



YAYASAN PENDIDIKAN DAYANG SUMBI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

Jl. PHH Mustapa 23, Bandung 40124 Indonesia, Telepon +62-22-7272215 ext 157, Fax:022-720 2892
Web site: <http://www.itenas.ac.id>, e-mail: ipp@itenas.ac.id

SURAT KETERANGAN
MELAKUKAN KEGIATAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
385/A.01/TL-FTSP/Itenas/VIII/2023

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.
Jabatan : Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Itenas
NPP : 40909

Menerangkan bahwa,

Nama : Zidan Fachreza Firdaus
NRP : 252019022
Email : zidanfachreza@gmail.com

Telah melakukan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat sebagai berikut:

Nama Kegiatan : Distribusi Spasial Sumber Emisi PM_{2,5} Di Provinsi DKI Jakarta

Tempat : Kota Bandung

Waktu : Juli 2022 – September 2022

Sumber Dana : Mandiri

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 06 September 2023

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan
Itenas,

(Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.)
NPP. 40909

**LAPORAN PRAKTIK KERJA
DISTRIBUSI SPASIAL SUMBER EMISI PM_{2,5} DI
PROVINSI DKI JAKARTA**

*Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada
Mata Kuliah Praktik Kerja (TLA-490)*

Disusun oleh:

Nama : Zidan Fachreza Firdaus
NRP : 25-2019-022
Pembimbing : Dr. Eng. Didin Agustian Permadi, S.T., M.Eng.



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
BANDUNG
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

**DISTRIBUSI SPASIAL SUMBER EMISI PM_{2,5} DI PROVINSI DKI
JAKARTA**

KERJA PRAKTEK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan

Mata Kuliah Praktik Kerja (TLA-490)

Pada

Program Studi Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Nasional

Bandung, Mei 2023

Mengetahui/Menyetujui

Dosen Pembimbing



**Dr. Eng. Didin Agustian
Permadi, S.T., M.Eng.**

NIDN/NIDK:0420088009

Koordinator Kerja Praktek



Mila Drgawati, S.T., M.T., PhD.

NIDN/NIDK:0409058001

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Dr. M. Rangga Sururi, S.T., M.T.
NIDN/NIDK:0403047803

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, kesehatan dan kemudahan bagi saya sehingga dapat menyelesaikan Laporan Praktik Kerja berjudul “Distribusi Spasial Sumber Emisi PM_{2,5} Di Provinsi DKI Jakarta”. Tujuan pembuatan laporan ini untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada Mata Kuliah Praktik Kerja (TLA-409).

Saya dapat menyelesaikan ini dengan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu saya mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua saya yang selalu memberi semangat agar saya dapat menyelesaikan laporan praktik kerja ini.
2. Bapak Dr. Eng. Didin Agustian Permadi, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang membantu mengarahkan dalam menyelesaikan laporan praktik kerja.
3. Kak Soni Pratamayudha Wijaya, S.T. yang telah membantu selama mengikuti kerja praktik dan pengumpulan data untuk penulisan laporan.
4. Teman-teman saya dan semua pihak lainnya yang tidak dapat saya sebutkan yang sudah memberi semangat dalam menyelesaikan tugas besar ini.

Dalam penyusunan laporan praktik kerja ini, saya menyadari bahwa masih banyaknya kekurangan. Sehingga saya mengharapkan saran dan kritik dari pembaca yang sifatnya membangun untuk dapat menyempurnakan laporan praktik kerja. Saya harap laporan praktik kerja ini bermanfaat bagi semua orang yang membaca.

Bandung, 2023

Zidan Fachreza Firdaus

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Rumusan Masalah	I-2
1.3 Maksud dan Tujuan	I-3
1.4 Ruang Lingkup	I-3
1.5 Sistematika Penulisan	I-3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Pencemaran Udara	II-1
2.2 <i>Particulate Matter</i> (PM _{2,5})	II-2
2.3 Sumber Partikulat	II-4
2.4 Dampak PM _{2,5}	II-6
2.5 Inventarisasi Emisi	II-7
2.6 <i>Geographic Information System</i> (GIS)	II-7
2.7 <i>Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual</i> (ABC EIM)	II-8
2.8 Distribusi Spasial	II-9
2.9 <i>Combustion In Energy Industry And Energy Using Sectors</i>	II-9
2.9.1 <i>Energy Industry</i>	II-9
2.9.2 <i>Manufacturing And Construction</i>	II-10
2.9.3 <i>Transportation Sector</i>	II-12
2.9.4 <i>Residential And Commercial Sectors</i>	II-15
2.10 <i>Municipal Solid Waste (MSW) Open Burning</i>	II-17
2.11 Vital Strategies	II-19
BAB III METODOLOGI	III-1
3.1 Studi Literatur	III-2

3.2 Pengumpulan Data.....	III-2
3.3 Pengolahan Data	III-2
3.4 Analisis	III-7
3.5 Penyusunan Laporan.....	III-7
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1 Lokasi Penelitian	IV-1
4.2 Sektor Manufaktur	IV-3
4.3 <i>Energy Industry</i>	IV-6
4.4 <i>Commercial & Residential</i>	IV-10
4.5 <i>Solid Waste Open Burning</i>	IV-13
4.6 <i>Land Transport</i>	IV-16
4.7 Aviation	IV-20
4.8 <i>Marine Transport</i>	IV-23
4.9 Rekapitulasi	IV-25
BAB V KESIMPULAN.....	V-1
5.1 Kesimpulan.....	V-1
5.2 Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA	viii

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tipikal Komposisi PM2,5 di Amerika Bagian Barat dan Amerika Bagian Timur	II-4
Tabel 3. 1 Data Sekunder.....	III-2
Tabel 3. 2 Data untuk Perhitungan Komposisi Bahan Bakar dan Jenis Kendaraan	III-3
Tabel 3. 3 Data Besaran Konsumsi Bahan Bakar di DKI Jakarta	III-4
Tabel 3. 4 Densitas Bahan Bakar	III-4
Tabel 3. 5 Data yang Digunakan untuk Pembuatan Distribusi Spasial	III-7
Tabel 4. 1 Total Emisi PM2,5 dari Sektor Manufaktur	IV-3
Tabel 4. 2 Total Emisi PM2,5 dari Sektor Industri Energi	IV-6
Tabel 4. 3 Total Emisi PM2,5 dari Sektor Residensial dan Komersial	IV-10
Tabel 4. 4 Total Emisi PM2,5 dari Sektor Pembakaran Sampah Terbuka	IV-13
Tabel 4. 5 Total Emisi PM2,5 Dari Sektor Land Transport	IV-17
Tabel 4. 6 Total Emisi PM2,5 dari Sektor Aviation.....	IV-21
Tabel 4. 7 Total Emisi PM2,5 dari Sektor Marine Transport.....	IV-23
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Total Emisi Dari Ketujuh Sektor	IV-25

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Sumber Pencemar Udara.....	II-2
Gambar 2. 2	Perbedaan Ukuran antara PM _{2,5} dan PM ₁₀	II-3
Gambar 3. 1	Metodologi Penelitian	III-1
Gambar 4. 1	Peta Administrasi DKI Jakarta	IV-2
Gambar 4. 2	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Manufaktur	IV-5
Gambar 4. 3	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Industri Energi.....	IV-9
Gambar 4. 4	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Residensial	IV-12
Gambar 4. 5	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Komersial	IV-13
Gambar 4. 6	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Solid Waste Open Burning	IV-16
Gambar 4. 7	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Transportasi Darat	IV-20
Gambar 4. 8	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Aviaton.....	IV-23
Gambar 4. 9	Distribusi Spasial Emisi PM _{2,5} Sektor Marine Transport.....	IV-25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia, beberapa sektor mengalami perkembangan guna memenuhi kebutuhan tersebut, khususnya sektor industri dan transportasi. Berkat perkembangan ini, kebutuhan manusia dapat terpenuhi secara cepat dan efisien. Namun di sisi lain, perkembangan ini memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap kualitas lingkungan, khususnya udara, karena meningkatnya kebutuhan energi yang memicu peningkatan emisi (Yunita dan Kiswandono, 2017; Tiarani dkk, 2016).

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, emisi didefinisikan sebagai pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara, mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi Pencemaran Udara, sedangkan jumlah Pencemar Udara yang dibuang oleh suatu Usaha dan/atau Kegiatan ke Udara Ambien disebut dengan Beban Emisi.

Salah satu emisi yang dihasilkan dari aktivitas manusia adalah particulate matter 2,5 (PM_{2,5}). PM_{2,5} sendiri merupakan partikel yang memiliki ukuran lebih kecil dari 2,5 mikrometer. Partikel PM_{2,5} berukuran 30 kali lebih kecil dibandingkan PM₁₀ dan jika terhirup dapat langsung masuk ke saluran tubuh paling dalam seperti paru-paru dan mengendap di bagian alveolit karena ukurannya yang sangat halus (Pfeiffer, 2005 dan Vallero, 2014).

Kepadatan penduduk yang memicu peningkatan kegiatan domestik dan pembakaran terbuka limbah padat juga berkontribusi pada peningkatan emisi yang menurunkan kualitas udara. Penurunan kualitas udara ini merupakan salah satu masalah serius terutama di Provinsi DKI Jakarta. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta, sepanjang

Januari sampai November tahun 2018, kualitas udara di wilayah DKI Jakarta memiliki nilai Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) tertinggi mencapai 234, masuk ke dalam kategori sangat tidak sehat menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan RI nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020.

Sayangnya, informasi spasial terkait sumber emisi di DKI Jakarta masih terbatas, terutama untuk parameter $PM_{2.5}$ sehingga belum cukup untuk membantu penanganan isu tersebut. Oleh karena itu, kerja praktik di LPPM ITENAS dilakukan untuk kerjasama penelitian dengan Vital Strategies dalam pengembangan rencana aksi Grand Design Pengendalian Pencemaran Udara (GDPPU) di Provinsi DKI Jakarta yang bertujuan untuk memperoleh gambaran distribusi spasial sumber emisi di DKI Jakarta untuk parameter $PM_{2.5}$. Nantinya, kerjasama ini dapat memberikan dukungan teknis dan layanan konsultatif dalam menentukan kebijakan dan mempengaruhi pembahasan publik tentang polusi udara dan dampak kesehatannya dalam rangka mencari solusi yang lebih tepat sasaran dan terfokus dalam mengatasi masalah polusi udara (Sutrisno dkk, 2016).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan beberapa masalah berikut:

- Sektor apa saja yang berkontribusi terhadap pencemaran udara di Provinsi DKI Jakarta?
- Jika kepadatan penduduk dan lalu lintas DKI Jakarta mempengaruhi total emisi secara spasial, bagaimana pengaruhnya terhadap total emisi secara spasial?
- Bagaimana kualitas udara di Provinsi DKI Jakarta dilihat dari parameter $PM_{2.5}$?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dari praktik kerja ini adalah membuat distribusi spasial dari setiap sumber emisi di Provinsi DKI Jakarta. Adapun tujuan dalam pelaksanaannya yaitu:

- Mengidentifikasi sektor apa saja yang merupakan sumber emisi pencemar udara di Provinsi DKI Jakarta.
- Mengetahui besar konsentrasi parameter $PM_{2,5}$ yang diemisikan setiap sumber emisi di Provinsi DKI Jakarta.
- Mengetahui daerah yang menjadi *Hotspot* sumber emisi di Provinsi DKI Jakarta.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari praktik kerja ini dibatasi pada:

1. Parameter

Parameter emisi yang diamati yaitu parameter $PM_{2,5}$.

2. Waktu pengumpulan data

Data yang digunakan pada praktik kerja ini merupakan data yang dikumpulkan pada tahun 2018.

3. Sektor

Sektor yang diamati yaitu *manufactur industry, energy industry, comercial & residential, solid waste open burning, land transport, aviation, dan marine transport*.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan kerja praktik ini terdiri dari beberapa bab dan masing-masing bab membahas masalah tersendiri, yang mana sistematika laporan ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan serta ruang lingkup dari praktik kerja.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan landasan teori terkait dengan judul laporan praktik kerja yaitu Distribusi Spasial.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah seperti pengumpulan data dan pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan data-data yang telah diolah, analisis data, hasil analisis data, dan pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis data yang telah dilakukan.

BAB II

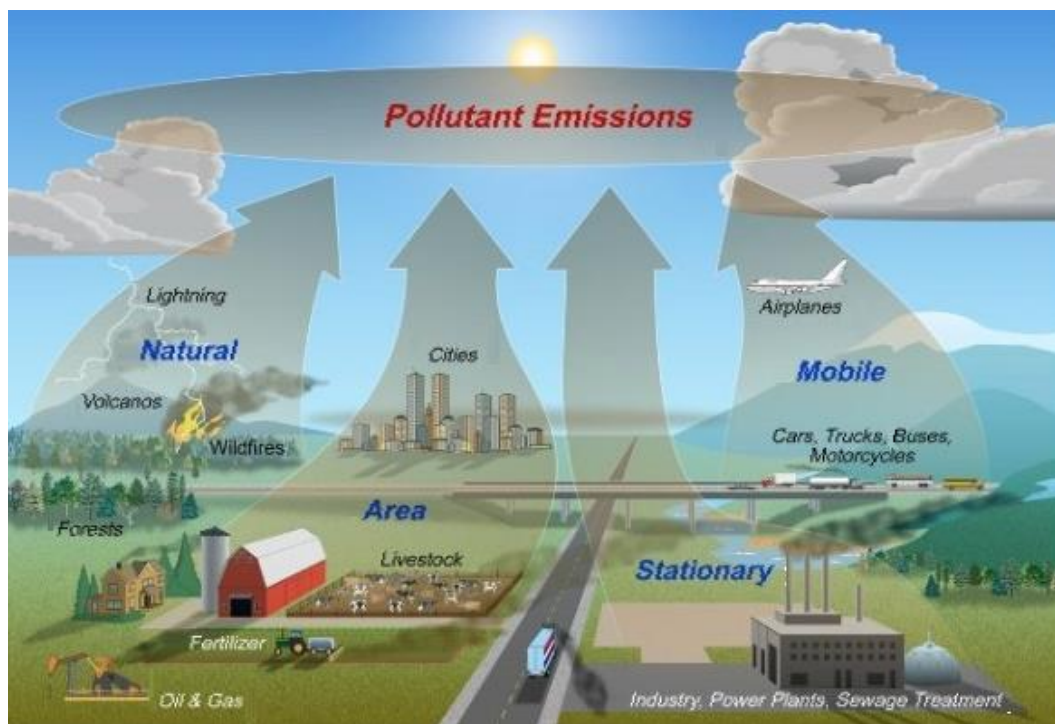
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara adalah terjadinya kontaminasi pada udara baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan akibat kehadiran satu atau lebih substansi kimia, fisik atau biologi yang mengubah karakteristik natural dari udara. Pencemaran udara membahayakan kesehatan manusia dan makhluk hidup lainnya, juga menyebabkan kerusakan iklim maupun material. Sayangnya, sebesar 99% populasi di dunia menghirup udara dengan kandungan polutan yang tinggi melebihi batas yang ditentukan *World Health Organization* (WHO), di mana negara dengan pendapatan rendah hingga sedang mengalami eksposur tertinggi. (WHO, 2022).

Kebanyakan pencemaran udara disebabkan aktivitas manusia, termasuk sumber bergerak seperti alat transportasi maupun sumber tidak bergerak seperti proses di industri, aktivitas kilang, dan pembangkit listrik. Pencemaran udara juga dapat disebabkan kejadian alam, contohnya angin puting beliung, kebakaran hutan maupun erupsi gunung berapi. Tetapi faktanya, sumber bergerak dapat menyebabkan pencemaran udara yang lebih buruk dari pada sumber tidak bergerak melihat banyaknya jumlah makhluk hidup yang dapat terpapar. (Vallero, 2014 dan 2020).

Sumber bergerak dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sumber mayor dan sumber area. Sumber pencemar mayor mengemisikan setidaknya 10 ton polutan beracun atau 25 ton campuran polutan per tahunnya. Adapun sumber area merupakan sumber pencemar yang berasal dari suatu area yang mengemisikan polutan kurang dari 10 ton polutan beracun atau 25 ton campuran polutan per tahunnya (Vallero, 2014 dan 2020). Sumber pencemar yang tergolong sumber area antara lain polutan yang berasal dari area peternakan, kota, maupun tempat pembuangan akhir. Adapun ilustrasi sumber pencemar udara ditunjukkan oleh **Gambar 2.1**.



Gambar 2. 1 Sumber Pencemar Udara

Sumber: NPS, 2018

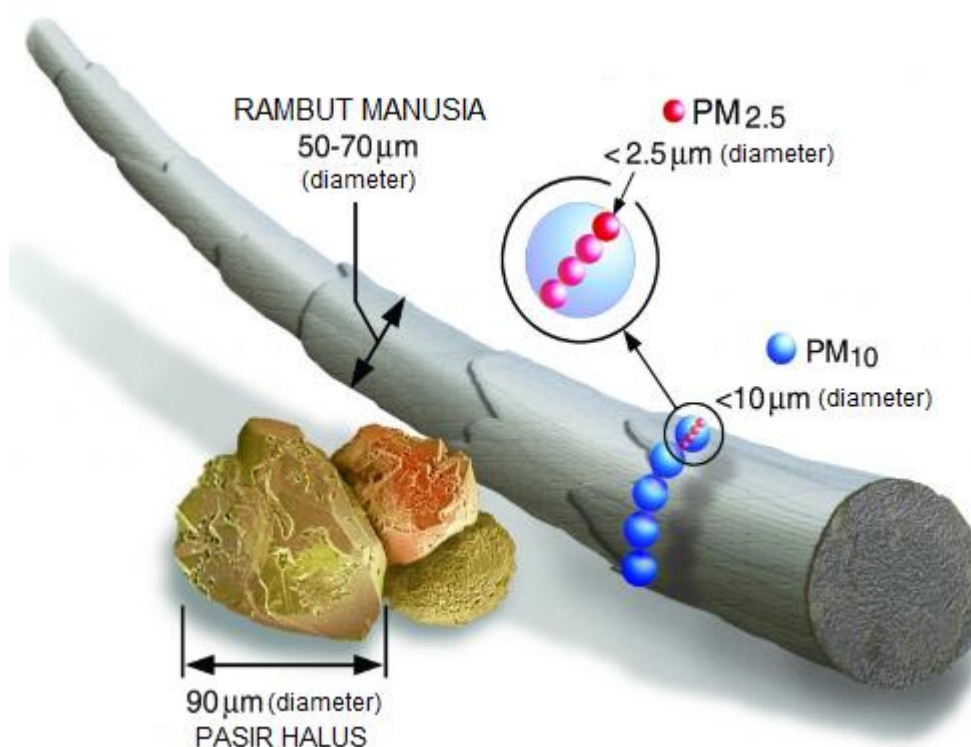
Sumber pencemar udara juga dapat dikategorikan menjadi sumber primer dan sumber sekunder. Sumber pencemar primer merupakan polutan yang diemisikan langsung dari sumbernya seperti karbon monoksida (CO), sedangkan sumber pencemar sekunder merupakan polutan yang terbentuk melalui reaksi kimia antara polutan primer seperti ozon (O₃) (Vallero, 2014). Polutan sekunder lebih tahan lama dibandingkan polutan primer sehingga lebih membahayakan manusia (Bhaskar dan Lakshminarayanachari, 2021).

2.2 *Particulate Matter (PM_{2,5})*

Pencemar udara terdiri dari campuran gas dan partikulat. Istilah partikulat dapat didefinisikan sebagai aerosol atau campuran partikel padat dan tetesan cairan dengan diameter sangat kecil yang dilepaskan ke atmosfer. Beberapa partikel seperti debu atau *soot* mungkin cukup gelap sehingga terlihat oleh mata telanjang, tetapi sebagian partikel lainnya berukuran sangat kecil dan sulit

terlihat tanpa bantuan mikroskop seperti $PM_{2.5}$. (Vallero, 2014 dan USA *Environmental Protection Agency*, 2022)

Particulate matter ($PM_{2.5}$) merupakan partikel yang memiliki ukuran lebih kecil dari 2,5 mikrometer. Partikel $PM_{2.5}$ berukuran 30 kali lebih kecil dibandingkan PM_{10} dan jika terhirup dapat langsung masuk ke saluran tubuh paling dalam seperti paru-paru dan mengendap di bagian alveolit karena ukurannya yang sangat halus (Pfeiffer, 2005 dan Vallero, 2014). Ilustrasi perbedaan ukuran antara $PM_{2.5}$ dan PM_{10} ditunjukkan oleh **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Perbedaan Ukuran antara $PM_{2.5}$ dan PM_{10}

Sumber: EPA, 2022

Komposisi pembentuk $PM_{2.5}$ terdiri dari sulfat, nitrat, *organic compounds*, *ammonium compounds*, *metal*, *acidic material*, dan bahan kontaminan lain yang dapat memberikan dampak buruk bagi kesehatan manusia (EPA, 2022). Sebagai gambaran, tipikal komposisi $PM_{2.5}$ di Amerika bagian barat dan Amerika bagian timur dijelaskan pada **Tabel 2.1**. Adapun partikulat sendiri dapat dihasilkan

langsung dari sumbernya seperti area konstruksi, jalan yang tidak beraspal, lapangan, cerobong asap, *materials-handling processes* seperti *crushing* (penghancuran), *handling* (penghalusan), *grinding* (penggerindaan), penyusutan, atau peledakan dari bahan organik dan anorganik seperti biji besi, batu, batu bara, biji-bijian atau kebakaran. Partikulat yang berasal dari sumber-sumber tersebut disebut partikulat primer. Partikulat lainnya dihasilkan dari reaksi antara partikulat primer seperti SO₂, NO dan senyawa lainnya di atmosfer yang selanjutnya disebut partikulat sekunder. (Cooper, C.D. & Alley, 2002 dan Vallero, 2014)

Tabel 2. 1 Tipikal Komposisi PM_{2,5} di Amerika Bagian Barat dan Amerika Bagian Timur

Komposisi PM _{2,5}	PM _{2,5} di Amerika bagian timur (%)	PM _{2,5} di Amerika bagian barat (%)
Karbon	4	15
Karbon Organik	21	39
Sulfat, Nitrat, Amonium	48	35
Mineral	4	15
Lainnya	23	-

Sumber : Vallero, 2014

2.3 Sumber Partikulat

Sumber partikulat yang berbeda menghasilkan partikulat yang berbeda pula. Klasifikasi sumber partikulat berdasarkan lokasi penghasilnya terbagi menjadi dua, yaitu *outdoor* dan *indoor*.

1. *Outdoor*

Sumber paparan debu di luar ruangan umumnya adalah emisi/gas buang kendaraan bermotor. Partikel dari kendaraan bermotor biasanya berukuran antara 0,01 dan 5 mikron. Partikel yang lebih besar dari 50 mikron menumpuk di jalanan sehingga ketika roda kendaraan bergesekan dengan jalan, partikel berdiameter lebih besar akan naik ke udara bebas.

2. Indoor

a. Peralatan dalam ruangan

Beberapa peralatan yang dapat menjadi sumber debu antara lain adalah karpet, *wallpaper*, tumpukan kertas, dan *gypsum* pada langit-langit rumah.

b. Aktivitas manusia

Beberapa aktivitas manusia yang dapat meningkatkan jumlah debu di udara adalah memasak, berjalan kaki, bersih-bersih, dan renovasi. Selain itu, memasak daging dengan minyak terbukti meningkatkan kandungan PM (Hildemann et al., 1991). Pergerakan manusia dapat meningkatkan konsentrasi partikel berdiameter >4 mikron sebanyak 5 kali lipat lebih banyak dibandingkan dengan partikel <2 mikron karena dapat menyebabkan partikulat yang mengendap bergerak bebas. Selain itu, proses pembersihan dapat meningkatkan pergerakan debu yang menempel pada permukaan material dan furnitur dalam ruangan. Menurut Ferro (2004), proses pembersihan yang dilakukan seperti *vacuuming* selama 15 menit, dapat meningkatkan paparan $PM_{2,5}$ dan PM_5 pada konsentrasi udara dalam ruangan 1,4 hingga 1,6 kali lebih banyak dalam periode waktu yang sama. Proses renovasi bangunan juga dapat meningkatkan pergerakan dan aktivitas manusia sehingga menyebabkan terbentuknya partikel-partikel di dalam ruangan. Namun, partikel yang diproduksi biasanya bukan partikel yang dapat dihirup. (Cooper, C.D. & Alley, 2002)

c. Produk pembersih

Beberapa produk pembersih yang dapat menimbulkan debu adalah pestisida dan pengharum ruangan. Sebagian besar penyegar udara, termasuk wewangian yang mudah menguap, dapat meningkatkan kadar *Volatile Organic Compound* (VOC) di dalam ruangan dan jika bereaksi dengan ozon di udara dapat menghasilkan PM (Hoffmann dkk., 1997).

Sumber utama partikel $PM_{2,5}$ biasanya berasal dari proses pembakaran suhu tinggi, aktivitas industri, dan kendaraan bermotor. Di sebagian besar wilayah

perkotaan, pengguna kendaraan bermotor bertanggung jawab atas sebagian besar emisi PM_{2,5} di udara (Hester & Harrison, 2009).

2.4 Dampak PM_{2,5}

PM_{2,5} yang diemisikan ke udara berdampak pada manusia, material dan atmosfer. Jangkauannya dapat mencapai skala lokal, regional hingga lintas negara. Terutama pengurangan visibilitas, terjadinya hal tersebut disebabkan oleh partikel halus yang menyerap cahaya dari atmosfer, partikel ini biasanya dilepaskan oleh aktivitas manusia. Beberapa partikel alami atau buatan manusia dapat memantulkan sinar matahari dan menyebabkan pemanasan global. Karbon hitam yang terkandung dalam partikel tersebut menyerap radiasi matahari dan dengan demikian mempengaruhi pembentukan awan dan reflektifitasnya yang berpengaruh pada fenomena efek rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim. Efek jangka panjangnya menyebabkan curah hujan berubah, kurangnya resapan air tanah, berkurangnya hasil panen karena kondisi kekeringan yang meningkat, dan membuat banyak wilayah pesisir banjir, percepatan erosi, kehilangan lahan basah dan intrusi air asin ke sumber air tawar untuk konsumsi manusia (Godish dkk., 2014).

Beberapa bukti epidemiologi dan toksikologi menjelaskan bahwa paparan jangka panjang akibat partikulat dan SO₂ dapat berkontribusi pada permulaan penyakit *Bronchitis* kronis serta penurunan kecil pada fungsi dari paru-paru. Berdasarkan analisis faktor risiko epidemiologi pada 500.000 orang dewasa, kematian akibat kanker paru-paru terbukti secara signifikan terkait dengan paparan PM_{2,5} (Godish dkk., 2014).

Selain dampak negatif PM_{2,5} terhadap lingkungan dan manusia, material di sekitarnya juga terdampak oleh PM_{2,5}. Perangkat yang terbuat dari logam dapat rusak oleh polusi partikel, penampilan dan daya tahan cat juga dipengaruhi oleh polusi udara salah satunya partikulat (Godish dkk., 2014). Kerugian yang disebabkan PM_{2,5} pada akhirnya berdampak pada kerugian materiil. Sebagai contoh, daerah Atlantik Selatan di negara Amerika menanggung kerugian

materiil mencapai sekitar 1,8-166 juta dolar akibat kesehatan yang memburuk karena $PM_{2,5}$ (Kim dkk., 2015).

2.5 Inventarisasi Emisi

Inventarisasi emisi adalah kegiatan pencatatan secara komprehensif jumlah pencemar udara dari sumber pencemar udara di suatu area dalam periode waktu tertentu. Sederhananya, tujuan inventarisasi emisi adalah untuk menentukan sumber pencemar udara, apa yang keluar dari sumber pencemar tersebut, dan seberapa banyak (KLHK, 2013).

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
4. Melakukan perubahan kebijakan sesuai dengan kebutuhan.

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 risiko kesehatan
4. Menentukan tingkat penataan peraturan ambang batas baku mutu emisi
5. Menetapkan lokasi pemantauan udara ambien.

2.6 Geographic Information System (GIS)

Geographic Information System (GIS) adalah sistem informasi khusus yang mengelola data dengan referensi spasial atau dalam arti yang lebih sempit yaitu, sistem komputer yang mampu membangun, menyimpan, mengatur dan menampilkan informasi yang berhubungan secara geografis dalam suatu

database, misalnya informasi yang berhubungan dengan lokasi (Arifin dkk., 2014).

GIS memfasilitasi pengolahan dan penyimpanan data sebagai atribut suatu tempat atau objek. Informasi yang ditangani dalam sistem informasi geografis terutama terdiri dari geodata dan data karakteristik dalam bentuk digital. Sistem ini menggabungkan data spasial (letak geografis) dengan data non-spasial untuk memungkinkan pengguna membuat peta dan menganalisis data dengan cara yang berbeda (Arifin dkk., 2014).

2.7 *Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual (ABC EIM)*

Atmospheric Brown Clouds (ABCs) merupakan gumpalan polusi udara skala regional yang terdiri dari campuran antropogenik sulfat, nitrat, organik, karbon hitam, debu dan partikel abu terbang dan aerosol alami, seperti garam laut dan debu mineral. Implikasi global dari ABC disorot oleh Program Lingkungan Perserikatan Bangsa-Bangsa pada tahun 2002, yang mengungkapkan bahwa sumber utama ABC bersifat antropogenik (misalnya, pembakaran biomassa secara terbuka, *biofuel*, dan pembakaran bahan bakar fosil). ABC diyakini memiliki implikasi regional dan global yang berpotensi serius untuk perubahan iklim, siklus hidrologi dan sumber daya air, tanaman pertanian, dan kesehatan masyarakat. (UNEP and C⁴, 2002; Ramanathan dan Crutzen, 2003; Ramanathan, 2008).

Estimasi emisi ABC dari berbagai sumber diperlukan untuk merancang langkah-langkah pengurangan emisi yang efektif. Inventarisasi emisi yang terperinci dan andal dari emisi prekursor ABC bertujuan untuk mengembangkan rencana strategis dalam pengendalian pencemaran udara multi-spasial. Maka, dibuatnya ABC EIM bertujuan untuk menyediakan kerangka kerja inventarisasi emisi ABC yang sesuai untuk digunakan di berbagai negara terutama di Asia. (SHRESTHA, 2013).

Isi dari ABC EIM ini telah dikembangkan setelah meninjau struktur dan konten manual inventarisasi emisi utama lainnya, seperti Buku Panduan

EMEP/CORINAIR, Pedoman IPCC, *Air Pollutant Emissions Inventory Manual of the Global Atmospheric Pollution Forum (GAPF)*, Pedoman revisi EMEP/EEA), dan *the art of emission inventorying*. ABC EIM menambahkan penekanan pada emisi pembakaran biomassa secara terbuka untuk menyoroti pentingnya sumber emisi ini serta ketidakpastian yang terlibat dalam estimasinya (SHRESTHA, 2013).

2.8 Distribusi Spasial

Distribusi spasial merupakan persebaran emisi terhadap area yang ada. Pada penelitian yang dilakukan oleh Shrestha et al. (2013), tujuan dari dibuatnya distribusi spasial adalah untuk menentukan daerah prioritas pengelolaan beban emisi.

2.9 Combustion In Energy Industry And Energy Using Sectors

2.9.1 Energy Industry

Bagian Industri Energi ini mencakup kegiatan pembakaran untuk menghasilkan listrik, produksi panas, dan ekstraksi/pengolahan bahan bakar fosil. Kegiatan tersebut meliputi (SHRESTHA, 2013):

1. Electricity Generation and Heat Production

Pada industri pembangkit listrik dan produksi panas, emisi dihasilkan pada proses pembakaran bahan bakar untuk produksi listrik atau panas. Utilitas pembangkit listrik publik maupun swasta disertakan dalam kelompok ini

2. Petroleum Refining

Pada kegiatan ini, emisi dihasilkan pada proses pembakaran bahan bakar selama proses pemurnian minyak terutama pada proses pemanasan yang banyak dibutuhkan selama proses pemurnian minyak ini.

3. Solid Fuels and Other Energy Industries

Pada kegiatan ini, emisi dihasilkan pada proses pembakaran bahan bakar selama pembuatan produk sekunder atau tersier dari bahan bakar padat. Emisi tersebut utamanya dihasilkan dari produksi kokas, bahan bakar paten, briket batubara coklat, dan *gas work gas*, gas dari batubara, dan

arang dari kayu. Emisi juga dapat berasal dari pembakaran batubara selama penambangan, dan penggunaan minyak/gas dalam ekstraksi minyak dan gas.

Emisi yang diperhitungkan dalam sektor ini dilepaskan oleh proses pembakaran yang terkandung (emisi boiler, emisi tungku, emisi dari turbin gas atau mesin stasioner) dan terutama yang dicirikan oleh jenis bahan bakar yang digunakan. Kegiatan ini dapat menghasilkan polutan udara yang terkait dengan ABC, seperti PM₁₀, PM_{2,5}, BC, OC, SO₂, NO_x, NH₃, CO, dan NMVOC (SHRESTHA, 2013).

Dalam perhitungan untuk memperkirakan emisi pada Industri Energi, ABC EIM menggunakan metode sederhana yang diusulkan oleh EMEP/CORINAIR (2006). Metode ini mengacu pada perhitungan emisi berdasarkan faktor emisi dan kegiatannya. Emisi dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan (2.1).

$$Em = AR \times EF \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana:

Em = *Emission of pollutant*

AR = *Activity rate related to emission of pollutants, in energy input or fuel consumption in GJ*

EF = *Emission factor for pollutant (g/GJ)*

Emisi faktor yang digunakan umumnya diambil dari EMEP/CORINAIR (2006) untuk SO₂, NO_x, CO, NMVOC dan NH₃ lalu dari USEPA (1995) untuk PM₁₀ dan PM_{2,5} serta dari Bond et al., (2004) untuk BC dan OC dan sumber informasi lainnya (SHRESTHA, 2013).

2.9.2 Manufacturing And Construction

Sektor ini mencakup kegiatan pembakaran bahan bakar di industri manufaktur dan konstruksi, seperti:

1. *Iron and steel manufacture*

2. *Non-metallic minerals (cement, ceramic, and brick) manufacture*
3. *Non-ferrous metals (alumina) production*
4. *Pulp and paper production*
5. *Mining and quarrying*
6. *Construction*
7. *Food and beverage production, dan*
8. *Textile production*

Sumber umum yang terkait dengan pembakaran bahan bakar adalah *boiler*, turbin gas, mesin stasioner, cerobong asap, tungku, pabrik pembuatan palet, dan sebagainya. Sumber tersebut dapat menghasilkan polutan pembakaran, seperti *particulate matter* (PM₁₀, PM_{2,5}), BC, OC, NO_x, CO, CO₂, SO₂, NMVOC, NH₃, dan CH₄. (SHRESTHA, 2013).

Metode estimasi emisi yang diusulkan dalam ABC EIM untuk sumber emisi kategori ini adalah metode sederhana yang didasarkan pada laju aktivitas dan faktor emisi. Emisi dihitung berdasarkan persamaan (2.2).

$$Em_{i,j,k} = AR_{j,k} \times EF_{i,j,k} \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana:

J,k = *Fuel type j and sub-sector k*

Em_{i,j,k} = *Emission of pollutant I, from fuel type j and sub-sector k*

AR_{j,k} = *Activity rate to fuel type j and sub-sector k (fuel consumption in kJ)*

EF_{i,j,k} = *Emission factor specific to pollutant i, fuel type j and sub-sector k.*

Sebagian besar emisi faktor merupakan hasil kompilasi dari Pedoman IPCC (untuk CO dan NMVOC), AP-42 (USEPA, 1995) (untuk PM), Battye et al., 1994 (untuk NH₃), Bond et al., 2004 (untuk BC dan OC), Kato dan Akimoto, 1992 (untuk NO_x), dan publikasi lainnya (SHRESTHA, 2013).

2.9.3 *Transportation Sector*

Sektor ini mencakup transportasi *on-road* dan *off-road*. Angkutan di jalan raya mencakup semua jenis kendaraan, dari kendaraan ringan (mobil dan truk ringan), kendaraan berat (bus dan truk besar), dan sepeda motor di jalan raya, termasuk moped, skuter, dan kendaraan roda tiga. Transportasi *off-road* meliputi penerbangan sipil, kereta api, pelayaran, kendaraan *off-road*, dan berbagai jenis peralatan bergerak yang digunakan di bidang pertanian, industri, kehutanan, dan rumah tangga.

Pada umumnya, kendaraan digerakkan oleh mesin pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar fosil (bensin, solar, LPG, dan sebagainya). Proses pembakaran ini menghasilkan CO₂ dan H₂O yang tidak berbahaya sebagai produk utamanya. Sayangnya, pembakaran ini juga menghasilkan produk samping yang berasal dari oksidasi bahan bakar yang tidak sempurna (CO, hidrokarbon, partikel) atau dari oksidasi spesies yang tidak mudah terbakar (NO_x dari N₂ di udara, SO_x dari S dalam bahan bakar dan pelumas, dan seterusnya). Polutan yang tercakup dalam sektor ini meliputi *particulate matter* (PM), termasuk BC dan OC, prekursor ozon (CO, NO_x dan NMVOC), gas rumah kaca (CO₂, CH₄, dan N₂O) dan substansi asam (NH₃, SO₂) (SHRESTHA, 2013).

Metode perhitungan emisi untuk sektor transportasi dibagi menjadi beberapa bagian yaitu:

1. *On-Road Transport*

Perhitungan emisi *on-road transport* ini menggunakan metode sederhana berdasarkan pada jenis kendaraan dan konsumsi bahan bakarnya. Metode ini juga dapat digunakan untuk *off-road transport*. Total emisi untuk setiap spesies pencemar dan jenis bahan bakar dihitung berdasarkan persamaan (2.3).

$$Em_{i,j} = \sum_j^i Fc_j \times EF_{i,j} \dots\dots\dots (2.3)$$

Di mana:

j = *Type of vehicle*

$Em_{i,j}$ = *Emission of pollutant i from vehicle type j*

Fc_j = *Fuel consumption of vehicle type j*

$EF_{i,j}$ = *Emission factor of pollutant i for vehicle type j*

2. Air Traffic

Metode perhitungan yang diusulkan dalam ABC EIM untuk kategori ini didasarkan pada EMEP/CONRINAIR (2006) yang merupakan metode tier paling sederhana. Data aktivitas standar yang diperlukan adalah siklus pendaratan dan lepas landas (LTO) dan bahan bakar penerbangan yang dijual. Estimasi dilakukan tanpa mempertimbangkan jenis pesawat yang sebenarnya digunakan, sedangkan dalam metodologi sederhana diasumsikan bahwa tersedia informasi mengenai jenis pesawat yang beroperasi di negara tersebut. Dalam hal ini, diperlukan informasi tentang jumlah total LTO suatu negara, sebaiknya dengan informasi tujuan (jarak jauh dan pendek) untuk LTO internasional, bersama dengan informasi umum tentang jenis pesawat yang melakukan kegiatan penerbangan tersebut. Emisi dihitung berdasarkan persamaan (2.4).

$$Em_j = LTO_j \times EF_j \dots\dots\dots (2.4)$$

Di mana:

j = *Type of flight, either domestic or international*

Em_j = *Emission from flight type j*

LTO_j = *Number of landing and take-f cycles of flight type j*

EF_j = *Emission factor (kg/LTO) of flight type j*

3. Water/Shipping

Subsektor ini mencakup semua kegiatan pelayaran, baik di laut, di pelabuhan, maupun di perairan pedalaman. Emisi sebagian besar dihasilkan dari pembakaran di boiler mesin diesel laut yang digunakan untuk penggerak turbin uap dan tujuan lain, serta emisi dari pembakaran di turbin gas. Menurut U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), metodologi estimasi emisi pengapalan didasarkan pada dua metode: Metode A dan Metode B. Metode A menghasilkan inventarisasi emisi dari kapal berbendera komersial dengan mesin kapal penyala kompresi, dengan

mempertimbangkan jenis mesin, siklus tugas, dan faktor operasional lainnya. Metode B memperkirakan emisi dari kapal asing dan domestik yang mengangkut kargo, dengan memperkirakan emisi per ton-mil kargo yang dipindahkan dan polusi yang dipancarkan dari transportasi kargo. Jadi, dengan menggabungkan inventarisasi emisi dari Metode A dan B, perkiraan total emisi nasional dari kapal komersial dapat diperoleh. Emisi dihitung berdasarkan persamaan metode sederhana berikut.

$$Em_j = Fc_j \times EF_j \dots\dots\dots (2.5)$$

Di mana:

j = *Type of fuel, classified as residual bunker fuel oil (heavy uel oil) or distillate fuel (gas oil and marine diesel oil)*

Em_j = *Emission from fuel type j (g)*

Fc_j = *Shipping fuel consumption/sold (ktonne)*

EF_j = *Emission factor (g/ktonne of fuel consumption/sold)*

4. *Railways and Other Modes of Transportation*

Metodologi perhitungan emisi yang melibatkan kereta api (lokomotif, gerbong) dan mesin bergerak lainnya yang digunakan di pertanian, industri, kehutanan dan rumah tangga serupa dengan yang dijelaskan dalam EMEP/CORINAIR (2006). Metode tersebut terdiri dari metode sederhana yaitu berdasarkan konsumsi bahan bakar, dan metode lebih detail berdasarkan jenis mesinnya. Pada ABC EIM, digunakan metode sederhana di mana metode ini didasarkan pada total konsumsi bahan bakar, yang kemudian dikalikan dengan faktor emisi massal yang sesuai. Persamaan yang digunakan untuk mengestimasi emisi adalah:

$$Em_i = Fc \times EF_i \dots\dots\dots (2.6)$$

Di mana:

Em_i = *Emission of pollutant i*

Fc = *Fuel consumption of other modes in the transportation sub-sector*

EF_i = *Average emission factor of pollutant I per unit of fuel used.*

Faktor emisinya sendiri berbeda untuk setiap sektor

- *On-road*

Untuk kategori ini, dalam sebagian besar publikasi inventarisasi emisi (EMEP/CORINAIR, The Global Atmospheric Pollution Forum (GAPF), dan Streets et al., 2003), faktor emisi massal berbeda dari satu negara ke negara lain.

- *Air traffic*

Untuk kategori ini, sebagian besar faktor emisi diambil dari EMEP/CORINAIR, dengan tambahan EF PM, BC, dan OC yang disusun dari beberapa sumber.

- *Water/Shipping*

Untuk kategori ini, menggunakan faktor emisi yang dikompilasi untuk berbagai metode terutama berasal dari Buku Panduan EMEP/CORINAIR.

- *Railways and Other Modes of Transportation*

Untuk kereta api dan transportasi lainnya, metode sederhana yang menggunakan faktor emisi massal dianggap cukup dalam manual ini. Faktor emisi sebagian besar diambil dari EMEP/CORINAIR (2006).

2.9.4 Residential And Commercial Sectors

Bagian ini dibagi menjadi dua yaitu:

1. Residential Sector

Sektor ini mencakup semua kegiatan pembakaran bahan bakar di rumah tangga, termasuk memasak dan penggunaan perapian. Jenis bahan bakar yang digunakan sebagian besar bergantung pada lokalitas. Di rumah tangga pedesaan, misalnya, jenis bahan bakar yang umum digunakan adalah sisa tanaman, kayu, minyak tanah, dan batu bara, sementara di rumah tangga perkotaan, bahan bakar gas, batu bara, dan minyak tanah lebih umum. Polutan yang terkait dengan pembakaran bahan bakar di sektor perumahan adalah *particulate matter* (PM₁₀, PM_{2,5}), BC, OC, NO_x, CO, CO₂, SO₂, NMVOC, dan CH₄. (SHRESTHA, 2013).

Metode perhitungan estimasi emisi yang diusulkan dalam ABC EIM untuk kategori ini adalah metode sederhana, yang mana didasarkan pada konsumsi bahan bakar dan jenis bahan bakarnya. Emisi total untuk spesies dan jenis bahan bakar tertentu dihitung berdasarkan persamaan (2.7):

$$Em_{i,j} = \sum_j^i Fc_j \times EF_{i,j} \dots\dots\dots (2.7)$$

Di mana:

j = Type of fuel

$Em_{i,j}$ = Emission of pollutant i from fuel type j

Fc_j = Consumption of fuel type j (kg/yr)

$EF_{i,j}$ = Emission factor specific to pollutant i from fuel type j

Faktor emisi terkompilasi dari PM, CO₂, CO, CH₄, NMVOC, NO_x, SO₂, dan N₂O untuk kompor rumah tangga telah diperoleh dari studi khusus di negara-negara Asia (Zhang et al. (2000); Oanh et al., 1999; Bhattacharya et al., 2002; Venkataraman dan Rao, 2001). Faktor emisi BC dan OC dikompilasi untuk jenis bahan bakar tertentu dari Bond et al. (2004). Faktor emisi amonia untuk memasak berbahan dasar kayu dan arang dikumpulkan dari Bertschi et al. (2003).

2. *Commercial Sector*

Sektor ini mencakup semua kegiatan pembakaran bahan bakar di hotel atau kantor (layanan publik lainnya), seperti memasak, memanaskan, pengoperasian boiler, dan pembangkit listrik *captive*. Karena fasilitas ini tersedia di daerah perkotaan, jenis pembakaran bahan bakar khas perkotaan yang dipertimbangkan adalah bahan bakar gas, batubara, minyak dan minyak tanah. Sektor ini dapat menghasilkan polutan pembakaran, seperti *particulate matter* (PM₁₀, PM_{2,5}), BC, OC, NO_x, CO, CO₂, SO₂, NMVOC, dan CH₄. (SHRESTHA, 2013).

Metode perhitungan estimasi emisi yang diusulkan dalam ABC EIM untuk kategori ini didasarkan pada konsumsi bahan bakar dan jenis bahan bakarnya. Emisi total untuk spesies dan jenis bahan bakar tertentu dihitung berdasarkan persamaan (2.8).

$$Em_{i,j,k} = \sum_j^i F_{c,j,k} \times EF_{i,j,k} \dots\dots\dots (2.8)$$

Di mana:

- $Em_{i,j,k}$ = *Emission of pollutant i, from fuel type j and sub-sector k*
- $FC_{j,k}$ = *Fuel consumption for fuel type j and sub-sector k (kg/year)*
- $EF_{i,j,k}$ = *Emission factor specific to pollutant i, fuel type j and sub-sector k.*

Faktor emisi terkompilasi dari PM, CO₂, CO, CH₄, NMVOC, NO_x, SO₂, dan N₂O untuk kegiatan memasak komersial diadaptasi dari tungku memasak untuk rumah tangga (Zhang et al., 2000). Faktor emisi boiler komersial dan pemanas ruang yang menggunakan berbagai jenis bahan bakar dikompilasi dari US EPA (1995).

2.10 Municipal Solid Waste (MSW) Open Burning

Pembakaran terbuka sampah kota umum terjadi, terutama di negara berkembang yang sistem pengelolaan sampah padatnya masih belum cukup memadai. Pembakaran terbuka dapat dilakukan di drum atau keranjang terbuka, lapangan dan pekarangan, fasilitas pembuangan limbah padat, dan lubang. Pembakaran terbuka ini biasanya terjadi pada suhu yang relatif rendah dan juga melepaskan emisi polutan yang besar, seperti PM₁₀, PM_{2,5}, partikulat BC dan OC, dan polutan gas seperti NO_x, CO, CH₄, dan NMVOC (SHRESTHA, 2013).

Sebuah metode sederhana yang melibatkan penggunaan satu faktor emisi untuk setiap polutan, yang mewakili emisi per jumlah sampah kota yang dibakar secara terbuka dapat digunakan untuk estimasi emisi kategori ini. Hal ini memerlukan pengetahuan sebelumnya tentang jumlah sampah kota yang dihasilkan oleh komunitas dan bagian dari sampah kota yang dibakar. Perhitungan emisi tersebut dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Em_i = M_s \times EF_i \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana:

- Em_i = *Emission of pollutant i*
- EF_i = *Emission factor of pollutant i (g/kg of dry matter burned)*
- M_s = *Amount of MSW burned (kg/yr)*

Data kegiatan yang paling penting dalam perhitungan emisi tersebut adalah data banyaknya sampah kota yang dibakar (M_s). Namun, data tersebut mungkin tidak tersedia di kebanyakan negara. Oleh sebab itu metode alternatif diadaptasi dari IPCC (1996) jika data tersebut tidak tersedia. Metode ini menggunakan data penduduk dan faktor timbulan sampah sebagai alat untuk menghitung jumlah total sampah yang dibakar secara terbuka. Ada dua jenis kegiatan pembakaran: pembakaran di sumbernya (yaitu, masyarakat yang menghasilkan limbah padat) dan pembakaran di tempat pembuangan.

1. Pembakaran di sumber

$$M_s = P_c \times P_{frac} \times MSW_{GR} \times \delta \times \eta \times 365 \dots\dots\dots (2.10)$$

Di mana:

M_s = Amount open-burned MSW (kg/yr)

P_c = Population (capita)

P_{frac} = Fraction of population burning waste

MSW_{GR} = Per capita MSW generation factor (kg waste/capita.day)

δ = Fraction of combustible MSW

η = Burning/oxidation efficiency (fraction)

2. Pembakaran di tempat pembuangan

$$M_s = P_c \times MSW_{GR} \times \varepsilon \times \lambda \times \delta \times \eta \times 365 \dots\dots\dots (2.11)$$

Di mana:

M_s = Amount of open-burned MSW (kg/yr)

P_c = Population (capita)

MSW_{GR} = Per capita MSW generation factor (kg waste/capita.day)

ε = MSW collection efficiency (fraction that is dumped/land filled per total waste generated)

λ = Fraction of waste actually burned relative to total amount of waste disposed at disposal site

δ = Fraction of combustible MSW

η = Burning/oxidation efficiency (fraction)

Emisi pembakaran terbuka MSW secara signifikan dipengaruhi oleh banyak variabel, seperti suhu sekitar, komposisi sampah, kadar air, dan kondisi meteorologi setempat. Sebagian besar dari faktor emisi diambil dari USEPA (1995) dan berbagai literatur internasional.

2.11 Vital Strategies

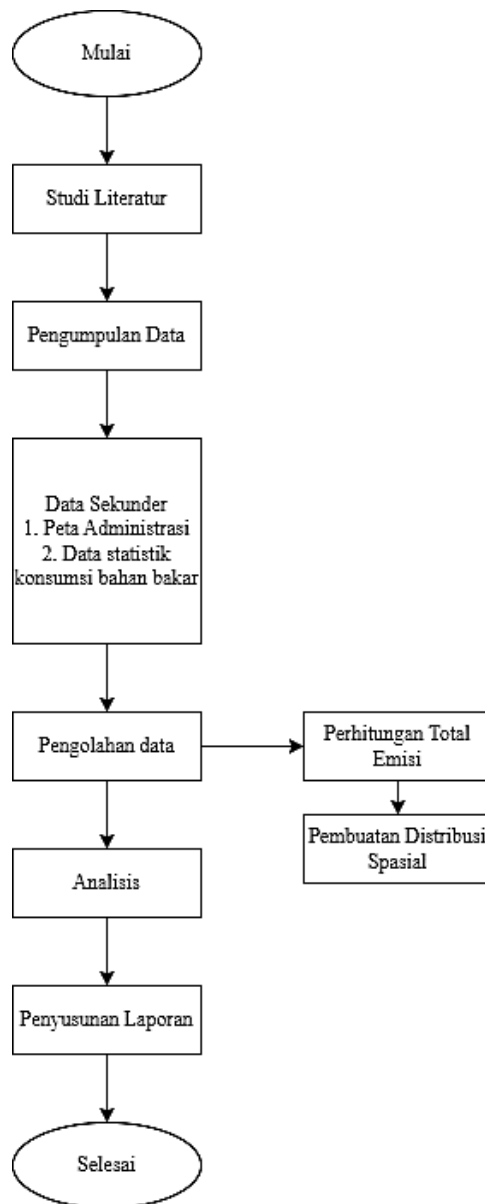
Vital Strategies adalah organisasi kesehatan masyarakat global yang bertujuan untuk membantu pemerintah memperkuat sistem kesehatan publik mereka untuk menghadapi tantangan kesehatan yang paling penting dan sulit. *Vital Strategies* merancang solusi yang dapat meningkatkan taraf hidup jutaan orang. Misi *Vital Strategies* adalah bekerja dalam kemitraan untuk menata kembali kebijakan dan praktik berbasis fakta yang digerakkan secara lokal untuk memajukan kesehatan masyarakat.

Vital Strategies Indonesia pertama kali hadir di Indonesia pada tahun 2012. Sejak saat itu, organisasi ini telah bekerja sama dengan pemerintah Indonesia, organisasi masyarakat sipil, dan pihak lainnya untuk meningkatkan respon terhadap polusi udara dengan meningkatkan pemantauan udara, mengidentifikasi sumber polutan utama, dan mengukur dampak kesehatan dan biaya polusi udara.

Kerja sama *Vital Strategies* dengan pemerintah Jakarta diawali dengan menyoroti kondisi kualitas udara Jakarta, upaya yang sedang dilakukan untuk meningkatkan pemantauan kualitas udara dan identifikasi sumber, serta serangkaian proposal kebijakan awal untuk meningkatkan kualitas udara. Hal-hal tersebut disusun sebagai titik awal untuk membuat rencana aksi lebih lanjut yang akan memberikan solusi kebijakan yang kuat untuk kualitas udara di ibu kota Indonesia mencapai visi jangka panjang untuk Jakarta, sebagai kota yang aman, produktif, dan berkelanjutan di mana warga dapat sejahtera dan bernapas lega.

BAB III METODOLOGI

Metodologi perencanaan adalah cara atau ilmu yang digunakan untuk mempermudah pelaksanaan sebuah perencanaan guna mencapai tujuan perencanaan dalam tugas akhir. Dengan tahapan perencanaan tugas akhir dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1 Metodologi Penelitian

Sumber: Hasil Perencanaan, 2022

Tahapan penelitian berdasarkan diagram alir tersebut diuraikan sebagai berikut.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam laporan praktik kerja ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang dibutuhkan, baik teori maupun referensi dari literatur yang relevan. Studi dilakukan terhadap aspek-aspek yang berkaitan dengan distribusi spasial sumber emisi meliputi studi mengenai pencemaran udara, sumber pencemaran udara, *Particulate Matter* (PM_{2,5}), sumber partikulat, dampak PM_{2,5}, *Geographic Information System* (GIS), dan *Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual* (ABC EIM).

3.2 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam laporan praktik kerja ini merupakan data sekunder seperti peta administrasi, data kependudukan, data statistik konsumsi bahan bakar, dan data statistik transportasi di wilayah DKI Jakarta. Penjelasan sumber data dijelaskan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3. 1 Data Sekunder

No.	Data yang Dikumpulkan	Sumber data
1	Demografi dan kependudukan	Badan Pusat Statistik DKI Jakarta
2	Data vektor DKI Jakarta	Badan Informasi Geospasial
3	Data statistik konsumsi bahan bakar	Badan Pusat Statistik DKI Jakarta dan Vital Strategies
4	Data statistik transportasi	Badan Pusat Statistik DKI Jakarta

Sumber: Hasil Analisis, 2022

3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan terhadap data sekunder yang telah diperoleh dengan menggunakan aplikasi yang sesuai dengan hasil yang ingin dicapai. Pengolahan data yang dimaksud terdiri dari:

a. Pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*

Data yang perlu diolah lebih lanjut dalam *Microsoft Excel* adalah data transportasi darat dan data konsumsi bahan bakar dari sektor *Residential & Commercial*. Data transportasi darat perlu diolah untuk mengetahui komposisi bahan bakarnya serta untuk menentukan komposisi suku cadang dari jenis kendaraan tersebut, apakah termasuk dalam kategori *Euro* atau *Non Euro*. Berikut data yang digunakan untuk memperhitungkan komposisi bahan bakar dan jenis kendaraan yang terdapat di DKI Jakarta, ditunjukkan oleh **Tabel 3.2**.

Tabel 3. 2 Data untuk Perhitungan Komposisi Bahan Bakar dan Jenis Kendaraan

Jenis	VKT (km/hari/unit)	Komposisi (%)		Fuel (%)	
		Non Euro	Euro	Diesel	Gasoline
PC	40	10	90	8	92
MC	25	5	95	0	100
Bis	166	70	30	100	0
Truk	35	70	30	100	0
Angkot	91	53	47	15	85
Taksi	70	66	34	0	100

Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 & \text{Jumlah kendaraan berdasarkan bahan bakar} = \\
 & \text{Jumlah kendaraan} \times \frac{\text{Komposisi bahan bakar}}{100} \dots\dots\dots (3.1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{Jumlah kendaraan berdasarkan jenis} = \\
 & \text{Jumlah kendaraan berdasarkan bahan bakar} \times \frac{\text{Komposisi jenis}}{100} (3.2)
 \end{aligned}$$

Adapun untuk data konsumsi bahan bakar dari sektor *Residential & Commercial* perlu diolah untuk mengetahui besaran konsumsi bahan bakar yang digunakan. Berikut data yang digunakan untuk memperhitungkan

besaran konsumsi bahan bakar dari sektor *Residential & Commercial* ditunjukkan oleh **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Data Besaran Konsumsi Bahan Bakar di DKI Jakarta

<i>Fuel Type</i>	Nilai	Satuan
LPG	7,00046132	kg
Kerosene	41.945	liter
Diesel	308.739	liter
Gasoline	107.347.827	liter

Sumber: BPS Tracker, 2018

Tabel 3. 4 Densitas Bahan Bakar

<i>Fuel Type</i>	Nilai	Satuan
Kerosene	0,817	kg/liter
Diesel	0,885	kg/liter
Gasoline	0,75	kg/liter

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} & \text{Konsumsi bahan bakar LPG} = \\ & \text{Jumlah penduduk yang menggunakan LPG} \times \\ & \text{Konsumsi bahan bakar LPG di DKI Jakarta} \times 12 \dots\dots\dots (3.3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Konsumsi bahan bakar Kerosene} = \\ & \text{Jumlah penduduk yang menggunakan Kerosene} \times \\ & (\text{Konsumsi bahan bakar Kerosene di DKI Jakarta} \times \\ & \text{Densitas Kerosene}) \times 12 \dots\dots\dots (3.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Konsumsi bahan bakar Diesel} = \\ & \text{Konsumsi bahan bakar Diesel di DKI Jakarta} \times \text{Densitas Diesel} \dots\dots (3.5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Konsumsi bahan bakar Gasoline} = \\ & \text{Konsumsi bahan bakar Gasoline di DKI Jakarta} \times \text{Densitas Gasoline} (3.6) \end{aligned}$$

b. Perhitungan Total Emisi

Data sekunder yang telah diperoleh dan diolah di *Microsoft Excel* selanjutnya diolah menggunakan aplikasi *Atmospheric Brown Clouds*

Emission Inventory Manual (ABC EIM). Pengolahan data menggunakan ABC EIM bertujuan untuk mengetahui total emisi yang dihasilkan di suatu sektor dalam satu tahun. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan total emisi di ABC EIM sebagai berikut:

- *Manufacturing Industries And Construction*

$$P = B \times N \times \left(\frac{100-O}{100}\right)/1000 \dots\dots\dots (3.7)$$

Di mana:

P = Emisi PM_{2,5} (Tonnes)

B = *Fuel Consumption* (Tj/year)

N = Faktor emisi PM_{2,5} (Kg/Tj)

O = *PM emission control* (%)

- *Energy Industries*

$$P = B \times N \times \left(\frac{100-O}{100}\right)/1000 \dots\dots\dots (3.8)$$

Di mana:

P = Emisi PM_{2,5} (Tonnes)

B = *Fuel Consumption* (Tj/year)

N = Faktor emisi PM_{2,5} (Kg/Tj)

O = *PM emission control* (%)

- *Road Transport*

$$O = C \times N/1000000 \dots\dots\dots (3.9)$$

Di mana:

O = Emisi PM_{2,5} (Tonnes)

C = *Total distance km travelled* (km/year)

N = Faktor emisis PM_{2,5} (g/km)

- *Air Transport*

$$Z = ((A \times X) + (G(H) \times Y))/1000 \dots\dots\dots (3.10)$$

Di mana:

Z = Emisi PM_{2,5} (Tonnes)

A = *Total number of LTOs per aircraft type per year*

X = Faktor emisi PM_{2,5} untuk LTO (kg/LTO)

$G = \text{Fuel consumed for domestic cruise activities (Kilotonnes)}$

$H = \text{Fuel consumed for international cruise activities (Kilotonnes)}$

$Y = \text{PM}_{2.5} \text{ emission factor for cruise activities (kg/tonne)}$

- *Shipping Transport*

$$P = E \times O/1000 \dots\dots\dots (3.11)$$

Di mana:

$P = \text{Emisi PM}_{2.5} \text{ (Tonnes)}$

$E = \text{Total energy all vessels (kWh)}$

$O = \text{Faktor emisi PM}_{2.5} \text{ (kg/tonne)}$

- *Residential & Commercial*

$$E = A \times D/10000000 \dots\dots\dots (3.12)$$

Di mana:

$E = \text{Emisi PM}_{2.5} \text{ (Tonnes)}$

$A = \text{Activity rate (Fuel Consumption in kg/year)}$

$D = \text{Faktor emisi PM}_{2.5} \text{ (g/kg)}$

- *Solid Waste Open Burning*

$$AB = F \times AA/1000 \dots\dots\dots (3.13)$$

Di mana:

$AB = \text{Emisi PM}_{2.5} \text{ (Tonnes)}$

$F = \text{Total solid waste burned (Tonne/year)}$

$AA = \text{PM}_{2.5} \text{ emission factor (kg/tonne) biomass burned}$

c. Pembuatan Distribusi Spasial

Total emisi yang telah didapatkan melalui perhitungan di ABC EIM selanjutnya dimasukkan ke aplikasi ArcGIS untuk pembuatan peta. Peta administrasi DKI Jakarta dibagi menjadi beberapa grid yang berukuran 2km x 2km yang selanjutnya data total emisi akan dimasukkan ke dalam *grid* tersebut dengan beberapa pendekatan yang disajikan pada **Tabel 3.5** berikut.

Tabel 3. 5 Data yang Digunakan untuk Pembuatan Distribusi Spasial

No.	Sektor	Data Untuk Distribusi Spasial	Sumber Data
1	<i>Manufacture</i>	Titik koordinat perusahaan	Vital Strategies
2	<i>Energy indsturies</i>	Titik koordinat perusahaan	Vital Strategies
3	<i>Road transport</i>	Panjang jalan per grid	SHP DKI Jakarta
4	<i>Air transport</i>	Titik koordinat bandara	Google Maps
5	<i>Shipping transport</i>	Titik koordinat pelabuhan	Google Maps
6	<i>Residential & Commercial</i>	Luas wilayah per grid	SHP DKI Jakarta
7	<i>Solid waste open burning</i>	Jumlah Penduduk	BPS DKI Jakarta

Sumber: Hasil Analisa, 2022

3.4 Analisis

Analisis dilakukan terhadap data yang sudah diolah menggunakan ArcGIS. Analisis dilakukan sesuai dengan rumusan masalah sehingga selanjutnya dapat dibuat kesimpulan dari hasil yang telah diperoleh.

3.5 Penyusunan Laporan

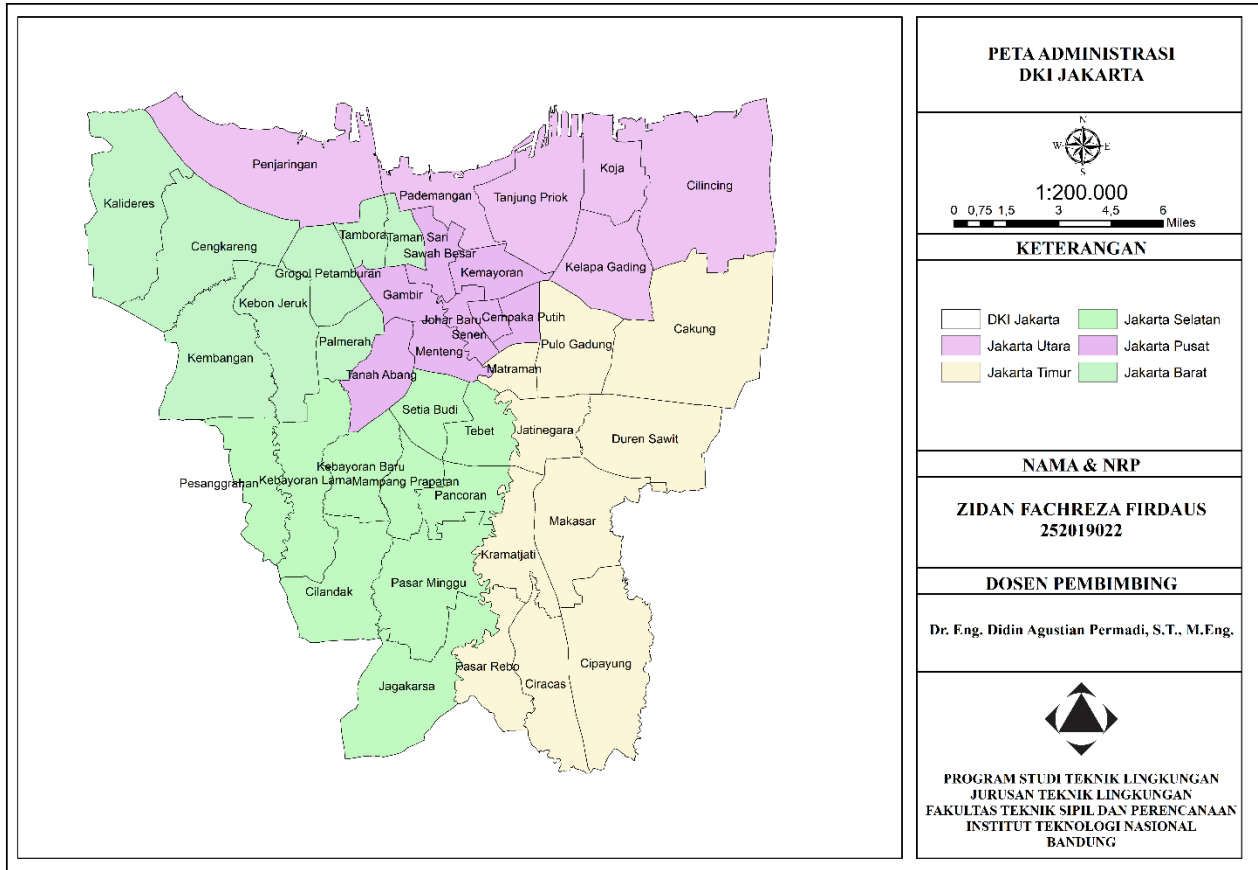
Penyusunan laporan dilakukan berdasarkan susunan yang telah direncanakan dengan melampirkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Penelitian

Gambar 4.1 menunjukkan peta administrasi DKI Jakarta yang merupakan lokasi penelitian dilakukan. Data tersebut diambil dari hasil sampling yang dilakukan oleh *Vital Strategies*.



Gambar 4. 1 Peta Administrasi DKI Jakarta

Sumber: SHP DKI Jakarta, 2018

4.2 Sektor Manufaktur

Sektor manufaktur ini mencakup kegiatan pembakaran bahan bakar di industri manufaktur dan konstruksi seperti *iron and steel, non-metallic minerals, non-ferrous metals production, pulp and paper production, mining and quarrying, construction, food and beverage production, dan textile production*. Proses pembakaran bahan bakar pada kegiatan tersebut dapat menghasilkan polutan, seperti *particulate matter* (PM₁₀, PM_{2,5}), BC, OC, NO_x, CO, CO₂, SO₂, NMVOC, NH₃, dan CH₄. (SHRESTHA, 2013).

Pada praktik kerja ini, perhitungan hanya dilakukan pada kegiatan industri manufaktur *iron and steel*. Hasil perhitungan estimasi total emisi PM_{2,5} dijelaskan pada **Tabel 4.1**.

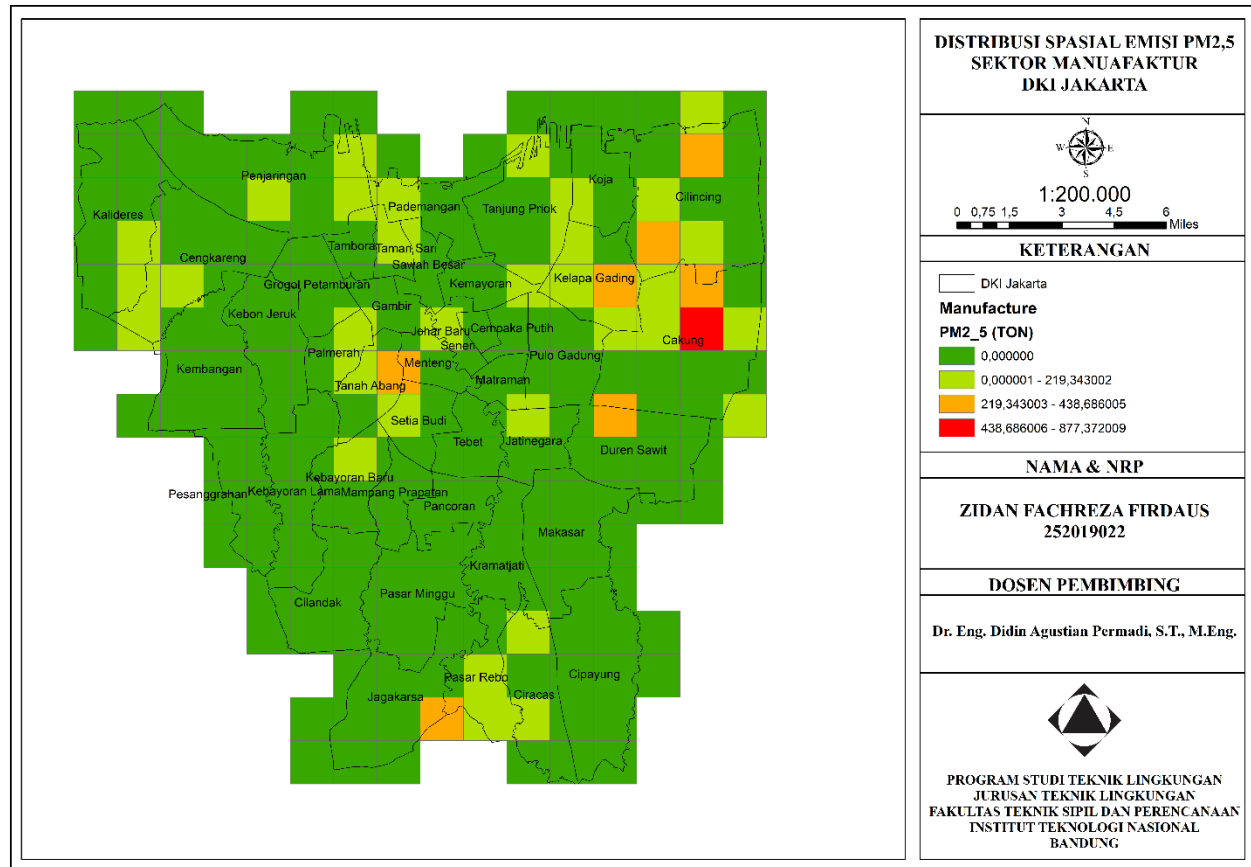
Tabel 4. 1 Total Emisi PM_{2,5} dari Sektor Manufaktur

Jenis Bahan Bakar	Total Konsumsi Bahan Bakar (ton/yr)	Emisi PM _{2,5} (ton)
Solar	79.308.161	10.309
LPG	6.465	0
Gas	257.165.583	523
Batu Bara	99.646	135
Total		10.967

Sumber: Vital Strategies, 2018; Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.1, jenis bahan bakar solar menghasilkan emisi PM_{2,5} terbanyak yaitu mencapai 10.309 ton. Hal tersebut dikarenakan *default* faktor emisi bahan bakar solar untuk parameter PM_{2,5} mencapai sebesar 3 kg/TJ berdasarkan ABC EIM, serta industri yang diperhitungkan dalam praktik kerja ini mayoritas menggunakan jenis bahan bakar solar dengan konsumsi solar mencapai lebih dari 79 juta ton per tahunnya. Adapun untuk penghasil emisi PM_{2,5} terkecil yaitu jenis bahan bakar LPG. Hal ini disebabkan karena pembakaran menggunakan jenis bahan bakar LPG diasumsikan menghasilkan sangat sedikit *particulate*

matter dengan *default* faktor emisi di ABC EIM sebesar 0 kg/TJ. Adapun distribusi spasial untuk sektor manufaktur ditunjukkan oleh **Gambar 4.2**.



Gambar 4. 2 Distribusi Spasial Emisi PM_{2,5} Sektor Manufaktur

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**, terdapat beberapa daerah yang menjadi *hotspot* dari sumber emisi di antaranya adalah Kecamatan Cakung, Kecamatan Kelapa Gading, Kecamatan Tanah Abang, Kecamatan Menteng, Kecamatan Duren Sawit, dan Kecamatan Jagakarsa. Daerah-daerah tersebut dapat dikategorikan menjadi daerah *hotspot* dikarenakan daerah-daerah tersebut memiliki total emisi yang lebih besar dari daerah lainnya, dengan rentang emisi 219-878 ton. Hal ini disebabkan karena industri manufaktur yang terdapat di daerah tersebut lebih banyak dibandingkan daerah lainnya, yang mengakibatkan total emisi di daerah tersebut lebih besar dari daerah lainnya.

4.3 Energy Industry

Sektor ini mencakup kegiatan pembakaran untuk menghasilkan listrik, produksi panas, dan ekstraksi/pengolahan bahan bakar fosil. Kegiatan tersebut di antaranya adalah *Electricity Generation and Heat Production*, *Petroleum Refining*, dan *Solid Fuels and Other Energy Industries*. Kegiatan ini dapat menghasilkan polutan udara yang terkait dengan ABC, seperti PM₁₀, PM_{2,5}, BC, OC, SO₂, NO_x, NH₃, CO, dan NMVOC (SHRESTHA, 2013).

Namun, pada praktik kerja ini perhitungan emisi hanya dilakukan pada dua industri *power plant* yang ada di DKI Jakarta. Hasil perhitungan estimasi total emisi PM_{2,5} dijelaskan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4. 2 Total Emisi PM_{2,5} dari Sektor Industri Energi

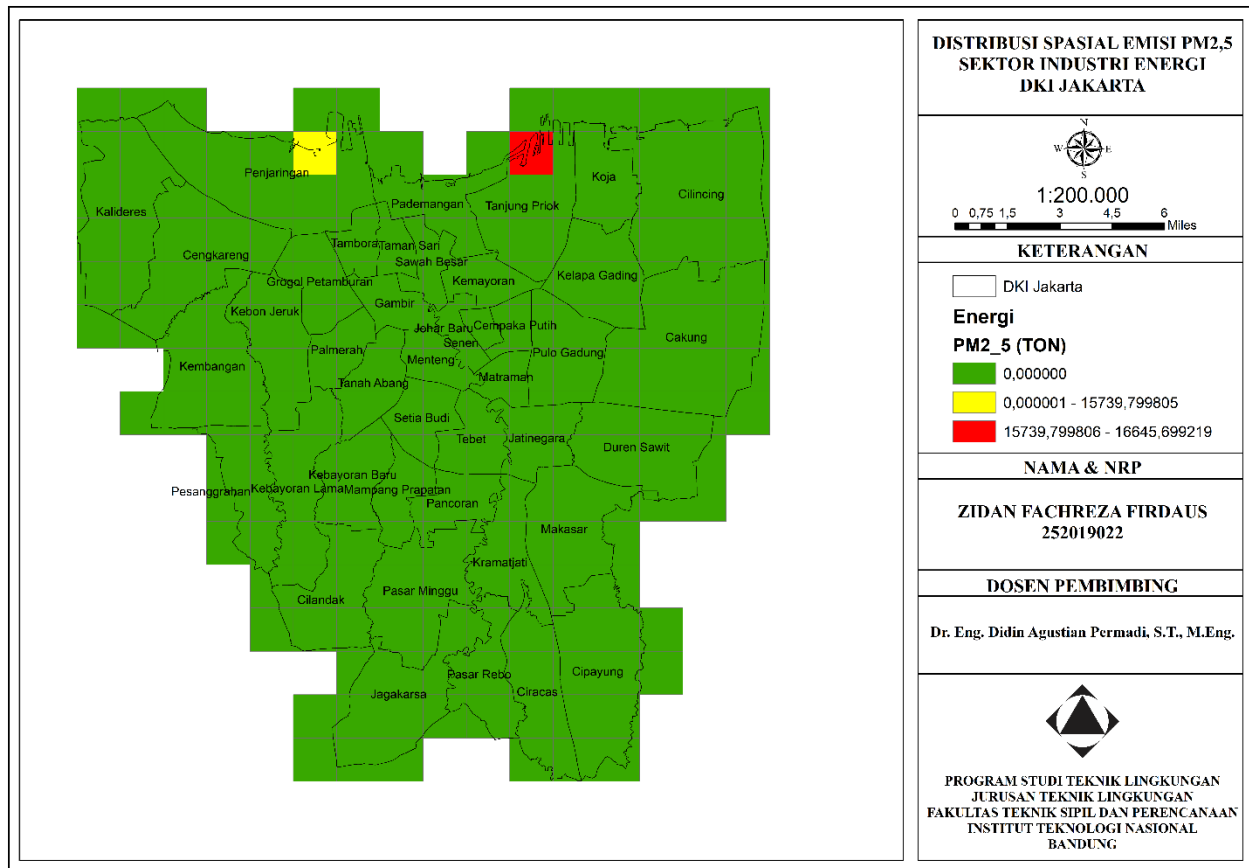
Nama Industri	Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar	Unit	Emisi (Ton)
PT. PJB UP Muara Karang	Natural Gas	61.287.063	MMBTU	15.706
	HSD/IDO	23.555	Kiloliter	15,72
	MFO	49.615	Kiloliter	17,75

Nama Industri	Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar	Unit	Emisi (Ton)
	Total bahan bakar	64.074.839	MMBTU	15.740
PT. Indonesia Power Pembangkit Priok	Natural Gas	64.877.032	MMBTU	16.627
	HSD/IDO	28.956	Kiloliter	19,32
	MFO	-	Kiloliter	-
	Total bahan bakar	65.980.255	MMBTU	16.646

Sumber: Vital Strategies, 2018; Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**, industri yang menghasilkan emisi PM_{2,5} terbesar adalah PT. Indonesia Power Pembangkit Priok dengan nilai total emisi PM_{2,5} sebesar 16.646 ton. Hal tersebut disebabkan oleh total konsumsi bahan bakar PT. Indonesia Power Pembangkit Priok yang mencapai 65.980.255 MMBTU, lebih besar dibandingkan dengan PT. PJB UP Muara Karang. Kapasitas pembangkit PT. Indonesia Power Pembangkit Priok yang mencapai sebesar 2.800 MW, memicu pada penggunaan bahan bakar yang lebih banyak dibandingkan PT. PJB UP Muara Karang yang hanya memiliki kapasitas sebesar 1.200 MW.

Meskipun PT. Indonesia Power Pembangkit Priok tidak menggunakan jenis bahan bakar MFO, namun konsumsi bahan bakar PT. Indonesia Power Pembangkit Priok pada jenis bahan bakar *natural gas* mencapai 64.877.032 lebih besar dibandingkan PT. PJB UP Muara Karang. Selain itu, mengingat *default* faktor emisi untuk *natural gas* dalam ABC EIM adalah sebesar 20 kg/TJ, yang mana nilai tersebut lebih besar dari jenis bahan bakar lainnya, total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan PT. Indonesia Power Pembangkit Priok jelas lebih besar dibandingkan PT. PJB UP Muara Karang. Adapun distribusi spasial untuk sektor industri energi ditunjukkan oleh **Gambar 4.3**.



Gambar 4. 3 Distribusi Spasial Emisi PM_{2,5} Sektor Industri Energi

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 4.3**, daerah yang menjadi *hotspot* dari sektor industri energi adalah Kecamatan Tanjung Priok dan Kecamatan Penjaringan. Hal tersebut disebabkan karena kedua industri energi yang diamati berada pada daerah tersebut, di mana PT. Indonesia Power Pembangkit Priok terletak di Kecamatan Tanjung Priok dan PT. PJB UP Muara Karang terletak di Kecamatan Penjaringan. Berdasarkan gambar 4.3, Kecamatan Tanjung priok memiliki total emisi PM_{2,5} yang terbesar dengan rentang 15.740-16.646 ton, sesuai hasil perhitungan di mana total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan PT. Indonesia Power Pembangkit Priok merupakan total emisi terbesar.

4.4 Commercial & Residential

Sektor ini terbagi menjadi dua yaitu Komersial dan Residensial. Sektor residensial mencakup semua kegiatan pembakaran bahan bakar di rumah tangga, termasuk memasak dan penggunaan perapian. Jenis bahan bakar yang digunakan sebagian besar bergantung pada lokalitas, sedangkan pada sektor komersial mencakup semua kegiatan pembakaran bahan bakar di hotel atau kantor (layanan publik lainnya), seperti memasak, memanaskan, pengoperasian boiler, dan pembangkit listrik *captive*. Kedua kegiatan ini dapat menghasilkan polutan seperti *particulate matter* (PM₁₀, PM_{2,5}), BC, OC, NO_x, CO, CO₂, SO₂, NMVOC, dan CH₄ (SHRESTHA, 2013).

Hasil perhitungan emisi PM_{2,5} dari sektor residensial maupun komersial dijelaskan dalam **Tabel 4.3**.

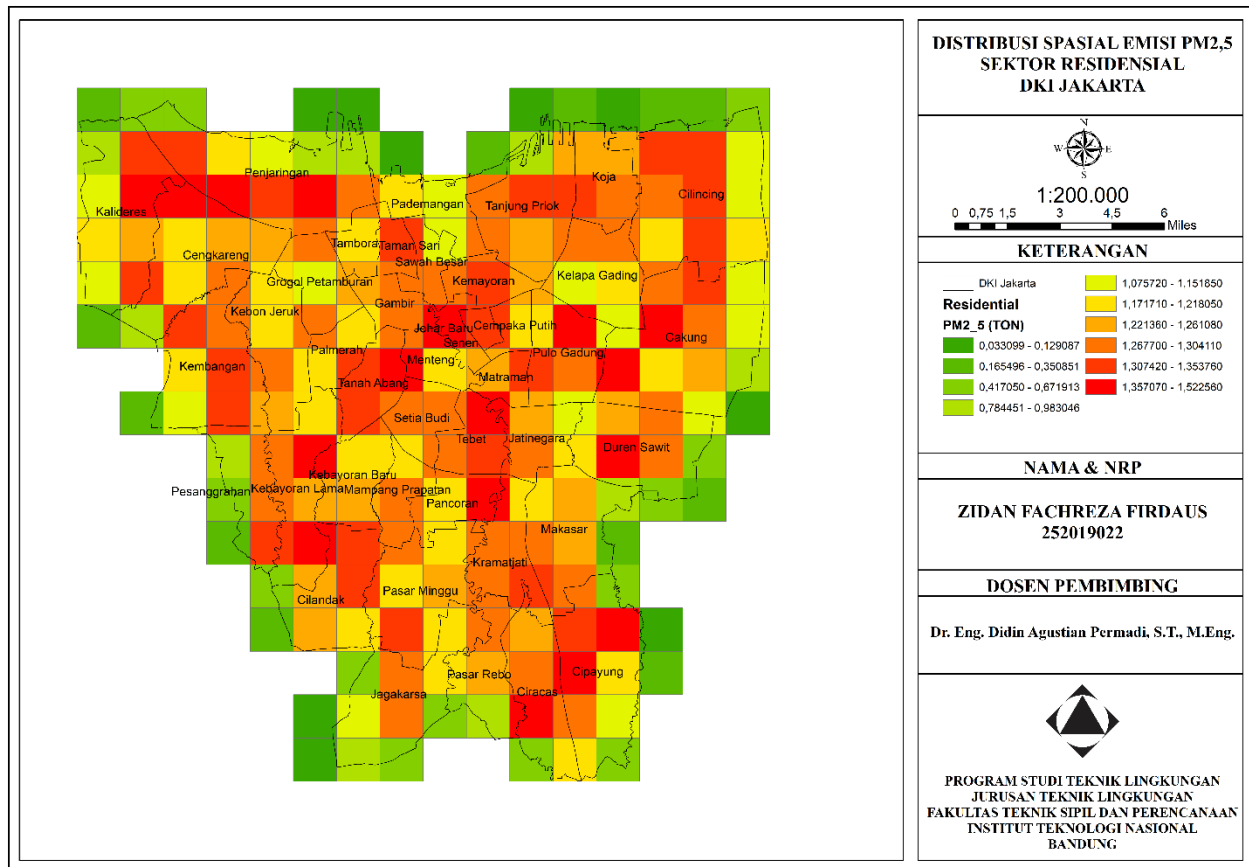
Tabel 4. 3 Total Emisi PM_{2,5} dari Sektor Residensial dan Komersial

Sektor	Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar (kg)	Emisi (Ton)	Total (Ton)
			PM _{2,5}	
Commercial	Gasoline	80.510.870	0	1,34
	Diesel	273.234	1,34	
Residential	LPG	802.572.507	208,7	209

Sektor	Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar (kg)	Emisi (Ton)	Total (Ton)
			PM2,5	
	Kerosene	34.269	0,03	

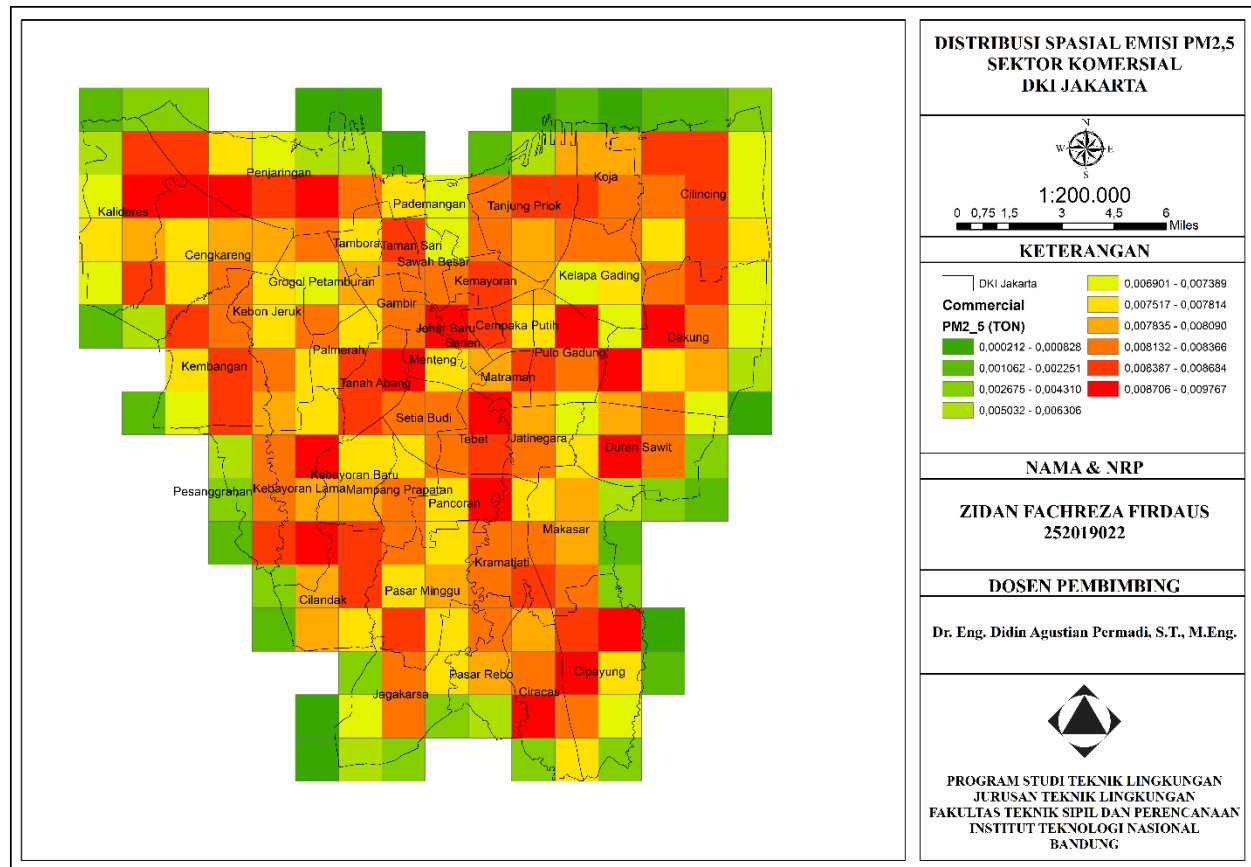
Sumber: BPS Tracker, 2018; BPS DKI Jakarta, 2019; Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 4.3**, total emisi PM_{2,5} dari sektor residensial mencapai 209 ton, jauh lebih besar dibandingkan dengan sektor komersial. Hal ini disebabkan oleh konsumsi bahan bakar pada sektor residensial mencapai 803 juta (kg), relatif tinggi mengingat menurut data BPS DKI Jakarta tahun 2019, jumlah pengguna bahan bakar LPG untuk memasak pada tahun 2018 adalah sebesar 91,7% atau 9.553.805 jiwa. Meskipun pada sektor komersial konsumsi bahan bakar jenis gasoline lebih besar dibandingkan konsumsi bahan bakar LPG pada sektor residensial, namun *default* faktor emisi jenis bahan bakar gasoline pada ABC EIM bernilai sebesar 0 g/kg. Hal tersebut menyebabkan nilai emisi untuk jenis bahan bakar gasoline pada sektor komersial bernilai 0 ton. Adapun distribusi spasial untuk sektor residensial dan komersial ditunjukkan oleh **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**.



Gambar 4. 4 Distribusi Spasial Emisi PM_{2,5} Sektor Residensial

Sumber: Hasil Analisa, 2022



Gambar 4. 5 Distribusi Spasial Emisi PM_{2,5} Sektor Komersial

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan distribusi spasial yang ditunjukkan pada **Gambar 4.4** dan **Gambar 4.5**, baik pada sektor residensial maupun komersial nilai total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan cukup merata di setiap daerah. Hal ini disebabkan karena DKI Jakarta sendiri pada tahun 2018 memiliki kepadatan penduduk sebesar 15.804 jiwa/km² yang mana nilai tersebut sangat tinggi jika dibandingkan dengan kepadatan penduduk di provinsi lain. Oleh sebab itu, total emisi PM_{2,5} di DKI Jakarta cukup merata di setiap daerah.

4.5 Solid Waste Open Burning

Di DKI Jakarta tentunya masih banyak pembakaran sampah atau limbah padat secara terbuka baik di sumber maupun di tempat pembuangan. Hal tersebut disebabkan karena teknologi pengolahan sampah di ibu kota masih belum cukup memadai. Menurut SHRESTHA (2013), pembakaran terbuka dapat dilakukan di drum atau keranjang terbuka, lapangan dan pekarangan, fasilitas pembuangan limbah padat, dan lubang. Pembakaran terbuka ini biasanya terjadi pada suhu yang relatif rendah dan juga melepaskan emisi polutan dalam jumlah besar, seperti PM₁₀, PM_{2,5}, partikulat BC dan OC, dan polutan gas seperti NO_x, CO, CH₄, dan NMVOC.

Pada praktik kerja ini, perhitungan emisi PM_{2,5} diwakili menggunakan satu jenis kegiatan pembakaran saja yaitu pembakaran di sumber. Hasil perhitungan emisi PM_{2,5} dari pembakaran terbuka sampah di sumber dijelaskan dalam **Tabel 4.4**.

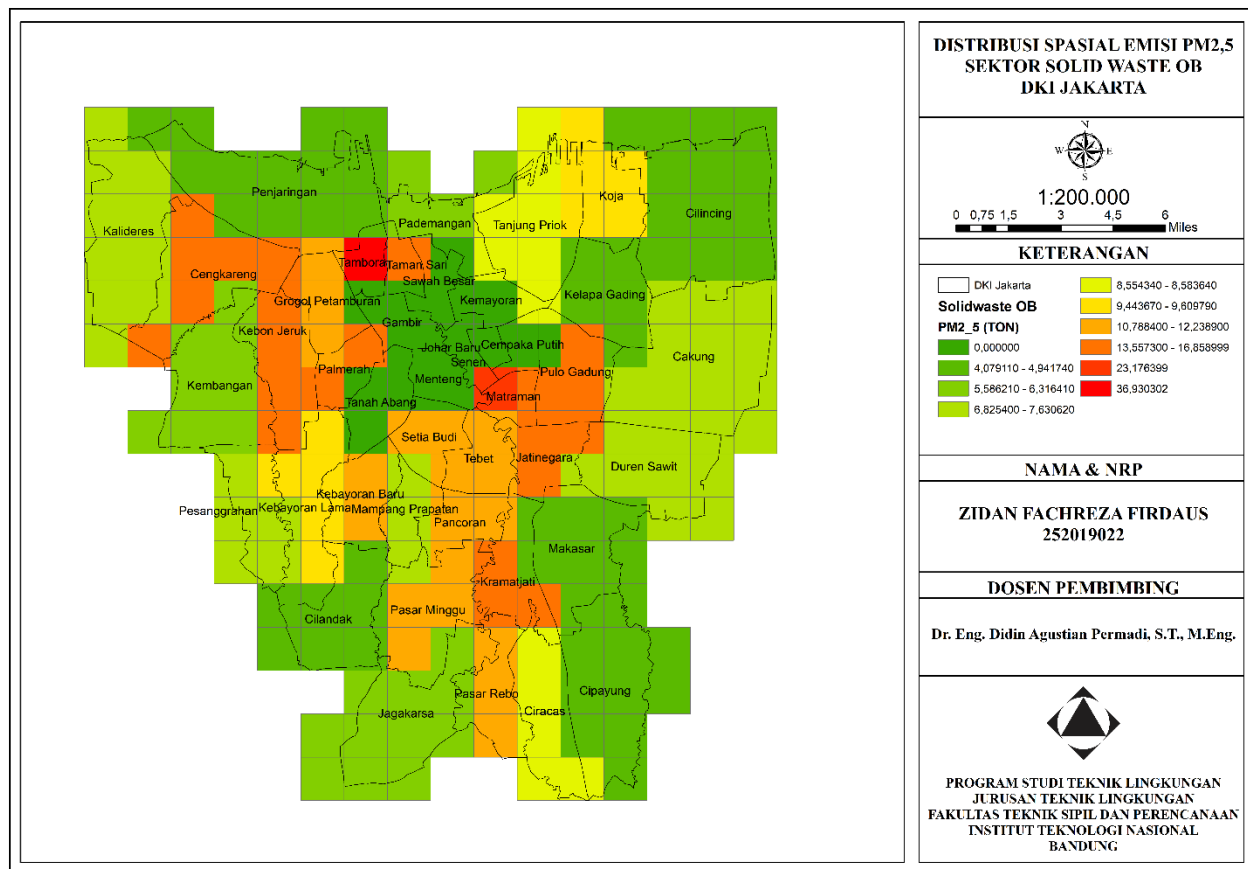
Tabel 4. 4 Total Emisi PM_{2,5} dari Sektor Pembakaran Sampah Terbuka

Sektor	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Emisi (Ton)
		PM _{2,5}
<i>Solid waste open burning</i>	10.467.630	1.460

Sumber: BPS DKI Jakarta, 2019; Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan informasi yang ditunjukkan pada **Tabel 4.4**, emisi PM_{2,5} yang dihasilkan dari sektor pembakaran sampah terbuka ini memiliki nilai yang

besar yaitu mencapai 1.460 ton. Hal ini disebabkan oleh jumlah penduduk DKI Jakarta yang tinggi, mencapai hingga lebih dari 10 juta jiwa. Berdasarkan ABC EIM, perhitungan pembakaran sampah di sumber melibatkan jumlah penduduk di daerah tersebut karena jumlah penduduk yang tinggi tentunya menghasilkan sampah dengan jumlah yang tinggi pula. Jumlah sampah yang tinggi tentunya akan meningkatkan jumlah pembakaran sampah, oleh sebab itu emisi yang dihasilkan pun bernilai besar. Adapun distribusi spasial untuk sektor pembakaran sampah terbuka ditunjukkan oleh **Gambar 4.6**.



Gambar 4. 6 Distribusi Spasial Emisi PM_{2,5} Sektor Solid Waste Open Burning

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan distribusi spasial yang ditunjukkan pada **Gambar 4.6**, terdapat dua daerah yang menjadi *hotspot*, yaitu Kecamatan Tambora dan Kecamatan Matraman dengan nilai total emisi $PM_{2,5}$ sekitar 23 ton, lebih besar dibandingkan dengan daerah lainnya. Nilai emisi $PM_{2,5}$ yang tinggi di daerah tersebut dapat terjadi karena jumlah penduduk dan kepadatan penduduk di daerah tersebut lebih tinggi dibandingkan daerah lainnya, sehingga menghasilkan sampah yang lebih banyak yang memicu banyaknya pembakaran sampah yang dilakukan, sehingga akhirnya menyebabkan nilai emisi $PM_{2,5}$ di daerah tersebut pun tinggi.

4.6 Land Transport

Sektor *Land Transport* tentunya cukup penting dalam perhitungan emisi karena seperti yang kita ketahui, dengan kepadatan penduduk dan jumlah penduduk yang tinggi di DKI Jakarta tentunya penggunaan transportasi darat pun tinggi. Pada umumnya, kendaraan digerakkan oleh mesin pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar fosil (bensin, solar, LPG, dan sebagainya). Namun, proses pembakaran tersebut tentunya menghasilkan produk samping yang berasal dari oksidasi bahan bakar yang tidak sempurna (CO, hidrokarbon, partikel) atau dari oksidasi spesies yang tidak mudah terbakar (NO_x dari N_2 di udara, SO_x dari S dalam bahan bakar dan pelumas, dan lainnya). Menurut SHRESTHA (2013), polutan yang tercakup dalam sektor ini meliputi *particulate matter* (PM), termasuk BC dan OC, prekursor ozon (CO, NO_x dan NMVOC), gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , dan N_2O) dan substansi asam (NH_3 , SO_2).

Pada praktik kerja ini, perhitungan emisi dilakukan pada 6 jenis transportasi darat yaitu *passenger car*, sepeda motor, angkot, taksi, bis, dan truk. Enam jenis transportasi darat tersebut dibagi menjadi dua kategori yaitu *controlled* dan *uncontrolled*. Hasil perhitungan emisi $PM_{2,5}$ dari sektor transportasi darat dijelaskan dalam **Tabel 4.5**.

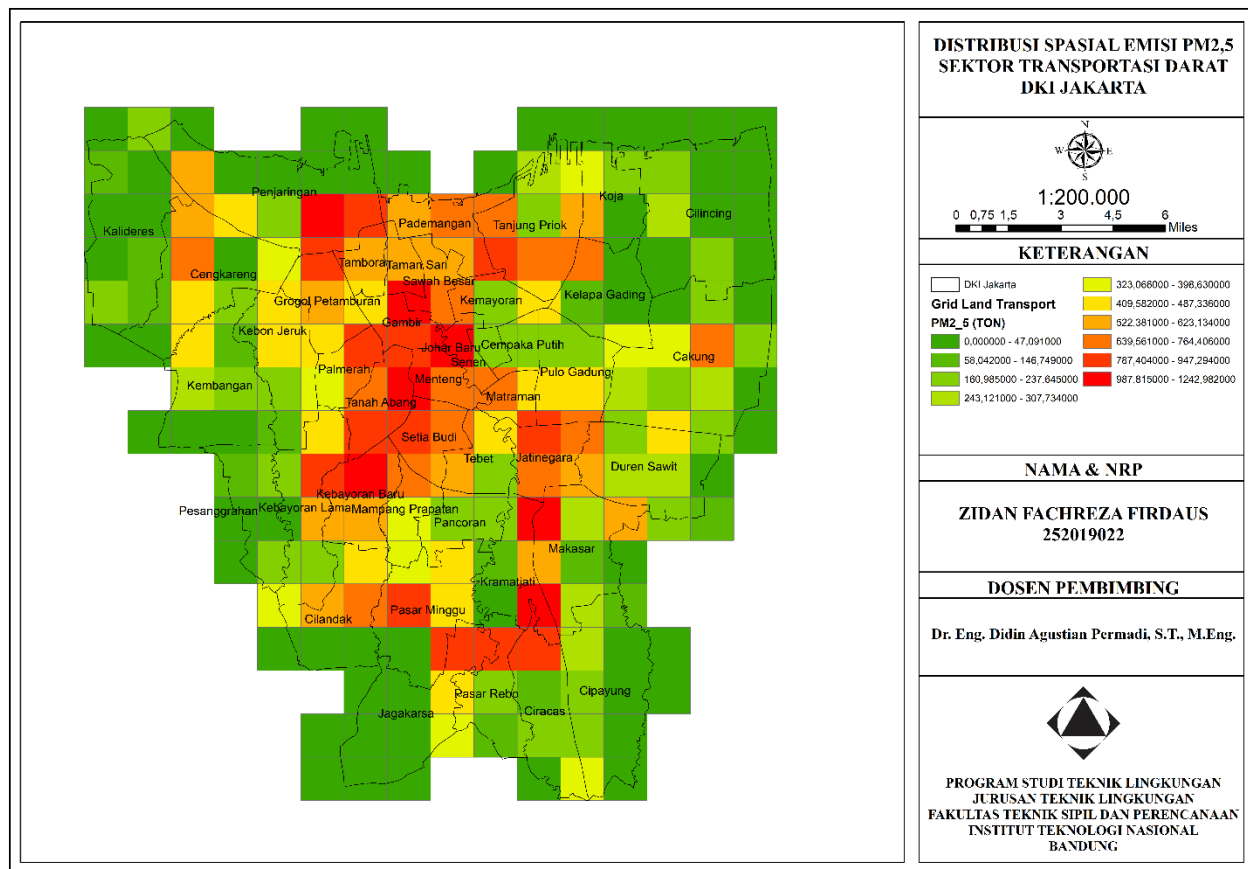
Tabel 4. 5 Total Emisi PM_{2,5} Dari Sektor Land Transport

Jenis transportasi	Bahan Bakar	Jenis	Jumlah Kendaraan	Emisi (Ton)
				PM _{2,5}
Passenger Car	Gasoline	<i>Controlled</i>	2.309.604	29,32
		<i>Uncontrolled</i>	256.623	262
	Diesel	<i>Controlled</i>	200.835	205
		<i>Uncontrolled</i>	22.315	274
Motor Cycle	Gasoline	<i>Uncontrolled</i>	8.136.410	25.986
Kendaraan Angkot	Gasoline	<i>Controlled</i>	3.378	1,12
		<i>Uncontrolled</i>	3.809	8,86
	Diesel	<i>Controlled</i>	596	1,39
		<i>Uncontrolled</i>	672	18,76
Taksi	Gasoline	<i>Controlled</i>	3.870	0,99
		<i>Uncontrolled</i>	7.513	13,44
Kendaraan Bis	Diesel	<i>Controlled</i>	88.680	2.257
		<i>Uncontrolled</i>	206.921	27.582
Truk	Diesel	<i>Controlled</i>	162.413	1.038
		<i>Uncontrolled</i>	378.963	1.549
Total				59.226

Sumber: BPS DKI Jakarta, 2019; Hasil Perhitungan, 2022

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada **Tabel 4.5**, total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan dari sektor transportasi darat mencapai sebesar 59.226 ton, dengan jenis transportasi darat yang menghasilkan emisi terbesar yaitu sepeda motor *uncontrolled* dan bis *uncontrolled*. Hal tersebut dapat disebabkan oleh tingginya jumlah kendaraan sepeda motor maupun kendaraan bis yang berturut-turut mencapai sekitar 8 juta dan 207 ribu unit, ditambah lagi dengan kondisi keduanya yang termasuk kategori *uncontrolled*, di mana emisi yang dikeluarkan kendaraan tersebut melebihi aturan yang sudah ditetapkan. Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada

tabel 4.5, untuk sepeda motor *uncontrolled* menghasilkan emisi $PM_{2,5}$ sebesar 25.986 ton dan kendaraan bis *uncontrolled* menghasilkan emisi $PM_{2,5}$ sebesar 27.582 ton. Adapun distribusi spasial untuk sektor transportasi darat ditunjukkan oleh **Gambar 4.7**



Gambar 4. 7 Distribusi Spasial Emisi PM_{2,5} Sektor Transportasi Darat

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan distribusi spasial yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7**, daerah yang menjadi *hotspot* sektor *land transport* antara lain Kecamatan Gambir, Senen, Tanah Abang, Menteng, Kebayoran baru, Pasar Minggu, Makasar, dan Kramajati dengan rentang nilai total emisi $PM_{2,5}$ antara 988-1.243 ton. Jumlah transportasi darat di DKI Jakarta memang sangat tinggi, terutama bis dan sepeda motor sebagai alat transportasi yang paling banyak digunakan, mengingat tingginya tingkat kemacetan di DKI Jakarta yang memiliki nilai indeks kemacetan hingga 34%. Tingkat emisi yang tinggi di daerah yang menjadi *hotspot* juga dapat disebabkan banyaknya fasilitas umum seperti kantor, pasar dan sekolah, sehingga daerah tersebut banyak dilalui dan dituju oleh penduduk DKI Jakarta.

4.7 Aviation

Sektor ini perlu ditinjau karena seperti yang kita ketahui DKI Jakarta merupakan ibu kota negara Indonesia sehingga tentunya banyak aktivitas domestik maupun non domestik yang dilakukan. Hal ini tentunya akan mempengaruhi aktivitas di bandara, berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2018, total jumlah keberangkatan dan kedatangan domestik maupun internasional di bandara Halim Perdana Kusuma pada tahun 2018 adalah sebesar 66.748 keberangkatan dan kedatangan. Oleh karena itu, inventarisasi emisi terhadap sektor ini perlu dilakukan, mengingat hasil pembakaran dari bahan bakar pesawat dapat menghasilkan polutan sama halnya dengan transportasi darat.

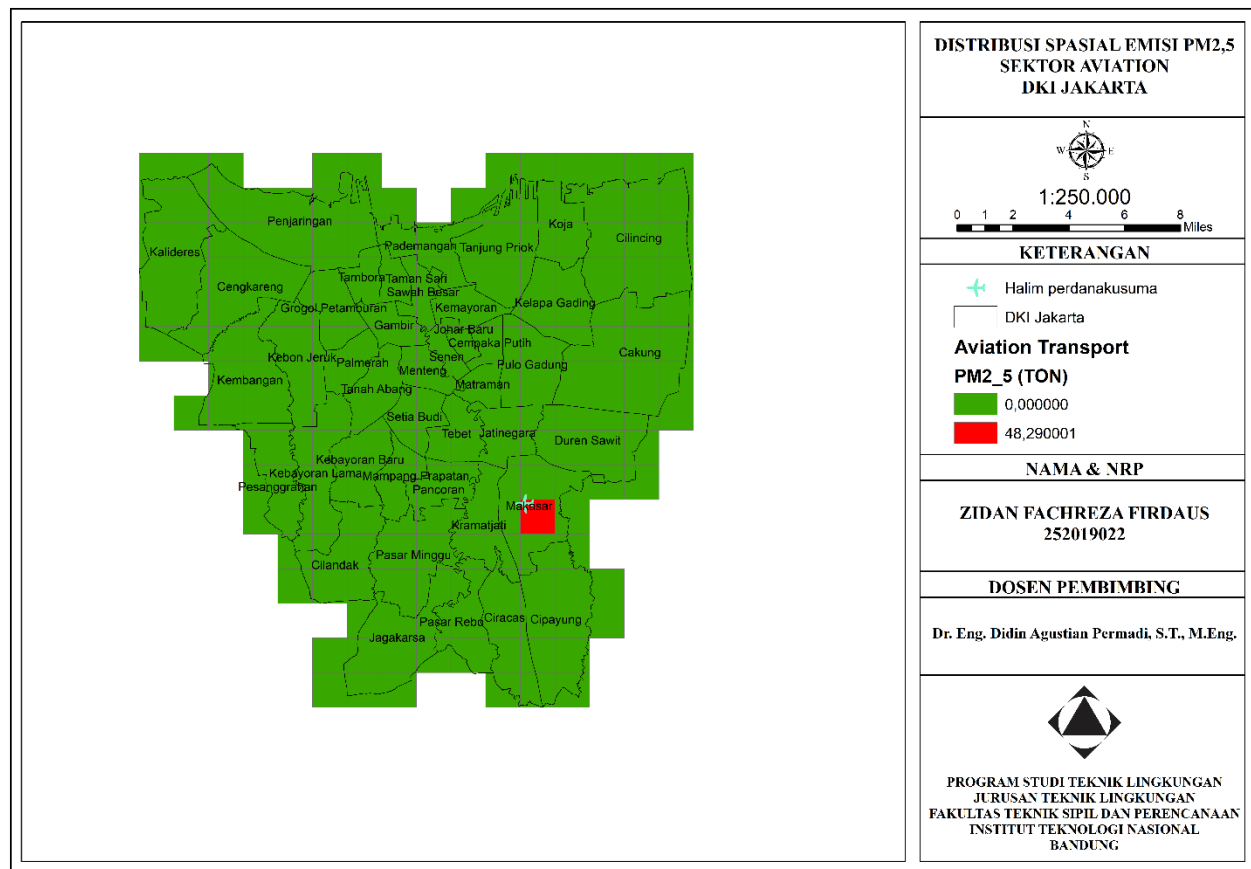
Pada praktik kerja ini, perhitungan beban emisi $PM_{2,5}$ tidak dilakukan sendiri melainkan menggunakan beban emisi yang sudah dihitung oleh Vital Strategies. Total beban emisi $PM_{2,5}$ dari sektor *aviation* dijelaskan dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4. 6 Total Emisi PM_{2,5} dari Sektor Aviation

Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar (Kiloliter)	Berat Bahan Bakar (TJ)	Emisi PM_{2,5} (Ton)
Avgas	718	24	0,19
Avtur	171.780	6.012	48,10
Total			48,29

Sumber: Vital Strategies, 2018

Berdasarkan nilai yang ditunjukkan pada tabel 4.6, total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan dari sektor *aviation* adalah sebesar 48,29 ton dengan jenis bahan bakar Avtur sebagai pendonor emisi terbesar yang menghasilkan total emisi sebesar 48,10 ton. Hal ini dapat disebabkan karena berdasarkan data yang tersaji dalam tabel 4.6, penggunaan bahan bakar Avtur mencapai sebesar 171.780 Kiloliter, lebih banyak dibandingkan jenis bahan bakar lainnya. Penggunaan Avtur yang lebih banyak ini dapat disebabkan karena avtur merupakan bahan bakar untuk jenis pesawat dengan mesin jet atau mesin turbin, sedangkan penggunaan avgas diperuntukkan untuk jenis pesawat dengan mesin piston dan untuk helikopter ringan. Pesawat yang lebih banyak digunakan untuk perjalanan domestik atau internasional merupakan pesawat dengan mesin jet atau mesin turbin. Pesawat - pesawat dengan mesin jet atau mesin turbin membutuhkan tenaga yang lebih besar dibandingkan pesawat ringan seperti helikopter, sehingga membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak (Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto dan Pertamina, 2023). Adapun distribusi spasial untuk sektor *Aviation* ditunjukkan oleh **Gambar 4.8**.



Gambar 4. 8 Distribusi Spasial Emisi PM2,5 Sektor Aviaton

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan distribusi spasial yang ditunjukkan pada **Gambar 4.8**, daerah yang menjadi *hotspot* sektor *aviation* adalah Kecamatan Makasar karena bandara Halim Perdana Kusuma terletak di kecamatan tersebut.

4.8 Marine Transport

Sektor *marine transport* menghasilkan emisi dari pembakaran di boiler mesin diesel laut yang digunakan untuk penggerak turbin uap dan tujuan lain, serta emisi dari pembakaran di turbin gas. Sektor ini mencakup semua kegiatan pelayaran, baik di laut, di pelabuhan, maupun di perairan pedalaman.

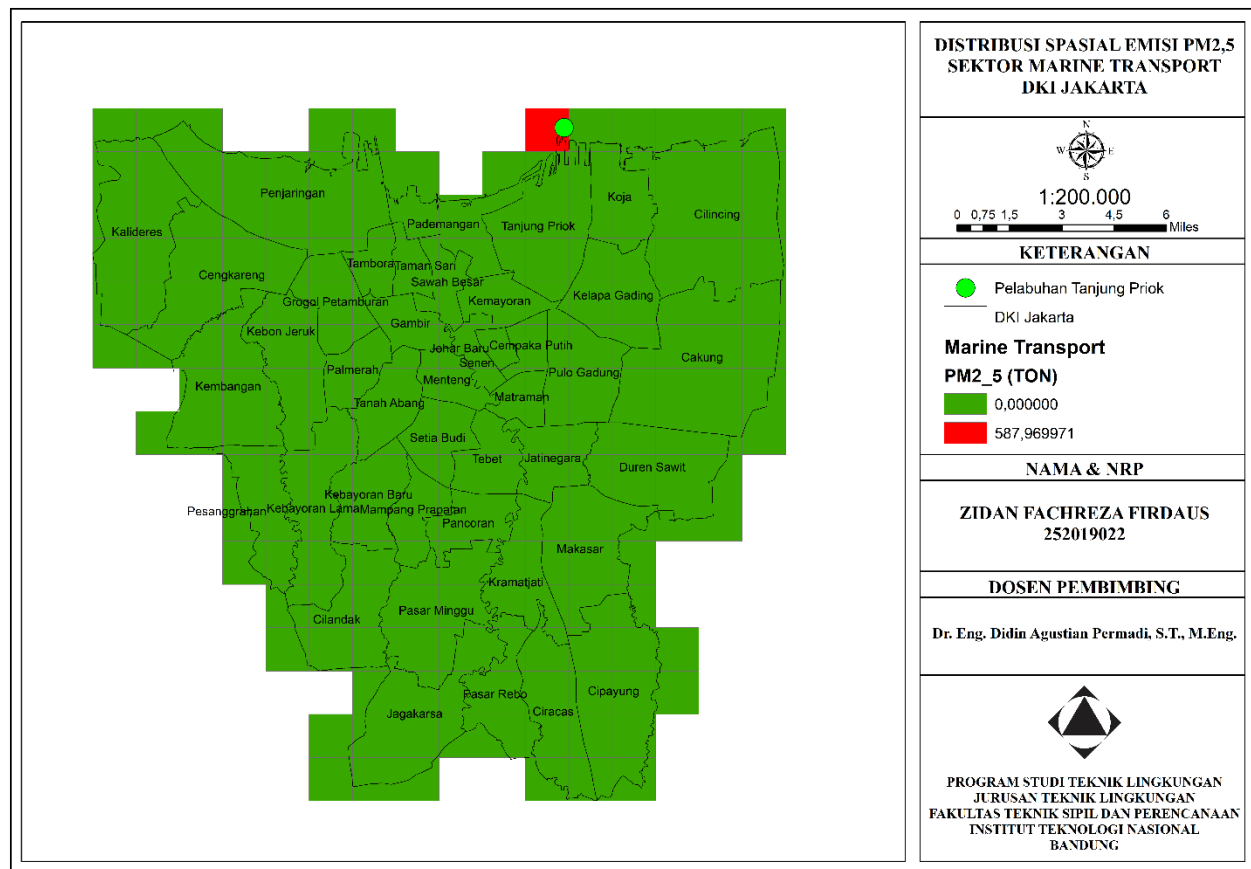
Pada praktik kerja ini, perhitungan beban emisi PM_{2,5} tidak dilakukan sendiri melainkan menggunakan beban emisi yang sudah dihitung oleh Vital Strategies. Total beban emisi PM_{2,5} dari sektor *marine transport* dijelaskan dalam **Tabel 4.7**.

Tabel 4. 7 Total Emisi PM_{2,5} dari Sektor Marine Transport

Jenis Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar (Kiloliter)	Berat Bahan Bakar (TJ)	Emisi PM_{2,5} (Ton)
Minyak Diesel	107.020	87.756	587,97

Sumber: Vital Strategies, 2018

Berdasarkan nilai yang ditunjukkan pada **Tabel 4.7**, total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan dari sektor *marine transport* adalah sebesar 587,97 ton. Adapun distribusi spasial untuk sektor *Aviation* ditunjukkan oleh **Gambar 4.9**.



Gambar 4. 9 Distribusi Spasial Emisi PM2,5 Sektor Marine Transport

Sumber: Hasil Analisa, 2022

Berdasarkan distribusi spasial yang ditunjukkan pada **Gambar 4.9**, daerah yang menjadi *hotspot* sektor *marine transport* adalah Kecamatan Tanjung Priok yang merupakan lokasi dari Pelabuhan Tanjung Priok. Pelabuhan Tanjung Priok bukan satu - satunya pelabuhan yang terletak di Jakarta. Tetapi, Pelabuhan Tanjung Priok merupakan pelabuhan utama di Jakarta dan salah satu pelabuhan terbesar di Indonesia.

4.9 Rekapitulasi

Berdasarkan hasil yang sudah dijabarkan sebelumnya berikut merupakan rekapitulasi dari ketujuh sektor yang diamati dalam praktik kerja ini ditunjukkan pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Total Emisi Dari Ketujuh Sektor

No	Sektor	Emisi PM _{2,5} (Ton)	Kontribusi
1	Industri Manufaktur	10967,16	10,46%
2	Industri Energi	32385,57	30,88%
3	Transportasi darat	59226,16	56,47%
4	Aviasi	48,29	0,05%
5	<i>Marine</i>	587,97	0,56%
6	<i>Solidwaste Open Burning</i>	1459,68	1,39%
7	Residensial & Komersial	210,04	0,20%
Total		104884,87	100%

Sumber: Hasil Perhitungan, 2023

Dari tabel rekapitulasi diatas dapat dilihat bahwa kontribusi terbesar penghasil emisi PM_{2,5} di DKI Jakarta terdapat pada sektor transportasi darat dengan total kontribusi sebesar 56,47% disusul dengan sektor industri energi dan manufaktur dengan total kontribusi masing-masing sebesar 30,88% dan 10,46%. Hal ini dapat disebabkan karena frekuensi transportasi darat di DKI Jakarta semakin meningkat tiap tahunnya yang disebabkan oleh meningkatnya jumlah penduduk di DKI Jakarta. Semakin meningkatnya jumlah penduduk semakin meningkat pula kebutuhan masyarakat terhadap transportasi darat baik itu transportasi umum maupun pribadi dan menurut data dari Statistik Transportasi DKI Jakarta terdapat

peningkatan jenis kendaraan bermotor sebesar 0,95% dari tahun sebelumnya. Dapat dilihat pada **Tabel 4.5** total transportasi dari 6 jenis transportasi yang diamati adalah sebanyak 11.782.602 dengan jenis transportasi terbanyak yaitu sepeda motor dengan jumlah sebanyak 8.136.410.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat 5 sektor utama penghasil emisi di DKI Jakarta diantaranya sektor manufaktur, sektor energi industri, sektor komersial dan residensial, sektor *solid waste open burning*, dan sektor transportasi.
2. Total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan masing-masing sektor yaitu pada sektor manufaktur total emisi PM_{2,5} yang dihasilkan sebesar 10.967 ton, sektor energi industri menghasilkan total emisi PM_{2,5} sebesar 32.388 ton, sektor komersial dan residensial menghasilkan total emisi PM_{2,5} sebesar 210,34 ton, sektor *solid waste open burning* menghasilkan total emisi PM_{2,5} sebesar 1.460 ton, dan pada sektor transportasi dibagi lagi menjadi tiga subsektor yaitu *land transport*, *aviation*, dan *marine transport* dengan masing-masing total emisi PM_{2,5} sebesar 59.226 ton; 48,29 ton; dan 587,97 ton.
3. Masing-masing sektor terdapat *hotspot* sumber emisi. Pada sektor manufaktur *hotspot* sumber emisi terdapat di Kecamatan Cakung, Kelapa Gading, Tanah Abang, Menteng, Duren Sawit, dan Jagakarsa; pada sektor energi industri *hotspot* sumber emisi terdapat di Kecamatan Tanjung Priok dan Penjaringan; pada sektor komersial dan residensial *hotspot* sumber emisi cukup merata di setiap daerah; pada sektor *solid waste open burning* *hotspot* sumber emisi terdapat di Kecamatan Tambora dan Matraman; pada sektor *land transport* *hotspot* sumber emisi terdapat di Kecamatan Gambir, Senen, Tanah Abang, Menteng, Kebayoran baru, Pasar Minggu, Makasar, dan Kramajati; pada sektor *aviation* *hotspot* sumber emisi terdapat di Kecamatan Makasar; dan pada sektor *marine transport* Kecamatan Tanjung Priok.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan:

1. Resolusi distribusi spasial dapat ditingkatkan menjadi 1x1 km² agar mendapat hasil yang lebih detail dan akurat.

2. Data emisi yang telah didapatkan bisa digunakan untuk pemodelan kualitas udara.
3. Distribusi spasial dapat digunakan untuk menentukan titik/lokasi pemantauan kualitas udara.
4. Kontribusi penghasil emisi terbesar terdapat pada sektor transportasi darat, oleh karena itu dapat dilakukan langkah-langkah mitigasi yang dapat dilakukan oleh masyarakat DKI Jakarta untuk mengurangi emisi yang dihasilkan dari sektor tersebut seperti menggunakan transportasi ramah lingkungan dan menggunakan transportasi umum. Selain langkah-langkah mitigasi yang dilakukan masyarakat, pemerintah DKI Jakarta juga perlu melakukan tindakan pengendalian terhadap emisi yang dihasilkan dari transportasi darat seperti memperketat regulasi standar emisi kendaraan, memberikan insentif untuk kendaraan bersih, serta mengembangkan transportasi publik yang nyaman dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, A., Irawan, A., & Hidayah, N. (2014). Sistem informasi geografis (sig) sebagai media informasi kesehatan tentang Penyakit menular: literature review. In Proceeding of Sari Mulia University Nursing National Seminars (Vol. 2, No. 1, pp. 1-13).
- Battye, R., et al. (1994). "Development and selection of ammonia emission factors."
- Bertschi, I. T., et al. (2003). "Trace gas emissions from the production and use of domestic biofuels in Zambia measured by open-path Fourier transform infrared spectroscopy." Journal of Geophysical Research: Atmospheres **108**(D13).
- Bhaskar, C. and K. Lakshminarayananachari (2021). "Numerical model for primary and secondary air pollutants emitted from an area and point source in an urban area with chemical reaction and removal mechanisms." Materials Today: Proceedings **37**: 2961-2967.
- Bhattacharya, S., et al. (2002). "Emission factors of wood and charcoal-fired cookstoves." Biomass and bioenergy **23**(6): 453-469.
- Bond, T. C., et al. (2004). "A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion." Journal of Geophysical Research: Atmospheres **109**(D14).
- Change, I. (2006). "2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories." Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.
- epa.gov. (2022). Particulate Matter (PM) Basics. Diakses pada 22 September 2022, dari <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>
- Guidebook, E. I. (2006). EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, Tech. Rep.
- Kato, N. and H. Akimoto (1992). "Anthropogenic emissions of SO₂ and NO_x in Asia: emission inventories." Atmospheric Environment. Part A. General Topics **26**(16): 2997-3017.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2013). "Pedoman teknis penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan." Jakarta Asdep Pengendali. Pencemaran Udar. Sumber Berger. Deputi Bid. Pengendali. Pencemaran Lingkung. Kementeri. Lingkung. Hidup Pencemaran Udar. di Daerah. Jakarta.
- Kim, M., Paudel, B., & Snyder, D. L. (2015). Benefit Cost for Biomass Co-Firing in Electricity Generation : Case of Utah , U . S . International Journal of Food and Agricultural Economics, 3(3), 15–30.

- Kim Oanh, N. T., et al. (1999). "Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons and particulate matter from domestic combustion of selected fuels." Environmental Science & Technology **33**(16): 2703-2709.
- nps.gov. (2018). Where Does Air Pollution Come From?. Diakses pada 22 September 2022, dari <https://www.nps.gov/subjects/air/sources.htm>
- Peraturan Pemerintah RI Nomer 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- pertamina. (2023). Jenis-Jenis Bahan Bakar Pesawat. Diakses pada 13 November 2022, dari https://onesolution.pertamina.com/Insight/Page/Jenis_jenis_bahan_bakar_pesawat
- Pfeiffer, R. (2005). "Sampling for PM10 and PM2.5 particulates." Micrometeorology in Agricultural Systems **47**: 227-245.
- Ramanathan, V. Agrawal, M., Akimoto, H., Auffhammer, M., Autrup, H., Barregard, L., Bonasoni, P., Brauer, M., Brunekreef, B., Carmichael, G., Chang, W.C., Chopra, U.K., Chung, C.E., Devotta, S., Duffus, J., Emberson, L., Feng, Y., Fuzzi, S., Gordon, T., Gosain, A.K., Hasnain, S.I., Htun, N., Iyengararasan, M., Jayaraman, A., Jiang, D., Jin, Y., Kalra, N., Kim, Lawrence, M., Mourato, S., Naeher, L., Nakajima, T., Navasumrit, P., Oki, T., Ostro, B., Panwar, T.S., Rahman, M.R., Ramana, M.V., Rodhe, H., Ruchirawat, M., Rupakheti, M., Settachan, D., Singh, A.K., St. Helen, G., Tan, P.V., Tan, S.K., Viet, P.H, Vincent, J., Wang, J.Y., Wang, X., Weidemann, S., Yang, D., Yoon, S.C., Zelikoff, J., Zhang, Y.H., and A. Zhu. (2008). Atmospheric Brown Clouds: Regional Assessment Report with Focus on Asia. United Nations Environment Programme. Nairobi. Kenya.
- Ramanathan, V. and Crutzen, P.J. (2003). New Directions: Atmospheric Brown "Clouds". Atmospheric Environment. 37. 4033-4035.
- Shrestha, R., et al. (2013). "Atmospheric Brown Cloud (ABC) Emission Inventory Manual (EIM)." United Nation Environmental Programme (UNEP), Nairobi, Kenya.
- Sutrisno, A. M., et al. (2016). Kajian Prediksi Beban Emisi Pencemar Udara (Tsp, Nox, So2, Hc, dan Co) dan Gas Rumah Kaca (Co2, Ch4, dan N2o) Sektor Transportasi Darat di Kota Surakarta dengan Metode Top Down dan Bottom Up, Diponegoro University.
- Tiarani, V. L., et al. (2016). Kajian beban emisi pencemar udara (TSP, NOx, SO2, HC, CO) dan gas rumah kaca (CO2, CH4, N2O) sektor transportasi darat Kota Yogyakarta dengan metode tier 1 dan tier 2, Diponegoro University.

- UNEP and C⁴. (2002). *The Asian Brown Cloud: Climate and Other Environmental Impacts*. UNEP. Nairobi.
- USEPA. 1995. *Emission Factors & AP-42. Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emission Factors 2005*.
- Vallero, D. (2014). "The science of air pollution." Fundamentals of Air Pollution: 43-81.
- Venkataraman, C. and G. U. M. Rao (2001). "Emission factors of carbon monoxide and size-resolved aerosols from biofuel combustion." Environmental Science & Technology **35**(10): 2100-2107.
- who.int. (2022). Air Pollution. Diakses pada 22 September 2022, dari https://www.who.int/healthtopics/air-pollution#tab=tab_
- Yunita, R. D. and A. A. Kiswando (2017). "Kajian Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sulfur Dioksida (SO₂) sebagai Polutan Udara pada Tiga Lokasi di Kota Bandar Lampung." Analit: Analytical and Environmental Chemistry **2**(1).
- Zhang, J., et al. (2000). "Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors." Atmospheric Environment **34**(26): 4537-4549.