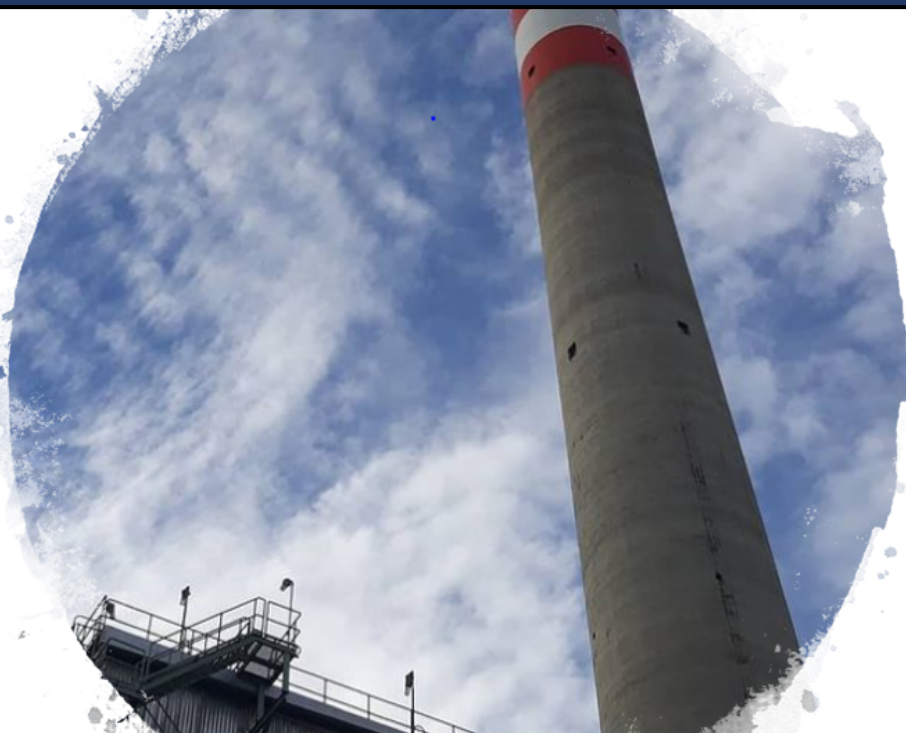


2020

LAPORAN INVENTARISASI EMISI PENCEMAR UDARA DKI JAKARTA



**Bloomberg
Philanthropies**



**Vital
Strategies**

LAPORAN INVENTARISASI PENCEMAR UDARA DKI JAKARTA

2020

Laporan Inventarisasi Pencemar Udara DKI
Jakarta tahun 2020
Kajian ini merupakan hasil kerja sama Dinas
Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta
dengan Vital Strategies dengan dukungan dari
Bloomberg Philanthropies.

Tim Penyusun:

Peneliti Utama:

Safrul Amri, ST, MT.

Penasehat Penelitian:

Ir. Raden Driejana, MSCE, Ph.D.

Dr. Vivian Pun.

Sumi Mehta, MPH, Ph.D.

Thomas Matte.

Daniel Kass, MSPH.

Ririn Radiawati Kusuma, MPP

Peneliti Pendukung:

Andika Hermawan



**Bloomberg
Philanthropies**



**Vital
Strategies**

Ringkasan Eksekutif

Berdasarkan hasil pemantauan kualitas udara di 5 stasiun pemantau dari tahun 2011 hingga 2017, rentang indeksi kualitas udara (IKU) di DKI Jakarta berada pada tingkat waspada atau tercemar sedang (Mukhtar, et al., 2018). Penyebab kondisi tersebut berasal dari peningkatan aktivitas manusia di DKI Jakarta yang berbanding lurus terhadap konsumsi energi dengan penyumbang konsumsi energi terbesar berasal dari sektor transportasi dan industri (Lestari, 2020) sehingga perlu dilakukan identifikasi sumber dan estimasi beban emisi dalam rangka melakukan mitigasi sumber pencemar. Inventarisasi emisi dengan pendekatan metode perhitungan yang akurat dibutuhkan karena merupakan alat dasar dalam memperoleh informasi, pola dan tren dari sumber pencemar sehingga berguna bagi pihak terkait dalam penentuan kebijakan publik.

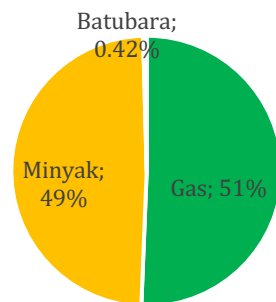
Pada kajian inventarisasi emisi pencemar udara di DKI Jakarta (JEI) ini, terdapat 5 sumber pencemar udara utama yang terlibat antara lain sektor Industri Energi, Sektor Industri Manufaktur, sektor Transportasi termasuk transportasi darat, laut dan penerbangan, sektor komersial dan sektor domestik dengan beban pencemar udara yang dihitung adalah Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO), PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, *Black Carbon* (BC) dan *Non-Methane Volatile Organic Compounds* (NMVOCs). Selain itu, studi ini mencakup beban pencemar partikulat dari kegiatan non-pembakaran seperti aktivitas batching plant dan aktivitas pembangunan pada sektor konstruksi. Sektor konstruksi adalah sektor temporer yang memiliki potensi besar atas emisi partikulat seperti TSP (*Total Suspended Solid*), PM_{10} dan $\text{PM}_{2.5}$.

Pemilihan metode pendekatan perhitungan beban emisi didasarkan pada ketersediaan data di lapangan. Berdasarkan pedoman perhitungan inventarisasi di daerah perkotaan dari Kementerian Lingkungan Hidup yang diterbitkan tahun 2013 dan *European Monitoring and Evaluation Programme* (EMEP) *air pollutant emission inventory guidebook* yang diterbitkan pada tahun 2019 oleh *European Environment Agency*, metode yang paling layak (*feasible*) saat ini adalah pendekatan menggunakan Tier – 1 yaitu berdasarkan data konsumsi bahan bakar dan jenis bahan bakar tersebut dimana jenis bahan bakar yang dihitung adalah minyak, gas dan batu bara.

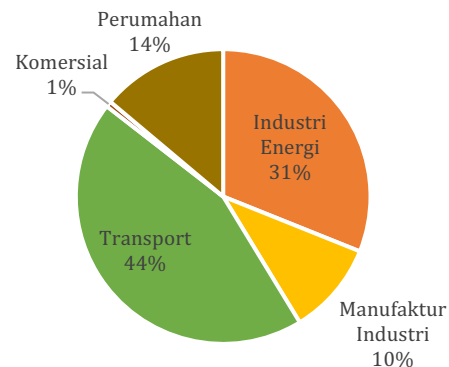
Data konsumsi bahan bakar diperoleh dari beberapa sumber seperti Badan Pengatur Hulu Minyak dan Gas (BPH Migas) berupa data realisasi penyaluran BBM di DKI Jakarta tahun 2018 dengan data jenis bahan bakar antara lain mencakup IDO/HSD, Kerosene, *Gasoline*, Diesel, Minyak Diesel, MFD (*Marine Fuel Diesel*), Avgas dan Avtur. Data BPH Migas mencakup penggunaan bahan bakar di lima sektor sumber emisi untuk konsumsi bahan bakar minyak (BBM). Pada sektor transportasi, data proporsi jenis kendaraan dan jenis bahan bakar yang digunakan adalah informasi penting dalam perhitungan dan data ini diperoleh dari Badan Pusat Statistik DKI Jakarta tahun dan dokumen DKIPLHD tahun 2018. Batubara hanya digunakan di sektor industri manufaktur dan data yang digunakan berasal dari Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada data PROPER tahun 2017-2019. Data konsumsi gas termasuk *Natural gas* dan LPG diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup DKI Jakarta, Data PROPER dan Badan Pusat Statistik DKI Jakarta.

Berdasarkan hasil inventarisasi di DKI Jakarta diperoleh total konsumsi bahan bakar di seluruh sektor di tahun 2018 adalah sebesar 440.904 TJ dengan jenis bahan bakar yang paling banyak digunakan adalah Gas yaitu sebesar 50,6%, konsumsi minyak sebesar 48,9% dan batu bara 0,42%. Sektor terbesar pengguna bahan bakar adalah transportasi sebesar 44%, Industri Energi 31%, Industri Manufaktur 10%, Perumahan 14% dan Komersial 1%. Sektor transportasi adalah pengguna bahan bakar minyak terbesar dan bahan bakar jenis gas paling banyak digunakan di sektor Industri Energi (PLTGU) dan Perumahan.

Persentase Penggunaan Bahan Bakar di Jakarta berdasarkan Jenis Bahan Bakar (%)



Persentase Penggunaan Bahan Bakar di Jakarta berdasarkan Sektor (%)



Hasil inventarisasi emisi diperoleh bahwa total emisi pencemar Sulfur Dioksida (SO_2) adalah 4.257 ton/tahun dan pengemisi utama adalah sektor industri manufaktur yaitu sebesar 2.637 ton/tahun atau sebesar 61,9%. Penyebab utama tingginya emisi Sulfur Dioksida di Industri Manufaktur disebabkan oleh penggunaan batubara dimana penggunaan batubara hanya 4% namun menghasilkan emisi SO_2 sebesar 64%. Sektor Industri Energi adalah pengemisi kedua terbesar emisi SO_2 yaitu sebesar 1.071 ton/tahun atau sebesar 25.17%. Berdasarkan hasil inventarisasi emisi SO_2 di sektor Energi Industri berasal dari konsumsi bahan bakar minyak dengan rasio emisi SO_2 bahan bakar minyak dan gas sebesar 27,95.

Beban emisi Nitrogen Oksida (NO_x) sebesar 106.068 ton/tahun dengan sektor pengemisi terbesar adalah transportasi yaitu sebesar 76.793 ton/tahun atau sebesar 72,4% dimana transportasi darat berkontribusi secara signifikan terhadap emisi NO_x . Hal ini disebabkan karena jumlah penggunaan bahan bakar minyak di sektor ini sangat signifikan dan berbanding lurus dengan jumlah kendaraan. Industri Energi dan Industri Manufaktur memberikan kontribusi yang cukup signifikan yaitu sebesar 12.244,27 ton/tahun (11,54%) dan 12.182,50 ton/tahun (11,49%). Penyebab utama emisi NO_x di kedua sektor tersebut berbeda, sektor Energi Industri disebabkan oleh konsumsi natural gas sedangkan di Industri manufaktur disebabkan oleh penggunaan bahan bakar minyak. Meskipun memiliki kontribusi NO_x yang hampir sama, total penggunaan energi di kedua sektor tersebut berbeda dimana total energi di sektor Industri Energi 6,68 kali lebih besar dari sektor Industri manufaktur dan proporsi penggunaan natural gas di sektor industri energi sebesar 97%. Sehingga bahan bakar gas mengemisikan emisi lebih rendah dari bahan bakar minyak.

Beban emisi Karbon Monoksida (CO) yaitu sebesar 298.170 ton/tahun dengan emisi terbesar berasal dari sektor transportasi yaitu 287.317 ton/tahun atau 96,4% dimana sektor transportasi darat terutama sepeda motor adalah sumber terbesar. Sektor Industri Energi dan Sektor Industri Manufaktur berkontribusi sebesar masing-masing sebesar 1,76% dan 1,25% dengan penyebab emisi terbesar adalah penggunaan bahan bakar jenis gas dan batu bara.

Hasil inventarisasi emisi untuk parameter Partikulat yaitu PM_{10} dan $\text{PM}_{2,5}$ dan BC masing-masing sebesar 8.817 ton/tahun, 7.842 ton/tahun, 6.007 ton/tahun. Sektor transportasi adalah kontributor terbesar untuk Partikulat dengan nilai sebesar 57,99% untuk PM_{10} , 67,03% untuk $\text{PM}_{2,5}$ dan 84,04% untuk BC. Sektor Industri Manufaktur juga berkontribusi secara signifikan terhadap partikulat yaitu 33,9% untuk PM_{10} , 26,81 untuk $\text{PM}_{2,5}$ dan 13,31% untuk BC. Di sektor Industri manufaktur, diperoleh bahwa partikulat terbesar diemisikan dari penggunaan bahan bakar minyak.

Total emisi NMVOCs untuk daerah DKI Jakarta sebesar 201.971 ton/tahun dengan sumber utama dari sektor transportasi yaitu 198.936,18 ton/tahun atau 98%. Sektor Industri Manufaktur, Industri Energi, Perumahan dan Komersial berkontribusi dibawah 1%. Penggunaan sepeda motor dan mobil penumpang berbahan bakar bensin adalah kontributor terbesar emisi NMVOCs.

Beberapa studi mengenai inventarisasi emisi pencemaran udara di DKI Jakarta telah dilakukan dengan tahun dan sektor yang berbeda yaitu data tahun 2010 dan 2015 untuk kajian dari Toyota Clean Air Pollution (TCAP) dan 2017 untuk Breatheasy. Dari hasil kajian literatur diperoleh bahwa persen kontribusi dari kelima sektor memiliki nilai yang mendekati dengan perbedaan di bawah 11% untuk parameter SO_2 , NO_2 dan CO. Perbedaan dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan jumlah penggunaan bahan bakar dan proporsi jenis bahan bakar pada tahun kajian serta pembatasan dalam perhitungan dimana sektor transportasi laut dan udara tidak diperhitungkan pada beberapa literatur. Penggunaan faktor emisi yang berbeda juga menjadi penyebab perbedaan dimana TCAP menggunakan faktor emisi dari GAINS sedangkan kajian ini mengkombinasi penggunaan faktor emisi dari EMEP dan GAINS sesuai dengan ketersediaan data aktivitas.

DKI Jakarta juga memiliki dampak dari *Long Range Transport* Partikulat dari secondary aerosol dengan substrat kontributor terbesar adalah NO_3^- dan SO_4^{2-} . Hasil studi oleh Vital strategies di tahun 2018-2019 mengenai *Source Apportionment* $\text{PM}_{2.5}$ di DKI Jakarta diperoleh bahwa *long range transport* berkontribusi atas beban emisi $\text{PM}_{2.5}$ sebesar 4-11% dalam bentuk *secondary aerosol* yaitu NO_3^- dan SO_4^{2-} . Prekursor terbentuknya secondary aerosol adalah gas ammonia, SO_2 , dan NO_x . DKI Jakarta dikelilingi oleh kota satelit seperti Tangerang, Depok, Bekasi yang memiliki aktivitas penduduk yang tinggi seperti kegiatan industri, transportasi dan domestik termasuk open burning sehingga potensi Long Range transport untuk secondary aerosol seperti $\text{PM}_{2.5}$ sangat signifikan. Dalam studi yang dilaksanakan oleh *Air Quality Life Indeks* oleh Universitas Chicago (AQLI, 2019) menemukan bahwa nilai rata-rata konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ di kota satelit tersebut sebesar 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dimana konsentrasi di kota Tangerang lebih besar dari kota Jakarta.

Secara umum, diketahui bahwa sektor Transportasi, sektor Industri Manufaktur dan Sektor Industri Energi adalah kontributor terbesar dari beban emisi pencemar udara di DKI Jakarta. Kategori kunci (*Key Category*) pencemar udara di setiap sektor berbeda sesuai dengan jenis bahan bakar yang digunakan. Dalam rangka pemanfaatan informasi inventarisasi secara optimal, perhitungan untuk Tier 2 atau Tier 3 perlu dilakukan di sektor transportasi, mengingat industri manufaktur dan industri energi adalah kategori kunci sesuai dengan rekomendasi dari pedoman eksisting (EMEP).

Pada sektor Industri, salah satu langkah dalam menurunkan beban pencemar di DKI Jakarta adalah pengetatan bakumutu terutama untuk pencemar SO_2 , NO_x CO, dan partikulat. Pengetatan dilakukan berdasarkan jenis bahan bakar sesuai dengan hasil inventarisasi emisi. Batubara memiliki jumlah konsumsi yang kecil di sektor Industri Manufaktur (4%) namun beban emisi SO_2 dan CO yang dihasilkan cukup besar yaitu sebesar 64% dan 45% sehingga SO_2 perlu diperketat. Indikator pencemar CO untuk batubara tidak tersedia di bakumutu sehingga penambahan indikator CO untuk bahan batubara diregulasi menjadi penting mengingat nilainya cukup tinggi. Partikulat juga menghasilkan emisi yang cukup signifikan dari penggunaan batu bara yaitu sebesar 7,4% (PM_{10}) dan 9,7% ($\text{PM}_{2.5}$) sehingga pengetatan diperlukan.

Jenis bahan bakar minyak paling besar menghasilkan beban emisi NO_x , PM_{10} dan $\text{PM}_{2.5}$ yaitu masing-masing sebesar 83%, 92% dan 89,7% sedangkan CO dan SO_2 masing-masing sebesar 34,8% dan 0,6%. Berdasarkan data tersebut, bahan bakar minyak perlu untuk dilakukan pengetatan baku mutu dalam rangka penurunan beban emisi pencemar NO_x , Partikulat dan CO. Bahan bakar minyak digunakan untuk peralatan seperti boiler atau ketel uap dan generator set (genset) sehingga perlu adanya pengetatan pada jenis peralatan ini dengan jenis bahan bakar minyak.

Penetapan baku mutu dapat merujuk pada nasional dan regional. Bakumutu regional yang digunakan pada kajian ini adalah Malaysia, Thailand, Taiwan, Korea, Jepang, India, European Union (EU) dan USA dan disesuaikan dengan profil penggunaan jenis bahan bakar dimana profil yang sesuai dengan DKI Jakarta adalah negara Malaysia. Baku mutu nasional yang digunakan antara lain (1). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 tahun 2007 mengenai baku mutu ketel uap (2). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 15 tahun 2019 mengenai baku mutu sumber tidak bergerak dari kegiatan thermal termasuk pembangkit listrik dan generator. Penggunaan baku mutu nasional disebabkan beberapa bakumutu indikator pencemar lebih ketat dari bakumutu regional. Apabila dilakukan penetapan terhadap bakumutu rekomendasi diatas maka akan berdampak pada ketidaktaatan sumber emisi tidak bergerak eksisting dengan rentang 1,4% hingga 40%. Tahun 2019, berdasarkan data PROPER dari 933 sumber pencemar, sebesar 47% sumber emisi tidak bergerak sudah menggunakan alat pengendali udara (APC).

Daftar Istilah

$\mu\text{g}/\text{m}^3$; mg/m^3	= satuan konsentrasi (jumlah zat dalam microgram/miligram per volume udara dalam meter kubik atau 1000 liter)
Aerosol	= suspensi partikel padat atau cair di dalam gas
Amonia	= senyawa kimia berupa gas dengan bau tajam yang khas
Black Carbon (BC)	= Bagian dari partikulat dengan ukuran partikel $<2.5 \mu\text{m}$ dengan kandungan utamanya adalah karbon
Euro I - IV	= Standar emisi dari eropa yang disematkan dalam teknologi peralatan, kenadaraan dan bahan bakar.
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
Gasoline	= Jenis Bahan bakar minyak untuk kendaraan bermotor seperti motor dan mobil, nama lainnya bensin
Industri Energi	= Semua industri yang memproduksi dan menjual energi, termasuk proses ekstraksi, manufaktur, pemurnian, dan distribusi
Industri Manufaktur	= Suatu cabang industri yang mengoperasikan peralatan, mesin dan tenaga kerja dalam suatu medium proses untuk mengolah bahan baku, suku cadang, dan komponen lain untuk diproduksi menjadi barang jadi yang memiliki nilai jual
Inventarisasi	= Kegiatan pencatatan atau pengumpulan data (tentang kegiatan, hasil yang dicapai)
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
Kerosene	= Jenis Bahan bakar minyak

Komersial	=	Aktivitas perdagangan seperti mall, hotel dan perkantoran
<i>Long -Range Transport</i>	=	Transportasi pencemar, prekursor oleh angin dari area yang penghasil ke area tertentu berdasarkan arah angin
Nitrogen dioksida (NO ₂)	=	gas hasil pembakaran pada suhu tinggi (gas nitrogen di udara dan unsur nitrogen yang terkandung dalam bahan bakar); potensi membentuk lapisan kabut kecoklatan di langit (smog fotokimia); prekursor ozon dan secondary aerosol di trofosfer
Ozon (O ₃)	=	pencemar sekunder yang terbentuk dengan bantuan sinar matahari; bersifat reaktif (menghancurkan/mengubah molekul-molekul)
Secondary Aerosol	=	aerosol sekunder hasil dari reaksi dari prekursor-prekursor di atmosfer
Sulfur dioksida (SO ₂)	=	gas mudah larut, berbau, dan tidak berwarna; berasal dari pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur (minyak, batubara, bijih-bijihan mengandung logam); pembentuk hujan asam; sumber utama adalah pembangkit listrik; sumber lain: kendaraan bermotor (minyak solar dengan sulfur tinggi)
Source Apportionment	=	Aktivitas kajian dalam memperoleh informasi tentang sumber polusi dan jumlah kontribusinya terhadap tingkat polusi udara ambien.
Tier	=	Tingkat struktur/Tingkat perhitungan berdasarkan kompleksitas.

Singkatan

ADB	= Asian Development Bank
AP-42	= Pedoman perhitungan emisi pencemar udara dari US EPA
BPS	= Badan Pusat Statistik
CORRINAIR	= Pedoman perhitungan emisi pencemar udara dari EU
DKIPLHD	= Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup
IDO/HSD	= Industrial Diesel Oil/ High Speed Diesel
IIASA	= International Institute for Applied Systems Analysis
GAIKINDO	= Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia
GAINS	= The Greenhouse Gas Air Pollution Interactions and Synergies
MFD	= Marine Fuel Diesel
LPG	= Liquid Petroleum Gas
PROPER	= Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan Dalam Pengelolaan Lingkungan
PLTGU	= Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap
RTH	= Ruang Terbuka Hijau
TJ	= Terajoule (Satuan unit energi)
US EPA	= United States Environmental Protection Agency
WHO	= World Health Organization

Daftar Isi

Ringkasan Eksekutif	1
Daftar Isi	9
1. Pendahuluan	11
1.1 Inventarisasi Emisi	11
1.2 Indikator Pencemar	12
1.2.1 Karbon Monoksida	12
1.2.2 Nitrogen Oksida (NO _x)	13
1.2.3 Sulfur Dioksida (SO ₂)	14
1.2.4 Partikulat (PM ₁₀ , PM _{2.5} dan BC)	14
1.2.5 Hidrokarbon	15
1.3. Studi Inventarisasi	15
2. Metodologi	17
2.1 Pendekatan Metodologi Inventarisasi Emisi	17
2.2 Studi Area dan Data aktivitas	18
2.2.1 Industri Energi dan Manufaktur	18
2.2.2 Transportasi	18
2.2.3 Perumahan dan Komersial	19
2.2.4 Konstruksi	19
2.3 Faktor Emisi	19
2.4 Estimasi Beban Emisi Pencemaran Udara	19
2.4. Penentuan Penetapan Baku Mutu Industri	20
3. Hasil dan Pembahasan	20
3.1 Data Penggunaan Bahan Bakar	20
3.2 Beban Emisi Pencemar Udara	22
3.3 Persentase Kontribusi Indikator Pencemar Terhadap Sektor	23
3.3.1 Sulfur Dioksida (SO ₂)	23
3.3.2 Nitrogen Dioksida (NO ₂)	23
3.3.3. Karbon Monoksida (CO)	24
3.3.4 PM ₁₀	25
3.3.5 PM _{2.5}	26
3.3.6 Black Carbon (BC)	26
3.3.7 Non-Methane Volatile Organic Compound (NMVOCs)	27
3.4 Beban Emisi Pencemar Udara Per Sektor	27

3.4.1 Industri Manufaktur	27
3.4.2 Industri Energi	31
3.4.3 Sektor Transportasi	35
3.4.4 Sektor Perumahan.....	41
3.4.5 Sektor Komersial.....	42
3.5 Sektor Konstruksi.....	45
3.6 Benchmarking.....	46
3.7 Potensi <i>Long Range Transport</i> Partikulat	48
3.8 Hasil Pemantaun Emisi Industri	49
3.9 Rekomendasi Inventarisasi Emisi	57
3.9.1 Industri Manufaktur dan Industri Energi.....	57
3.9.2 Transportasi.....	59
3.10 Penentuan Baku Mutu	61
3.10.1 Emisi dari Bahan bakar jenis Batubara	62
3.10.2 Emisi dari Bahan bakar jenis Minyak.....	62
3.10.1 Hasil Studi Baku Mutu Skala Nasional dan Regional	62
4. Kesimpulan	66
Daftar Pustaka.....	69

1. Pendahuluan

Rentang Indeks Kualitas Udara (IKU) ambien di DKI Jakarta dari hasil pemantauan di 5 stasiun pemantauan kualitas udara pada tahun 2011 hingga 2017 berada pada tingkat waspada atau tercemar sedang (Mukhtar, et al., 2018) dengan rentang IKU sebesar 71 hingga 91. Rata-rata kualitas udara ambien di DKI Jakarta baik harian dan tahunan melebihi baku mutu PP 41/1999 dan *WHO Guidelines* di tahun 2018.

Penyebab kondisi diatas berasal dari peningkatan aktivitas manusia di DKI Jakarta yang berbanding lurus terhadap konsumsi energi dengan penyumbang konsumsi energi terbesar berasal dari sektor transportasi dan industri (Lestari,2020). Identifikasi sumber dan estimasi beban emisi merupakan hal yang penting dilakukan dalam rangka mitigasi sumber pencemar sehingga dibutuhkan inventarisasi emisi dengan pendekatan yang akurat sebagai dasar informasi untuk pihak terkait dalam penentuan kebijakan publik.

1.1 Inventarisasi Emisi

Inventarisasi emisi 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 penentuan sumber-sumber pencemar udara, apa yang keluar dari sumber pencemar udara tersebut dan jumlah/banyaknya. 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

Emisi dapat diestimasi dengan tingkat kompleksitas yang berbeda-beda. Dalam EMEP, AP-42, 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.

1.2 Indikator Pencemar

1.2.1 Karbon Monoksida

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 yang mengemisikan lebih dari 75% (Lestari, 2020; ADB 2002; Permadi 2020). 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).

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 pajanan mulai dari 15 menit hingga 24 jam.

Tidak ditemukan laporan mengenai dampak langsung CO terhadap ekosistem. Secara tidak langsung CO dapat mendorong percepatan produksi nitrogen dioksida (NO_2) 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.

1.2.2 Nitrogen Oksida (NO_x)

NO_x terdiri atas nitrogen oksida (*nitrogen oxide* – NO) dan nitrogen dioksida (*nitrogen dioxide* – NO_2). Mekanisme utama di dalam pembentukan NO_2 di atmosfer adalah oksidasi NO. NO_x merupakan pemicu (prekursor) terbentuknya ozon (O_3) 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. NO_2 adalah salah satu pencemar yang timbul akibat proses pembakaran. Umumnya spesies dari NO_x merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Tetapi, NO_2 menjadi pengecualian dimana keberadaannya di daerah perkotaan dapat dilihat sebagai lapisan kabut kecoklatan di langit.

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.

1.2.3 Sulfur Dioksida (SO₂)

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

Sulfur dioksida 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 Sulfur dioksida 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. Selain berbahaya untuk kesehatan. Sulfur Dioksida adalah prekursor pembentuk *secondary aerosol* karena dapat bereaksi dengan amonia dalam kelembaban tinggi. 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).

1.2.4 Partikulat (PM₁₀, PM_{2.5} dan BC)

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:

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

1.2.5 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, asbestos, 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.

1.3. Studi Inventarisasi

Studi Inventarisasi emisi telah dilakukan pada tahun sebelumnya dengan menggunakan data aktivitas tahun tertentu.

Tabel 1 Daftar Literatur Inventarisasi Emisi di DKI Jakarta

No	Kajian	Badan Penyelenggara	Data Tahun	Tahun Publish
1	Inventarisasi Emisi $\text{PM}_{2,5}$, CO, NO_x , SO_2 , BC dan GRK di Jakarta	Toyota Clean Air Pollution (TCAP)	2010 & 2015	2020

No	Kajian	Badan Penyelenggara	Data Tahun	Tahun Publish
2	Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca di Jakarta Tahun 2018	Dinas Lingkungan Hidup	2017	2018
3	Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca di Jakarta Tahun 2018	Dinas Lingkungan Hidup	2018	2019
4	Developing An Emission Inventory For DKI Jakarta	Breathe Easy, USEPA	2012	2017
5	Study on Air Quality	ADB	1998	2002

Adapun sektor yang dihitung beban emisinya adalah sebagai berikut:

Tabel 2 Sektor terlibat dalam Inventarisasi Emisi

Sektor	TCAP	GRK-DLH	Breath Easy	ADB	JEI**
1. Energi					
• Pembangkit Listrik	✓	✓	n/a	n/a	✓
• Industri	✓	✓	✓	✓	✓
• Transportasi	✓	✓*	✓*	✓	✓*
• Residensial	✓	✓	✓	✓	✓
• Komersial	n/a	✓	✓	n/a	✓
Lainnya					
• Pembakaran Sampah	n/a	n/a	✓	n/a	n/a
• Aktivitas Konstruksi	n/a	n/a	✓	n/a	✓
• Debu Jalan	n/a	n/a	✓	n/a	n/a
3. Sampah	n/a	✓	n/a	n/a	n/a
4. AFOLU	n/a	✓	n/a	n/a	n/a

*Termasuk perkapalan dan Penerbangan

**JEI singkatan dari *Jakarta Emission Inventory* yang merupakan kajian ini

Pendekatan estimasi untuk semua kajian adalah tier 1 berdasarkan jenis bahan bakar namun faktor emisi yang digunakan dari GAINS, EMEP, AP-42 dan Corinair.

1.4. Jakarta Emission Inventory (JEI)

Jakarta Emission Inventory (JEI) adalah studi inventarisasi emisi yang dilakukan di area Jakarta dan mencakup Sektor Industri, Transportasi, Domestik, Komersial dan Sektor konstruksi. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui kondisi awal inventarisasi emisi di Jakarta dengan data aktual yang lebih terbaharui yaitu tahun 2018. Penelitian serupa juga telah dilakukan sebelumnya seperti TCAP, BreathEasy dan ADB namun data aktual yang digunakan dibawah tahun 2018 seperti yang tertera pada tabel 1 diatas. Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah dan Dokumen Panduan Pengisian Inventarisasi Online dari Kementrian Lingkungan Hidup tahun 2016 menyebutkan bahwa inventarisasi emisi wajib dimutakhirkan 1 hingga 2 tahun sekali. Selain sebagai pemenuhan kewajiban, inventarisasi emisi ini juga dapat menjadi wawasan dasar dalam pengambilan kebijakan pengendalian pencemaran udara.

2. Metodologi

Studi ini mencakup inventarisi emisi beban pencemaran udara di DKI Jakarta, kajian literatur mengenai baku mutu emisi industri tingkat nasional dan regional serta analisa data pemantauan emisi di Industri terhadap bakumutu eksisting baik tingkat nasional dan regional.

Perhitungan beban emisi pencemar udara merujuk pada pedoman seperti Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemaran Udara di Perkotaan yang diterbitkan oleh kementrian Lingkungan Hidup (KLH) dan GIZ pada tahun 2013 dan Panduan Pengisian Inventarisasi *Online* yang diterbitkan oleh KLHK pada tahun 2016, *European Monitoring dan Evaluation Programme* (EMEP) *air pollutant emission inventory guidebook* yang diterbitkan pada tahun 2019 oleh *European Environment Agency* dan literatur-literatur yang merujuk pada GAINS dari IIASA dengan tahun penerbitan antara 2017 hingga 2019.

2.1 Pendekatan Metodologi Inventarisasi Emisi

Berdasarkan Pedoman penyusunan inventarisasi beban pencemar udara di perkotaan, terdapat 3 (tiga) pendekatan dalam pemilihan metodologi yang digunakan dalam menghitung beban emisi pencemar udara atau dikenal dengan TIER. Pembagian Tier berdasarkan pada kompleksitas data aktivitas dimana tier 1 memiliki data aktivitas dengan kompleksitas yang lebih rendah daripada Tier 3. Berdasarkan data yang diperoleh, perhitungan beban emisi pencemar udara pada kajian ini menggunakan pendekatan Tier 1 karena data aktivitas yang digunakan adalah jumlah konsumsi bahan bakar. Data aktivitas, faktor emisi dan data pendukung lainnya dirangkum dalam lampiran. Sebutkan tahun dasar yang digunakan di sini

2.2 Studi Area dan Data Aktivitas

Studi inventarisasi beban pencemar udara DKI Jakarta meliputi sektor seperti Industri Energi, Industri Manufaktur, Transportasi baik darat, laut dan udara serta sektor Komersial dan sektor Perumahan dengan perhitungan beban emisi berdasarkan penggunaan energi. Unit yang terlibat pada sektor Industri Energi adalah pembangkit listrik dan sektor transportasi mencakup transportasi darat, laut dan penerbangan.

Adapun beban pencemar udara yang dihitung adalah Sulfur Dioksida (SO_2), Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO), PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, Black Carbon (BC) dan *Non-Methane Volatile Organic Compounds* (NMVOCs). Selain itu, studi ini mencakup beban pencemar partikulat dari kegiatan non-pembakaran seperti aktivitas *batching plant* dan aktivitas pembangunan pada sektor konstruksi.

2.2.1 Industri Energi dan Manufaktur

Data aktivitas untuk sektor Industri Energi dan Industri Manufaktur meliputi penggunaan bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar. Hasil pengumpulan data diperoleh bahwa jenis bahan bakar adalah batubara, LPG, Natural Gas, IDO/HSD, MFO, Minyak Diesel dan kerosene. Jenis bahan bakar lalu diklasifikasikan kedalam 3 (tiga) jenis bahan bakar yaitu batubara, minyak termasuk IDO/HSD, MFO, Minyak Diesel dan kerosene serta gas yaitu LPG dan Natural Gas.

Konsumsi bahan bakar yang digunakan adalah data tahun 2018 dan Data pemantauan emisi industri diperoleh dari laporan kegiatan Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) tahun 2018-2019, Laporan pengawasan Dinas Lingkungan Hidup tahun 2017-2019 dan data Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK).

2.2.2 Transportasi

Transportasi dibagi dalam tiga kategori yaitu transportasi darat, laut dan penerbangan dengan transportasi darat hanya meliputi *road transport*. Data aktivitas untuk transportasi darat adalah total konsumsi bahan bakar serta jenis bahan bakar yang diperoleh dari BPH Migas. Jenis bahan bakar yaitu bensin dan solar/diesel. Jumlah kendaraan diperoleh dari Badan Statistik DKI Jakarta 2018 dengan kategori jenis kendaraan yaitu Sepeda Motor, Mobil Penumpang Berbahan bakar bensin (*Gasoline*) dan Solar/Diesel, Mobil Beban dan Bus berbahan bakar solar. Transportasi laut dan penerbangan menggunakan data konsumsi bahan bakar dengan jenis *Marine Fuel Oil* (MFO) serta Avatur dan Aviagas. Keseluruhan data aktivitas menggunakan data tahun 2018.

2.2.3 Perumahan dan Komersial

Perumahan dan Komersial pada kajian ini berdasarkan pada total bahan bakar skala provinsi dan jenis bahan bakar yang diperoleh dari BPH Migas, Studi literatur dan BPS DKI Jakarta di Tahun 2018 dengan jenis bahan bakar yang digunakan adalah LPG, Natural Gas dan Minyak diesel.

2.2.4 Konstruksi

Data konstruksi meliputi pembangunan tiga jenis bangunan yaitu perumahan daratan (*Land House*), Apartemen dan Bangunan Non-Perumahan seperti Gedung, Sarana Olahraga, Mall, Rumah Toko (Ruko), Rukan, Gedung pemerintahan dan sarana publik. Penggunaan data aktivitas untuk sektor ini adalah data luas area yang dibangun ditahun 2018 yang dikonversi dari data luas bangunan dengan syarat Ruang Terbuka Hijau (RTH) diperhitungkan sesuai peraturan daerah DKI Jakarta.

Aktivitas yang diestimasi dari sektor konstruksi adalah:

1. Pembersihan lahan dan Pembongkaran (*Land Clearing dan demolition*)
2. *Cut and fill, Earth Moving*
3. Pemindahan dan Pergerakan (*Equipment movements*)
4. Transportasi kendaraan (*Vehicular transport*)
5. Persiapan lahan (*Site preparation*)
6. *Mixing, drilling, milling, cutting, grinding, sanding, swelding, dsb*

2.3 Faktor Emisi

Faktor emisi yang digunakan disesuaikan dengan data aktivitas yang tersedia di lapangan sehingga dari data yang diperoleh faktor emisi yang digunakan berasal dari EMEP dan GAINS. Faktor emisi EMEP digunakan untuk indikator pencemar SO₂, NO_x dan NMVOCs untuk seluruh sektor. Indikator Partikulat (PM₁₀, PM_{2.5}, dan BC) untuk seluruh parameter pencemar menggunakan faktor emisi dari GAINS. Parameter CO menggunakan faktor emisi dari GAINS untuk transportasi dan EMEP untuk sektor lainnya.

2.4 Estimasi Beban Emisi Pencemaran Udara

Secara umum, estimasi Beban pencemaran udara menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_{i,j} = \sum_p FC_j \times EF_{i,j}$$

Dimana

FC = Konsumsi Bahan bakar jenis j

EF = Faktor emisi polutan i dari bahan bakar j

p = sektor

2.4. Penentuan Penetapan Baku Mutu Industri

Penetapan baku mutu dilakukan berdasarkan hasil inventarisasi emisi berdasarkan jenis bahan bakar dan dampak beban emisi yang dihasilkan. Hasil emisi dari bahan bakar akan dibandingkan dengan hasil pemantauan dan bakumutu eksisting baik daerah, nasional dan regional. Untuk bakumutu regional, dilakukan juga perbandingan pola penggunaan bahan bakar, kualitas bahan bakar dan jenis teknologi pengendalian (BACT) yang tersedia dan jenis industri yang beroperasi di negara tersebut. Beberapa negara yang digunakan sebagai rujukan antara lain Malaysia, Taiwan, India, Thailand, Korea Selatan, Jepang, European Union (EU) dan USA. Negara Malaysia dan Thailand dipilih karena pendugaan memiliki pola proporsi jenis penggunaan bahan bakar yang sama serta meningkatkan kompetisi ekonomi dari sisi lingkungan sedangkan Korea Selatan, Taiwan, Jepang dan USA digunakan sebagai referensi.

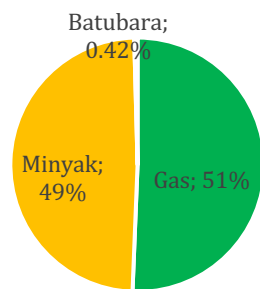
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil inventarisasi emisi meliputi profil penggunaan bahan bakar dan hasil estimasi beban emisi pencemar udara. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah Minyak, Gas dan Batubara. Penggunaan minyak termasuk termasuk IDO/HSD, Kerosene, Gasoline, Diesel, MFD dan Avtur. Gas termasuk Natural Gas, LPG dan BBG.

3.1 Data Penggunaan Bahan Bakar

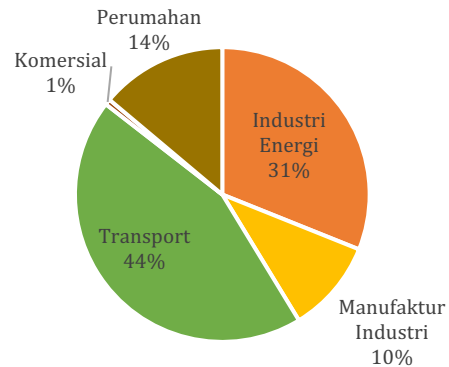
Total konsumsi bahan bakar di seluruh sektor di tahun 2018 adalah sebesar 440.904 TJ dengan jenis bahan bakar yang paling banyak digunakan adalah Gas yaitu sebesar 50,6% dengan komposisi penggunaan adalah Natural Gas, LPG dan BBG. Minyak termasuk IDO/HSD, Kerosene, Gasoline, Diesel, MFD dan Avtur digunakan sebesar 48,9%. Batu bara adalah bahan bakar dengan komposisi terkecil yang digunakan yaitu 0,42%. Berikut adalah profil penggunaan bahan bakar di DKI Jakarta berdasarkan jenis bahan bakar.

Persentase Penggunaan Bahan Bakar di Jakarta berdasarkan Jenis Bahan Bakar (%)



(a)

Persentase Penggunaan Bahan Bakar di Jakarta berdasarkan Sektor (%)



(b)

Gambar 1 Persentase Penggunaan bahan bakar di DKI Jakarta berdasarkan Jenisnya (a) dan Sektor (b)

Berdasarkan data penggunaan energi dari ke-5 sektor di DKI Jakarta diperoleh penggunaan energi terbesar berada di sektor transportasi dengan total energi yang digunakan sebesar 194.860 TJ atau 44% dari penggunaan energi total. Komposisi jenis bahan bakar terbesar yang digunakan adalah Minyak (*Gasoline*, Solar, MFD dan Avtur) yaitu sebesar 191.710 TJ atau 98,47% dari total penggunaan bahan bakar di sektor transportasi.

Pengguna energi terbesar kedua di DKI Jakarta adalah Industri Energi yaitu sebesar 136.972 TJ atau 31% dari total penggunaan energi total. Komposisi terbanyak yang digunakan di sektor Industri Energi adalah Natural Gas sebesar 133.103 TJ atau 97,17% dari total penggunaan bahan bakar di sektor tersebut. Hal ini sesuai dengan kondisi lapangan dimana pembangkit listrik di wilayah Jakarta telah menggunakan Natural Gas sebagai bahan bakar utama. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa 100% Sektor perumahan menggunakan bahan bakar gas yaitu LPG dan Natural Gas yaitu sebesar 61.175 TJ.

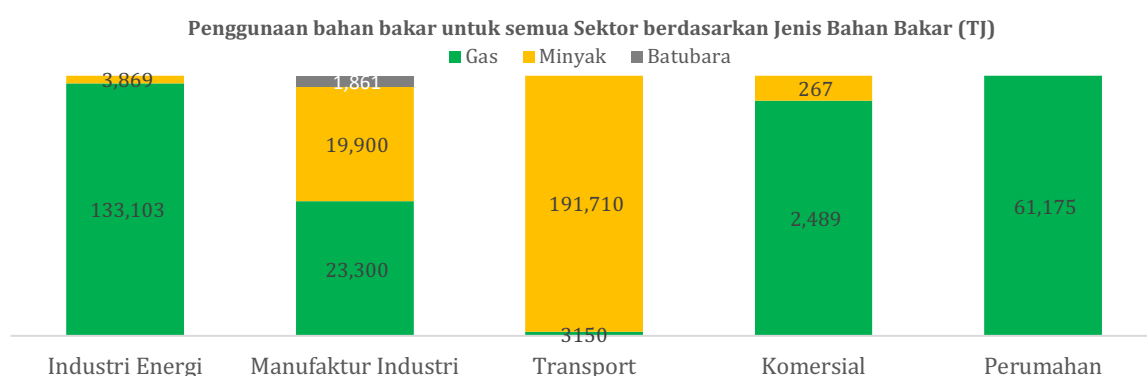
Tabel 3 Total penggunaan bahan bakar berdasarkan sektor

Jenis Bahan Bakar	Industri Energi	Manufaktur Industri	Transport	Komersial	Perumahan	Total
Gas	133.103	23.300	3.150	2.489	61.175	223.217
Minyak	3.869	19.900	191.710	267		215.745
Batubara		1.861				1.861
Total	136.972	45.060	194.860	2.756	61.175	440.823

Sektor Industri Manufaktur menggunakan energi sebesar 45.060 TJ atau sebesar 10% dari penggunaan total dengan komposisi terbesar yang digunakan adalah Natural Gas yaitu sebesar

23.300 TJ (51,7%), Minyak sebesar 19.900 TJ (44,16%) termasuk IDO/HSD, MFD dan Kerosene serta batubara yaitu 1.861 TJ (0,41%). Sektor Komersial adalah pengguna energi berbahan bakar fosil terkecil yaitu sebesar 2.756 TJ atau sebesar 1% dari total penggunaan energi. Hal ini dapat terjadi karena sumber energi yang digunakan oleh sektor komersial berasal dari listrik (*Indirect*). Data tahun 2017 diperoleh penggunaan listrik dari sektor komersial sebesar 47.102,15 TJ atau sebesar 96,1% dari penggunaan energi di sektor komersial (Laporan GRK DKI Jakarta, 2018).

Profil penggunaan energi berdasarkan jenis bahan bakar dan sektor tergambar dalam grafik dibawah ini. Grafik menunjukkan bahwa nilai beban emisi pencemar udara akan mengikuti jenis bahan bakar meskipun sektor tersebut memiliki jumlah konsumsi energi yang besar.



Gambar 2 Grafik Profil Penggunaan bahan bakar di DKI Jakarta berdasarkan Jenisnya di setiap sektor

3.2 Beban Emisi Pencemar Udara

Beban emisi pencemar udara meliputi Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Oksida (NO_x), Karbon Monoksida (CO), PM₁₀, PM_{2,5}, *Black Carbon* (BC) dan *Non-Methane Volatile Organic Compounds* (NMVOCs) dari 5 sektor. Hasil estimasi beban pencemar udara direkapitulasi pada tabel dibawah ini.

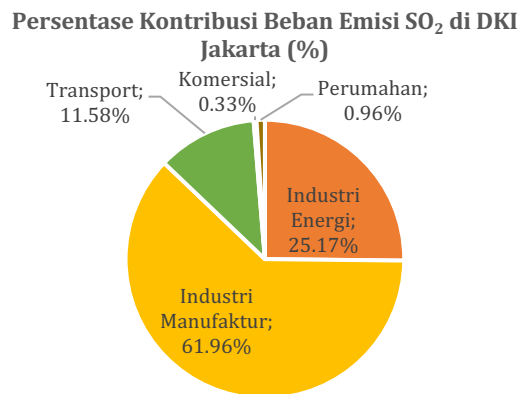
Tabel 4 Total Beban Emisi Pencemar Udara berdasarkan sektor

No	Sektor	Emisi (Ton)						
		SO ₂	NO _x	CO	PM ₁₀	PM _{2,5}	BC	NMVOCs
1.A.1	Indusri Energi/ <i>Energy Industry</i>	1.071	12.244	5.252	660	447	157	352
1.A.2	Manufaktur Industri/ <i>Manufactured Industry</i>	2.637	12.183	3.738	2.989	2.102	799	1.212
1.A.3	Transportasi/ <i>Transport</i>	493	76.793	287.317	5.113	5.257	5.048	198.936
1.A.4a	Komersial/ <i>Commercial</i>	14	321	90	7	3	1	64
1.A.4b	Perumahan/ <i>Residential</i>	41	4.527	1.774	48	33	1	1.407
Total		4.257	106.068	298.170	8.817	7.842	6.007	201.972

3.3 Persentase Kontribusi Indikator Pencemar Terhadap Sektor

3.3.1 Sulfur Dioksida (SO₂)

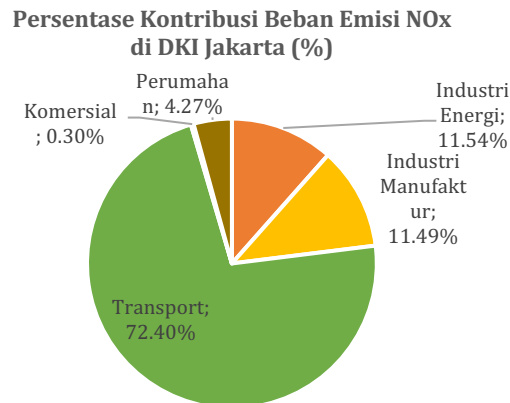
Total beban emisi Sulfur Dioksida (SO₂) dari ke lima sektor dalam studi ini sebesar 4.257 Ton/Tahun. Beban emisi SO₂ terbesar berasal dari industri manufaktur sebesar 61,96% atau sebesar 2.637 Ton/tahun dan sektor Industri energi berkontribusi sebesar 25,17% atau bernilai 1.071 ton/tahun. Sektor transportasi berkontribusi sebesar 11,58% atau 493 ton/tahun dan sebagai kontributor terbesar ketiga untuk emisi SO₂. Sektor Komersial dan Perumahan berkontribusi dibawah 1% atau beban emisi dibawah 42 ton/tahun dengan emisi terkecil dari sektor komersial sebesar 14 ton/tahun.



Gambar 3 Persentase Kontribusi Beban Emisi SO₂ di DKI Jakarta berdasarkan sektor Kajian mengenai Inventarisasi Emisi di tahun 2015 DKI Jakarta menunjukkan bahwa sektor Industri Manufaktur adalah sumber terbesar kontributor untuk pencemar SO₂ yaitu 67% (Lestari, 2020) dan 71% (ADB, 2002).

3.3.2 Nitrogen Dioksida (NO₂)

Total beban emisi NO_x di DKI Jakarta tahun 2018 sebesar 106.067,71 Ton/tahun. Dari grafik ilustrasi persentase kontribusi beban emisi NO_x dari kelima sektor diperoleh sektor transportasi merupakan kontributor terbesar yaitu 76.792,82 ton/tahun (72,4%). Hasil kajian inventarisasi emisi di DKI Jakarta sebelumnya diperoleh bahwa NO_x terbesar berasal dari Transportasi 71% (ADB, 2000) dan 57% (Lestari, 2020).



Gambar 4 Persentase Kontribusi Beban Emisi NO_x di DKI Jakarta berdasarkan sektor

Industri Energi dan Industri Manufaktur mengemisikan NO_x masing-masing sebesar 12.244,27 ton/tahun (11,54%) dan 12.182,50 ton/tahun (11,49%). Sektor Perumahan dan Sektor Komersial mengemisikan NO_x masing-masing sebesar 4.526,96 ton/tahun (4,27%) dan 321,15 ton/tahun (0,3%) sehingga sektor komersial adalah sektor dengan beban emisi NO_x terendah.

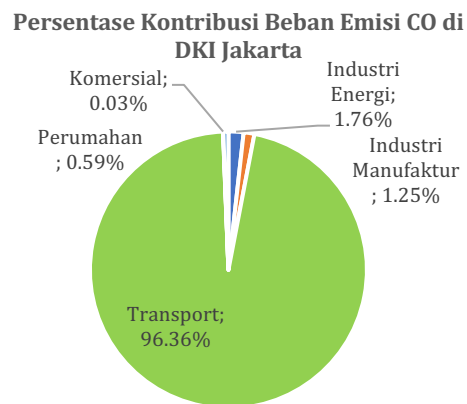
Gas NO_x dihasilkan dari reaksi antara nitrogen dan oksigen pada saat pembakaran dan pembentukannya signifikan pada suhu tinggi. Di tempat-tempat dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi, seperti di kota-kota besar, jumlah nitrogen oksida yang dilepaskan ke udara sebagai polusi udara dapat meningkat signifikan. *Department of Environment & Conservation New South Wales (NSW)* menyebutkan bahwa sektor transportasi berkontribusi 70% emisi NO_x ke atmosfer (Buanawati, 2017). Gas NO_x adalah prekursor pembentukan ozon dan *long-range* partikulat dengan membentuk partikel nitrat sebagai substantnya.

Gas Nitrogen Oksida (NO_x) memberikan dampak buruk terhadap kesehatan manusia seperti gangguan pernafasan hingga asma. Selain itu, NO_x adalah prekursor pembentukan ozon dalam reaksi fotokimia dengan VOCs dimana ozon juga memberikan dampak buruk terhadap kesehatan pernafasan manusia.

3.3.3. Karbon Monoksida (CO)

Total beban emisi karbon monoksida (CO) sebesar 298.170,41 Ton/tahun. Sektor transportasi adalah sektor terbesar kontribusi beban emisi CO yaitu sebesar 96,3% atau sebesar 287.317,07 ton/tahun. Sektor Industri Energi dan Industri Manufaktur menyumbang 1,76% dan 1,25% beban emisi CO atau masing-masing sebesar 5.251 ton/tahun 3.737,86 ton/tahun. Untuk dua sektor lainnya yaitu Perumahan dan Komersial beban emisi CO berada dibawah 1%. Karbon

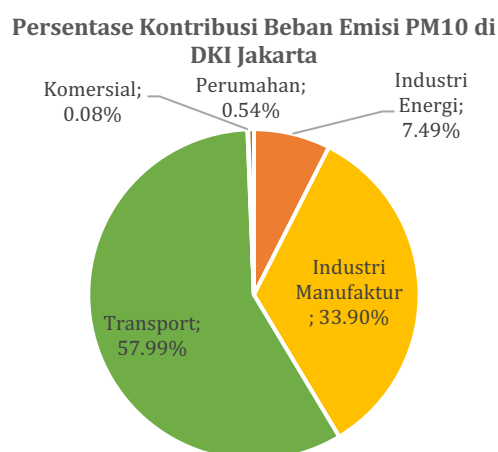
Monoksida berasal dari proses pembakaran tidak sempurna senyawa karbon. Jenis bahan bakar dan jumlah bahan bakar dapat menjadi penyebab tingginya CO pada sebuah sektor.



Gambar 5 Persentase Kontribusi Beban Emisi CO di DKI Jakarta berdasarkan sektor

3.3.4 PM₁₀

Total Partikulat dengan ukuran 10 mikrometer di DKI Jakarta sebesar 8.817 ton/tahun dengan kontribusi terbesar berasal dari sektor transportasi yaitu 57,99% atau 5.113,24 ton/tahun. Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa transportasi berkontribusi sebesar 71% untuk parameter PM₁₀ (ADB,2000). Beban emisi dari sektor industri manufaktur dan sektor industri sebesar masing-masing 33,9% dan 7,49% atau senilai 2.988,91 ton/tahun dan 660,08 ton/tahun. Perumahan dan Komersial adalah sektor dengan kontribusi kecil yaitu sebesar 0,54% dan 0,08%.

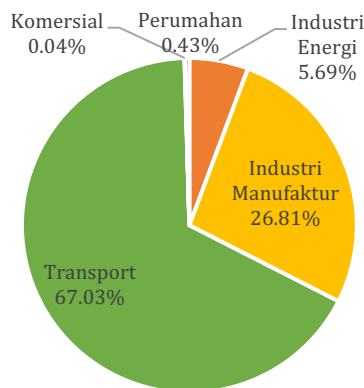


Gambar 6 Persentase Kontribusi Beban Emisi PM₁₀ di DKI Jakarta berdasarkan sektor

3.3.5 PM_{2.5}

Total beban emisi PM_{2.5} adalah 7.842,15 ton/tahun dengan pola kontribusi yang mirip dengan pola PM₁₀ dimana sektor transportasi, industri manufaktur dan energi industri adalah sektor dengan kontribusi signifikan. Transportasi berkontribusi sebesar 5.256,55 ton/tahun atau sebesar 67%. Dalam kajian sebelumnya diperoleh bahwa kontribusi PM_{2.5} di DKI Jakarta untuk transportasi darat sebesar 46% (Lestari, 2020; BreathEasy, 2017).

Kontribusi beban PM_{2.5} di DKI Jakarta



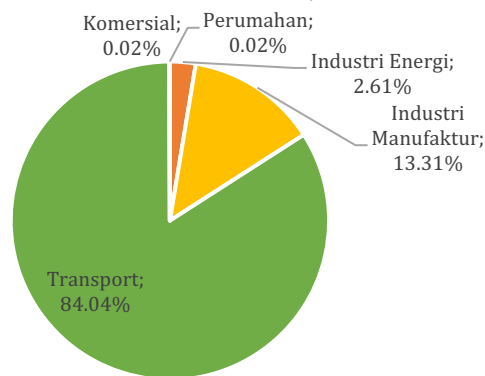
Gambar 7 Persentase Kontribusi Beban Emisi PM_{2.5} di DKI Jakarta berdasarkan sektor

Industri Manufaktur memberi kontribusi sebesar masing-masing 26,81% dan 5,69% atau sebesar 2.102,12 ton/tahun dan 446,58 ton/tahun. Hal ini dapat terjadi karena jenis bahan bakar utama yang digunakan berbeda diantara dua sektor tersebut sehingga menghasilkan emisi PM_{2.5} yang berbeda meskipun bahan bakar yang digunakan di Energi Industri lebih besar dari sektor Manufaktur. Perumahan dan Komersial berkontribusi masing-masing dibawah 1%.

3.3.6 Black Carbon (BC)

Total *black carbon* (BC) di DKI Jakarta untuk semua sektor sebesar 6.006,85 ton/tahun. Rasio BC terhadap PM₁₀ dan PM_{2.5} sebesar masing-masing 0,68 dan 0,77 dimana BC lebih kecil dari kedua jenis partikulat tersebut. Sebanyak 84,04% BC berasal dari sektor transportasi atau sebesar 5.047,97 ton/tahun. Dalam studi inventarisasi sebelumnya diperoleh bahwa transportasi darat adalah sumber yang signifikan dengan persentase kontribusi sebesar 75% (Lestari. 2020).

Persentase Kontribusi BC di DKI Jakarta



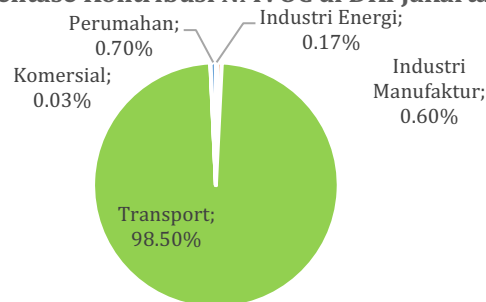
Gambar 8 Persentase Kontribusi Beban Emisi BC di DKI Jakarta berdasarkan sektor

Sektor Industri manufaktur sebesar 13,31% dimana sektor ini menggunakan bahan bakar gas, minyak dan batubara sedangkan sektor energi industri hanya menggunakan bahan bakar gas dan minyak sehingga kontribusinya sebesar 2,61%. Perumahan dan komersial berkontribusi dibawah 1% dengan emisi sebesar 1,34 dan 1,24 ton/tahun.

3.3.7 Non-Methane Volatile Organic Compound (NMVOCs)

Total emisi NMVOCs untuk daerah DKI Jakarta sebesar 201.971 ton/tahun dengan sumber utama dari sektor transportasi yaitu 198.936,18 ton/tahun atau 98%. Sektor Industri Manufaktur, Industri Energi, Perumahan dan Komersial berkontribusi dibawah 1%.

Persentase Kontribusi NMVOC di DKI Jakarta



Gambar 9 Persentase Kontribusi Beban Emisi PNMVOCs di DKI Jakarta berdasarkan sektor

3.4 Beban Emisi Pencemar Udara Per Sektor

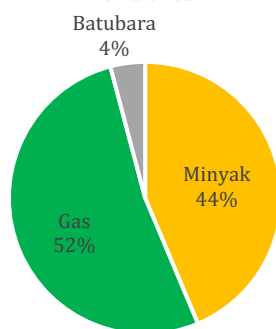
3.4.1 Industri Manufaktur

A. SO₂

Industri Manufaktur merupakan sektor penyumbang terbesar emisi SO₂ dan sumber utama gas SO₂ dari sektor Industri Manufaktur berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang

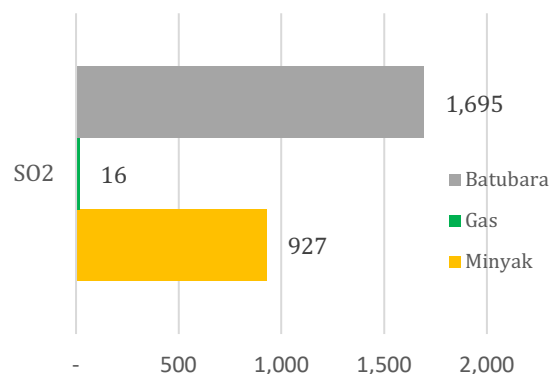
mengandung sulfur. Sulfur terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti alumunium, tembaga, seng, timbal dan besi. Jenis bahan bakar yang digunakan di sektor Industri Manufaktur yang paling besar adalah Natural Gas, Minyak sedangkan yang terkecil adalah Batubara dengan proporsi penggunaan masing-masing 52% (23.300 TJ), 44% (19.900 TJ) dan 4% (1. 861 TJ). Jika dibandingkan dengan beban emisi SO₂ berdasarkan jenis bahan bakarnya maka diperoleh emisi SO₂ terbesar berasal dari batubara dengan beban emisi sebesar 1.695 ton/tahun (64,27%), Minyak sebesar 927 ton/tahun (35,13%) dan gas 16 ton/tahun (0,6%).

Persentase penggunaan bahan bakar berdasarkan jenis bahan bakar di Industri Manufaktur



(a)

Beban Emisi SO₂ berdasarkan Jenis bahan bakar di Industri Manufaktur (ton/tahun)



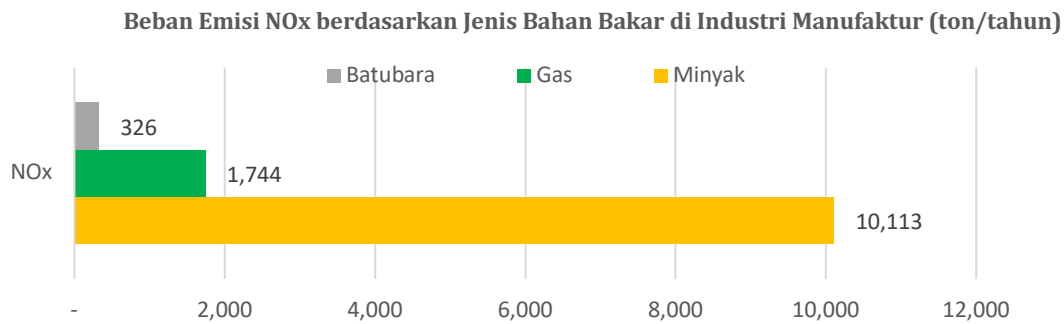
(b)

Gambar 10 Persentase Penggunaan bahan bakar di DKI Jakarta berdasarkan jenis (a) dan beban emisi SO₂ (b) di Sektor Manufaktur

Berdasarkan data diatas. Jenis bahan bakar berpengaruh secara signifikan terhadap nilai beban emisi SO₂ terutama jenis bahan bakar yang mengandung nilai sulfur tinggi seperti batubara dan minyak. Hal ini terbukti dari penggunaan batubara sangat kecil yaitu 4%. namun menghasilkan beban emisi SO₂ tertinggi yaitu 64%.

B. NO_x

Industri manufaktur mengemisikan NO_x dari kegiatan pembakaran bahan bakar fosil dengan temperatur tinggi diatas 1.300°C dan reaksi kimia pada bahan bakar yang terjadi pada temperatur 800°C. Studi inventarisasi beban emisi NO_x ini akan membahas pada jenis bahan bakar saja karena ketersediaan data aktivitas sehingga diperoleh profil emisi dengan jenis bahan bakar sebagai berikut.

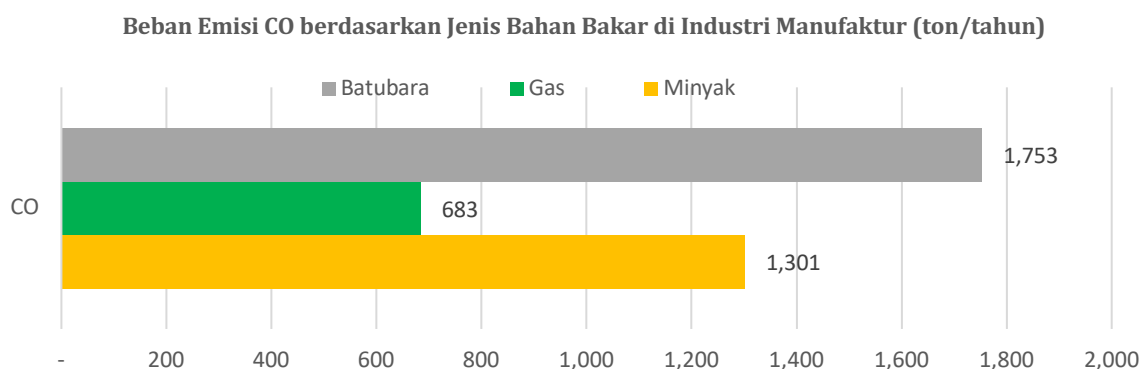


Gambar 11 Profil beban emisi NOx berdasarkan jenis bahan bakar di sektor industri manufaktur

Sektor Industri Manufaktur NOx Berkontribusi sebesar 11,49% dan Berdasarkan grafik diatas diperoleh bahwa penyebab emisi NOx paling besar adalah bahan bakar minyak yaitu sebesar 10.133 ton/tahun (83,01%) meskipun proporsi penggunaan minyak di industri manufaktur lebih kecil dari penggunaan gas. Penggunaan minyak di Industri manufaktur sebesar 19.713 TJ (44%) dan gas sebesar 23.300 TJ (52%) namun beban emisi NOx dari bahan bakar gas berkontribusi sebesar 14,3%. Bahan bakar batubara menghasilkan beban emisi NOx sebesar 326 ton/tahun atau 2,6%. Dari hasil inventarisasi ini diperoleh bahwa emisi terbesar dihasilkan dari bahan bakar jenis minyak (HSD/IDO. MFD dan Kerosene) meskipun total penggunaan energinya tidak besar.

C. CO

Di Industri manufaktur, Batubara memberikan dampak yang signifikan terhadap emisi Karbon Monoksida dimana penggunaan bahan bakar yang kecil yaitu sebesar 4% namun menghasilkan beban emisi CO sebesar 46,90% atau sebesar 1.753 ton/tahun. Bahan bakar minyak mengemisikan sebesar 1.301 ton/tahun atau sebesar 34,8% dengan penggunaan bahan bakar minyak sebesar 44%. Bahan bakar dengan emisi terendah adalah Gas yang menghasilkan 18% beban emisi CO meskipun bahan bakar yang digunakan besar yaitu 52%.



Gambar 12 Profil beban emisi CO berdasarkan jenis bahan bakar di sektor industri manufaktur

Dari grafik diatas diketahui bahwa beban emisi CO dari industri Manufaktur paling banyak dihasilkan dari bahan bakar batubara dan Minyak.

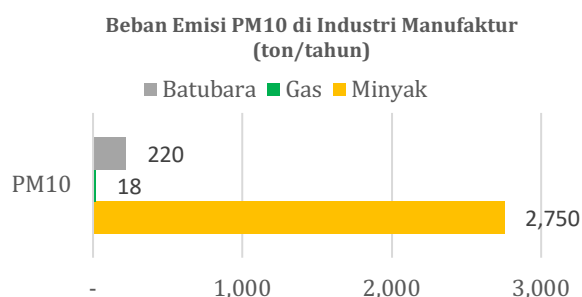
D. PM₁₀, PM_{2.5} dan *Black Carbon*

Penyebab utama dari emisi partikulat dari proses pembakaran adalah jenis bahan bakar dan teknologi yang digunakan. Jenis bahan bakar yang memiliki konten *ash* seperti batubara, minyak dan *coke* akan berpotensi mengemisikan partikulat secara signifikan (Guevara. 2016). Selain itu partikulat PM_{2.5} terbentuk dari reaksi netralisasi asam sulfat dan asam nitrat yang kemudian disebut sebagai *secondary aerosol* dengan pemicunya adalah amonia, sulfur dioksida dan nitrogen dioksida (Wang, 2012).

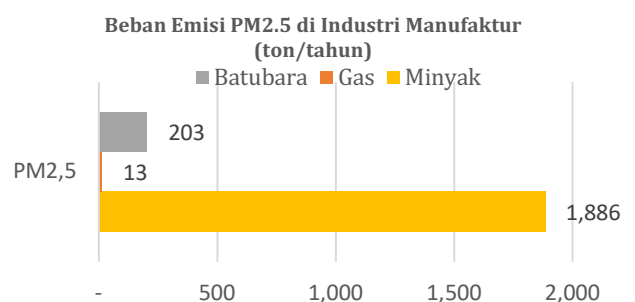
PM₁₀ paling banyak dihasilkan dari jenis bahan bakar minyak sebesar 2.750 ton/tahun atau sebesar (92%) sedangkan untuk jenis bahan bakar gas dan batubara masing-masing sebesar 10 ton/tahun (0,6%) dan 220 ton/tahun (7%).

Pola penggunaan jenis bahan bakar tersebut juga berlaku untuk indikator pencemar PM_{2.5} dan *Black Carbon*. Beban emisi terbesar PM_{2.5} berasal dari bahan bakar minyak sebesar 1.886 ton/tahun atau sebesar 89,7% sedangkan gas dan batu bara berkontribusi masing-masing sebanyak 13 ton/tahun (0,6%) dan 203 ton/tahun (10%). Beban emisi PM_{2.5} hasil perhitungan adalah beban emisi primer yaitu yang berasal dari pembakaran di area studi sedangkan PM_{2.5} dalam *secondary aerosol* tidak dapat dihitung dalam inventarisasi emisi ini.

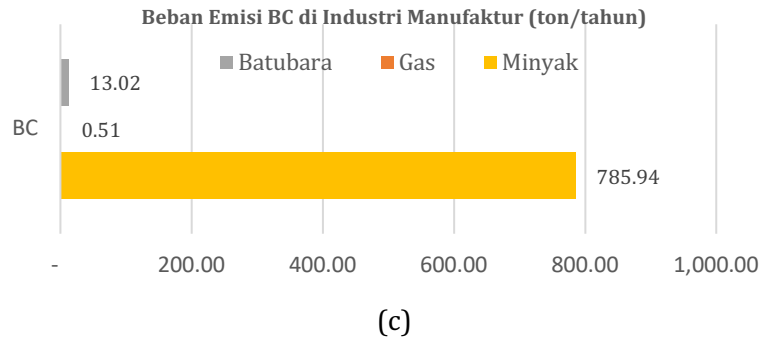
Emisi *Black Carbon* sebesar 785,94 ton/tahun atau 98% dari total emisi black carbon di sektor industri manufaktur. Sedangkan bahan bakar gas dan batubara mengemisi masing-masing 1% dan 2% dari emisi total balck carbon di sektor ini.



(a)



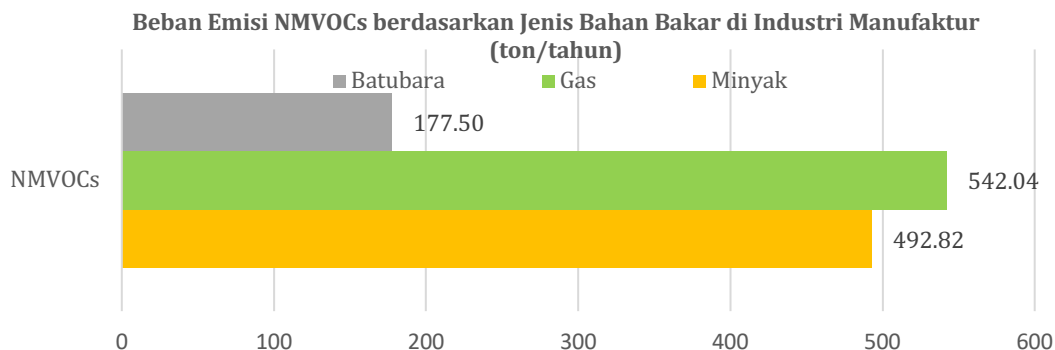
(b)



Gambar 13 Profil beban emisi PM berdasarkan jenis bahan bakar di sektor industri manufaktur

E. NMVOCs

Non-Methane Volatile Compounds (NMVOCs) terdiri dari benzena, etanol, formaldehid, *cyclehexane*, *acetone* dan *non-methane* hidrokarbon lainnya. Sektor industri bukan sumber utama dari emisi NMVOCs namun transportasi, penguapan dan penggunaan pelarut pada industri seperti pada industri cat (NAEI, 1999). Di Sektor Industri Manufaktur, diketahui bahwa sumber terbesar dari emisi NMVOCs adalah penggunaan bahan bakar gas dan minyak seperti yang tergambar dalam grafik dibawah:



Gambar 14 Profil beban emisi NMVOCs sesuai jenis bahan bakar di sektor industri manufaktur

3.4.2 Industri Energi

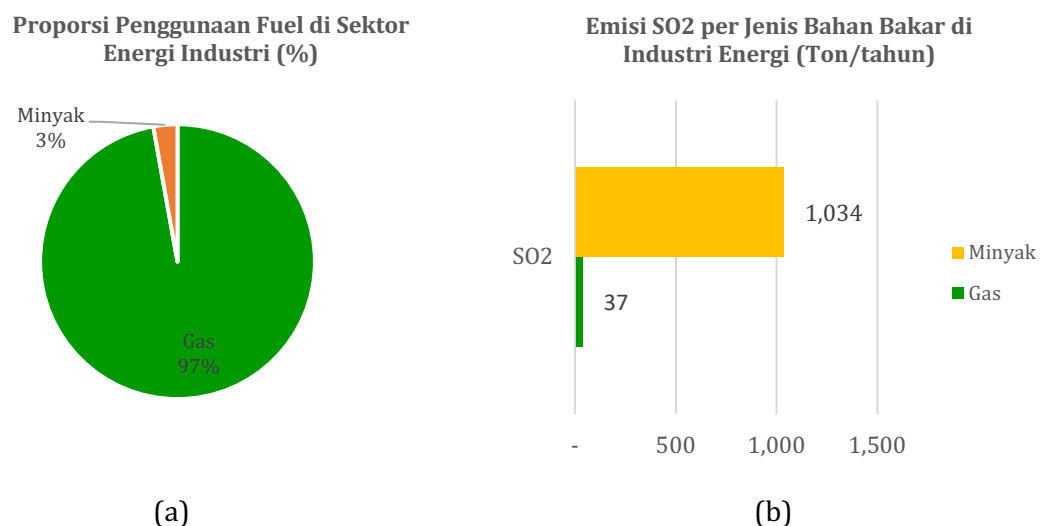
A. SO₂

Terdapat 2 jenis bahan bakar yang digunakan di sektor Industri Energi yaitu natural gas sebagai komposisi terbesar bernilai 133.103 TJ (97%) dan minyak (termasuk HSD/IDO, MFD) sebesar 3.869 TJ (3%). Perbedaan yang signifikan antara sektor Industri Energi dan Manufaktur adalah penggunaan bahan bakar yang rendah sulfur (Batubara dan Minyak) di Industri Energi sehingga beban emisi SO₂ relatif rendah meskipun total konsumsi energi di sektor Industri Energi (136.972

TJ) lebih besar dibandingkan dengan sektor industri manufaktur (45.060 TJ) yang menggunakan batubara sebagai salah satu sumber energinya.

Berdasarkan **Gambar 15** dibawah, meskipun total konsumsi natural gas di sektor Energi Industri mencapai 97% dari total konsumsi bahan bakar, beban emisi SO₂ yang dihasilkan hanya 3,5 % (37 ton/tahun). Hal ini berbanding terbalik dengan emisi SO₂ dari minyak yang menyebabkan 96,5% (1.034 ton/tahun) walaupun total penggunaanya hanya 3%.

Sesuai **Gambar 15.b**, rasio beban emisi SO₂ dari bahan bakar minyak terhadap bakar bakar gas sebesar 27,95 dimana beban emisi SO₂ dari bahan bakar minyak lebih besar 27,95 kali dari bahan bakar gas meskipun rasio penggunaan bahan bakar minyak hanya sebesar 0.03 kali dari penggunaan bahan bakar gas. Hal tersebut menjadi dasar bahwa jenis bahan bakar mempengaruhi secara signifikan beban emisi SO₂ di sektor Industri Energi dimana bahan bakar gas mengemisikan emisi SO₂ jauh lebih kecil dari bahan bakar minyak.



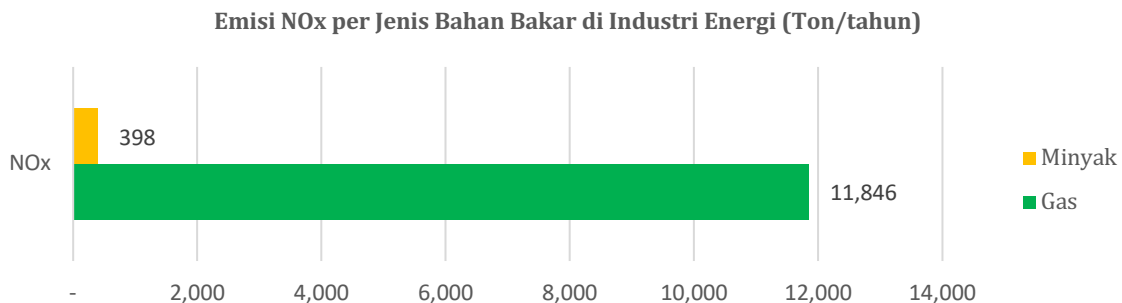
Gambar 15 Persentase Penggunaan bahan bakar di DKI Jakarta berdasarkan jenis (a) dan beban emisi SO₂ (b) di Sektor Industri Energi

B. NO_x

Komposisi utama jenis bahan bakar yang digunakan di sektor Energi industri di DKI Jakarta adalah natural gas yaitu 97% dan minyak sebesar 3% sehingga beban emisi terbesar berasal dari penggunaan bahan bakar gas yaitu 11.846 ton/tahun atau 97%. Bahan bakar minyak mengemisikan sebesar 398 ton/tahun atau 3% dari total emisi NO_x di sektor energi industri.

Rasio emisi NO_x bahan bakar gas terhadap bahan bakar minyak sebesar 29,91 atau emisi NO_x dari bahan bakar gas lebih besar 29,91 kali bahan bakar minyak. Emisi NO_x dari bahan bakar gas

sebanding dengan total penggunaan bahan bakar gas dimana rasio konsumsi gas terhadap minyak sebesar 34,4. Hal ini juga terlihat dari rasio konsumsi bahan bakar gas di industri energi dan industri manufaktur sebesar 5,71 dengan rasio emisi NOx dari bahan bakar gas di industri energi dan industri manufaktur sebesar 6.79.

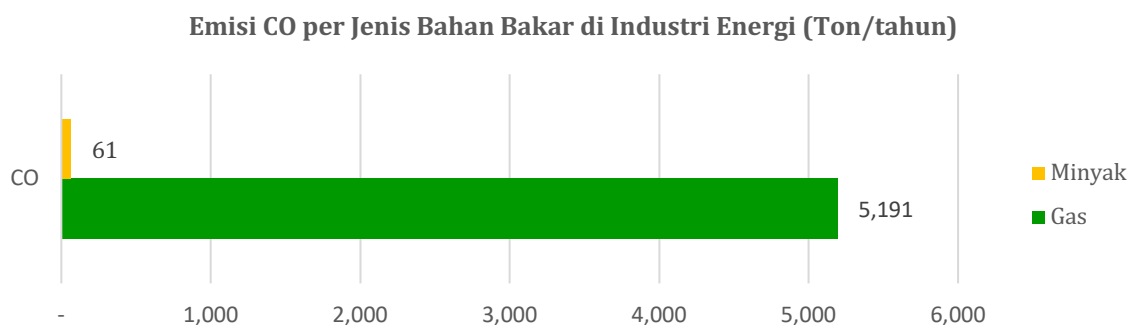


Gambar 16 Profil beban emisi NOx sesuai jenis bahan bakar di sektor industri energi

Meskipun emisi NOx tertinggi di sektor Energi Industri berasal dari bahan bakar gas, sektor ini masih menghasilkan beban emisi NOx dari bahan bakar gas yang rendah. Hal ini terjadi jika dilakukan perbandingan dengan sektor Industri Manufaktur dimana emisi NOx terbesar berasal dari bahan bakar minyak. Rasio konsumsi bahan bakar gas sektor industri dengan bahan bakar minyak di sektor manufaktur sebesar 6,68 dimana bahan bakar gas lebih banyak digunakan dan menghasilkan rasio emisi NOx diantara keduanya sebesar 1,16. Hal ini dapat disimpulkan bahwa bahan bakar minyak menghasilkan 5,75 kali lipat emisi NOx daripada bahan bakar gas.

C. CO

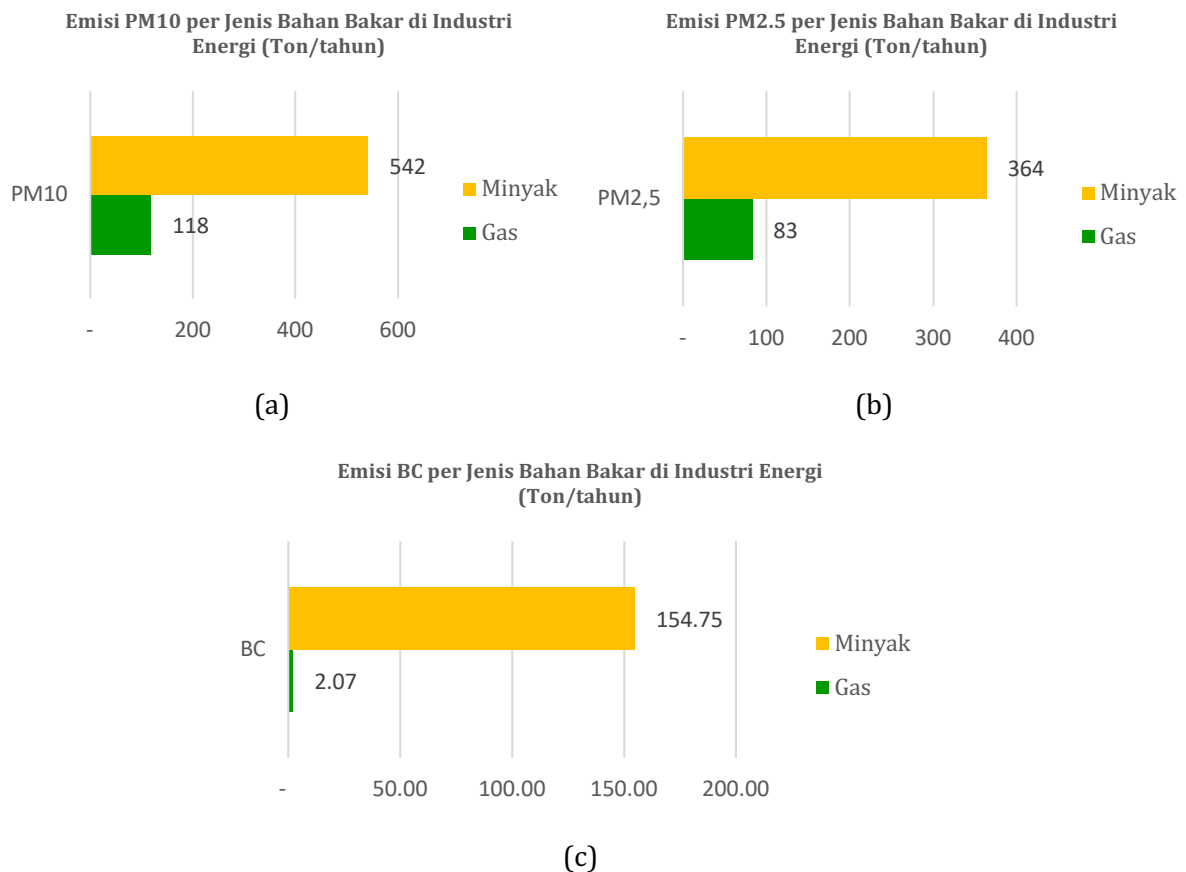
Berdasarkan jenis bahan bakar maka diperoleh bahwa beban emisi CO dari sektor Industri Energi berasal dari pembakaran bahan bakar gas sebesar 5.191 ton/tahun. Pola ini dapat terjadi karena jumlah penggunaan bahan bakar gas lebih banyak di sektor ini sebesar 97%. Meskipun demikian rasio emisi CO di sektor energi hanya 1.4 kali dari sektor manufaktur dengan total penggunaan bahan bakar di sektor energi 3 (tiga) kali lipat lebih banyak dari sektor industri manufaktur.



Gambar 17 Profil beban emisi CO sesuai jenis bahan bakar di sektor industri energi

D. PM₁₀, PM_{2.5} dan Black Carbon

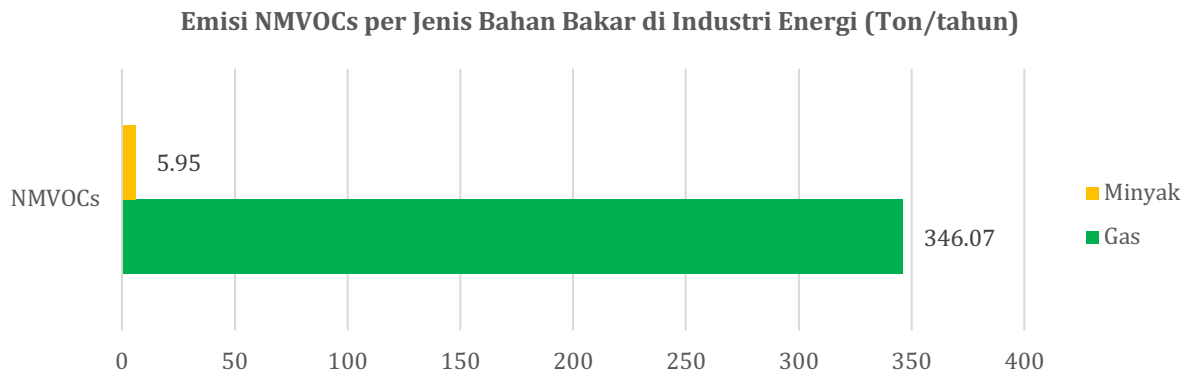
Partikulat diemisikan dari pembakaran bahan bakar mengandung *ash* seperti minyak, batubara dan *coke*. Dari perhitungan diketahui bahwa emisi ketiga jenis partikulat tersebut dari sektor Industri Energi berasal dari pembakaran minyak. Sektor Industri energi menggunakan bahan bakar minyak hanya 3% sehingga beban emisi partikulat relatif lebih rendah dari sektor manufaktur yang penggunaan bahan bakar minyak sebesar 44% . Rasio emisi PM₁₀, PM_{2.5} dan BC di sektor energi terhadap manufaktur sebesar 0,21, 0,19 dan 0,29 meskipun total energi yang digunakan di sektori ini 3 (tiga) kali lebih besar dari sektor manufaktur.



Gambar 18 Profil beban emisi PM sesuai jenis bahan bakar di sektor industri energi

E. NMVOCs

NMVOCs paling besar diemisikan oleh bahan bakar gas di sektor ini sebesar 346,07 ton/tahun atau sebesar 98%. Namun, secara keseluruhan total emisi yang dihasilkan dari sektor ini lebih kecil dari sektor manufaktur yang disebabkan oleh proporsi jenis bahan bakar yang digunakan hampir seragam yaitu gas.



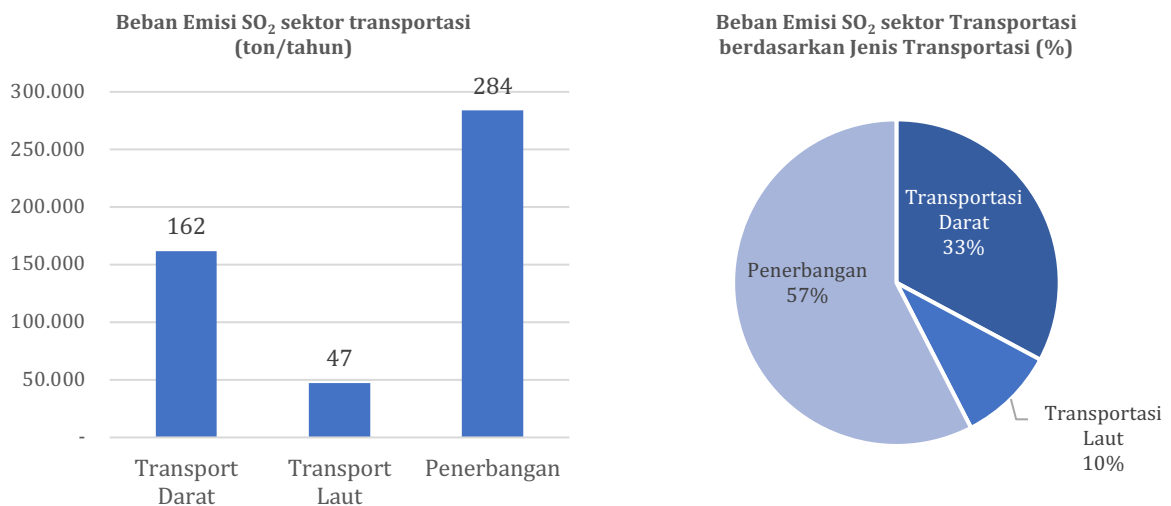
Gambar 19 Profil beban emisi NMVOCs sesuai jenis bahan bakar di sektor industri energi

3.4.3 Sektor Transportasi

Dari data yang diperoleh yaitu data konsumsi bahan bakar, informasi mengenai jenis kendaraan dan lokasi kendaraan tidak dapat diketahui sehingga informasi jenis kendaraan diperoleh dari BPS Transportasi.

A. SO₂

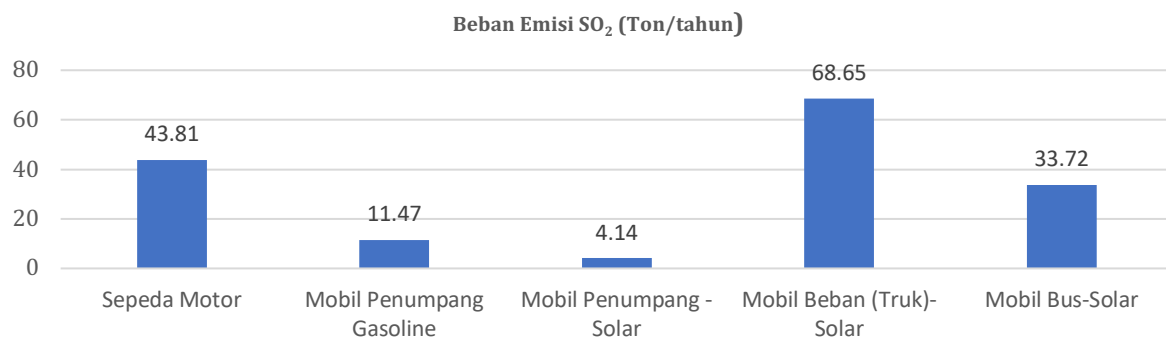
Sektor transportasi menghasilkan emisi SO₂ sebesar 11,58% dari total emisi SO₂ di DKI Jakarta atau sebesar 493 ton/tahun. Sektor transportasi terbagi menjadi tiga moda yaitu transportasi darat, laut dan penerbangan. Dari ketiga Sektor transportasi tersebut, sumber terbesar penyumbang emisi gas SO₂ adalah penerbangan sebesar 57% atau 238 ton/tahun.



Gambar 20 Gambaran beban emisi SO₂ berdasarkan jenis transportasi

Untuk transportasi darat, sumber emisi yang dihitung berasal dari 5 jenis kendaraan yaitu sepeda motor, mobil penumpang berbahan bakar bensin (*gasoline*), mobil penumpang berbahan bakar solar, truk dan bus. Dari kelima jenis kendaraan tersebut diperoleh beban emisi SO₂ tertinggi berasal dari Mobil Beban (Truk) sebesar 68,68 ton/tahun (42,4%) sepeda motor sebesar 43,81

ton/tahun (27,07%) dan mobil Bus sebesar 33,72 ton/tahun (20,8%). Sedangkan beban emisi SO₂ dari mobil penumpang berbahan bakar bensin dan solar masing-masing 11,47 ton/tahun (7,08%) dan 4,14 ton/tahun (2,55%). Hal ini selaras dengan penelitian sebelumnya di tahun 2015 bahwa sumber terbesar emisi SO₂ dari sektor transportasi berasal dari truk berbahan bakar diesel/solar (Lestari, 2020). Berikut adalah gambaran mengenai beban emisi SO₂ dari kelima jenis kendaraan tersebut.



Gambar 21 Grafik persebaran beban emisi SO₂ berdasarkan jenis kendaraan

Tingginya nilai beban emisi SO₂ dari jenis kendaran Mobil Beban (Truk) – Solar dan Mobil Bus-Solar dapat disebabkan oleh kualitas bahan bakar yang tersedia di lapangan. Berdasarkan data Pertamina, kadar sulfur untuk jenis bahan bakar Solar khusus sektor transportasi sebesar 2500 ppm.

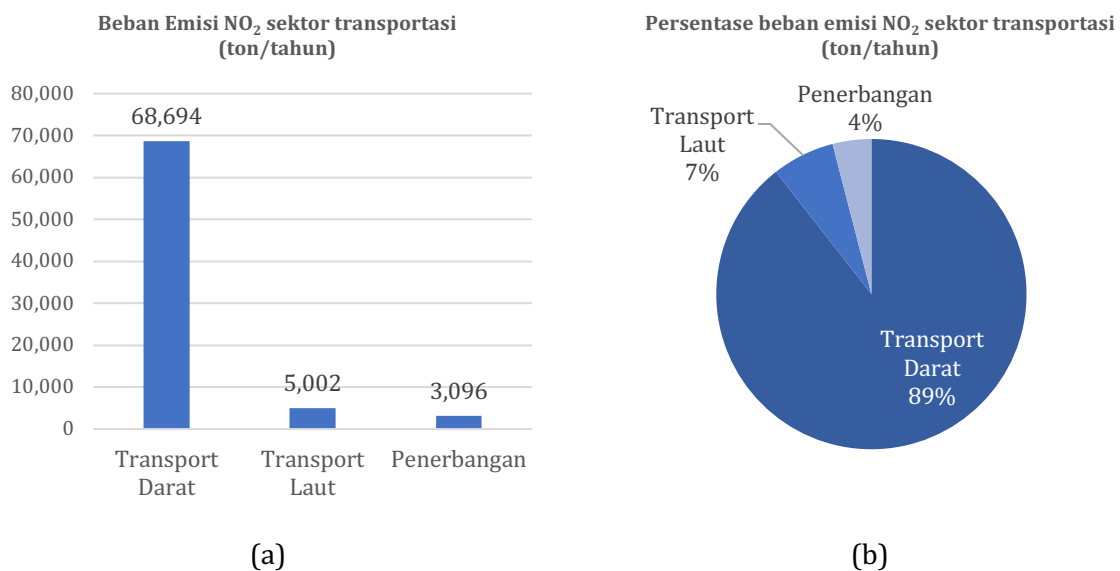
Jumlah sepeda motor cukup besar di DKI Jakarta yaitu sebesar 79% dari total kendaraan di Jakarta sehingga dapat mengakibatkan tingginya beban emisi SO₂. Mobil Penumpang berbahan bakar *gasoline* dan solar cenderung kecil karena kualitas bahan bakar yang tersedia cukup baik yaitu octane diatas 90 untuk gasoline yaitu Pertamax dan Pertalite sedangkan untuk bahan bakar solar kandungan sulfur dibawah 300 untuk Pertamina Dex (EURO 3) hingga 1200 ppm untuk Dexlite.

B. NO_x

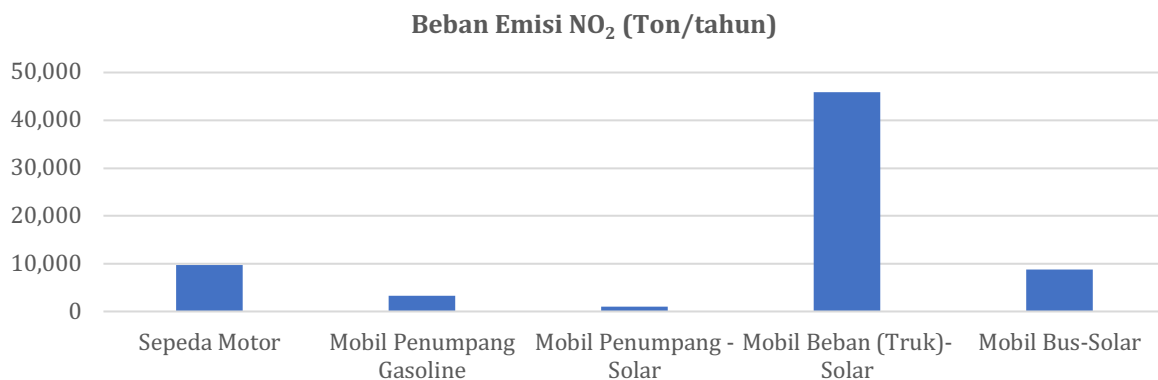
Sektor transportasi adalah sektor paling besar berkontribusi pada beban emisi NO_x di DKI Jakarta yaitu 72,4%. Dari ketiga moda transportasi yaitu moda darat, laut dan penerbangan diperoleh penyumbang terbesar yaitu moda transportasi darat sebesar 89% dengan total emisi 68.694 ton/tahun.

Mobil beban/Truk adalah kontributor terbesar beban emisi NO_x yaitu sebesar 66,7% atau sebesar 45.819,67 ton/tahun. Berdasarkan kajian sebelumnya, diperoleh bahwa 47,48% beban emisi NO_x berasal dari *heavy duty vehicles – Diesel* (Lestari, 2020). Penyebab tingginya beban

emisi NO_x dari jenis kendaraan ini tidak diketahui secara pasti karena keterbatasan data pada kajian ini hanya pada jenis bahan bakar yang digunakan saja. Namun jumlah konsumsi diesel, kualitas bahan bakar dan teknologi kendaraan berkontribusi dalam kejadian tingginya beban emisi NO_x. Berdasarkan data dari GAIKINDO (Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia) bahwa teknologi mesin di Indonesia masih menggunakan EURO II (Gaikindo,2015) sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 141/2003 tentang Ambang batas emisi Gas Buang Kendaraan bermotor Tipe Baru sejak 2007. Teknologi Euro IV baru diterapkan pada tahun 2017 untuk kendaraan beban beroda empat atau lebih sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. P.20/2017. Namun kualitas bahan bakar yang tersedia untuk tipe kendaraan ini memiliki kadar sulfur sebesar 2500 ppm atau dibawah kualitas untuk teknologi EURO IV.



Gambar 22 Gambaran beban emisi NO_x berdasarkan jenis transportasi

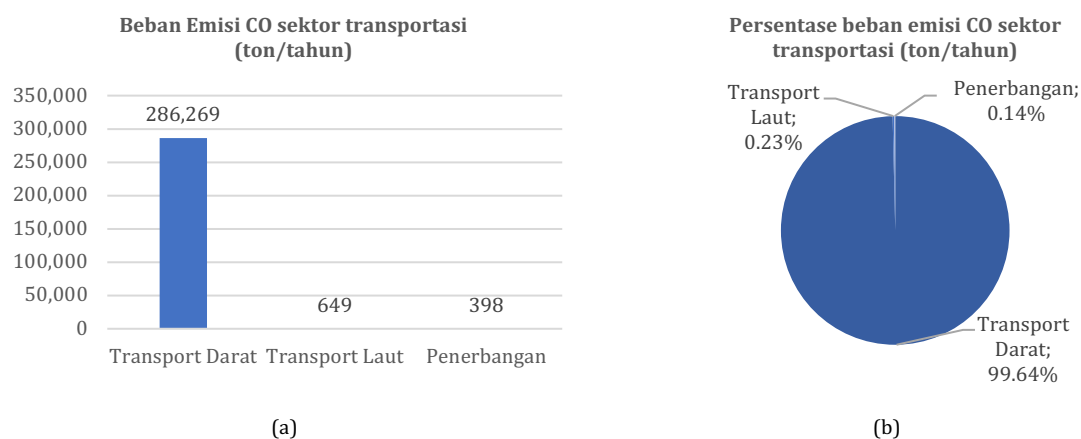


Gambar 23 Grafik persebaran beban emisi NO_x berdasarkan jenis kendaraan

Jenis kendaraan lain seperti Sepeda motor dan Mobil Bus-Solar berkontribusi sebesar 14,11% dan 12,76%. Sepeda motor memiliki jumlah yang besar di DKI Jakarta yaitu sekitar 79,25% (BPS, 2020) sehingga dengan kualitas bahan bakar yang lebih baik tetap memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap beban emisi NO₂. Sedangkan untuk Mobil Bus-Solar, kontribusinya dapat disebabkan oleh kualitas bahan bakar dimana solar yang tersedia di lapangan masih dibawah EURO IV (sulfur sebesar 2500 ppm).

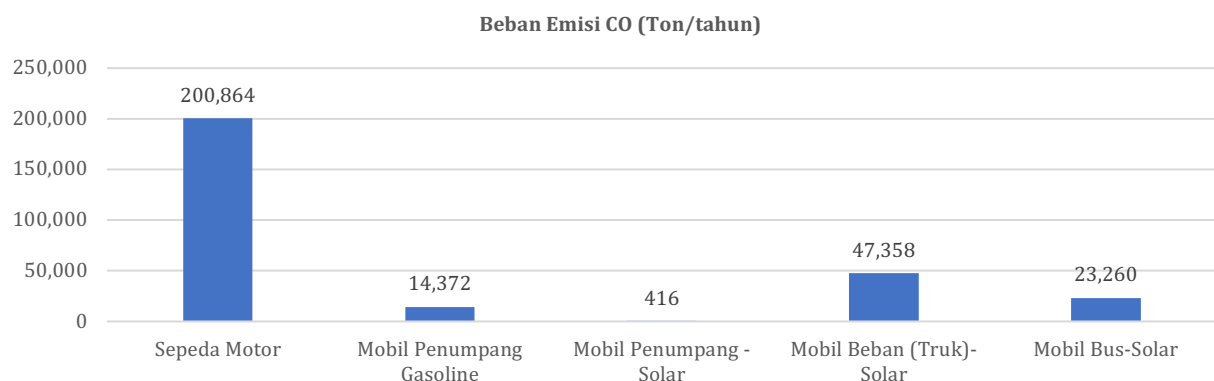
C. CO

Dari kelima sektor yang dihitung, transportasi adalah kontributor terbesar untuk beban emisi CO di DKI Jakarta yaitu mencapai 98% dengan kontributor tertinggi adalah transportasi darat. Transportasi darat menyumbang 286.269 Ton/tahun atau sebesar 99,64%. Berikut adalah ilustrasi dari proporsi kontributor emisi CO di DKI Jakarta dari sektor transportasi.



Gambar 24 Gambaran beban emisi CO berdasarkan jenis transportasi

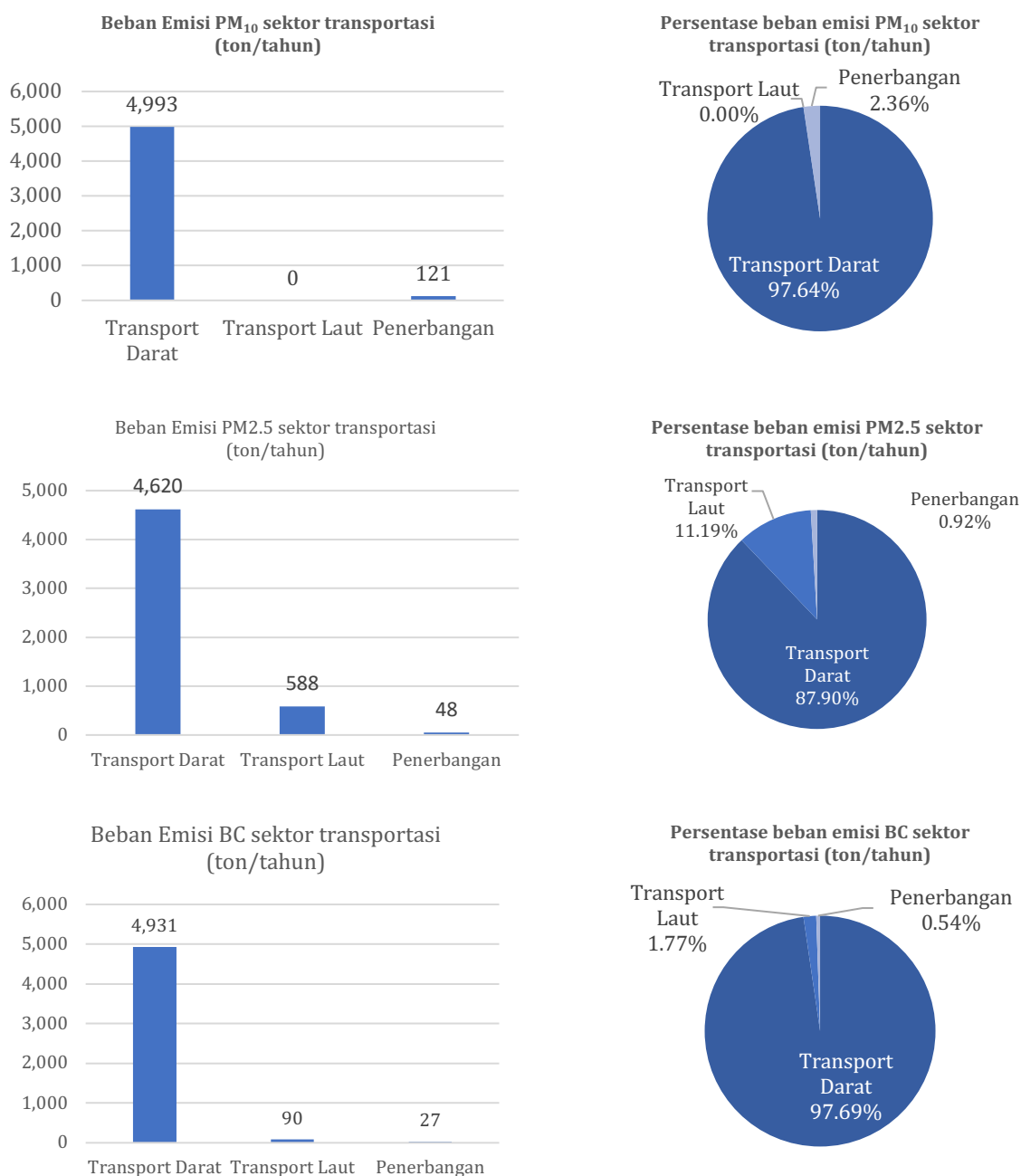
Sepeda motor adalah pengemisi utama dari beban emisi CO dengan jumlah emisi per tahun sebesar 200.863,67 ton atau sebesar 70,16%. Mobil beban (Truk) – solar/diesel berkontribusi sebesar 16,5% atau 47.358 ton/tahun. Bus dan Mobil penumpang-*gasoline* memiliki kontribusi masing-masing sebesar 8% dan 5% atau sebesar 23.260 ton/tahun dan 14.372 ton/tahun. Mobil penumpang solar memiliki kontribusi terkecil sebesar 0.1%.



Gambar 24 Grafik persebaran beban emisi CO berdasarkan jenis kendaraan

D. PM₁₀, PM_{2.5} dan *Black Carbon*

Sumber utama ketiga jenis partikulat dalam kajian ini yaitu PM₁₀, PM_{2.5} dan *Black Carbon* berasal dari transportasi darat dengan kontribusi diatas 87% dengan nilai kontribusi masing-masing sebesar 4.993 ton/tahun. 4.620 ton/tahun dan 4.931 ton/tahun.

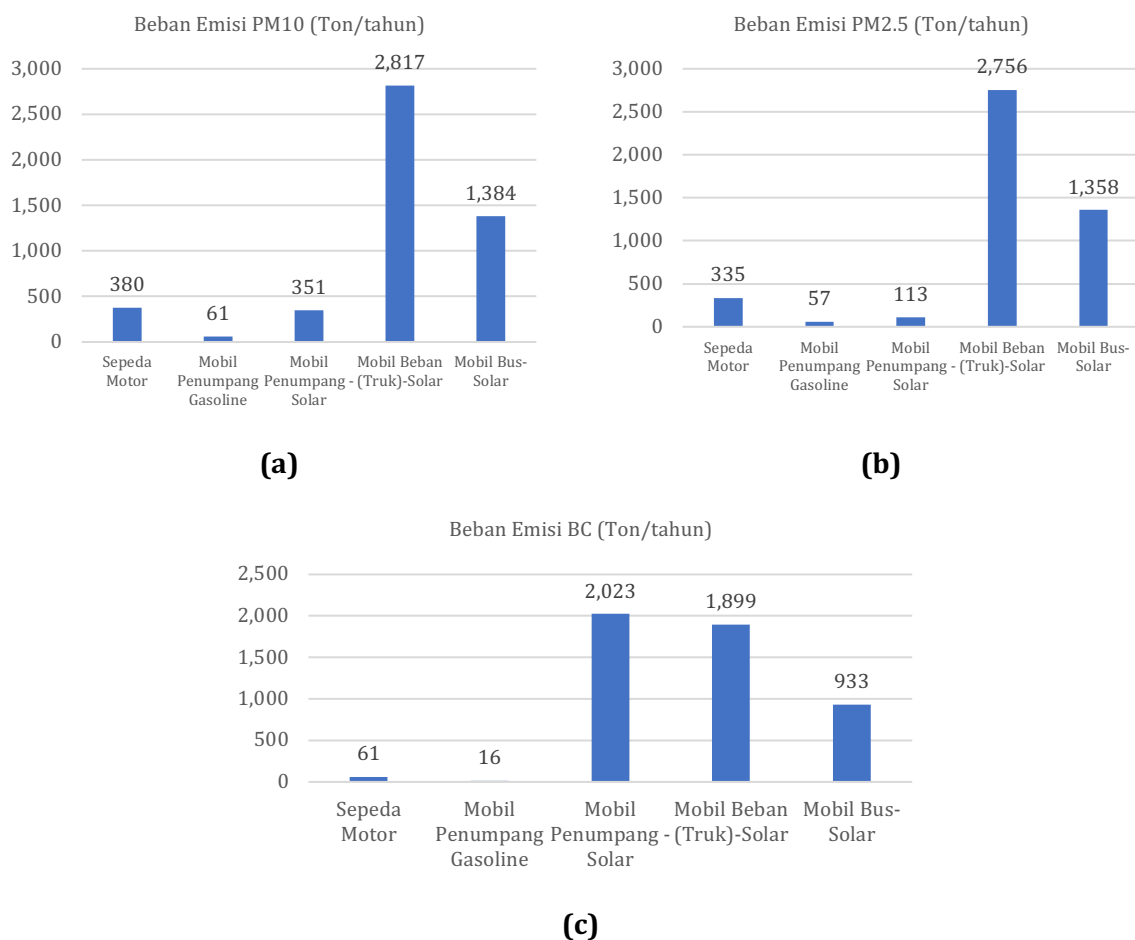


Gambar 25 Gambaran beban emisi PM berdasarkan jenis transportasi

Kendaraan berbahan bakar solar/diesel memiliki kecenderungan yang besar untuk mengemisikan partikulat. Grafik dibawah menjelaskan bahwa mobil beban (truk) dengan bahan bakar solar adalah kontributor utama dari sektor transportasi darat dengan kontribusi masing-

masing sebesar 56,42% untuk PM_{10} , 56,65% untuk $PM_{2.5}$, 38,5% untuk BC. Selain mobil beban (truk) – solar, bus dan mobil penumpang berbahan bakar solar memberikan kontribusi yang signifikan terhadap beban emisi PM_{10} , $PM_{2.5}$ dan BC.

Pemerintah menerapkan per 1 Agustus 2013 bahwa kualitas bahan bakar untuk sepeda motor yang digunakan minimal Euro III (Kandungan sulfur 350 ppm), oktan 91 dan tanpa timbal. Melihat jumlah kendaraan sepeda motor di DKI Jakarta yang cukup tinggi (14.773.012 unit atau 74.5% dari total kendaraan) maka jumlah partikulat akan tetap signifikan mengingat jumlah kendaraan juga signifikan.

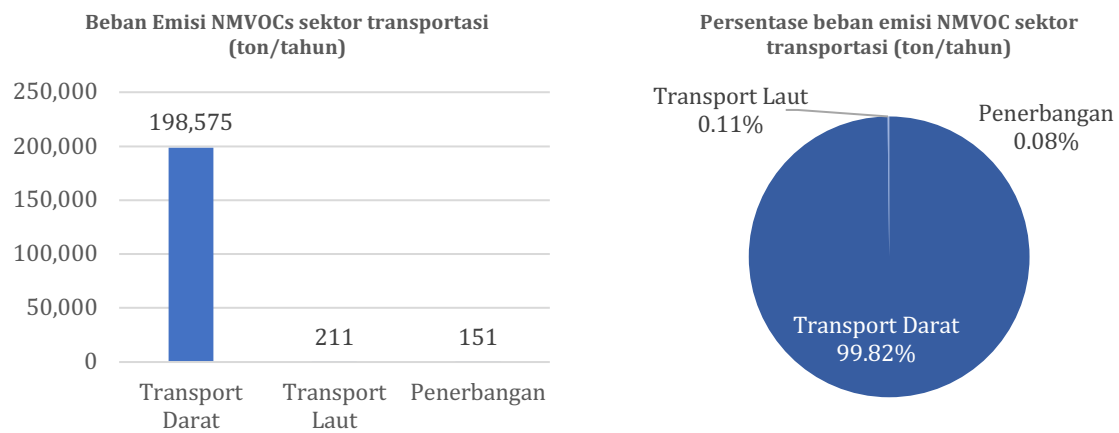


Gambar 26 Grafik persebaran beban emisi PM berdasarkan jenis kendaraan

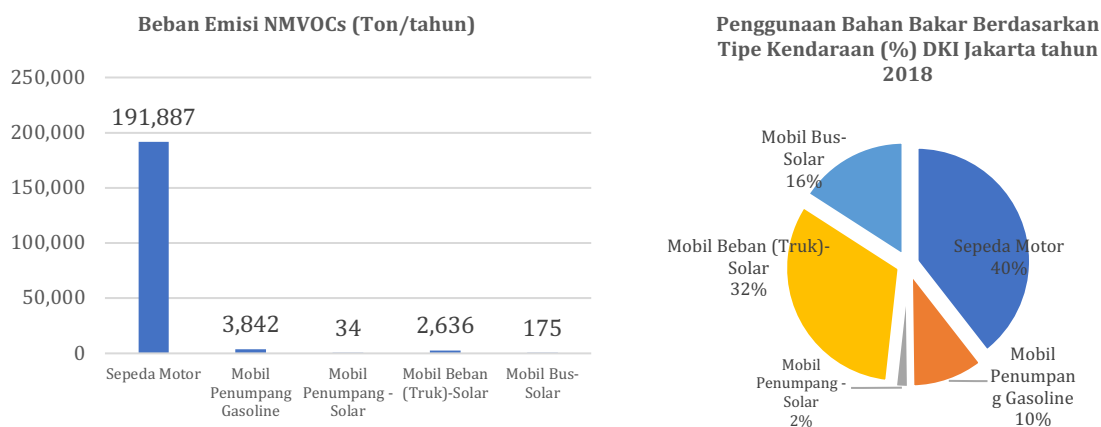
E. NMVOCs

Beban emisi NMVOCs dari sektor transportasi paling besar diemisikan oleh transportasi darat yaitu sebesar 99,82% dengan total emisi 198.575 ton/tahun. Dari lima jenis kendaraan yang dikaji diperoleh bahwa sepeda motor adalah penyebab utama dengan kontribusi terbesar yaitu 96%. NMVOCs di sektor transportasi berasal dari pembakaran bahan bakar fosil jenis bensin sehingga tingginya NMVOCs diakibatkan dari konsumsi bahan bakar jenis bensin dan jumlah

kendaraan yang tinggi. Pada bagian ini, Sepeda motor mengkonsumsi bahan bakar sebesar 40% dari total konsumsi dengan jumlah kendaraan sebesar 74,5% di DKI Jakarta.



Gambar 27 Gambaran beban emisi PM berdasarkan jenis transportasi



Gambar 28 Gambaran beban emisi PM berdasarkan jenis kendaraan

3.4.4 Sektor Perumahan

A. SO₂

Sektor Perumahan berkontribusi terhadap beban emisi SO₂ sebesar 40.99 ton/tahun (0,96%) yang berasal dari penggunaan bahan bakar berjenis LPG dan natural gas. Total konsumsi energi gas dari sektor perumahan sebesar 61.175 TJ lebih besar dari sektor Industri manufaktur (45.060 TJ). Namun beban emisi SO₂ yang dihasilkan dari industri manufaktur lebih besar dari sektor perumahan. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan bakar natural gas dan LPG menghasilkan emisi yang jauh lebih kecil.

B. NO_x

Beban Emisi NO_x sebesar 4.526,96 ton/tahun atau sebesar 4,27% dari total emisi NO_x. Perumahan merupakan sektor terbesar kedua penggunaan bahan bakar gas setelah Industri Energi yaitu sebesar 61.175 TJ yang berasal dari konsumsi natural gas dan LPG. Bahan bakar gas cukup signifikan mengemisikan NO_x sehingga kontribusi dari perumahan cukup signifikan dibandingkan dengan komersial.

C. CO

Selain NO_x, bahan bakar gas juga berpotensi dalam mengemisikan gas CO secara signifikan. Hal ini dapat dilihat dari kasus industri energi yang berkontribusi sebesar 97% terhadap emisi CO. Untuk sektor Perumahan sendiri, CO berkontribusi sebesar 0.59% atau sebesar 1.774,08 ton/tahun dari total emisi CO. Namun penggunaan bahan bakar gas masih lebih bersih daripada bahan bakar jenis lain dikarenakan jumlah energi yang digunakan dengan beban emisi yang dihasilkan berbanding terbalik.

D. Partikulat (PM₁₀, PM_{2.5} dan BC)

Partikulat disektor perumahan menghasilkan beban emisi sebesar 47,72 ton/tahun untuk PM₁₀, 33,40 ton/tahun untuk PM_{2.5} dan 1,34 ton/tahun untuk B atau masing-masing sebesar 0,54%; 0,43% dan 0,02%. Dibandingkan dengan penggunaan total energi di Industri Manufaktur, beban emisi dari sektor perumahan jauh lebih kecil meskipun total energi yang digunakan lebih besar dari industri manufaktur. Hal ini dapat terjadi karena sektor perumahan menggunakan proporsi bahan bakar gas lebih besar.

E. NMVOCs

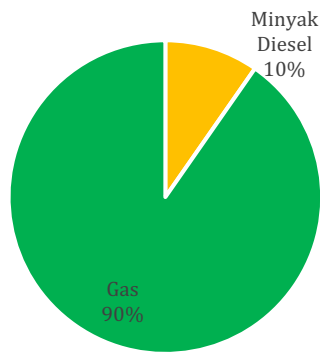
Beban emisi NMVOCs dari sektor perumahan memiliki nilai yang cukup signifikan yaitu sebesar 1.407,03 ton/tahun atau sebesar 0,7%. Beban emisi NMVOCs dari sektor perumahan lebih tinggi dari sektor manufaktur hal ini terjadi akibat dari jumlah energi yang digunakan lebih besar dari sektor manufaktur.

3.4.5 Sektor Komersial

A. SO₂

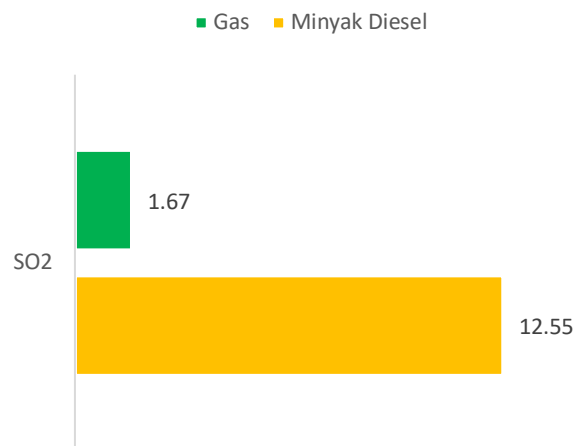
Beban Emisi SO₂ dari sektor komersial sebesar 14 ton/tahun (0,33%) yang disebabkan oleh konsumsi dua jenis bahan bakar yaitu Natural gas dan Minyak Diesel. Konsumsi natural gas lebih besar daripada konsumsi minyak diesel dengan proporsi penggunaannya adalah sebagai berikut:

Persentase Penggunaan Bahan Bakar di Sektor Komersial (%)



(a)

Beban Emisi SO₂ di sektor Komersial (ton/tahun)



(b)

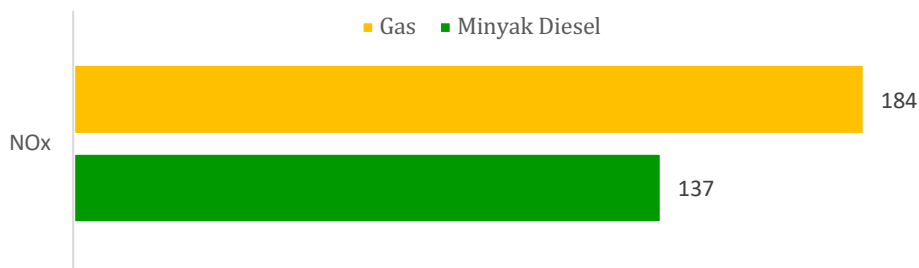
Gambar 29 Gambaran beban emisi SO₂ berdasarkan jenis bahan bakar di sektor komersial

Meskipun konsumsi bahan bakar berjenis natural gas lebih besar dari konsumsi minyak diesel, beban emisi SO₂ dari bahan bakar natural gas lebih kecil dengan nilai sebesar 1,67 ton/tahun dan beban emisi dari bahan bakar minyak diesel 12,55 ton/tahun. Hal ini disebabkan nilai sulfur di bahan bakar minyak lebih tinggi daripada natural gas.

B. NO_x

Beban emisi NO_x dari sektor komersial sebesar 321,15 ton/tahun atau sebesar 0,3% dari total emisi NO_x di DKI Jakarta. Dari grafik dibawah diketahui bahwa emisi utama dari sektor komersial berasal dari penggunaan bahan bakar gas yaitu sebesar 184 ton atau 57%. Penggunaan bahan bakar gas disektor ini sebesar 90% dan penggunaan bahan bakar minyak sebesar 10%. Meskipun penggunaan bahan bakar minyak hanya 10%, bahan bakar tersebut menghasilkan NO_x sebesar 136,97 ton/tahun atau 43%.

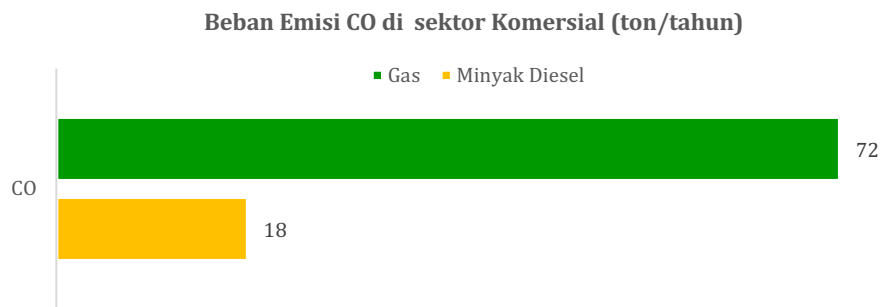
Beban Emisi NO₂ di sektor Komersial (ton/tahun)



Gambar 30 Gambaran beban emisi NO_x berdasarkan jenis bahan bakar di sektor komersial

C. CO

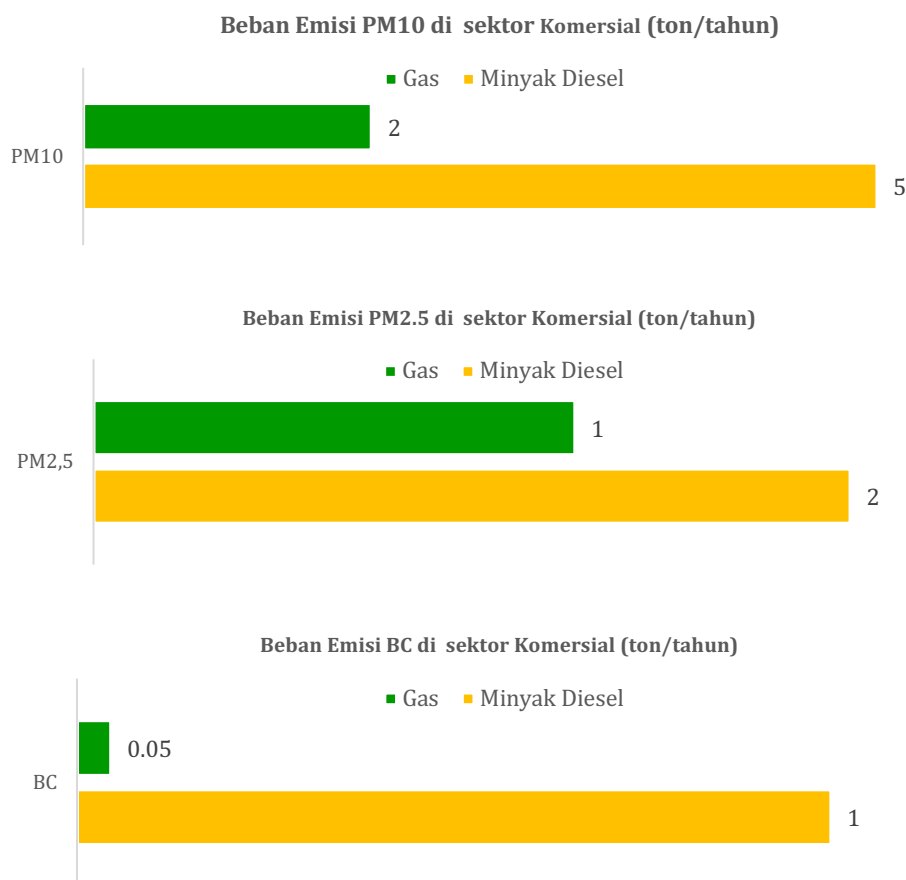
Beban emisi CO di sektor komersial paling besar di keluarkan dari bahan bakar gas sebesar 72 ton/tahun. Hal ini serupa dengan sektor lain dimana CO diemisikan oleh bahan bakar gas.



Gambar 31 Gambaran beban emisi CO berdasarkan jenis bahan bakar di sektor komersial

D. Partikulat (PM_{10} , $PM_{2.5}$ dan BC)

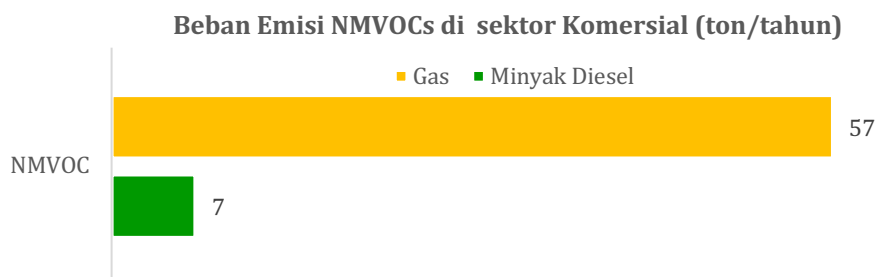
Dengan pola yang sama dengan sektor lain, partikulat paling banyak diemisikan oleh bahan bakar berjenis minyak sesuai dengan hasil grafik dibawah ini dimana beban emisi PM_{10} lebih besar dari $PM_{2.5}$ dan BC.



Gambar 32 Gambaran beban emisi PM berdasarkan jenis bahan bakar di sektor komersial

E. NMVOCs

Sumber NMVOCs dari sektor komersial adalah pembakaran bahan bakar jenis gas dimana konsumsinya lebih besar dari bahan bakar jenis minyak. Emisi dari bahan bakar gas sebesar 89% yaitu 57 ton/tahun sedangkan dari bahan bakar minyak sebesar 7 ton/tahun.



Gambar 33 Gambaran beban emisi NMVOCs berdasarkan jenis bahan bakar di sektor komersial

3.5 Sektor Konstruksi

Sebagian besar aktivitas konstruksi menghasilkan partikulat dari kegiatan pergerakan peralatan berat, transport, penyiapan lahan dan pematangan lahan serta aktivitas pembangunan. Di tahun 2018 terdapat 66 aktivitas konstruksi dengan total luas bangunan sebesar 4.906.351 Ha. Rincian pembangunan adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Data aktivitas sektor konstruksi

No	Tipe Konstruksi	Jumlah Aktivitas	Luas Bangunan (m ²)
1	Konstruksi Perumahan	2	847.908
2	Konstruksi Apartemen	20	2.299.406
3	Konstruksi Non- Perumahan	44	1.759.037

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan beban emisi adalah luas area yang terdampak sehingga perlu dilakukan konversi data dari luas bangunan ke luas area menggunakan jumlah lantai bangunan, koefisien bangunan sesuai dari pedoman emisi konstruksi dari EMEP tahun 2019 dan persentase RTH yaitu 30% sesuai Perda DKI Jakarta 2014 sehingga beban emisi dari sektor konstruksi di tahun 2018 adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Beban Emisi Partikulat sektor konstruksi tahun 2018

No	Jenis Bangunan	Beban Emisi (Ton/Tahun)		
		TSP	PM10	PM2.5
1	Konstruksi Perumahan	3.538	1.049	105
2	Konstruksi Apartemen	3.234	970	97
3	Konstruksi Non-Perumahan	13.025	3.947	395
Total Beban Emisi		19.797	5.966	597

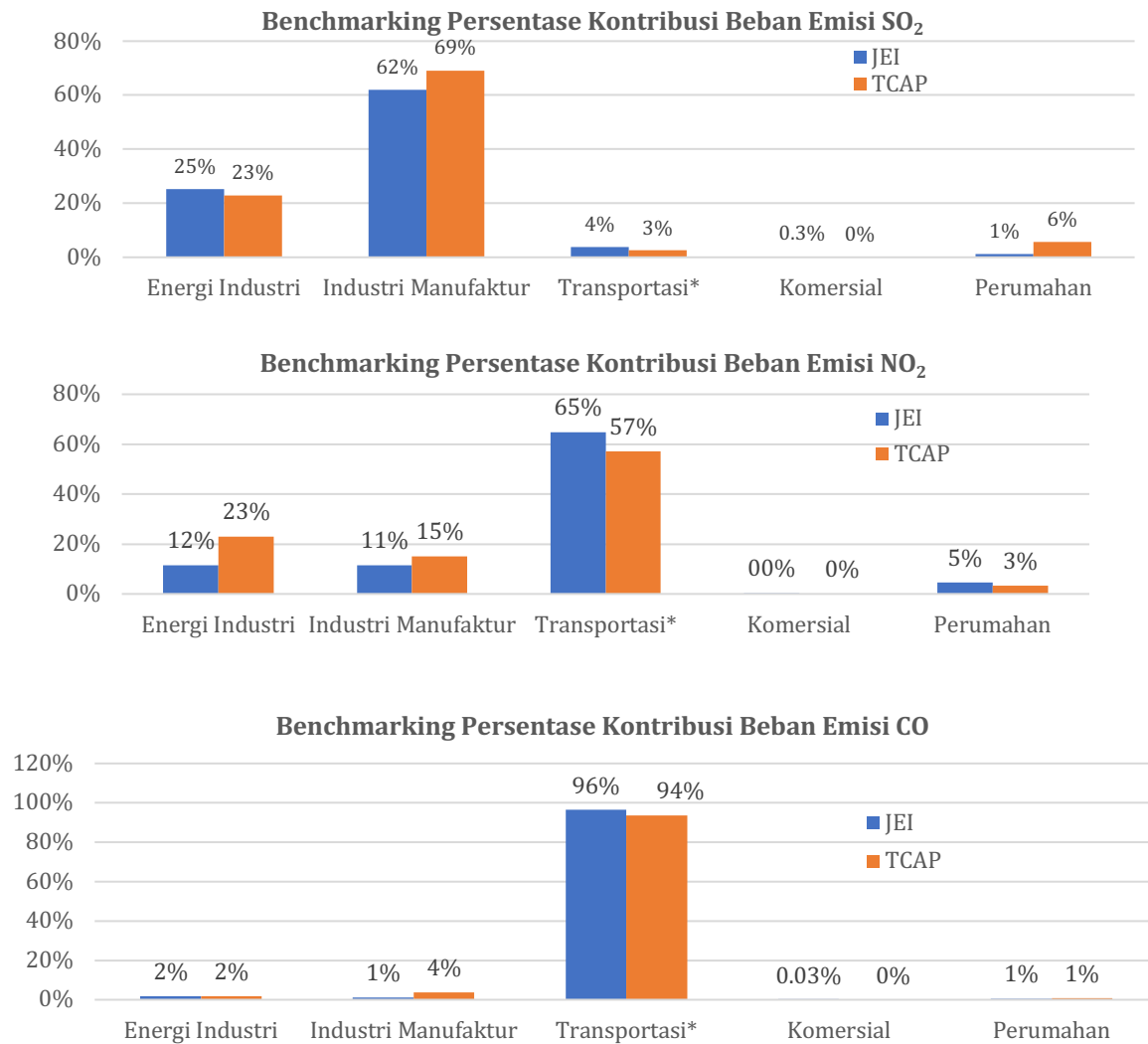
Dari tabel diatas diketahui bahwa beban emisi terbesar berasal dari jenis bangunan non-perumahan seperti kantor dan fasilitasnya, hotel, PKL, pusat hiburan dan makanan, bangunan olahraga dan fasilitas olahraga, rumah sakit, kampus dan rumah ibadah. Meskipun jumlah aktivitas untuk sektor perumahan sedikit namun beban emisinya cukup signifikan hal ini diakibatkan dari jumlah area yang dibangun. Terdapat 2 kegiatan konstruksi dari perumahan namun jumlah luas bangunan cukup besar hingga mencapai 847.667 Ha dengan pemegang izin PT. Kapuk Naga Indah.

Jika dibandingkan dengan beban emisi partikulat dari sektor lain, maka sektor konstruksi berkontribusi secara signifikan terhadap emisi PM_{10} dan $PM_{2.5}$ yaitu masing-masing sebesar 40% dan 7%. Sektor ini memiliki kontribusi yang temporer karena dapat berubah-ubah setiap tahunnya sesuai dengan jumlah aktivitas konstruksi pada tahun tersebut. Hal ini dapat terjadi mengingat di tahun sebelumnya sektor ini berkontribusi sebesar 1% untuk $PM_{2.5}$ (Breatheasy, 2017). Selain itu, kualitas data juga perlu ditingkatkan karena data yang diperoleh dari perizinan adalah data luas bangunan sedangkan kebutuhan data untuk inventarisasi emisi ini adalah area yang terdampak sehingga dilakukan konversi data menggunakan asumsi misalkan jumlah lantai bangunan dan persentase daerah resapan/tutupan hijau.

3.6 Benchmarking

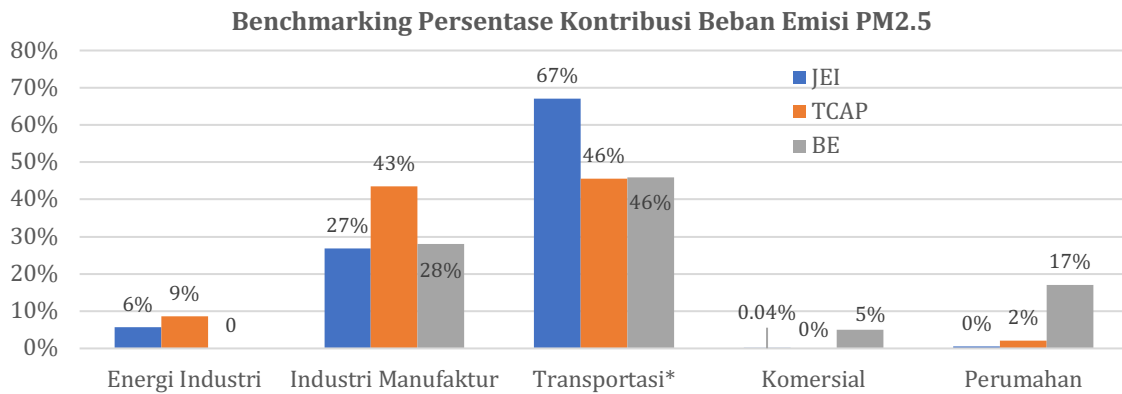
Beberapa studi mengenai inventarisasi emisi pencemaran udara di DKI Jakarta telah dilakukan dengan tahun dan sektor yang berbeda yaitu data tahun 2010 dan 2015 untuk kajian dari *Toyota Clean Air Pollution* (TCAP) dan 2017 untuk *Breatheasy*.

Dari hasil kajian literatur diperoleh bahwa persen kontribusi dari kelima sektor memiliki nilai yang mendekati dengan perbedaan di bawah 11% untuk parameter SO_2 , NO_2 dan CO. Perbedaan dapat terjadi dikarenakan adanya perubahan jumlah penggunaan bahan bakar dan proporsi jenis bahan bakar pada tahun kajian serta pembatasan dalam perhitungan dimana sektor transportasi laut dan udara tidak diperhitungkan pada beberapa literatur. Penggunaan faktor emisi yang berbeda juga menjadi penyebab perbedaan dimana TCAP menggunakan faktor emisi dari GAINS sedangkan kajian ini mengkombinasi penggunaan faktor emisi dari EMEP dan GAINS sesuai dengan ketersediaan data aktivitas.



Gambar 34 Benchmarking Beban Emisi SO₂, NO_x dan CO

Nilai benchmarking partikulat PM_{2.5} cukup fluktuatif dengan literatur yang tersedia namun masih dalam ordo yang sama. Perbedaan dapat disebabkan karena adanya (1) batasan dalam sektor terutama sektor transportasi dimana transportasi laut dan penerbangan dihitung di kajian ini, (2) perbedaan jumlah bahan bakar yang digunakan serta (3) Tier perhitungan. *Breatheasy* melakukan perhitungan dengan lebih detail dimana memperhitungkan tingkat kemacetan, jumlah *Landing Take-Off* (LTO) dan aktivitas dermaga untuk sektor transportasi dan memperhitungkan aktivitas *open burning* dari sektor domestik.



Gambar 35 Benchmarking Beban Emisi Partikulat

3.7 Potensi *Long Range Transport* Partikulat

Hasil studi oleh Vital strategies di tahun 2018-2019 mengenai *Source Apportionment* PM_{2.5} di DKI Jakarta diperoleh bahwa *long range transport* berkontribusi atas beban emisi PM_{2.5} sebesar 4-11% dalam bentuk *secondary aerosol* yaitu NO₃⁻ dan SO₄²⁻. *Secondary Aerosol* NO₃⁻ dan SO₄²⁻ terbentuk dari gas SO₂ dan NO_x pada kondisi kelembaban tinggi (Wang, 2012; Wexler and Seinfeld, 1991; Tang and Munkelwitz, 1993) dimana kondisi optimal terbentuk disaat kelembaban diatas 50% (Wang, 2012). Kelembaban tinggi adalah penyebab terbentuknya asam sulfat dan asam nitrat yang bersifat asam diudara sehingga secara alamiah akan terjadi reaksi netralisasi (Seinfeld and Pandis, 2006) menghasilkan produk sampingan yaitu sulfat (SO₄²⁻) dan nitrat (NO₃⁻). Jumlah produk sampingan yang dihasilkan dari reaksi netralisasi tergantung dari beberapa faktor seperti keberadaan prekursor, atmosferik oksidan, mikro meteorologi, temperatur dan kelembaban (Baek et al., 2005; Pathak et al., 2009).

Gas prekursor terbentuknya *secondary aerosol* adalah gas amoniak (NH₃), Volatile Organic Compounds (VOCs) dan hidroksil radikal (OH[·]) (Squizzato, 2013). Sulfat, nitrat dan amonium adalah komposisi utama yang terkandung dalam *secondary aerosol* (Squizzato, 2013; Lestari 2020) dalam bentuk Amonium Sulfat ((NH₄)₂SO₄) dan Amonium Nitrat (NH₄NO₃) sebagai hasil sampingan dari reaksi netralisasi asal sulfat dan asam nitrat di udara dengan amonia (Stockwell et al., 2003).

DKI Jakarta dikelilingi oleh kota satelit seperti Tangerang. Depok. Bekasi yang memiliki aktivitas penduduk yang tinggi seperti kegiatan industri, transportasi dan domestik termasuk *open burning* sehingga potensi *Long Range transport* untuk *secondary aerosol* seperti PM_{2.5} sangat signifikan. Dalam studi yang dilaksanakan oleh Air Quality Life Indeks oleh Universitas Chicago

(AQLI,2019) menemukan bahwa nilai rata-rata konsentrasi $PM_{2.5}$ di kota satelit tersebut sebesar $35 \mu g/m^3$ dimana konsentrasi di kota Tangerang lebih besar dari kota Jakarta.

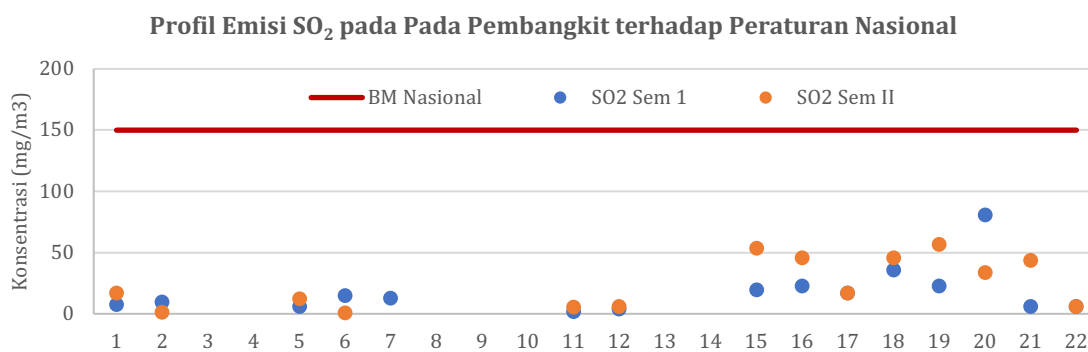
3.8 Hasil Pemantaun Emisi Industri

Sektor transportasi, sektor industri manufaktur dan sektor energi industri adalah sektor-sektor dengan pengemisi terbesar untuk kelima indikator pencemar udara diatas. Ketiga sektor tersebut perlu dilakukan reduksi beban emisi untuk mencapai kualitas udara yang sesuai dengan baku mutu nasional maupun internasional. Pada saat ini, Pemerintah DKI memiliki regulasi baku mutu emisi No. 670 tahun 2000 sebagai salah satu perangkat penurunan beban emisi di sektor Industri. Pembaharuan baku mutu perlu dilakukan mengingat baku mutu eksisting telah berusia 20 tahun.

Berdasarkan data IOMKI dan BPS 2018 terdapat 1187 unit industri di DKI Jakarta. Dalam data PROPER (Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup) di tahun 2018, terdapat 74 perusahaan yang terdaftar mengikuti penghargaan tersebut. Dari data PROPER dan hasil pemantauan yang dilakukan oleh DLH dalam rangka ketaatan diperoleh hasil pemantauan yang dibagi berdasarkan sektor dan jenis pembakaran yang digunakan. Terdapat 930 sumber emisi baik sumber emisi dari pembakaran dan sumber emisi proses. Berikut adalah hasil pemantauan tersebut.

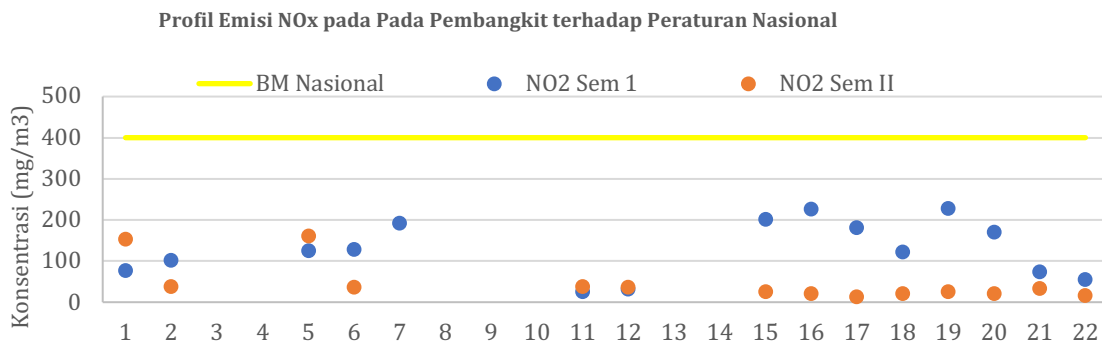
1. Industri Energi

Terdapat dua perusahaan pembangkit di DKI Jakarta yang menggunakan bahan bakar natural gas. Total sumber emisi dari kedua perusahaan tersebut sebanyak 27 titik dan yang beroperasi sekitar 14 unit.



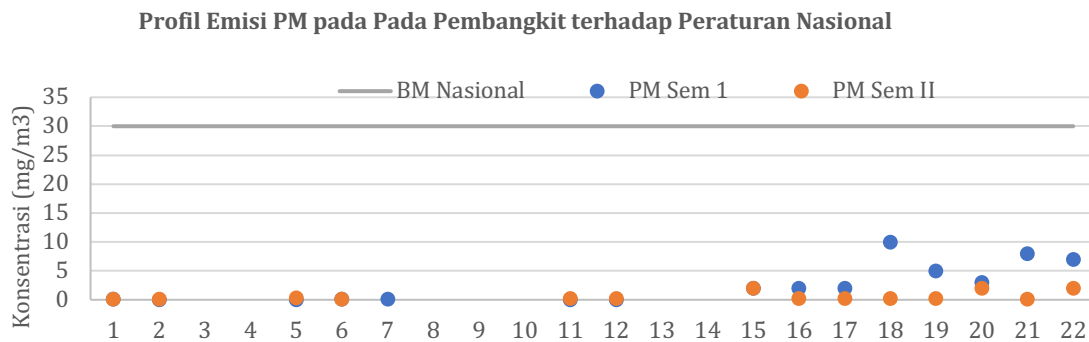
Gambar 36 Profil emisi SO_2 di Sektor Industri Energi DKI Jakarta

Konsentrasi emisi SO_2 di Industri energi berada pada rentang 2 mg/m^3 hingga 81 mg/m^3 dengan nilai rata-rata sebesar 18 mg/m^3 . Jika dibandingkan dengan baku mutu SO_2 di PLTGU untuk bahan bakar gas sebesar 150 mg/m^3 maka hasil emisinya berada dibawah baku mutu.



Gambar 37 Profil emisi NO_x di Sektor Industri Energi DKI Jakarta

Nilai terkecil untuk konsentrasi emisi NO_x sebesar 25 mg/m³ dan nilai terbesarnya adalah 228 mg/m³. Konsentrasi rerata sebesar 128,93 mg/m³. Jika dibandingkan dengan regulasi yang berlaku, hasil pemantauan di 22 titik untuk sumber pencemar di pembangkit listrik memenuhi baku mutu (400 mg/m³).



Gambar 37 Profil emisi PM di Sektor Industri Energi DKI Jakarta

Dari gambar diatas diperoleh nilai rerata emisi PM untuk sumber emisi dari pembangkit sebesar 2,62 mg/m³ dengan rentang sebesar 0,018 mg/m³ – 10 mg/m³.

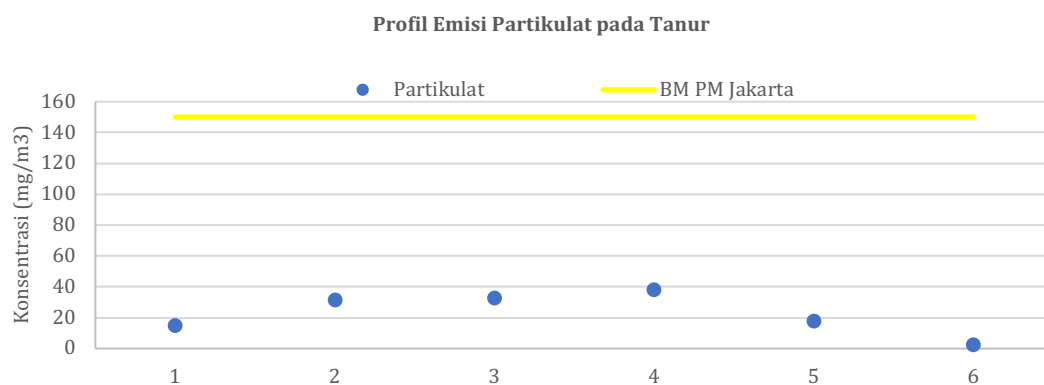
Dari hasil pemantauan parameter SO₂, NO_x dan PM diperoleh bahwa ketiga parameter tersebut memenuhi baku mutu yang ditetapkan dalam peraturan nasional yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 15/2019 tentang baku mutu emisi tidak bergerak industri thermal bagian PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap). Saat ini peraturan daerah yaitu Keputusan Gubernur No. 670/2000 belum meliputi PLTGU hanya mencakup PLTU batu bara sehingga perlu ditambahkan baku mutu untuk PLTGU.

2. Industri Manufaktur

Terdapat 903 sumber titik pencemar di sektor ini termasuk sumber pembakaran dan sumber proses. Selain dari industri Besi dan Baja, industri lainnya yang berada di DKI Jakarta memiliki kemiripan dalam proses pembakaran yaitu penggunaan genset dan boiler sehingga untuk industri manufaktur, hasil pemantauan akan dipisahkan berdasarkan penggunaan boiler, *generator set* dan Industri Besi Baja. Industri besi dan baja menggunakan bahan bakar pada berbagai macam tanur dan kiln.

A. Industri Besi dan Baja

Industri besi dan baja mencakup kegiatan pada tanur dan boiler namun untuk boiler menggunakan parameter sesuai baku mutu untuk boiler. Peraturan yang digunakan untuk baku mutu tanur adalah Keputusan Gubernur DKI Jakarta No.670/2000 dan hanya khusus memantau partikulat saja. Dari 6 sumber emisi, semuanya telah mematuhi baku mutu dengan rerata emisi partikulat sebesar 23 mg/m³ dengan nilai terendah dan tertinggi masing-masing sebesar 2,68 mg/m³ dan 38,2 mg/m³.

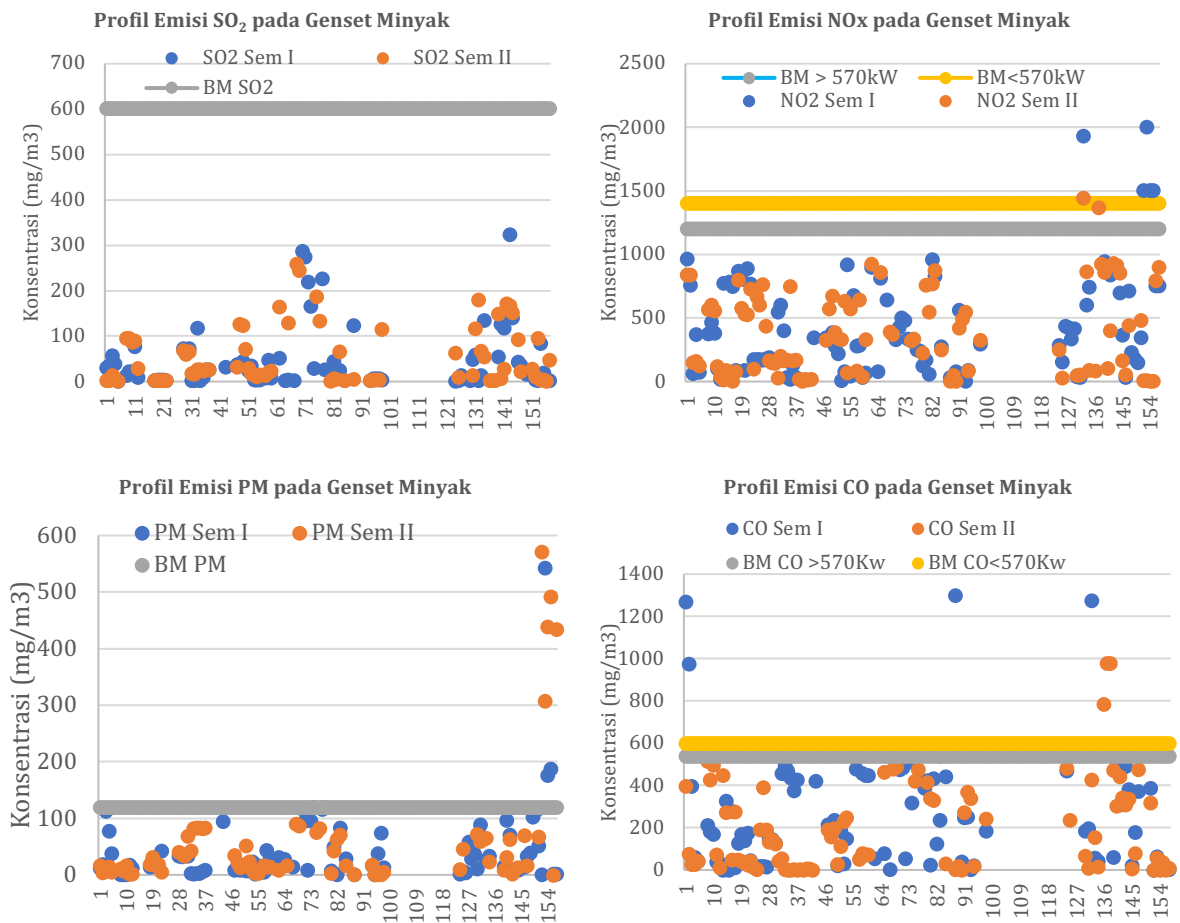


Gambar 38 Profil emisi PM Sektor Industri Besi dan Baja di DKI Jakarta

B. Genset

Dari 136 sumber titik untuk genset berbahan bakar minyak, nilai konsentrasi rerata emisi SO₂ sebesar 39,65 mg/m³ dengan rentang konsentrasi sebesar 0,24 mg/m³ hingga 323 mg/m³. Baku mutu eksisting untuk genset berbahan bakar minyak sebesar 600 mg/m³ sehingga emisi SO₂ memenuhi baku mutu eksisting yaitu Permenlhk 15/2019.

Nilai tertinggi untuk konsentrasi emisi NO_x dari genset berbahan bakar minyak yaitu 2000 mg/m³, nilai terendah sebesar 0,14 mg/m³ dan nilai rerata sebesar 258,12 mg/m³ pada semester I dan 355,8 mg/m³ pada semester II. Baku mutu yang digunakan adalah Permenlh 15/2019 untuk pembakaran dalam (*internal combustion*) genset dimana nilai baku mutu NO_x sebesar 1200 mg/m³ hingga 1400 mg/m³ sesuai dengan kapasitas sehingga terdapat tujuh titik emisi yang melebihi bakumutu berdasarkan bakumutu atau sebesar 2,2%.



Gambar 39 Profil emisi SO₂, NO_x, PM dan CO pada penggunaan Genset-Minyak di DKI Jakarta

Konsentrasi emisi PM berada pada rentang 0,87 mg/m³ hingga 571,3 mg/m³ dengan nilai rata-rata sebesar 31 mg/m³. Baku mutu genset berbahan bakar minyak untuk partikulat sebesar 120 mg/m³ sehingga terdapat 2,5% titik yang melebihi baku mutu (8 unit).

Konsentrasi Emisi CO terendah sebesar 0,138 mg/m³ dan nilai tertinggi sebesar 979 mg/m³ dan rata-rata konsentrasi emisi CO sebesar 210-275 mg/m³. Jika dibandingkan dengan baku mutu genset berbahan bakar minyak (540 mg/m³ dan 600 mg/m³ sesuai kapasitas) maka terdapat 7 titik yang melebihi baku mutu atau 2.2% dari keseluruhan sumber.

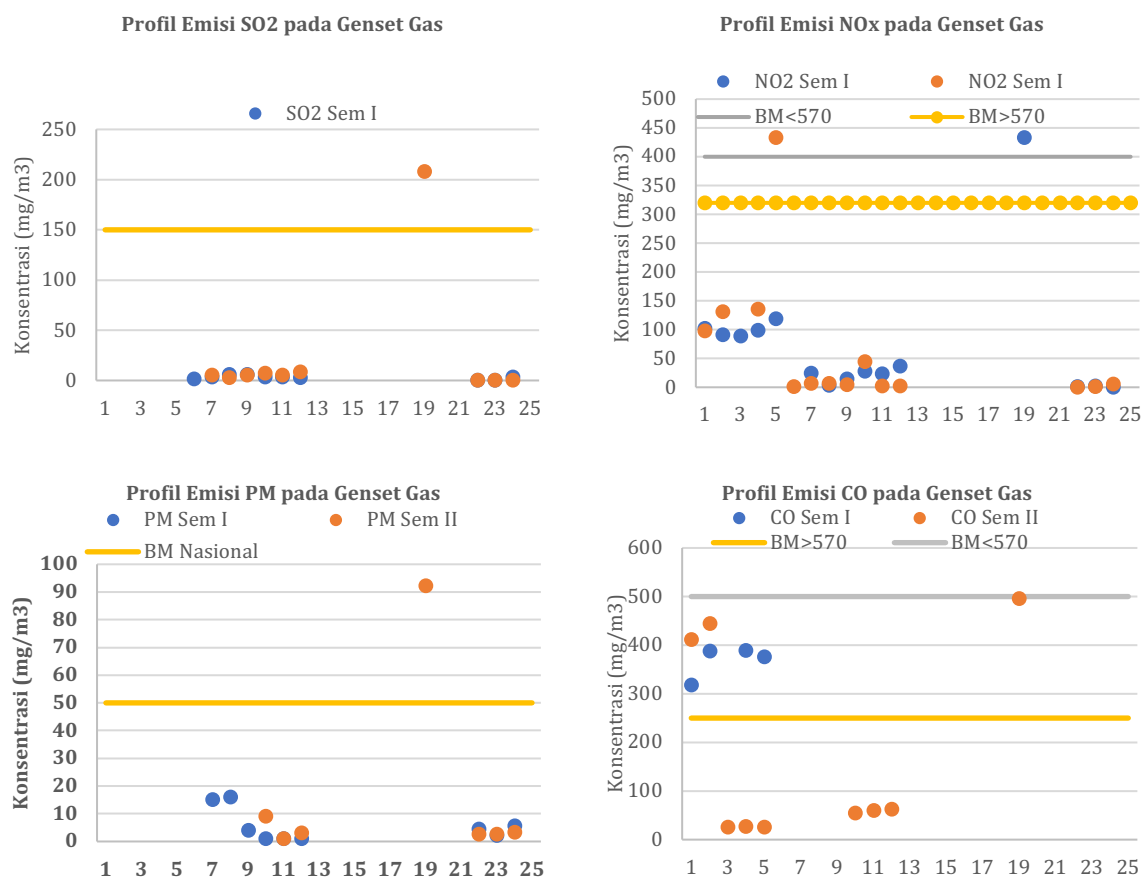
Dari keempat grafik diatas (Gambar 39), untuk pemantauan Genset berbahan bakar minyak diketahui beberapa industri melebihi baku mutu untuk indicator pencemar udara yaitu NO_x, PM dan CO.

Pada genset berbahan bakar gas, konsentrasi emisi SO_2 berada pada rentang 0,24 mg/m^3 hingga 207 mg/m^3 dengan rata-rata sebesar 24 mg/m^3 . Terdapat 1 titik yang melebihi baku mutu Permenlh 15/2019 untuk genset berbahan bakar gas (150 mg/m^3) atau sebesar 2%.

Konsentrasi emisi NO_x berada pada rentang 0,145 mg/m^3 hingga 432 mg/m^3 dengan rerata sebesar 70 mg/m^3 . Dibandingkan dengan baku mutu permenlh 15/2019 terdapat 2 titik yang melebihi baku mutu atau sebesar 4%.

Konsentrasi PM untuk genset berbahan bakar gas yaitu sebesar 0,97 mg/m^3 hingga 92,1 mg/m^3 dengan rerata sebesar 16,23 mg/m^3 . Terdapat 1 titik yang melebihi baku mutu PM atau sebesar 2%.

Konsentrasi CO memiliki rentang emisi sebesar 25 mg/m^3 hingga 495 mg/m^3 dan rata-rata sebesar 178 hingga 367 mg/m^3 . Baku mutu emisi CO sebesar 250 mg/m^3 dan 600 mg/m^3 sehingga 100% emisi memenuhi baku mutu walaupun satu titik memiliki nilai yang dekat dengan baku mutu.



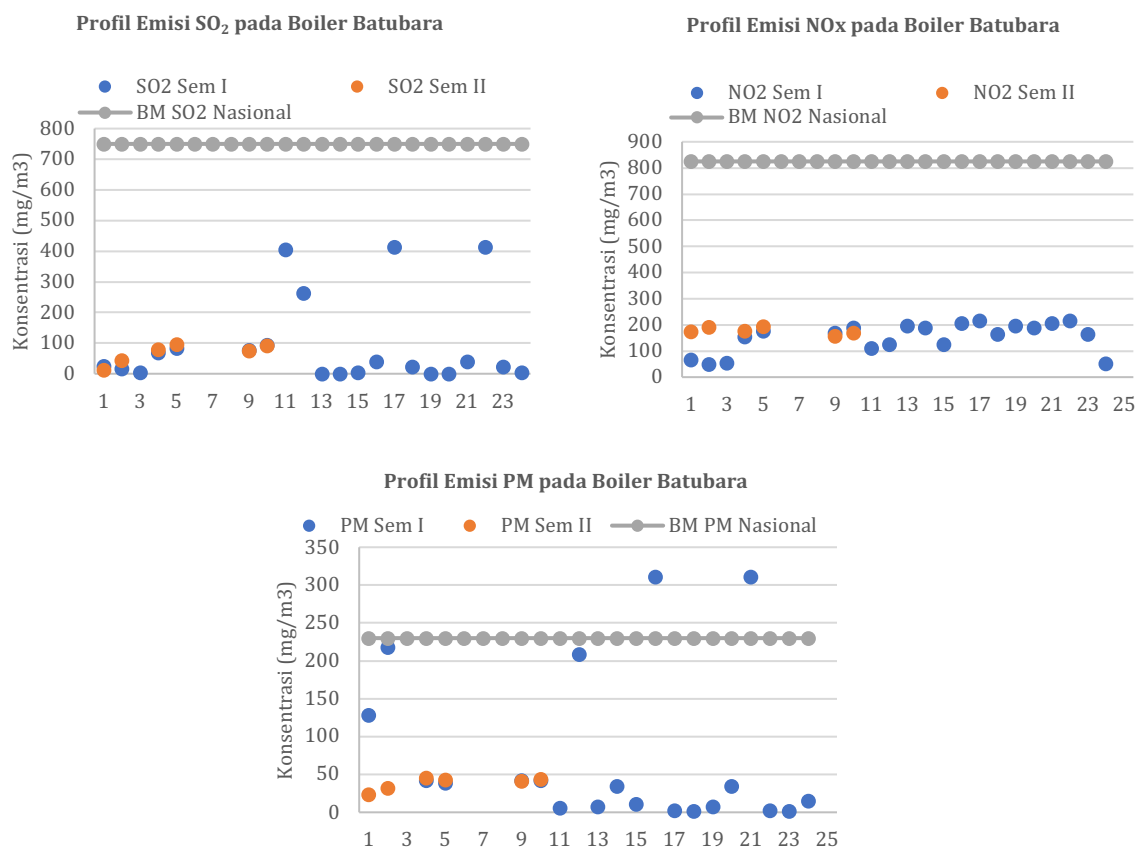
Gambar 40 Profil emisi SO_2 , NO_x , PM dan CO pada penggunaan Genset-Gas di DKI Jakarta

C. Boiler

Hasil pemantauan emisi dari boiler batubara diperoleh bahwa 10% sumber emisi melebihi baku mutu emisi untuk PM_{10} . Rentang nilai konsentrasi PM_{10} untuk boiler bahan bakar batubara adalah 1,47 mg/m^3 hingga 311,2 mg/m^3 dan rerata nilainya adalah 73 mg/m^3 .

Emisi SO_2 dan NO_2 memenuhi baku mutu emisi sesuai dengan Permenlh 15/2019 dengan rentang masing-masing sebesar 0.24 mg/m^3 hingga 412 mg/m^3 dan 49.7 mg/m^3 hingga 215 mg/m^3 .

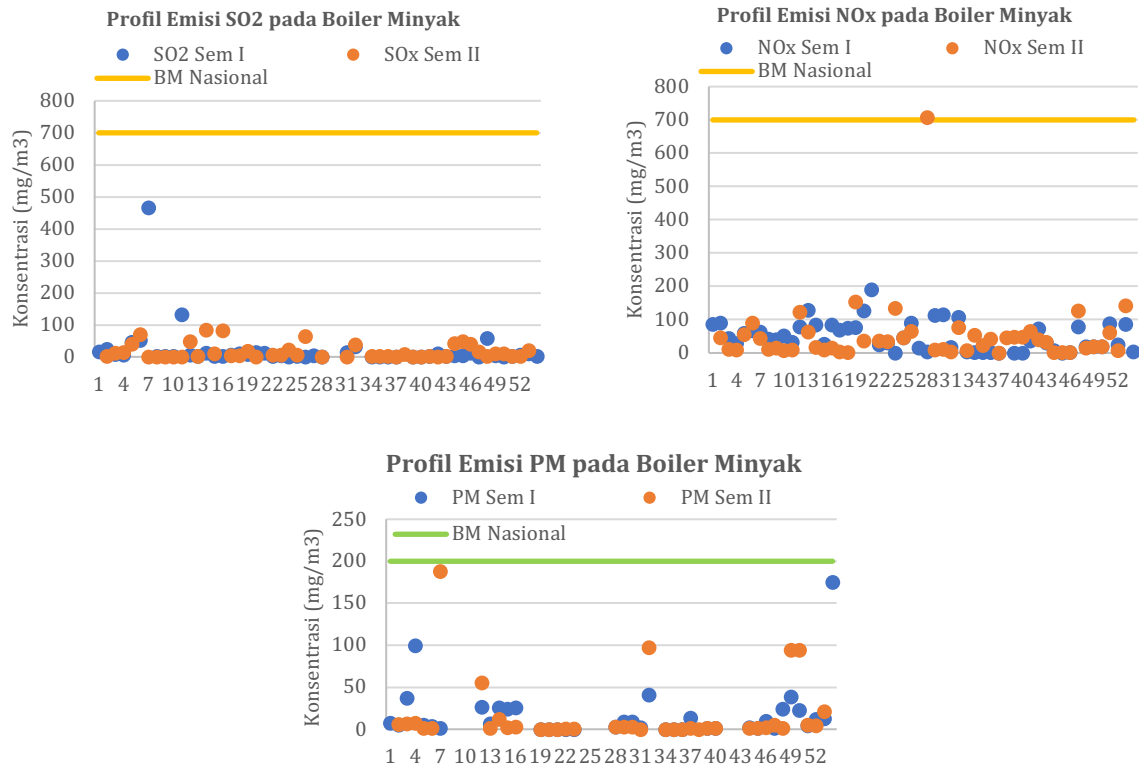
Dari hasil inventarisasi beban emisi SO_2 menggunakan Tier 1 diperoleh bahwa kontribusi SO_2 cukup signifikan sebesar 64%. Perhitungan beban emisi dengan menggunakan tier yang lebih tinggi berdasarkan kadar sulfur bahan bakar dan teknologi pembakaran serta teknologi pengendalian yang digunakan diperlukan untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif.



Gambar 41 Profil emisi SO_2 , NOx , PM pada penggunaan Boiler-Batubara di DKI Jakarta

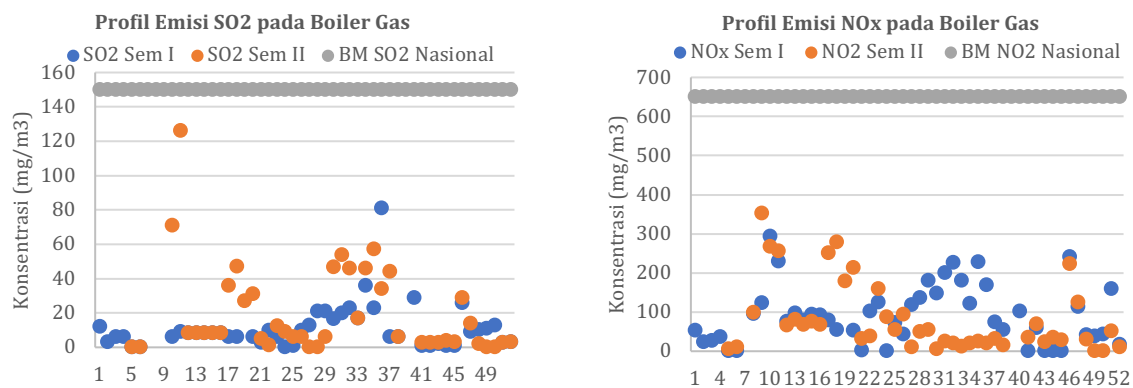
Hasil pemantauan boiler berbahan bakar minyak diperoleh bahwa 0,9% cerobong melebihi baku mutu NOx sedangkan untuk parameter lainnya 100% memenuhi baku mutu. Gas CO tidak memiliki bakumutu untuk bagian ini sehingga penetapan baku mutu untuk CO akan lebih baik mengingat konsentrasi CO cukup signifikan yaitu pada rentang 43 mg/m^3 hingga 383 mg/m^3 .

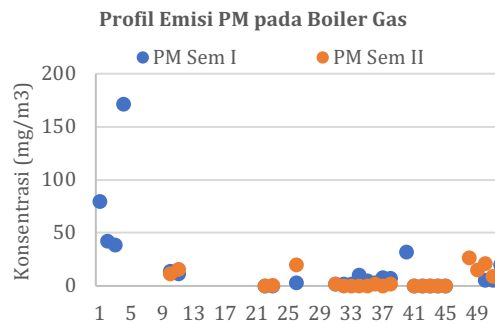
Untuk Boiler bahan bakar minyak, rentang emisi NO_x sebesar 0,15 mg/m³ hingga 707 mg/m³ dengan rerata sebesar 50 mg/m³. PM memiliki rentang sebesar 0,04 mg/m³ hingga 383,5 mg/m³ dan nilai rata-rata sebesar 18.91 mg/m³. Rentang emisi SO₂ yaitu 0.24 hingga 84 mg/m³ dengan rata-rata emisi sebesar 16.3 mg/m³.



Gambar 42 Profil emisi SO₂, NO_x, PM pada penggunaan Boiler-Minyak di DKI Jakarta

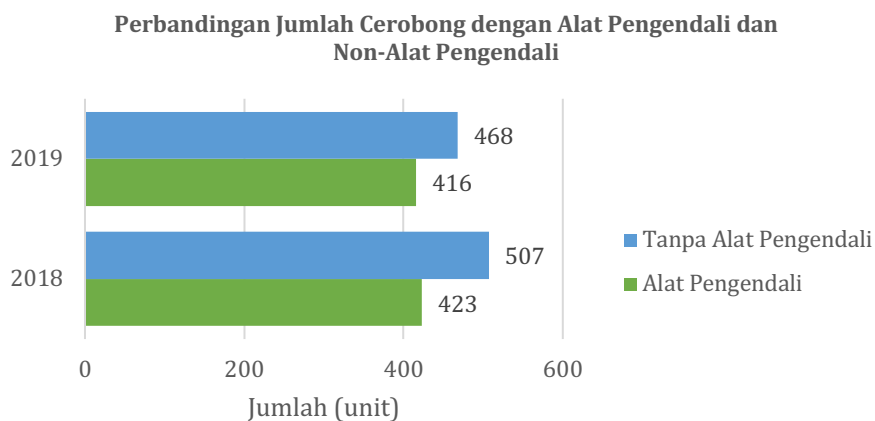
Untuk bahan bakar gas diperoleh bahwa parameter SO₂ dan NO_x memenuhi baku mutu dengan nilai rata-rata masing-masing sebesar 11 mg/m³ dan 92 mg/m³ namun PM belum memiliki baku mutu untuk boiler berbahan bakar gas walaupun beberapa industri telah melakukan pemantauan dengan rata-rata nilai sebesar 21 mg/m³.





Gambar 43 Profil emisi SO₂, NO_x, PM pada penggunaan Boiler-Gas di DKI Jakarta

Berdasarkan data PROPER tahun 2017 hingga 2019 terdapat 423 sumber emisi yang menggunakan alat pengendali di tahun 2018 dan 416 unit pada tahun 2019 dari 933 sumber emisi yang terdaftar. Penurunan nilai penggunaan alat pengendali disebabkan dari berhenti beroperasinya sumber emisi tersebut. Namun, jika dilihat dari nilai persentase per tahun terdapat kenaikan penggunaan dimana di tahun 2018 terdapat 45.5% sumber emisi yang menggunakan alat pengendali dan 47% di tahun 2010. Kenaikan terjadi sebesar 2.5% di tahun 2019.



Gambar 44 Profil penggunaan alat pengendali di industri manufaktur tahun 2018 dan 2019

Adapun jenis alat pengendali yang paling banyak digunakan adalah pada proses *Post Combustion* atau proses setelah pembakaran (*end of pipe*) seperti *cyclone*, *oil mist*, filter udara, dan sebagainya. Sedangkan pada kegiatan pembakaran, yang paling banyak digunakan adalah *Low Nox Burner* (LNB) dan *Flame Supervision*. Berikut adalah nama dan lokasi alat pengendali berdasarkan data 933 sumber emisi.

Tabel 7 Daftar Alat Pengendali yang digunakan oleh Industri Manufaktur

No	Alat Pengendali	Lokasi
1	<i>Cyclon/Multi Cyclone</i>	<i>Post Combustion</i>
2	<i>Scrubber termasuk Dry dan Wet</i>	<i>Post Combustion</i>
3	<i>Water curtain</i>	<i>Post Combustion</i>
4	<i>Oil Mist</i>	<i>Post Combustion</i>
5	<i>Filter Udara</i>	<i>Post Combustion</i>
6	<i>Filter termasuk Filter Bag. Filter Paper. Ceiling</i>	<i>Post Combustion</i>
7	<i>Refractory</i>	<i>Post Combustion</i>
8	<i>Water Circulation</i>	<i>Post Combustion</i>
9	<i>Mufler</i>	<i>Post Combustion</i>
10	<i>Dust Collector</i>	<i>Post Combustion</i>
11	<i>Granule Active Carbon</i>	<i>Post Combustion</i>
12	<i>Spray Booth</i>	<i>Post Combustion</i>
13	<i>Low Nox Burner</i>	<i>Combustion</i>
	<i>Flame Supervision System termasuk Flame Burn</i>	
14	<i>Control</i>	<i>Combustion</i>
15	<i>Deodorize</i>	<i>Post Combustion</i>

3.9 Rekomendasi Inventarisasi Emisi

Berdasarkan hasil inventarisasi diatas diperoleh bahwa sektor Transportasi, Industri Manufaktur dan Industri Energi adalah kategori kunci terhadap emisi pencemaran udara di DKI Jakarta. Berdasarkan pedoman perhitungan inventarisasi emisi pada Permenlhk No.12 tahun 2012 dan *EMEP Inventory Guidance* tahun 2019 bahwa sektor dengan kategori kunci seharusnya dihitung menggunakan yang lebih tinggi yaitu Tier 2 dan Tier 3.

3.9.1 Industri Manufaktur dan Industri Energi

Kajian inventarisasi emisi pencemar udara saat ini menggunakan pendekatan Tier 1 dimana menggunakan total konsumsi bahan bakar per sektor dengan faktor emisi berdasarkan jenis bahan bakar tanpa melihat kualitas bahan bakar yang tersedia. Selain itu, informasi teknologi pembakaran serta alat pengendalian tidak dipertimbangkan.

Perhitungan Tier 2 menggunakan data per fasilitas/unit berupa jumlah konsumsi bahan bakar dan faktor emisi yang digunakan berdasarkan tipe teknologi pembakaran fasilitas tersebut berikut adalah data dan informasi yang diperlukan.

Tabel 8 Data Aktivitas yang dibutuhkan pada perhitungan Tier 2 Sektor Industri

No	Tier	Data Aktivitas	Perkiraan Sumber
1	Tier 2	Jenis sumber emisi pada kegiatan pembakaran dan proses (mis: Boiler, genset, turbin, heater, dsb)	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Pelaporan emisi
		Kode, Koordinat dan tahun operasi tiap sumber emisi	Data Perusahaan
		Kapasitas tenaga tiap sumber emisi (MW atau HP)	Data PROPER
		Jenis pembakaran dari tiap sumber emisi (mis: boiler dengan Low NOx Burner; Wall-Fired Boiler, Dry bottom boiler, Fluid bed boiler, Turbin, Reciprocator Genset, dsb)	Data perusahaan
		Jenis proses tiap sumber emisi (mis: blast furnace, sinter plant, painting, dsb)	Data perusahaan
		Alat Pengendali yang digunakan tiap sumber emisi (Filter, cyclon, FGR, ESP, dsb)	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Pelaporan emisi
		Efisiensi alat pengendali	Data perusahaan/Data manufaktur
		Jenis Bahan bakar tiap sumber emisi (Natural Gas, LPG, Diesel, IDO/HSD, MFO, Batubara, Coke, Bricket, dsb)	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Pelaporan emisi
		Jumlah konsumsi bahan bakar tiap sumber emisi	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Pelaporan emisi
		Kandungan Sulfur dan Karbon bahan bakar	• Data perusahaan
		Waktu Operasi tiap sumber emisi	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Pelaporan emisi
		Data produksi per proses pada tiap fasilitas	• Data perusahaan

Sedangkan untuk Tier 3, perhitungan berdasarkan hasil pengukuran pencemar udara, waktu operasi dan data produksi sehingga data yang diperlukan sebagai berikut:

Tabel 9 Data Aktivitas yang dibutuhkan pada perhitungan Tier 3 Sektor Industri

No	Tier	Data Aktivitas	Perkiraan Sumber
2	Tier 3	Jenis sumber emisi pada kegiatan pembakaran dan proses (mis: Boiler, genset, turbin, heater, dsb)	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Pelaporan emisi
		Kapasitas tenaga sumber emisi (MW atau HP)	• Data PROPER
		Kode, Koordinat dan tahun operasi tiap sumber emisi	• Data perusahaan
		Waktu Operasi peralatan	• Data PROPER
		Konsentrasi pencemar (mg/m ³)	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Laporan Emisi
		Dimensi Cerebong	<ul style="list-style-type: none"> • Data PROPER • Laporan Emisi
		Laju alir (m/s)	• Laporan Emisi
		Persen Operasi (<i>Operation Load</i>)	• Data Perusahaan
		Data produksi per fasilitas	• Data perusahaan

Untuk perusahaan yang tidak terdapat di PROPER perlu disediakan suatu sistem/perangkat untuk pelaporan data-data diatas sehingga semua pengemisi di DKI Jakarta dapat tercakup.

3.9.2 Transportasi

Dari hasil hitungan dengan pendekatan Tier-1, Sektor transportasi merupakan kategori kunci dari emisi pencemar udara di DKI Jakarta terutama transportasi darat dimana kontribusi beban emisinya berada pada rentang 12%-98%. Kategori kunci memerlukan perhitungan dengan level yang lebih tinggi (Tier 2 dan Tier 3) sesuai dengan anjuran pedoman perhitungan beban emisi terutama untuk transportasi darat. Dalam mencapai perhitungan tersebut diperlukan data-data sebagai berikut:

Tabel 10 Data Aktivitas yang dibutuhkan pada perhitungan Tier 2 Sektor Transportasi Darat

Sektor	Tier	Data Aktivitas	Perkiraan Sumber
Transportasi Darat	2	Data jaringan jalan berupa <ol style="list-style-type: none"> 1. Posisi geografis (Koordinat jalan) 2. Panjang dan lebar jalan, 3. Fungsi jalan (tol, arteri, local, distributor), 4. Kecepatan rata-rata kendaraan per jenis kendaraan, 5. jumlah jalur yang masuk ke ajlan tersebut, 6. kemiringan jalan 	<ul style="list-style-type: none"> • Instansi terkait sektor transportasi atau lalu lintas • Survey lapangan
		Data kendaraan <ol style="list-style-type: none"> 1. Volume/Jumlah kendaraan lalu lintas pada setiap ruas jalan 2. Komposisi armada berupa Jenis kendaraan tahun pembuatan dan jenis bahan bakar yang digunakan per ruas jalan 3. Fuel Economy kendaraan 4. Alat Pengendali emisi Note : <ul style="list-style-type: none"> • Komposisi armada dapat diperoleh dari SAMSAT, Kepolisian daerah dan Dinas Pendapatan Daerah namun bisa juga dari survey lapangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Instansi terkait sektor transportasi atau lalu lintas atau Kementrian Lingkungan Hidup, Deputi Pengendalian Sumber Bergerak • Survey lapangan melalui Traffic Count • Literature review
		Data Kualitas Bahan Bakar berupa <ol style="list-style-type: none"> 1. Kandungan sulfur 2. Kandungan uap air Kandungan aromatic/alkohol	Data Pertamina

Adapun rumus yang dpat digunakan untuk perhitungan emisi Tier 2 ini menggunakan VKT (*Vehicle Kilometre travel*) berdasarkan data volume kendaraan dan ruas jalan seperti dibawah ini.

$$VKT_{j,line} = \sum_{i=1}^n Q_{ji} \times l_i$$

Dimana:

Q = volume kendaraan kategori *j* di ruas jalan *i* (jumlah kendaraan/waktu)

Li = Panjang jalan *i*

Untuk perhitungan emisi, digunakan rumus yang mengalikan nilai VKT dengan efisiensi peralatan pengendali emisi dan faktor emisi *default* dari pedoman seperti EMEP, AP-42 dan Kajian teknis dari Permenlh 12/2010.

Transportasi laut akan membutuhkan data sebagai berikut:

Tabel 11 Data Aktivitas yang dibutuhkan pada perhitungan Tier 2 Sektor Transportasi Laut

Sektor	Tier	Data Aktivitas	Perkiraan Sumber
Transportasi laut	2	1. Jenis Kapal (tanker, tug boat, vessel, container, kapal motor kecil dan lain-lain)	Instansi terkait transportasi laut
		2. Jumlah kapal yang datang, pergi dan singgah di Pelabuhan per jenis kapal	
		3. Jenis Bahan bakar yang digunakan	
		4. Panjang lintasan kapal di wilayah inventarisasi	
		5. Kapasitas mesin, kecepatan kapan	
		6. Konsumsi bahan bakar atau jarak tempuh (km) untuk kapal kecil	

Perhitungan beban emisi untuk Tier 2 memiliki pola yang sama dengan Tier 1 yaitu jumlah bahan bakar yang digunakan dikalikan dengan faktor emisi namun untuk Tier 2 perhitungan lebih mendetail pada emisi per jenis armada berdasarkan tipe mesin. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$E_{i,j,m} = FC_{i,j,m} \times EF_{i,j,m}$$

Dimana:

FC = jumlah bahan bakar (ton)

EF = Faktor emisi (kg/ton)

i = polutan yang dihasilkan

j = jenis mesin (slow/medium/high speed diesel, gas turbin, steam turbin)

m = jenis bahan bakar

Transportasi udara atau *aviation* membutuhkan data sebagai berikut untuk melakukan perhitungan dengan level tier yang lebih tinggi.

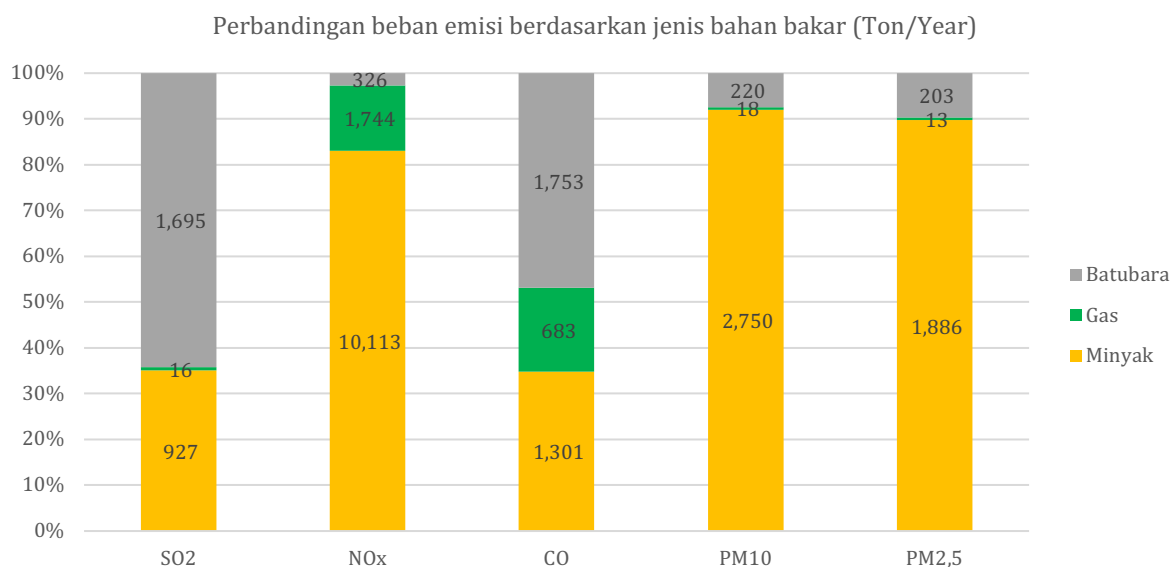
Tabel 12 Data Aktivitas yang dibutuhkan pada perhitungan Tier 2 Sektor Penerbangan

Sektor	Tier	Data Aktivitas	Perkiraan Sumber
Penerbangan	2	Penerbangan Komersial	Instansi terkait transportasi udara dan militer
		1. Jumlah bahan bakar per jenis pesawat dengan detail : a. Total bahan bakar untuk penerbangan b. Domestik c. Internasional	
		2. Jenis pesawat yang beroperasi (Airbus, Boeing, ATR, dsb)	
		3. Jumlah LTO per jenis pesawat untuk domestic dan internasional	
		4. Menghitung bahan bakar dari LTO dan CCD	
		Penerbangan Militer	
		1. Jumlah bahan bakar	
		2. Jumlah jam penerbangan per jenis pesawat tahun	

Perhitungan beban emisi dari transportasi udara dihitung berdasarkan konsumsi bahan bakar per jenis pesawat yang dibagi dalam dua aktivitas yaitu LTO (*Landing Take-Off*) dan CCD (*Climb Cruise and Decent*)

3.10 Penentuan Baku Mutu

Berdasarkan inventarisasi emisi pencemar udara diperoleh kontribusi Industri Energi dan Manufaktur signifikan terhadap pencemaran di DKI Jakarta dan dari tiga jenis bahan bakar yang dikonsumsi di sektor Industri diketahui bahwa batubara dan minyak kategori kunci terhadap pencemaran terutama SO₂, NO_x, CO dan PM₁₀ dan PM_{2,5}. Pengetatan baku mutu menjadi salah satu langkah dalam menurunkan beban pencemar di DKI Jakarta.



Gambar 45 Profil beban emisi berdasarkan penggunaan jenis bahan bakar Sektor Industri Manufaktur di DKI Jakarta

3.10.1 Emisi dari Bahan bakar jenis Batubara

Meskipun batubara memiliki jumlah konsumsi yang kecil (4%) namun beban emisi SO₂ dan CO yang dihasilkan cukup besar yaitu sebesar 64% dan 45% sehingga SO₂ perlu diperketat. Indikator pencemar CO untuk batubara tidak tersedia di bakumutu sehingga penambahan indikator CO untuk bahan batubara diregulasi menjadi penting mengingat nilainya cukup tinggi. Partikulat juga menghasilkan emisi yang cukup signifikan dari penggunaan batu bara yaitu sebesar 7,4% (PM₁₀) dan 9,7% (PM_{2,5}) sehingga pengetatan diperlukan.

3.10.2 Emisi dari Bahan bakar jenis Minyak

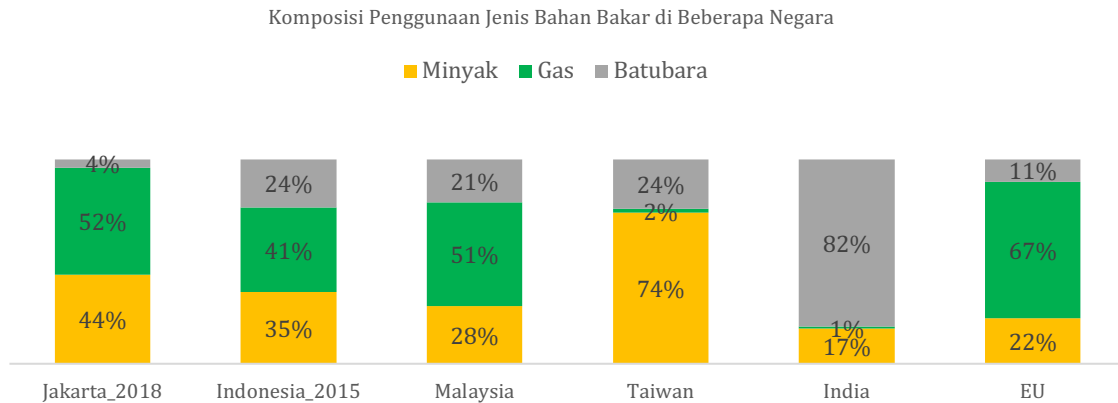
Di Sektor Industri, Jenis bahan bakar minyak paling besar menghasilkan beban emisi NO_x, PM₁₀ dan PM_{2,5} yaitu masing-masing sebesar 83%, 92% dan 89,7% sedangkan CO dan SO₂ masing-masing sebesar 34,8% dan 0,6%. Berdasarkan data tersebut, bahan bakar minyak perlu untuk dilakukan pengetatan baku mutu dalam rangka penurunan beban emisi pencemar NO_x, Partikulat dan CO. Bahan bakar minyak digunakan untuk peralatan seperti *boiler* atau ketel uap dan *generator set* (genset) sehingga perlu adanya pengetatan pada jenis peralatan ini dengan jenis bahan bakar minyak.

Baku mutu eksisting di DKI Jakarta untuk industri adalah Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 670 tahun 2000 yang mengatur industri seperti:

1. Industri Besi dan Baja
2. Industri Pembangkit Tenaga Uap (PLTU) untuk bahan bakar batubara
3. Industri yang menggunakan Tenaga Ketel Uap (Boiler)
4. Kegiatan lainnya yang tidak termasuk pada kegiatan diatas

3.10.1 Hasil Studi Baku Mutu Skala Nasional dan Regional

Berdasarkan pola konsumsi bahan bakar di sektor Industri diketahui bahwa negara yang memiliki kemiripan dengan DKI Jakarta dan Indonesia adalah Malaysia dan Taiwan, Malaysia menggunakan bahan bakar gas dengan proporsi sebesar 51% sedangkan Taiwan diketahui memiliki pola konsumsi bahan bakar jenis minyak sebesar 74%. Hal ini menjadi dasar bahwa bakumutu di kedua negara bisa menjadi rujukan.



Gambar 46 Profil penggunaan bahan bakar di sektor manufaktur di beberapa negara

Baku mutu regional berdasarkan pada kualitas bahan bakar dan teknologi pembakaran serta teknologi pengendalian pencemaran (BACT). Sebagai contoh, Malaysia melakukan pembatasan kadar kualitas bahan bakar dimana kadar sulfur untuk bahan bakar minyak yaitu dibawah 500 ppm dan batu bara dibawah 1%. Hal ini dapat menjadi rujukan, selain penetapan baku mutu, kebijakan untuk memperbaiki kualitas bahan bakar untuk keperluan industri juga perlu dilakukan.

Baku mutu nasional juga dijadikan sebagai rujukan karena pada beberapa bagian karena baku mutu nasional bernilai lebih rendah (ketat) daripada baku mutu eksisting yaitu Kepgub 607/2000 dan baku mutu regional sebagai contoh adalah baku mutu CO dari genset berbahan bakar minyak.

Adapun peraturan nasional yang dijadikan baku mutu adalah sebagai berikut:

1. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 7 tahun 2007 mengenai baku mutu ketel uap
2. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 15 tahun 2019 mengenai baku mutu sumber tidak bergerak dari kegiatan thermal termasuk pembangkit listrik dan generator
3. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 35 tahun 1995 tentang baku mutu emisi sumber tidak bergerak,

Hasil perbandingan terangkum dalam beberapa tabel dibawah sesuai dengan jenis peralatan, bahan bakar dan jenis industri mengikuti Kepgub DKI Jakarta No. 607/2000.

1. Industri Besi dan Baja

Tabel 13 Perbandingan baku mutu industri Besi dan Baja

No	Sumber Pencemar	Parameter	Standar untuk Industri Besi dan Baja(mg/m ³)				
			Kepgub*	Nasional**	Malaysia	Taiwan	Thailand
1	Penanganan Bahan Baku (Raw Material Handling)	Total Partikulat	150	600	50	100	120 (Plant Baru) 240 (Plant Eksisting)
2	Tanur Oksigen Basa (Basic Oxygen Furnace)	Total Partikulat	150	600	50		
3	Tanur Busur Listrik (Electric Arc Furnace)	Total Partikulat	150	600	50		
4	Dapur Pemanas (Reheating Furnace)	Total Partikulat	150	600	50		
5	Dapur Proses Pelunakan Baja (Annealing Furnace)	Total Partikulat	150	600	N/A		

*Keputusan Gubernur No, 670/2000

**Keputusan Menteri No,35/1995

Sesuai dengan perbandingan antar baku mutu dan kualitas bahan bakar, penggunaan baku mutu dari Keputusan Gubernur No. 670/2000 masih sesuai karena apabila dibandingkan dengan baku mutu nasional, baku mutu eksisting masih jauh lebih kecil 75% dari baku mutu nasional. Berdasarkan data yang diperoleh, DKI Jakarta terdapat 6 sumber emisi partikulat dari tanur industri besi dan baja dengan rentang emisi sebesar 2,68 mg/m³ hingga 38 mg/m³.

2. Industri Pembangkit Listrik

Tabel 14 Perbandingan baku mutu industri Energi (PLTGU)

Indikator	Jenis Bahan bakar	Standard Industri Energi (mg/m ³)					
		Kepgub DKI*	National**	Malaysia	Taiwan	Thailand	EU
SO ₂	Gas	750	150	10	262	157	N/A
	Liquid		650	-			
NO _x	Gas	850	400	150	282	376	50
	Liquid		450	200			
CO	Gas	N/A	N/A	100	2,290		50-120
	Liquid			100			
PM	Gas	150	30	5	50	60	5
	Liquid		100	-			

*Keputusan Gubernur No, 670/2000 tentang PLTU

**Permenlh 15/2019

Industri pembangkit listrik di DKI Jakarta telah melakukan konversi dari batubara menjadi gas sehingga baku mutu eksisting yaitu Kepgub No. 670/2000 sudah tidak sesuai. Penggunaan baku mutu nasional masih dapat diterima karena penggunaan bahan bakar jenis gas adalah bahan bakar bersih dan persentase hasil pemantauan dilapangan didapat bahwa konsentrasi emisi SO₂, NO_x dan PM 100% memenuhi baku nasional. Apabila dibandingkan dengan baku mutu dari Taiwan dan Malaysia maka diperoleh persentase jumlah sumber titik yang terdampak untuk NO_x sebesar 13-40%. Sedangkan untuk parameter lainnya seperti SO₂ dan PM diketahui bahwa 100% memenuhi baku mutu nasional namun baku mutu referensi yaitu Malaysia dan Taiwan tidak melakukan pemantauan untuk indikator tersebut di PLTGU.

3. Penggunaan Genset

Tabel 15 Perbandingan baku mutu *Generator Set* (Genset)

Indikator	Jenis Bahan Bakar	Standar untuk Genset (mg/m ³)					
		Kepgub	National**	Malaysia	India	Taiwan (g/kwh)	Korea (g/kWh)
SO ₂	Minyak	-	600	N/A			
	Gas		150	N/A			
NO _x	Minyak		1200 to 1400	600	1824	0,63 to 3,5	0,4
	Gas		320 to 400	600			
CO	Minyak		540 to 600	650	150	0,025 to 0,6	0,02 to 0,4
	Gas		250 to 600	650			
PM	Minyak		120	80	75	3,5 to 5,5	3,5 to 8
	Gas		50	80			

**Permenlh 15/2019

Baku mutu eksisting yaitu Kepgub 670/2000 belum memiliki baku mutu untuk genset. Apabila dibandingkan dengan jumlah genset di DKI Jakarta maka baku mutu genset perlu dicantumkan. Berdasarkan data, jumlah genset di DKI Jakarta sebanyak 182 unit genset dengan 157 unit genset berbahan bakar minyak dan 25 unit genset berbahan bakar gas.

Pada genset berbahan bakar minyak, dari laporan hasil pemantauan diperoleh bahwa terdapat beberapa sumber yang melebihi baku mutu untuk genset berbahan bakar minyak yaitu sebesar 1,4% (NO_x), 1,1% (PM), 6,5% (CO). Jika baku mutu diperketat, baku mutu referensi yang paling mungkin diikuti adalah Malaysia dengan indikator yang diikuti adalah NO_x dan PM. Hal ini dapat dilakukan karena pola penggunaan jenis bahan bakar yang hampir sama dengan DKI Jakarta serta dapat meningkatkan tingkat kompetisi ekonomi hijau.

Dampak dari pengetatan baku mutu adalah bertambahnya sumber emisi yang tidak memenuhi baku mutu dengan nilai estimasi sebesar 16,3% (NO_x), 7,2% (PM). SO₂ tidak diukur di peraturan referensi karena bahan bakar yang digunakan di negara tersebut memiliki sulfur yang cukup rendah (<500 ppm) sedangkan baku mutu CO nasional sudah ketat dari baku mutu referensi.

Genset dengan bahan bakar gas, baku mutu nasional sudah lebih ketat daripada baku mutu referensi yakni Malaysia sehingga mengikuti baku mutu permenlh 15/2019 sudah sesuai.

4. Penggunaan Boiler

Tabel 16 Perbandingan baku mutu Boiler

Indikator	Jenis Bahan Bakar	Standard untuk Boiler/Ketel Uap (mg/m ³)					
		Kepgub DKI	National	EU	Malaysia	Taiwan	Thailand
SO ₂	Coal	800	750	5 to 400	500	261 to 785	157 to 2486
	Oil		700		500		
	Gas		150		N/A		
NO _x	Coal	1000	825	5 to 450	500	282 to 940	376 to 752
	Oil		700		500		
	Gas		650		350		
CO	Coal	-	N/A	N/A	200	N/A	870 to 996
	Oil		N/A		200		
	Gas		N/A		50		
PM	Coal	230	230	5 to 50	50	50 to 100	240 to 320
	Oil		200		50		
	Gas		N/A		5		

Baku mutu untuk boiler di Kepgub 670/2000 tidak melihat jenis bahan bakar yang dikonsumsi. Berdasarkan data lapangan, jenis bahan bakar yang digunakan terbanyak adalah minyak sedangkan batubara meski nilai konsumsinya kecil namun hasil beban emisinya besar sehingga boiler bahan bakar batubara dan minyak perlu untuk diketatkan emisinya. Baku mutu Malaysia dapat dijadikan referensi mengingat pola penggunaan bahan bakar hampir sama

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode perhitungan emisi pencemar udara (JEI) menggunakan metode Tier 1 – Top Down berdasarkan ketersediaan data di lapangan.
2. Sumber emisi terbesar berasal dari jenis bahan bakar minyak dan batubara dengan indikator pencemar terbesar yaitu SO₂ dan CO dari batu bara serta NO_x dan Partikulat dari Minyak.

3. Pada umumnya, bahan bakar gas menghasilkan beban emisi lebih kecil dari jenis bahan bakar lainnya dimana proporsi beban emisi sebesar 0,06% untuk beban emisi BC; 0,6% untuk emisi SO₂, PM₁₀, PM_{2,5}; 14,32% untuk emisi NO_x, 18,28% untuk emisi CO. Emisi terbesar yang dihasilkan dari bahan bakar gas adalah NMVOCs yaitu sebesar 44,71%.
4. Proporsi konsumsi batubara kecil yaitu 4% di sektor manufaktur namun menghasilkan emisi SO₂ yang cukup signifikan sebesar 64%, CO 46,9%, NMVOCs 14,6%, PM_{2,5} 9,68% dan PM₁₀ sebesar 7,4%.
5. Sektor transportasi darat merupakan kontributor utama emisi NO_x, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, BC dan NMVOCs dimana proporsi kontribusi masing-masing sebesar 89%, 99,6%, 97,6%, 87,9%, 97,7% dan 99,82% sedangkan transport udara adalah SO₂ yaitu sebesar 57,6%.
6. Transport adalah kategori kunci untuk semua indikator kecuali SO₂, sesuai pedoman perhitungan inventarisasi emisi disarankan melaksanakan perhitungan dengan tier yang lebih tinggi (2 dan 3) dimana perhitungan berdasarkan jarak tempuh.
7. Perhitungan untuk Tier 2 atau Tier 3 perlu dilakukan di sektor transportasi, mengingat industri manufaktur dan industri energi adalah kategori kunci.
8. Menuju ke perhitungan dengan Tier yang tinggi diperlukan data aktivitas yang detail dengan metode *bottom up*, Saat ini data *bottom up* diperoleh dari kegiatan PROPER, namun belum merepresentasikan semua industri yang ada di DKI Jakarta sehingga diperlukan mekanisme pengumpulan data inventarisasi bagi kegiatan-kegiatan non-PROPER.
9. Sektor konstruksi memberikan dampak pada emisi *Total Suspended Solid* (TSP), PM₁₀ dan PM_{2,5} di DKI Jakarta dengan kontribusi mencapai hingga 40%, Perbaikan data untuk konstruksi diperlukan mengingat beban emisi partikulat cukup signifikan.
10. Selain dari sumber primer, terdapat potensi PM_{2,5} sekunder dari mekanisme *Long Range Transport* partikulat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Vital Strategies mengenai *Source Apportionment* dimana *secondary aerosol* memberikan dampak sebesar 7-14% terhadap kualitas udara di DKI Jakarta melalui mekanisme pengukuran dari substrat ion nitrat, sulfat dan ammonium.
11. Penggunaan alat pengendali polusi udara di Industri sudah mencapai 47% di tahun 2019.
12. Pengetatan baku mutu emisi di DKI Jakarta diperlukan terutama pada kegiatan yang menggunakan bahan bakar batubara dan minyak untuk semua indikator.
13. Pengetatan dapat merujuk pada peraturan Nasional dan Regional seperti Malaysia dan Taiwan dengan melihat pola konsumsi jenis bahan bakar, kualitas bahan bakar dan BACT.

Daftar Pustaka

- Air Quality Life Index (AQLI), 2019. Indonesia's Worsening Air Quality and its Impact on Life Expectancy, EPIC and The University of Chicago.
- Asian Development Bank, 2002. Study on Air Quality in Jakarta, Indonesia, Jakarta
- Cheewaphongphan, P., Junpe, A., Garivait, S., Chatani, S., 2017. Emission Inventory of On-Road Transport in Bangkok Metropolitan Region (BMR) Development during 2007 to 2015 using the GAINS Model, Atmosphere MDPI. www.mdpi.com/journal/atmosphere
- Baek, B.H., Aneja, V.P., 2005. Observation based analysis for the determination of equilibrium time constant between ammonia, acid gases, and fine particles. International Journal of Environment 23(3) :239-247
- Baek, B.H., Aneja, V.P., Tong Q., 2005. Chemical coupling between ammonia, acid gases, and fine particles. Environmental Pollution 129: 89-98
- Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas (BPH Migas), 2020. Data Realisasi Penyaluran BBM Provinsi DKI Jakarta, Indonesia
- Badan Pusat Statistik, 2020. DKI Jakarta Dalam Angka, Jakarta, Indonesia
- Breathe Easy, US EPA, 2017. Factsheet: Jakarta Emission Inventory – Developing An Emissions Inventory for DKI Jakarta,
- Buanawati, T., T., Huboyo, H., S., Samadikun, B., P., 2017. Estimasi Emisi Pencemar Udara Konevensional (SO_x, NO_x, CO, PM) Kendaraan Pribadi Berdasarkan Metode International Vehicle Emission (IVE) di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang, Electronic Jurnal Teknik Lingkungan Universitas Dipenogoro: Vol.6, No. 3
- Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta, 2019, Inventarisasi dan Penyusunan Profil Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi DKI Jakarta.
- Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta, 2018, Inventarisasi dan Penyusunan Profil Emisi Gas Rumah Kaca Provinsi DKI Jakarta.
- European Environmental Agency, 2019. European Monitoring and Evaluation Program (EMEP) air pollution inventory guidebook 2019, Luxembourg, ISSN 1977-8449.
- GAIKINDO, 2015. Mengenal Standar Emisi Euro, <https://www.gaikindo.or.id/mengenal-standar-emisi-euro-bag-1/>
- Guevara, M., 2016. Airborne Particulate Matter: Sources, Atmospheric Processes and Health, Chapter 1: Emission of Primary Particulate, pp.1-34, Royal Society of Chemistry, 10.1039/9781782626589-00001.
- Harrop, D. O., 2002. Air quality assessment and management: A practical guide. London: Spon press.
- IPCC, 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol.2 Energy, Japan, ISBN 4-88788-032-4

- Kementrian Lingkungan Hidup, 2013. Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan, ASEAN-GIZ, Jakarta
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016. Panduan Pengisian Inventarisasi Emisi Online, Jakarta, Indonesia.
- Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020, Laporan PROPER 2017-2019, DKI Jakarta
- Klimont, Z., 2017. Global anthropogenic emissions of particulate matter including black carbon, Atmospheric Chemistry Physics: 17, 8681-8723
- Lestari,P., Damayanti, S., Arrohman, M.K., 2020. Emission Inventory of Pollutants (CO, SO₂, PM_{2.5} and NO_x) in Jakarta Indonesia, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 489 012014
- Mukhtar,R., Aprishanty,R., Fauzy,R., 2018. Perhitungan Indeks Kualitas Udara di DKI Jakarta Menggunakan Berbagai Baku Mutu, Ecolab: Vol.12 No.1: 1-52.
- National Atmospheric Emissions Inventory, 1999. Non-Methane Volatile Organics Compounds, [NON-METHANE VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS \(defra.gov.uk\)](https://defra.gov.uk/non-methane-volatile-organic-compounds)
- Pathak, R., K., Wu, W., S., Wang, T., 2009. Summertime PM_{2.5} ionic species in four major cities of China: nitrate formation in an ammonia-deficient atmosphere, Atmospheric Chemistry and Physics: Vol. 9, Issue 5, 1711-1722.
- Pemerintah DKI Jakarta, 2014. Peraturan Daerah No. 1 Tahun 2014 tentang Rencana Detail Tata Ruang dan Peraturan Zonasi, Sekretaris Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta
- Pemerintah DKI Jakarta, 2000. Surat Keputusan Gubernur No. 670 Tahun 2000 tentang Penetapan Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak di Propinsi DKI Jakarta, Sekretaris Daerah Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta
- Pemerintah Republik Indonesia, 2019. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 15 tahun 2019 tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Thermal, Kementrian Lingkungan Hidup dan Kehutanan: Jakarta
- Pemerintah Republik Indonesia, 2010. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara, Kementrian Lingkungan Hidup: Jakarta
- Pemerintah Republik Indonesia, 2019. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003 tentang Ambang batas emisi Gas Buang Kendaraan bermotor Tipe Baru, Kementrian Lingkungan Hidup: Jakarta
- Permadi, D., A., Dirgawati, M., Ghani, A., Junaidi, E., Hermawan, W., 2020. Preliminary Estimation on Air Pollution Load over Bogor City Towards Developments of Clean Air Action Plan, Ecolab: Vol.14 No.1: 53-62.
- Pertamina, 2020. Spesifikasi Produk Bahan Bakar, <https://www.pertamina.com/id/fuel-retail>
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N., 1997. Atmospheric chemistry and physics from air pollution to climate change, 1st Edition; November, John Wiley & Sons.

- Tang, I.N., Munkelwitz, H.R., 1993. Composition and temperature dependence of the deliquescence properties of hygroscopic aerosols. *Atmospheric Environment* 27, 467-473
- Toyota Clean Air Program and Vital Strategies, 2019, Main Sources of Air Pollution in DKI Jakarta, Jakarta Indonesia.
- Wang, X., Wang, W., Yang, L., Gao, X., Nie, W., Yu, Y., Xu, P., Zhou, Y., Wang, X., 2012. The secondary formation of inorganic aerosol in the droplet mode through heterogeneous aqueous reactions under haze conditions, *Atmospheric Environment*: 63: 68-76
- Warta Kerajaan Persekutuan Malaysia, 2014. Environmental Quality (Clean Air) Regulations 2014, Jabatan Peguam Negara.
- Wexler, A.S., Seinfeld, J.H., 1991. Second-generation inorganic aerosol model. *Atmospheric Environment* 25, 2731-2748.
- Stockwell, W. R., Kuhns, H., Etyemezian, V., Green, M. C., Chow, J. C., and Watson, J. G., 2003. The Treasure Valley secondary aerosol study II: modeling of the formation of inorganic secondary aerosols and precursors for Southwestern Idaho, *Atmos. Environ.*, 37, 525–534
- Squizzato, S., Masion, M., Brunelli, A., Pistollato, S., Tarabotti, E., Rampazzo, G., Pavoni, B., 2013, Factors determining the formation of secondary inorganic aerosol: a case study in the Po Valley (Italy), *Atmospheric Chemistry and Physics*: Vol. 13, 1927-1939