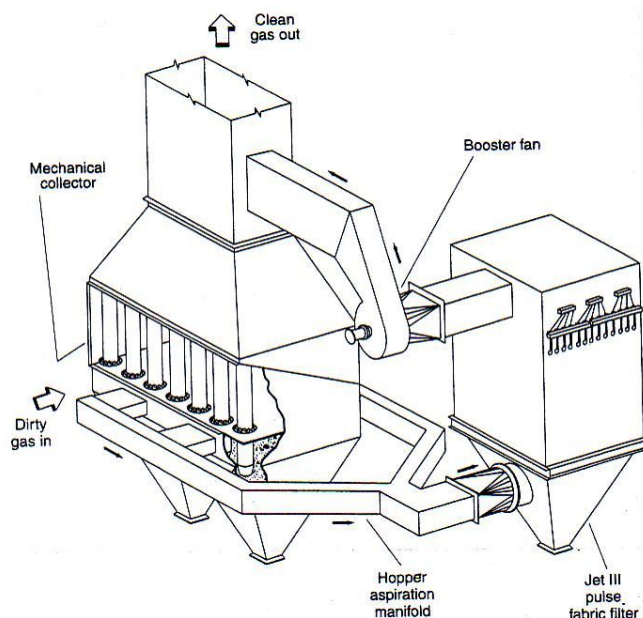
CYCLONE DAN SEPARATOR INERSIA

Separator inersia digunakan secara luas untuk pengumpulan partikel berukuran medium dan partikel kasar. Konstruksinya yang relatif sederhana dan adanya bagian-bagian yang dapat bergerak diartikan bahwa biaya pembuatan dan pemeliharaan lebih rendah dibandingkan dengan *baghouse* dan presipitator elektrostatik. Namun demikian, efisiensinya tidak begitu tinggi, dan separator inersia biasanya digunakan sebagai pembersih awal (*precleaners*) yang diletakkan di bagian hulu dari peralatan sejenis lainnya dengan maksud untuk mengurangi beban/kadar debu dan mengurangi partikel yang lebih besar dan abrasif.

Prinsip dasar pemisahan (separasi) inersia adalah bahwa gas yang mengandung partikel dipaksa untuk mengubah arah. Ketika gas berubah arah, inersia partikel menyebabkan partikel tetap berada pada arah semula dan akhirnya menyebabkan partikel terpisah dari aliran gas. *Cyclone*, dimana gas dipaksa untuk berputar pada pusaran melewati tabung, merupakan jenis separator inersia yang paling umum. Separator tersebut bisa berupa tabung tunggal atau ganda untuk volume yang besar.



Gambar Pengoperasian Cyclone



Gambar Sistem Gayuh Corong

Faktor yang mempengaruhi kinerja Cyclone

Agar *cyclone* sejak awal memiliki kinerja pengumpulan yang baik, prosedur instalasi yang tepat harus diikuti. Alat pengumpul *cyclone* harus kedap udara untuk mengeliminasi masuknya kembali partikel ke dalam aliran gas. Setiap kebocoran pada alat pengumpul pada *cyclone* dapat menyebabkan kehilangan 25% atau lebih efisiensi pengumpulan.

Erosi dan pengotoran *cyclone* merupakan masalah yang dapat ditemukan selama aktivitas pengoperasian dan pemeliharaan. Erosi pada *cyclone* disebabkan oleh benturan atau gesekan partikel pada bagian dalam dinding *cyclone*. Erosi dapat dikontrol dengan memilih ukuran diameter *cyclone* yang tepat.

Menggunakan bahan yang lebih tebal pada area kerucut dan pelat/lapisan penghilang anti abrasi pada zona benturan merupakan pilihan desain yang baik yang dapat mengontrol erosi.

Beberapa faktor lainnya mempengaruhi efisiensi pengumpulan dari *cyclone*. Efisiensi pengumpulan merupakan fungsi dari ukuran partikel dan meningkat dengan bertambahnya ukuran partikel. Efisiensi pengumpulan debu juga lebih besar untuk partikel dengan berat jenis tinggi bila dibandingkan dengan berat jenis rendah. Efisiensi pengumpulan debu juga lebih tinggi untuk partikel yang berat jenis/kepadatannya lebih besar. Demikian pula, efisiensi meningkat terhadap beban debu. Pada beban yang sangat tinggi, seluruh *cyclone* memiliki efisiensi yang relatif tinggi walaupun gas yang keluar akan masih mengandung debu yang cukup tinggi pula. Namun, *cyclone* berdiameter kecil jarang digunakan untuk beban debu yang tinggi karena erosi dan penyumbatan dapat terjadi.

Penurunan tekanan *cyclone* secara teoritis bervariasi tergantung pada kecepatan masuk aliran gas. Efisiensi pengumpulan meningkat sejalan dengan meningkatnya kecepatan aliran gas di inlet, tetapi pada laju yang lebih rendah dibandingkan dengan laju penurunan tekanan. Sifat-sifat fisik gas juga mempengaruhi efisiensi pengumpulan *cyclone*. Peningkatan temperatur gas akan menurunkan berat jenisnya dan meningkatkan kekentalan/viskositasnya. Pengaruh langsung terhadap efisiensi karena perubahan berat jenis gas dapat diabaikan ketika berat jenis gas jauh lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis partikel. Namun jika viskositas gas yang membawa partikel ke *cyclone* meningkat, efisiensi pengumpulan akan menurun dengan asumsi seluruh faktor lainnya tetap (konstan).

Keuntungan

1. Biaya rendah untuk konstruksi
2. Peralatan yang relatif sederhana dengan masalah pemeliharaan lebih sedikit
3. Penurunan tekanan pengoperasian yang relatif rendah (untuk tingkat penghilangan partikulat yang diperoleh) dengan jangkauan sekitar 2 sampai 6 inchi kolom air
4. Pengumpulan dan pembuangan kering
5. Membutuhkan lahan yang relatif kecil

Kerugian

1. Efisiensi pengumpulan partikulat relatif rendah, terutama untuk partikulat berukuran kurang dari 10 μm
2. Ketidakmampuan untuk mengatasi bahan yang lengket

WET SCRUBBERS

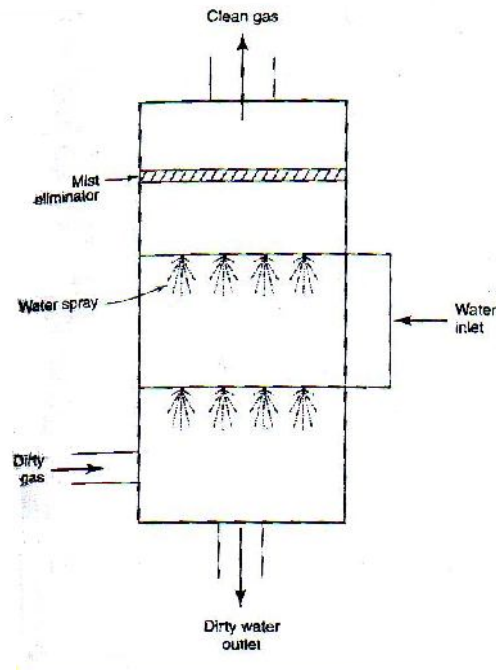
Pengendalian partikulat dengan *wet scrubber* melibatkan persinggungan atau gesekan antara gas dan zat cair (biasanya air atau larutan yang mengandung air). Partikel aerosol dipindahkan dari suspensinya dalam media gas ke permukaan zat cair melalui mekanisme perbenturan inersia, pengendapan secara gravitasi, difusi Brownian, diffusiophoresis⁷, elektrostatik dan thermophoresis⁸. Untuk partikel berdiameter lebih dari 0,5 μm , pertubrukan inersia biasanya merupakan mekanisme pengumpulan yang utama, dan untuk partikel berdiameter kurang dari 0,05 μm , difusi Brownian merupakan mekanisme yang utama, tergantung pada kecepatan relatif antara partikel aerosol dan zat cair pengumpul.

Wet scrubber digunakan di banyak industri. Umumnya, *wet scrubber* digunakan untuk:

1. Partikel yang lengket, lembab, korosif atau cair yang tidak mudah dihilangkan dari permukaan kering
2. Partikel yang mudah meledak atau terbakar
3. Mengumpulkan partikel bersamaan dengan menyerap gas yang mudah larut seperti SO_2

⁷ Suatu proses pada scrubber dimana uap air berpindah ke permukaan air dingin dengan membawa partikulat bersamanya.

⁸ Perpindahan partikel dalam suatu gradien panas dari temperatur tinggi ke rendah.



Gambar Menara Penyembur Wet Scrubber

Keuntungan

1. Tidak menghasilkan debu sekunder
2. Memerlukan tempat yang relatif kecil
3. Kemampuan untuk mengumpulkan gas sebaik kemampuan mengumpulkan partikulat
4. Kemampuan untuk mengatasi aliran gas dengan temperatur dan kelembaban tinggi
5. Anggaran biaya rendah (jika sistem pengolahan air limbah tidak diperlukan)
6. Untuk beberapa proses, aliran gas sudah berada pada temperatur tinggi (sehingga pertimbangan penurunan tekanan bisa tidak signifikan)
7. Kemampuan untuk mencapai efisiensi pengumpulan yang tinggi untuk partikulat halus (renik)

Kerugian

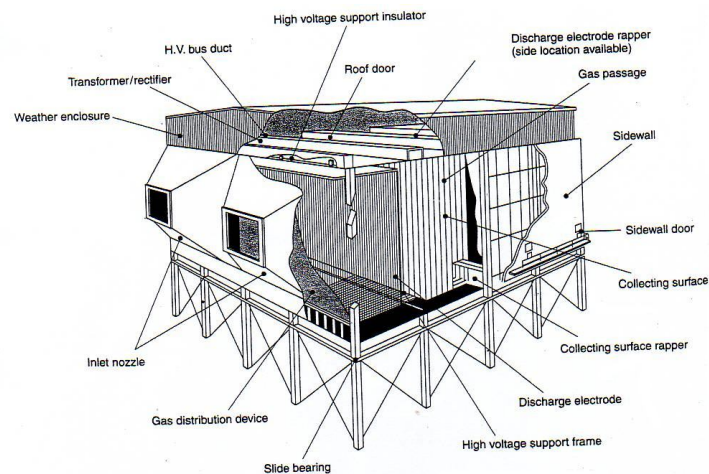
1. Dapat menimbulkan masalah buangan
2. Produk dikumpulkan dalam keadaan lembab
3. Masalah korosi lebih parah dibandingkan dengan yang menggunakan sistem pengeringan
4. Sifat tak tembus cahaya dari uap air mungkin tidak menyenangkan
5. Penurunan tekanan dan horsepower yang diperlukan mungkin tinggi
6. Pembentukan padatan pada alat pemisah lembab-kering dapat menjadi masalah
7. Biaya pemeliharaan yang relatif tinggi

PRESIPITATOR ELEKTROSTATIK

Presipitator elektrostatis (ESP) adalah alat kontrol partikel yang menggunakan tenaga listrik untuk memindahkan partikel keluar dari aliran gas sehingga menempel ke pelat pengumpul. Partikel diberi tenaga listrik dengan cara melewatkannya ke wilayah dimana ion-ion gas mengalir. Aliran listrik dalam

ruang/wilayah tersebut berasal dari elektroda yang dipasang pada tegangan tinggi dan diletakkan di pusat lajur aliran.

Setelah partikel terkumpul pada pelat, harus dipindahkan dari pelat tanpa memasukkan atau mencampurkannya kembali ke dalam aliran gas. Hal ini biasanya dilakukan dengan mengetukkan pelat, membiarkan lapisan partikel terkumpul jatuh ke penampung debu, kemudian dipindahkan. Beberapa presipitator menghilangkan partikel dengan pencucian dengan air secara selang-seling atau kontinyu.



Gambar Komponen Pengendap Elektrostatik

Keuntungan

1. Dapat mencapai efisiensi pengumpulan partikulat (kasar dan halus) yang tinggi (dengan penggunaan energi yang relatif rendah)
2. Pengumpulan dan buangan kering
3. Penurunan tekanan rendah (umumnya kurang dari 0,5 inci pada kolom air)
4. Dirancang untuk pengoperasian kontinyu dengan kebutuhan pemeliharaan yang rendah
5. Biaya pengoperasian relatif rendah
6. Mampu untuk dioperasikan di bawah tekanan tinggi (hingga 150 psi) atau kondisi vakum
7. Mampu untuk dioperasikan pada temperatur tinggi (hingga 1300°F)
8. Laju aliran gas yang relatif tinggi dapat ditangani secara efektif

Kerugian

1. Biaya investasi tinggi
2. Sangat sensitif terhadap fluktuasi kondisi aliran gas (laju alir, temperatur, partikulat dan komposisi gas, dan beban partikulat)
3. Partikulat tertentu sulit untuk dikumpulkan karena terlalu tinggi atau rendahnya daya karakteristik resistivitas (daya hambat)
4. Membutuhkan lahan untuk instalasi yang relatif besar
5. Bahaya ledakan ketika mengolah gas yang mudah terbakar dan/atau mengumpulkan partikulat yang mudah terbakar
6. Membutuhkan pencegahan khusus untuk melindungi diri dari tegangan tinggi
7. Ozon dihasilkan dari pengisian elektroda negatif selama ionisasi gas

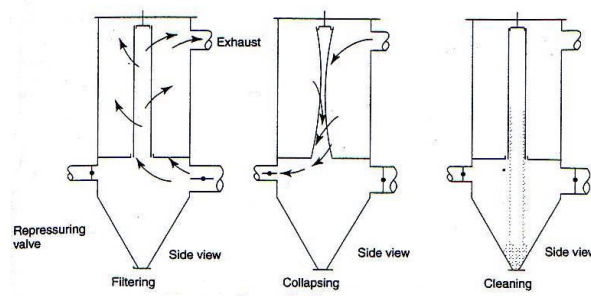
8. Memerlukan tenaga pemelihara yang berpengalaman

SISTEM FILTER

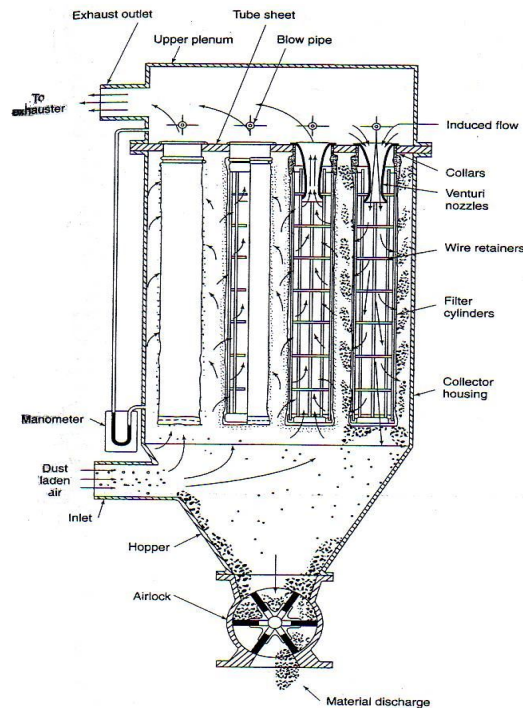
Sistem filter menghilangkan debu dari aliran gas dengan melewatkannya melalui bahan berpori. Partikel debu membentuk lapisan debu berpori pada permukaan bahan. Lapisan inilah yang sesungguhnya menyaring debu. Cara debu dihilangkan dari sistem adalah faktor penting dalam kinerja sistem filter. Jika lapisan debu tidak dihilangkan secukupnya, akan terjadi penurunan tekanan sistem secara signifikan. Sedangkan jika terlalu banyak lapisan yang dihilangkan, akan terjadi kebocoran debu ketika lapisan baru terbentuk. Pemilihan parameter desain sangat penting bagi kinerja sistem filter.

Sistem filter seringkali disebut *baghouse*, karena bahannya disusun menyerupai kantong silindris. Dua desain *baghouse* yang paling umum adalah pembalikan udara (*reverse-air*) dan *pulse-jet*. Pemberian nama ini menjelaskan sistem pembersihan yang digunakan. *Reverse-air baghouse* dioperasikan dengan mengalirkan gas kotor ke bagian dalam kantong, sehingga pengumpulan debu terjadi di permukaan bagian dalam kantong. Kantong dibersihkan secara berkala dengan mengalirkan udara dari arah berlawanan yang menyebabkan lapisan debu yang terkumpul pada permukaan kantong jatuh ke dalam penangkap debu di bawahnya. Karena prosedur pembersihan ini dilakukan pada kecepatan alir gas yang relatif rendah, bahan filter tidak mengalami pergerakan yang kasar, sehingga usia pakai kantong bisa maksimum.

Pulse-jet baghouse didesain dengan struktur kerangka dalam, disebut sangkar, untuk membiarkan debu mengumpul pada bagian luar kantong. Lapisan debu secara berkala dihilangkan dengan menyemprotkan udara yang dimampatkan ke dalam kantong sehingga kantong mengembang secara tiba-tiba. Debu dihilangkan terutama oleh tenaga inersia ketika kantong mengembang maksimum. Teknik pembersihan kantong ini cukup efektif; namun, usia pakai kantong bisa cepat menurun karena penggunaan tekanan saat menyemprotkan udara ke kantong dan kantong yang sering mengembang dan mengempis. Selain itu, teknik ini juga cenderung meningkatkan migrasi debu melalui kantong, sehingga menurunkan efisiensi pengumpulan debu.



Gambar Reverse-Air Cleaning



Gambar Kantong Penyaring Tipe Pancaran Tekanan Udara

Keuntungan

1. Efisiensi pengumpulan partikulat kasar dan halus (submikrometer) sangat tinggi
2. Relatif tidak sensitif terhadap fluktuasi aliran gas; efisiensi dan penurunan tekanan relatif tidak dipengaruhi oleh perubahan yang besar pada beban inlet debu untuk keberlanjutan pembersihan filter
3. Outlet filter udara bisa diresirkulasikan dengan suatu unit (untuk konservasi energi)
4. Pengumpulan materi diatur dalam kondisi kering untuk pemrosesan atau pembuangan selanjutnya
5. Tidak ada masalah dengan buangan limbah cair, pencemaran air, atau pendinginan zat cair
6. Korosi atau pengkaratan komponen biasanya tidak menjadi masalah
7. Tidak terdapat bahaya dari tegangan tinggi, kemudahan pemeliharaan dan perbaikan dan diperbolehkan untuk pengumpulan debu yang mudah terbakar
8. Penggunaan bantuan filter berserat atau granular (pra pelapisan) dilakukan untuk pengumpulan berefisiensi tinggi terhadap asap submikrometer dan polutan gas
9. Konfigurasi filter pengumpul tersedia dalam jumlah besar, dihasilkan dalam suatu cakupan dimensi dan bertempat di tepi inlet dan outlet untuk disesuaikan dengan kebutuhan instalasi
10. Pengoperasian relatif mudah

Kerugian

1. Temperatur yang banyak melebihi batas 550°F memerlukan refraksi mineral dan sistem logam khusus yang saat ini masih dalam tahap pengembangan dan bisa sangat mahal
2. Debu tertentu membutuhkan sistem pengolahan untuk mengurangi rembesan debu atau, pada kasus lain, membantu penghilangan debu yang terkumpul

3. Konsentrasi beberapa debu di tempat pengumpulan ($\sim 50 \text{ g/m}^3$) dapat menimbulkan bahaya api atau ledakan jika terjadi percikan api atau kobaran api akibat kecelakaan; sistem dapat terbakar jika debu yang siap teroksidasi terkumpul
4. Memerlukan biaya pemeliharaan yang relatif tinggi (penempatan kantong, dan lain-lain)
5. Umur sistem mungkin memendek pada temperatur tinggi dan jika terdapat partikulat asam atau alkalin
6. Material higroskopis, kondensasi kelembaban, atau komponen yang mudah lekat dapat mengakibatkan kerak atau penyumbatan sistem sehingga memerlukan perlakuan tambahan khusus.
7. Penempatan sistem filter akan membutuhkan perlindungan udara bagi personil pemeliharaan
8. Membutuhkan penurunan tekanan media, biasanya pada jangkauan 4 sampai 10 inchi kolom air

Lampiran 6: FORMAT LAPORAN INVENTARISASI EMISI PENCEMAR UDARA DI PERKOTAAN

Pelaporan Penyusunan Inventarisasi Pencemar Udara di Perkotaan dibuat dalam bentuk laporan naratif yang menjelaskan proses penyusunan secara lengkap dan sistematis. Laporan naratif juga dilengkapi dengan *worksheet* perhitungan inventarisasi emisi yang telah dikelompokkan menurut kategori dan jenis sumber. Sebagai referensi, laporan naratif mencakup bagian-bagian sebagai berikut:

Ringkasan Eksekutif

Menjelaskan isi dokumen secara singkat dalam 1-3 halaman yang mencakup pernyataan mengenai latar belakang, analisis singkat dan kesimpulan.

BAB 1 Pendahuluan

Menjelaskan tujuan dan sasaran penyusunan inventarisasi emisi, lingkup pekerjaan serta tujuan penggunaan inventarisasi emisi.

BAB 2 Kajian Literatur

Menjelaskan secara ringkas mengenai pencemaran udara dan sumber-sumbernya, pendekatan dan strategi dalam pengelolaan kualitas udara serta peraturan yang terkait dengan pengendalian pencemaran udara (baku mutu emisi gas buang kendaraan, industri, insinerator, dan lain-lain). Selanjutnya bagian ini juga menjelaskan mengenai inventarisasi emisi, faktor emisi, data aktivitas serta pendekatan dan metodologi dalam melakukan penyusunan inventarisasi emisi.

BAB 3 Lingkup Studi

Menjelaskan lingkup administratif dan geografis kota, ditambah dengan informasi spesifik mengenai kota yang dapat membantu analisis dalam penyusunan inventarisasi emisi seperti data ekonomi dan sosial. Dalam penjelasan lingkup fisik kota, penjelasan sudah mencantumkan peta wilayah penyusunan inventarisasi emisi yang dibagi ke dalam grid. Bagian ini juga menjelaskan mengenai sumber emisi dalam lingkup studi serta pendekatan perhitungan estimasi beban emisi. Bagian ini ditutup dengan metode kendali mutu (QA/ QC) yang dipilih.

BAB 4 Beban Emisi Sumber Titik

Menjelaskan sumber-sumber yang termasuk dalam kategori sumber titik, termasuk karakteristik masing-masing sumber, faktor emisi yang dipakai, data aktivitas yang digunakan serta metodologi pengumpulan data, metodologi perhitungan, hasil perhitungan beban emisi setiap jenis sumber serta catatan tambahan mengenai asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan. Bagian ini ditutup dengan tabel rangkuman hasil perhitungan beban emisi sumber titik menurut jenis sumbernya.

BAB 5 Beban Emisi Sumber Area

Menjelaskan sumber-sumber yang termasuk dalam kategori sumber area, termasuk karakteristik masing-masing sumber, faktor emisi yang dipakai, data aktivitas yang digunakan serta metodologi pengumpulan data, metodologi perhitungan, hasil perhitungan beban emisi setiap jenis sumber serta catatan tambahan mengenai asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan. Bagian ini ditutup dengan tabel rangkuman hasil perhitungan beban emisi sumber area menurut jenis sumbernya.

BAB 6 Beban Emisi Sumber Bergerak On-road

Menjelaskan sumber-sumber yang termasuk dalam kategori sumber bergerak *on-road*, pemodelan perhitungan emisi yang dipakai (jika ada), data aktivitas yang digunakan serta metodologi pengumpulan data, metodologi perhitungan, hasil perhitungan beban emisi serta catatan tambahan mengenai asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan. Bagian ini ditutup dengan tabel rangkuman hasil perhitungan beban emisi sumber bergerak *on-road* menurut jenis sumbernya/jenis kendaraan.

BAB 7 Beban Emisi Sumber Bergerak Non-road

Menjelaskan sumber-sumber yang termasuk dalam kategori sumber bergerak *non-road*, termasuk karakteristik masing-masing sumber, faktor emisi yang dipakai, data aktivitas yang digunakan serta metodologi pengumpulan data, metodologi perhitungan, hasil perhitungan beban emisi setiap jenis sumber serta catatan tambahan mengenai asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan. Bagian ini ditutup dengan tabel rangkuman hasil perhitungan beban emisi sumber bergerak *non-road* menurut jenis sumbernya/jenis kendaraan *non-road*.

BAB 8 Beban Emisi Total dan Distribusi Spasial

Merangkum beban emisi menurut jenis pencemarnya ke dalam tabel dan grafik, serta distribusi spasialnya ke dalam peta grid yang menggambarkan intensitas beban emisi.

BAB 9 Kesimpulan dan Rekomendasi

Meringkas temuan hasil penyusunan inventarisasi emisi dan menyertakan analisis singkat mengenai sumber-sumber pencemar udara dan langkah tindak lanjut yang perlu dilakukan.

LAMPIRAN

Bagian lampiran terdiri dari:

1. Lampiran diagram skematis perhitungan beban emisi menurut kategori dan jenis sumber
2. Lampiran daftar survei dan format kuesioner yang dipakai
3. Lampiran hasil survei dan kuesioner
4. Lampiran rinci data lalu-lintas *on-road* dan *non-road*
5. Lampiran faktor emisi yang dipakai menurut kategori dan jenis sumber, beserta referensinya