PENGARUH EMISI DARI KEGIATAN INDUSTRI MANUFAKTUR TERHADAP KUALITAS UDARA ($PM_{2.5}$, PM_{10}, *BLACK CARBON* DAN *ORGANIC CARBON*) DI KOTA TANGERANG

THE INFLUENCE OF EMISSIONS FROM MANUFACTURING INDUSTRY ACTIVITIES ON AIR QUALITY ($PM_{2.5}$, PM_{10}, BLACK CARBON AND ORGANIC CARBON) IN TANGERANG CITY

Achmad Sandy Pratama[1] dan Didin Agustian Permadi[1]

[1]Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan perencanaan, Institut Teknologi Nasional, Jl. Khp Hasan Mustopa No.23, Neglasari, Kec. Cibeunying Kaler, Kota Bandung, Jawa Barat 40124, Indonesia

E-mail: achmadsandy276@gmail.com

ABSTRAK

Industri manufaktur memiliki potensi untuk menghasilkan emisi melalui tahap produksinya yang memanfaatkan energi dari bahan bakar fosil. Besarnya jumlah polutan yang terkeluarkan dari lingkungan industri juga dapat bervariasi tergantung pada jenis dan kapasitas bahan bakar yang dipakai, serta tinggi rendahnya cerobong asap yang diterapkan oleh pabrik tersebut. Penelitian ini menyajikan inventarisasi emisi partikulat $PM_{2.5}$, PM_{10}, Black Carbon, dan Organic Carbon dari sektor industri manufaktur di Kota Tangerang pada tahun 2022. Menggunakan alat analisis ABC-EIM, penelitian ini berfokus pada sumber konsumsi bahan bakar, point source, dan proses produksi industri manufaktur. Hasil menunjukkan beban emisi partikulat yang signifikan dari sumber konsumsi bahan bakar dan proses produksi logam. Total beban emisi point source adalah sebesar 62 ton/tahun. Kemudia hasil pemodelan AERMOD pada pola penyebaran emisi di sekitar kawasan industri manufaktur dengan kontribusi konsentrasi partikulat sebesar 3% ($PM_{2.5}$) dan 16% (PM_{10}) oleh industri manufaktur terdekat dengan stasiun pemantauan Tangerang Pasirjaya.

Kata kunci: Inventarisasi emisi, Beban emisi, Industri Manufaktur.

ABSTRACT

The manufacturing industry has the potential to produce emissions through its production stage which utilizes energy from fossil fuels. The amount of pollutants emitted from industrial environments can also vary depending on the type and capacity of fuel used, as well as the height and low chimneys used by the factory. This research presents an inventory of particulate emissions $PM_{2.5}$, PM_{10}, Black Carbon, and Organic Carbon from the manufacturing industrial sector in Tangerang City in 2022. Using the ABC-EIM analysis tool, this research focuses on fuel consumption sources, point sources, and manufacturing industrial production processes. Results show significant particulate emission loads from fuel consumption sources and metal production processes. The total point source emission load is 62 tons/year. Then the AERMOD modeling results show the pattern of emission distribution around the manufacturing industrial area with a particulate concentration contribution of 3% ($PM_{2.5}$) and 16% (PM_{10}) by the manufacturing industry closest to the Tangerang Pasirjaya monitoring station.

Keywords: Emission Inventory, Emission Burden, Manufacturing Industry.

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara yang disebabkan oleh aktivitas manusia adalah sumber utama pencemar yang umum terjadi, terutama di kota-kota besar. Faktor-faktor seperti pertumbuhan penduduk yang cepat, volume tinggi kendaraan bermotor, dan kegiatan industri menjadi penyebab utama dari pencemaran udara. Meskipun sektor industri memiliki peran yang krusial dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, namun sekaligus juga memberikan dampak negatif terhadap kualitas udara (Simandjuntak, 2013). Industri manufaktur merupakan sumber polusi udara tidak bergerak dan memiliki dampak besar terhadap buruknya kualitas udara di wilayah perkotaan. Sektor industri manufaktur berpotensi menyumbang emisi melalui proses produksi yang menggunakan energi dari bahan bakar fosil dan penggunaan bahan kimia tertentu yang menghasilkan polutan (Frianto dkk., 2023). Polusi yang berasal dari sektor industri memiliki potensi bahaya yang signifikan terhadap kesehatan manusia, termasuk berbagai jenis polutan udara seperti $PM_{2.5}$, PM_{10}, *Black Carbon* (BC), dan *Organic Carbon* (OC) (Fedora dan Ariaji, 2022). Dampak kesehatan ini terutama mengenai fungsi organ tubuh seperti paru-paru dan pembuluh darah, atau dapat menimbulkan iritasi pada mata dan kulit. Polusi udara yang disebabkan oleh partikel debu seringkali menjadi penyebab penyakit pernapasan kronis, termasuk bronkitis kronis, asma bronkial, dan bahkan kanker paru-paru (Ratnani, 2008).

Wilayah Kota Tangerang merupakan kota metropolitan yang terletak di Provinsi Banten, memiliki luas wilayah sebesar 164,55 km^2 dan jumlah penduduk sebanyak 1.930.556 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2023). Wilayah ini mengalami pertumbuhan pesat dalam hal jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi. Menurut data dari Badan Pusat Statistik pada tahun 2020, laju pertumbuhan ekonomi di Kota Tangerang mencapai 6,92%, angka yang signifikan dibandingkan dengan kota-kota lain di Provinsi Banten. Sementara itu, laju pertumbuhan penduduk mencapai 1,05% per tahun, dengan kepadatan penduduk tertinggi di Provinsi Banten, mencapai 10.825 km^2 pada tahun 2023 (Badan Pusat Statistik, 2023). Kedua faktor ini berpotensi meningkatkan emisi pencemar udara di wilayah tersebut. Dalam mengatasi masalah kualitas udara dan dampak kesehatan yang berkaitan dengan emisi partikulat, diperlukan informasi yang akurat tentang sumber dan jumlah emisi dari sektor industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang. Inventarisasi emisi adalah langkah awal yang penting dalam merumuskan strategi pengurangan emisi.

Inventarisasi emisi berperan sebagai dasar untuk merumuskan strategi, menilai tingkat kualitas udara yang terkait dengan standar yang telah ditetapkan oleh pemerintah, serta memberikan pertimbangan untuk perubahan strategi yang diperlukan. Dalam penelitian ini, *Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual* (ABC-EIM) digunakan untuk mencatat emisi partikulat yang berasal dari sektor industri manufaktur di Kota Tangerang. ABC-EIM dipakai sebagai alat dalam mengumpulkan dan menganalisis data emisi partikulat dari berbagai sumber, termasuk industri. Alasan menggunakan ABC-EIM pada penelitian ini, karena memberikan panduan yang komprehensif untuk menginventarisasi emisi partikulat dan mudah digunakan. Dalam mengetahui persebaran konsentrasi partikulat, penelitian ini menggunakan pemodelan AERMOD (*Atmospheric Dispersion Model*), sebagai alat yang efektif untuk memodelkan dispersi kualitas udara dari sektor industri manufaktur. AERMOD digunakan untuk mengidentifikasi pola penyebaran konsentrasi partikulat di wilayah sekitar industri manufaktur di Kota Tangerang dan mengetahui kontribusi konsentrasi partikulat yang dihasilkannya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengukur beban emisi partikulat $PM_{2.5}$, PM_{10}, BC dan OC yang dihasilkan oleh sektor industri manufaktur di Kota Tangerang dan mengidentifikasi persebaran kontribusi konsentrasi partikulat terhadap kualitas udara. Oleh karena itu, diharapkan bahwa hasil dari penelitian ini akan meningkatkan pemahaman terhadap permasalahan emisi pada sektor industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang dan menjadi dasar untuk merumuskan strategi yang lebih efektif dalam mengurangi emisi tersebut.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode inventarisasi emisi berdasarkan *Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual* (ABC-EIM) untuk mengumpulkan dan menganalisis data emisi partikulat dari sektor industri manufaktur di Kota Tangerang. ABC-EIM memberikan metode yang sesuai dengan tujuan penelitian ini, seperti menilai kontribusi emisi partikulat dari sektor industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang. Penelitian dimulai dengan mengidentifikasi sumber-sumber emisi partikulat ($PM_{2.5}$, PM_{10}, *Black Carbon*, dan *Organic Carbon*) yang berasal dari sektor industri manufaktur di Kota Tangerang. Sumber-sumber ini mencakup konsumsi bahan bakar, *point* source dan proses produksi dari Industri manufaktur. Pembuatan sebaran konsentrasi partikulat pada industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang menggunakan pemodelan AERMOD. Model AERMOD digunakan untuk memprediksi konsentrasi maksimum polutan selama periode 1 (satu) tahun. Kemudian dicari persentase kontribusi konsentrasi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} dari hasil pemodelan AERMOD dengan hasil pengukuran stasiun pemantauan kualitas udara Tangerang Pasirjaya.

2.1 Beban Emisi Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar yang berasal dari industri manufaktur umumnya menghasilkan bahan bakar seperti batu bara, LPG (Liquefied petroleum gas), gas alam, bensin, dan solar, dimana hasil pembakaran tersebut dapat menghasilkan partikulat berbahaya. Rumus penghitungan beban emisi yang berkaitan dengan proses industri dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Agustina, 2009):

$$Emi,j = \Sigma_j ARi,j \times EFi,_j \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

Dimana:
i, j = Polutan i dan proses j
Emi,j = Emisi polutan i dari proses j (Ton/Tahun)
ARi,j = Laju aktivitas terkait emisi polutan i dan proses j (Kg/Tahun)
EFi,j = Faktor emisi khusus untuk polutan i dan proses (Kg/Terajoule).
Faktor emisi merupakan faktor untuk memperkirakan besarnya emisi dari satu sumber polusi udara. Faktor ini merupakan nilai rata-rata yang didasarkan pada data yang tersedia yang menggambarkan kualitas udara [1]. faktor emisi yang digunakan dalam panduan ini adalah pendekatan sederhana, berdasarkan pada tingkat aktivitas dan faktor emisi.

Tabel 1. Faktor Emisi Pembakaran Bahan Bakar Industri Manufaktur

No	Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/Tj)			
		$PM_{2.5}$	**PM_{10}**	**BC**	**OC**
1	Batu Bara	438	438	1,3	1

2	Gas Alam	0,04	0,04	0,002	0,02
3	LPG	0	0	0	0
4	Bensin	23	22,9	0,44	5,35
5	Solar	3	3,3	3,9	0
6	Kayu Bakar	120	146	9,6	25,2

Sumber: Shrestha dkk (2013)

Perhitungan awal emisi berdasarkan data konsumsi bahan bakar pada sektor industri manufaktur melibatkan mengubah data konsumsi bahan bakar per jenis bahan bakar menjadi satuan energi. Proses konversi ini melibatkan perkalian antara jumlah konsumsi bahan bakar dengan *Net Calorific Value* (NCV). NCV mengacu pada jumlah energi yang dapat dihasilkan berdasarkan jumlah serat yang dikonsumsi. Menurut Asosiasi Energi Internasional, "nilai kalor bersih suatu bahan bakar" didefinisikan sebagai total panas yang dihasilkan dari pembakaran, dikurangi panas yang diperlukan untuk menguapkan air dalam bahan bakar atau yang dihasilkan selama proses pembakaran.

Tabel 2. *Net Calorific Value* untuk Pembakaran Bidang Manufaktur

Jenis Bahan Bakar	**Faktor Emisi (Terajoule/Ton)**				
	Iron and Steel	**Non-ferrous Metal**	**Chemical**	**Pulp and Paper**	**Other**
Batu Bara	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251
Gas Alam	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051
LPG	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
Bensin	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
Solar	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
Kayu Bakar	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015

Sumber: Shrestha dkk (2013)

2.2 Beban Emisi *Point Source*

Pada sektor industri, partikulat juga bersumber dari aktivitas *point source* industri yang dihasilkan. Industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang memiliki berbagai tipe *point source*, termasuk *incinerator*, boiler, genset, dan lainnya. Perhitungan beban emisi yang berhubungan langsung dengan data aktivitas *point source* industri manufaktur dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E = C \times Q \times 0{,}0036 \times [\text{OP Hours}] \quad \text{…….(2.2)}$$

Dimana:

E = Laju emisi pencemar (kg/tahun)
C = Konsentrasi terukur (mg/Nm^3)
Q = Laju alir emisi (gas buang) volumetric (m^3/detik)
0,0036 = Faktor konversi dari mg/s ke kg/jam
Op Hours = Jam operasi pembangkit selama 1 (satu) tahun

2.3 Beban Emisi Proses Produksi

Sektor ini mencakup emisi hasil pembakaran yang bukan berasal dari bahan bakar pada industri manufaktur, serta melibatkan beberapa proses tertentu, terutama pada kegiatan produksi logam seperti proses peleburan dan sejenisnya. Rumus penghitungan beban emisi yang berkaitan dengan proses produksi industri manufaktur dapat menggunakan rumus sebagai berikut (Shrestha dkk., 2013):

$$Em_{i,j} = \Sigma_j AR_{i,j} \times EF_{i,j} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana:
i,j = Polutan $_i$ dan proses $_j$
EM $_{i,j}$ = Emisi polutan $_i$ dari proses $_j$ (Ton/Tahun)
AR $_{i,j}$ = Laju aktivitas berhubungan dengan emisi polutan $_i$ proses $_j$ (Kiloton/Tahun)
EF $_{i,j}$ = Faktor emisi khusus untuk polutan $_i$ proses $_j$ (Kg/Ton)
faktor emisi yang digunakan dalam proses produksi ini adalah berdasarkan pada tingkat aktivitas dan faktor emisi.

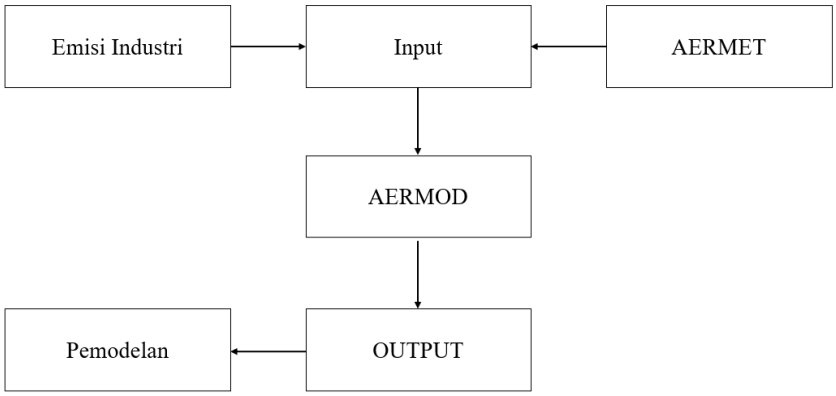
Tabel 3. Faktor Emisi Proses Produksi Industri Manufaktur Sektor Metal Production

No	Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg/Ton)			
		$PM_{2.5}$	**PM_{10}**	**BC**	**OC**
1	Pig Iron Production	0,04	0,05	0,019	O
2	Aluminium Production	8,46	11,9	0,013	0,014

Sumber: Shrestha dkk (2013)

2.4 Persebaran Konsentrasi Partikulat pada Industri Manufaktur

Pembuatan sebaran konsentrasi partikulat pada industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang menggunakan pemodelan AERMOD. Model AERMOD digunakan untuk memprediksi konsentrasi maksimum polutan selama periode 1 (satu) tahun. Kemudian dicari persentase kontribusi konsentrasi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} dari hasil pemodelan AERMOD dengan hasil pengukuran stasiun pemantauan kualitas udara Tangerang Pasirjaya. Hasil nilai konsentrasi tersebut, digunakan untuk mengetahui besarnya kontribusi konsentrasi partikulat terhadap kualitas udara dari aktivitas industri manufaktur yang dihasilkan di wilayah yang terdekat dengan stasiun pemantauan.



Gambar. 1 Alur Pembuatan Model Dispersi AERMOD
Sumber: Pengolahan Data (2024)

Dalam pembuatan model dispersi AERMOD, dibutuhkan data emisi industri manufaktur dan beberapa informasi terkait permukaan, seperti tingkat kekasaran, kelembaban, dan reflektivitas. Komponen utama dari model AERMOD terdiri dari AERMOD sendiri sebagai model inti, dan AERMET sebagai prosesor meteorologi. Fungsi AERMET adalah untuk menyajikan data meteorologi seperti kecepatan dan arah angin, suhu, tutupan awan, dan informasi permukaan seperti *Albedo*, tingkat kekasaran permukaan, dan rasio Bowen (Cimorelli, 2005). Setelah data terkumpul, kemudian input kedalam *software* AERMOD untuk mendapatkan persebaran konsetrasi $PM_{2.5}$, PM_{10}, *Black Carbon* dan *Organic Carbon*, oleh aktivitas industri manufaktur di Kota Tangerang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Evaluasi Beban Emisi Konsumsi Bahan Bakar

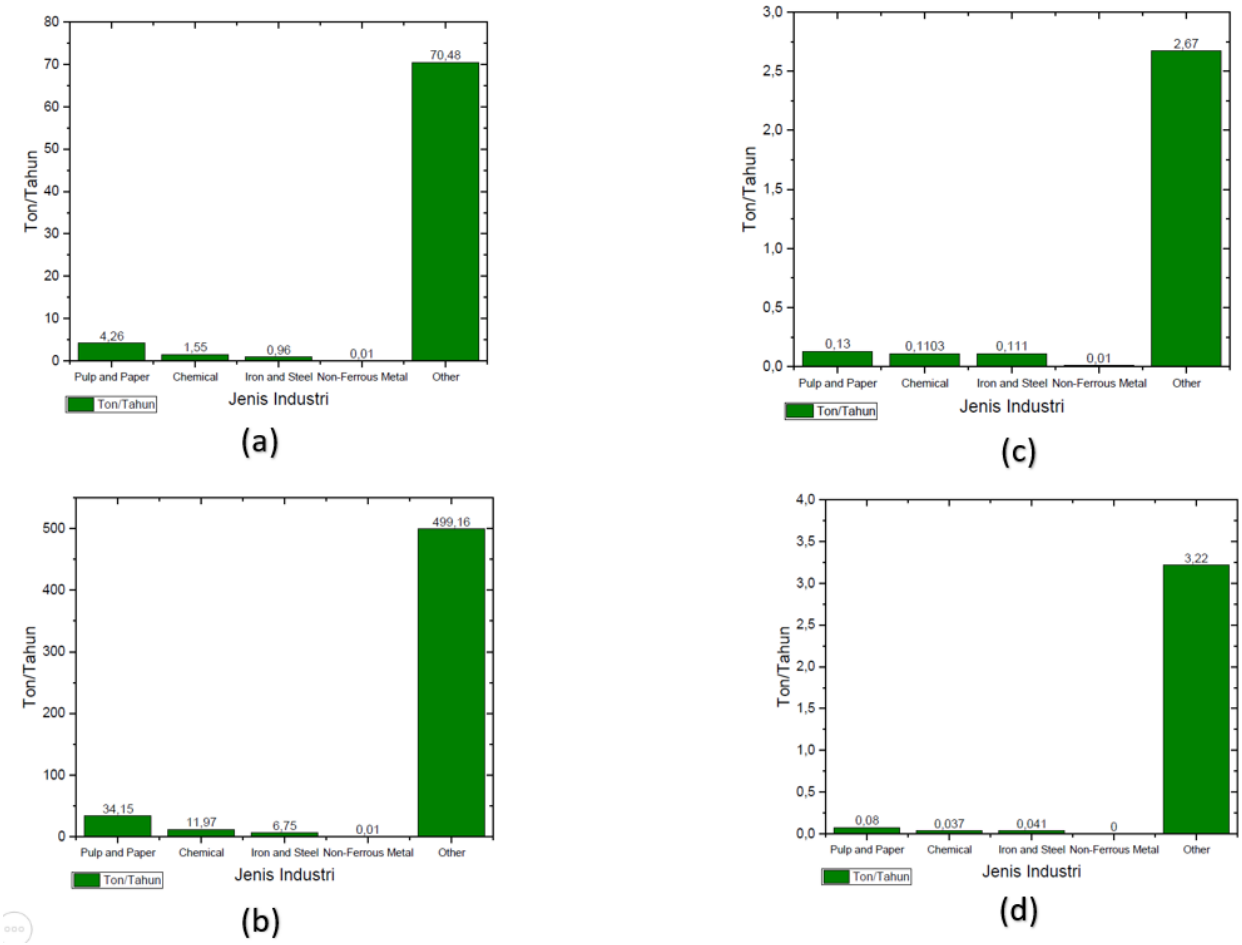
Data yang telah dikumpulkan digunakan untuk mengklasifikasikan jenis industri pada sektor manufaktur, dalam hal ini mengklasifikasikan industri manufaktur ke dalam kategori-kategori tertentu, untuk memahami distribusi dan kontribusi dari masing-masing sektor terhadap total industri. Hasil klasifikasi jenis industri menunjukkan jumlah unit industri manufaktur dalam masing-masing kategori, pengklasifikasian ini merujuk pada kode Klasifikasi Baku Lapangan Usaha Indonesia (KBLI). Data yang diambil untuk dianalisis berdasakan *Atmospheric Brown Clouds Emission Inventory Manual* (ABC-EIM), mencangkup lima kategori, yaitu *pulp and paper, chemical, iron and steel, non-ferrous metal,* dan kategori ″other". Setiap kategori mencakup industri dengan proses produksi yang memiliki kesamaan karakteristik tertentu dan tiap kategori memberikan gambaran industri yang memiliki karakteristik serupa dan efektif dalam mengidentifikasi sumber emisi dan potensi dampaknya.

Tabel 4. Emisi Industri Manufaktur per Jenis Bahan Bakar di Kota Tangerang

No.	Jenis Industri	Beban Emisi $PM_{2.5}$ (Ton/Tahun)						
		Batu bara	**Bensin**	**Solar**	**Gas Alam**	**LPG**	**Kayu Bakar**	**Total**
1	Pulp and Paper	4,22	0,01	0,02	0	0	0,01	4,26
2	Chemical	1,47	0,02	0,06	0,1	0	0	1,55
3	Iron and Steel	0,82	0,07	0,07	0	0	0	0,96
4	Non-Ferrous Metal	0	0	0,01	0	0	0	0,01
5	Other	60,24	0,18	0,34	0,08	0	9,64	70
	Total							**77**
No.	**Jenis Industri**	**Beban Emisi PM_{10} (Ton/Tahun)**						
		Batu Bara	**Bensin**	**Solar**	**Gas Alam**	**LPG**	**Kayu Bakar**	**Total**
1	Pulp and Paper	34,10	0,01	0,03	0	0	0,01	34,15
2	Chemical	11,88	0,02	0,06	0,01	0	0	11,97
3	Iron and Steel	6,6	0,07	0,08	0	0	0	6,75
4	Non-Ferrous Metal	0	0	0,01	0	0	0	0,01
5	Other	486,79	0,18	0,38	0,08	0	11,73	499
	Total							**552**
No	**Jenis Industri**	**Beban Emisi *Black Carbon* (Ton/Tahun)**						
		Batu Bara	**Bensin**	**Solar**	**Gas Alam**	**LPG**	**Kayu Bakar**	**Total**
1	Pulp and Paper	0,1	0,0002	0,03	0	0	0	0,13
2	Chemical	0,04	0,0003	0,07	0	0	0	0,1103
3	Iron and Steel	0,02	0,001	0,09	0	0	0	0,111
4	Non-Ferrous Metal	0	0	0,01	0	0	0	0,01
5	Other	1,44	0,004	0,45	0	0	0,77	2,67
	Total							**3,04**
No	**Jenis Industri**	**Beban Emisi *Organic Carbon* (Ton/Tahun)**						
		Batu Bara	**Bensin**	**Solar**	**Gas Alam**	**LPG**	**Kayu Bakar**	**Total**
1	Pulp and Paper	0,08	0,003	0,07	0,0004	0	0,002	0,08
2	Chemical	0,03	0,004	0	0,003	0	0	0,037
3	Iron and Steel	0,02	0,02	0	0,001	0	0	0,041
4	Non-Ferrous Metal	0	0	0	0	0	0	0
5	Other	1,11	0,04	0	0,04	0	2,02	3,22
	Total							**3,38**

Sumber: DLH Kota Tangerang (2022)

Bahan bakar yang digunakan industri manufaktur di Kota Tangerang berdasarkan jenis industri yang berbeda-beda seperti *chemical, iron and steel, non-ferrous metals, pulp and paper* menggunakan bahan bakar batu bara, bensin, solar, gas alam, *liquified petroleum gas* (LPG), dan kayu bakar. Perhitungan beban emisi $PM_{2.5}$ dari konsumsi bahan bakar industri manufaktur didasarkan pada perkalian dari laju konsumsi total dengan faktor emisi bahan bakar.



Gambar. 2: (a) Beban Emisi $PM_{2.5}$; (b) Beban Emisi PM_{10}; (c) Beban Emisi *Black Carbon*; (d) Beban Emisi *Organic Carbon*

Sumber: DLH Kota Tangerang (2022)

Berdasarkan hasil inventarisasi emisi partikulat $PM_{2.5}$, PM_{10}, *Black Carbon*, dan *Organic Carbon* dari sektor industri manufaktur di Kota Tangerang, terdapat perbedaan beban emisi antara jenis industri. Secara umum, sektor pada kategori "Other" memiliki kontribusi beban emisi tertinggi untuk semua jenis partikulat. Kategori "Other" melibatkan berbagai jenis industri, seperti makanan, minuman, tekstil, pakaian jadi, kulit, komputer, peralatan listrik, kendaraan bermotor, dan jenis indusri lainnya. Total keseluruhan beban emisi $PM_{2.5}$ sebesar 77 ton/tahun dan PM_{10} sebesar 552 ton/tahun. Penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi dalam proses pembakaran pada boiler juga dapat menghasilkan partikel dan PM_{10}. Partikulat PM_{10} dapat berdampak terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan. PM_{10} dapat terserap ke dalam tubuh manusia melalui setiap napas. Partikel ini memiliki dampak fisik langsung di paru-paru dan dapat diserap ke dalam darah. Paparan ini lebih mungkin terjadi di daerah perkotaan dan industri (Maziya. 2020). Kemudian pada parameter *Black Carbon* menyumbang emisi sebesar 3,04 ton/tahun dan *Organic Carbon* sebesar 3,38 ton/tahun. BC (Black Carbon) adalah hasil dari pembakaran bahan bakar yang mengandung karbon, seperti bahan bakar fosil dan biomassa, dan merupakan penyebab utama pemanasan global (Bond dkk., 2013). Sedangkan OC (Organic Carbon) sumber utama dapat berasal dari pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, solar, bensin, minyak,

dan gas alam, serta pembakaran biomassa seperti jerami tanaman dan kayu. *Organic Carbon* (OC) dalam partikel materi (PM) memiliki peran yang signifikan terkait dengan efek perubahan iklim global, serta dampak kesehatan manusia (Cui dkk., 2017).

Jenis industri seperti *Pulp and Paper*, *Chemical*, *Iron and Steel*, dan *Non-Ferrous Metal* juga memberikan kontribusi emisi, namun dalam proporsi yang lebih rendah dibandingkan pada kategori "Other". Jenis industri tertentu seperti *Pulp and Paper* menunjukkan kontribusi yang signifikan terutama pada emisi PM_{10}. Industri *pulp dan paper* menggunakan boiler sebagai sarana untuk menghasilkan uap dan energi listrik yang diperlukan dalam proses pembuatan *pulp dan paper* (Bhander dan Jozewicz, 2017). Kemudian Chemical memiliki kontribusi yang cukup besar pada emisi lainnya. Hasil ini memberikan gambaran yang berguna untuk merumuskan strategi pengurangan emisi yang lebih spesifik dan efektif, serta memberikan pemahaman lebih mendalam terhadap sumber pencemaran udara di wilayah industri Kota Tangerang. Penting menerapkan langkah-langkah pengendalian emisi seperti penggunaan teknologi kontrol emisi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

3.2 Evaluasi Beban Emisi *Point Source*

Point Source pada industri manufaktur di Kota Tangerang berpotensi berkontribusi dalam menghasilkan beban emisi partikulat. Evaluasi terhadap beban emisi yang dihasilkan oleh cerobong, memberikan gambaran menyeluruh tentang kontribusi industri manufaktur terhadap tingkat emisi partikulat di wilayah Kota Tangerang.

Tabel 5. Beban Emisi Point Source di Kota Tangerang pada Tahun 2022

No	Jenis Sumber Emisi	Beban Emisi Partikulat (Ton/Tahun)
1	Boiler	25
2	Genset	6
3	Incinerator	6
4	Other	25
Total		**62**

Sumber: DLH Kota Tangerang (2022)

Beban emisi *point source* industri manufaktur di Kota Tangerang tahun 2022, dapat diketahui bahwa sejumlah faktor berkontribusi pada total emisi partikulat di wilayah tersebut. Jenis *point source* boiler, sebagai sumber pembakaran bahan bakar, memiliki beban emisi yang tinggi sebesar 25 ton/tahun. Boiler memiliki fungsi untuk menghasilkan uap dengan memanaskan air. Proses ini memerlukan energi yang dihasilkan dari berbagai bahan bakar seperti minyak solar, biomassa padat, batubara, atau gas alam, tergantung pada desain proses dan kebutuhan industri (Wasito dan Zakaria, 2014). Proses pembakaran dalam boiler menghasilkan emisi gas buang yang dikeluarkan melalui cerobong. Emisi udara ini umumnya mengandung polutan berupa partikulat (debu) atau gas seperti SO_2 (Sugiarto dkk., 2019). Kemudian jenis genset, meskipun dengan beban emisi yang lebih rendah yaitu 6,1 ton/tahun, tetap memiliki dampak emisi partikulat yang dihasilkan. Sementara itu, *incinerator* juga menjadi kontributor yang perlu diperhatikan dengan beban emisi partikulat masing-masing sebesar 6 ton/tahun.

Total beban emisi dari semua jenis sumber titik di Kota Tangerang mencapai 62 ton per tahun, dengan menganalisis beban emisi dari setiap sumber titik ini, langkah-langkah perbaikan dan inovasi teknologi dapat diarahkan untuk mengurangi dampak lingkungan dan mencapai standar kualitas yang telah ditetapkan. Pemantauan yang berkelanjutan terhadap efisiensi proses, jenis bahan bakar, dan penerapan teknologi pengendalian emisi menjadi kunci dalam mencapai pengelolaan emisi yang optimal di industri manufaktur Kota Tangerang.

Beban emisi dari sumber titik memiliki keterkaitan erat dengan konsumsi bahan bakar dan proses produksi. Emisi yang dihasilkan oleh sumber titik merupakan bagian dari hasil konsumsi bahan bakar, secara keseluruhan. Fasilitas yang menggunakan bahan bakar fosil dapat menghasilkan gas buang sesuai dengan tingkat konsumsi bahan bakar. Proses produksi industri, termasuk pembakaran dan pengolahan bahan baku, juga dapat menjadi penyebab langsung emisi polutan udara. Implementasi teknologi pengendalian emisi dan upaya untuk meningkatkan efisiensi energi dapat mempengaruhi jumlah beban emisi yang dilepaskan. Oleh karena itu, konsumsi bahan bakar dan proses produksi menjadi kunci dalam manajemen dan pengurangan beban emisi dari sumber titik, yang pada akhirnya berkontribusi pada upaya global untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan manusia.

3.3 Evaluasi Beban Emisi Proses Produksi

Proses produksi industri manufaktur melibatkan berbagai aktivitas, seperti pengolahan bahan baku atau produksi. Selama proses ini, menghasilkan karakteristik partikulat, seperti $PM_{2.5}$, PM_{10}, *Black Carbon* dan *Organic Carbon*. Sektor ini mencakup emisi yang timbul dari pembakaran yang tidak berasal dari bahan bakar dalam sektor manufaktur dan proses industri, terutama terkait dengan berbagai proses produksi logam seperti peleburan dan proses sejenisnya (Shrestha dkk., 2013). Proses produksi industri manufaktur di Kota Tangerang, data yang diketahui terdapat industri logam, yaitu menghasilkan *pig iron production* dan *aluminium production*.

Tabel 6. Emisi Industri Manufaktur per Jenis Bahan Bakar di Kota Tangerang

Proses Produksi Logam	Activity Rate	
	Ton/Tahun	Kiloton/Tahun
Pig Iron Production	43.200	43,2
Aluminium Production	7.000	7

Sumber: DLH Kota Tangerang (2022)

Berdasarkan data aktivitas produksi logam, terlihat bahwa *Pig Iron Production* memiliki tingkat aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan *Aluminium Production*. Pig Iron Production mencapai 43.200 ton/tahun atau setara dengan 43,2 kiloton/tahun, sedangkan *Aluminium Production* memiliki tingkat aktivitas sebesar 7.000 ton/tahun atau setara dengan 7 kiloton/tahun. Hasil data aktivitas tersebut kemudian dilakukan perhitungan menggunakaan ABC-EIM untuk mendapatkan nilai beban emisinya.

Tabel 7. Emisi Industri Manufaktur per Jenis Bahan Bakar di Kota Tangerang

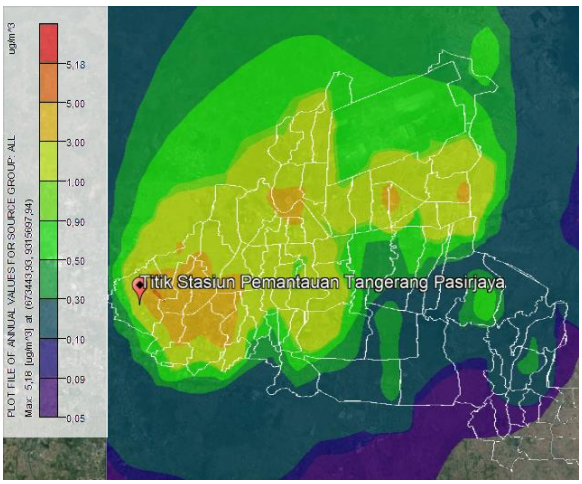
Proses Produksi Logam	Beban Emisi (Ton/Tahun)			
	$PM_{2.5}$	PM_{10}	BC	OC
Pig Iron Production	1,73	2,16	0,82	0
Aluminium Production	59,22	83,3	0,09	0,1
Total	**60,95**	**85,46**	**0,91**	**0,1**

Sumber: DLH Kota Tangerang (2022)

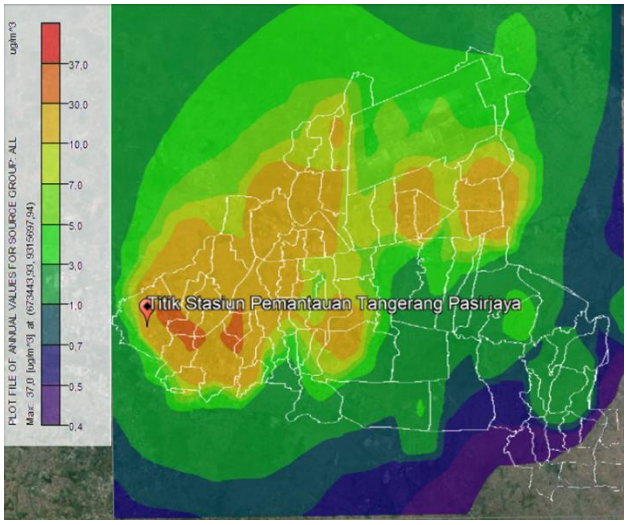
Hasil inventarisasi emisi dari proses produksi logam industri manufaktur di Kota Tangerang menunjukkan adanya beban emisi partikulat $PM_{2.5}$, PM_{10}, *black carbon*, dan *organic carbon*. Diketahui beban emisi PM_{10} memiliki kontribusi paling besar, yaitu 85,46 ton/tahun. Emisi PM dari industri *iron and steel*, sebanyak 86% dari PM_{10} tersebut merupakan debu yang berasal dari proses produksi pig iron (besi giling) dan produksi sinter (penggabungan bahan baku besi) (Lei dkk., 2011). Sementara itu, pada beban emisi $PM_{2.5}$ menghasilkan sebesar 60,95 ton/tahun, proses peleburan besi dari bijih besi dapat menghasilkan partikulat seperti $PM_{2.5}$ dan PM_{10}. Kemudian beban emisi BC menghasilkan sebesar 0,91 ton/tahun dan OC sebesar 0,1 ton per/tahun. Hasil ini menunjukkan bahwa proses produksi logam juga berkontribusi terhadap emisi yang berasal dari pembakaran bahan bakar.

3.4 Persebaran Konsentrasi Partikulat Industri Manufaktur

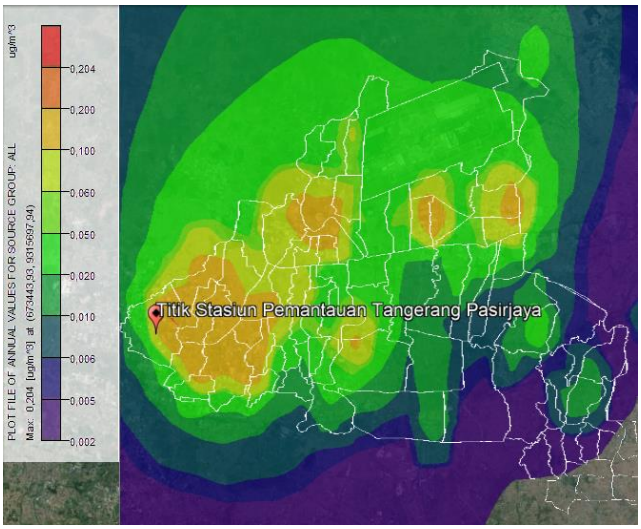
Dispersi berarti berkaitan dengan penyebaran, pada konteks kualitas udara, dispersi dapat mengacu pada penyebaran polutan dalam atmosfer. Pemodelan AERMOD digunakan untuk mengestimasi sebaran konsentrasi dari sektor industri manufaktur di wilayah Kota Tangerang berdasarkan hasil beban emisi di setiap industri dan mengetahui besarnya kontribusi konsentrasi yang dihasilkan di wilayah yang terdekat berdasarkan stasiun pemantauan kualitas udara Tangerang Pasirjaya.



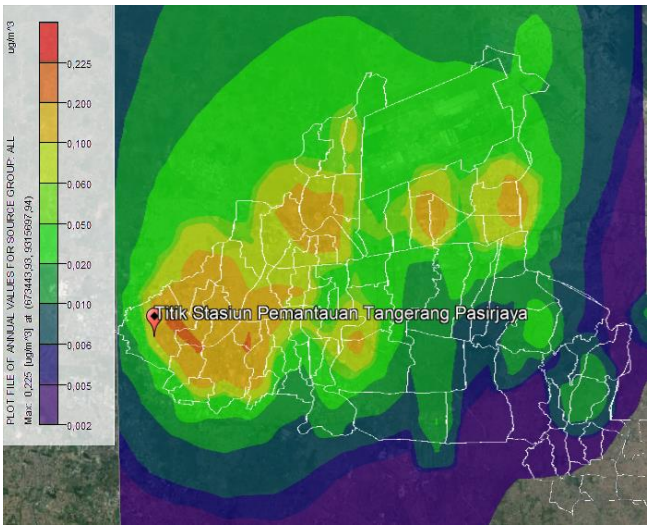
Gambar. 3 Persebaran Konsentrasi $PM_{2.5}$ di Kota Tangerang Tahun 2022
Sumber: Pengolahan Data (2024)



Gambar. 4 Persebaran Konsentrasi PM_{10} di Kota Tangerang Tahun 2022
Sumber: Pengolahan Data (2024)



Gambar. 5 Persebaran Konsentrasi *Black Carbon* di Kota Tangerang Tahun 2022
Sumber: Pengolahan Data (2024)



Gambar. 6 Persebaran Konsentrasi *Organic Carbon* di Kota Tangerang Tahun 2022
Sumber: Pengolahan Data (2024)

Berdasarkan hasil pemodelan AERMOD, rentang konsentrasi ditampilkan dengan warna yang berbeda, dengan konsentrasi PM2.5 di Kota Tangerang bervariasi sekitar 0,05 hingga 5,18 µg/m3. Menurut data stasiun pemantauan kualitas udara, rerata tahunan konsentrasi PM2.5 adalah 47 µg/m3 untuk semua sumber, termasuk sektor transportasi, komersial, dan manufaktur. Di sekitar stasiun pemantauan, konsentrasi PM2.5 adalah 1,39 µg/m3, menunjukkan bahwa industri manufaktur berkontribusi sebesar 3% terhadap konsentrasi PM2.5 di wilayah tersebut. Demikian pula, konsentrasi PM10 berkisar antara sekitar 0,4 hingga 37 µg/m3, dengan rerata tahunan 54 µg/m3 untuk semua sumber. Di area terdekat stasiun pemantauan, konsentrasi PM10 adalah 8 µg/m3, menunjukkan bahwa industri manufaktur berkontribusi sebesar 16% terhadap konsentrasi PM10 di wilayah tersebut. Selain itu, konsentrasi black carbon berkisar antara sekitar 0,002 hingga 0,204 µg/m3, dan konsentrasi organic carbon bervariasi sekitar 0,002 hingga 0,225 µg/m3 di Kota Tangerang berdasarkan hasil pemodelan AERMOD. Menurut (Zou dkk.,2010) model AERMOD mampu meramalkan penyebaran kualitas udara, dengan kata lain bahwa persebaran konsentrasi ini merupakan prediksi yang dapat dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin. Kecepatan dan arah angin yang tinggi dapat menyebabkan penyebaran cepat udara menjauhi sumber polusi titik, yang mengakibatkan tingkat konsentrasi polutan menjadi rendah (Herawati dkk, 2018). Maka dari itu, terdapat kolerasi antara kecepatan angin dengan nilai konsentrasi partikulat.

4. KESIMPULAN

Hasil beban emisi untuk konsumsi bahan bakar industri manufaktur di Kota Tangerang, jenis industri pada kategori “other” menghasilkan beban emisi yang paling besar dibandingkan jenis industri lainnya. Beban emisi untuk $PM_{2.5}$, PM_{10}, BC dan OC adalah 77; 552; 3,04 dan 3,38 ton/tahun. Total beban emisi partikulat *point source* yang dihasilkan adalah sebesar 62 ton/tahun. Kemudian Inventarisasi emisi dari proses produksi logam industri manufaktur di Kota Tangerang menunjukkan bahwa beban emisi yang signifikan, adalah $PM_{2.5}$ sebesar 60,95 ton/tahun dan PM_{10} sebesar 85,46 ton/tahun. Persentase kontribusi

konsentrasi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} oleh industri manufaktur yang terdekat dengan stasiun pemantauan Tangerang Pasirjaya memiliki kontribusi sebesar 3% dan 16%.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, L.M. (2009): Penentuan Faktor Emisi HC, CO, Dan CO_2 Pada Pembakaran Sampah Secara Terbuka. Tugas Akhir Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Bhander, G., dan Jozewicz, W. (2017). Analysis of Emission Reduction Strategies For Power Boilers in the US Pulp and Paper Industry. *Energy and emission control technologies*, 27-37.

Bond, T. C., Doherty, S. J., Fahey, D. W., Forster, P. M., Berntsen, T., DeAngelo, B. J., Flanner, M. G., Ghan, S., Kärcher, B., dan Koch, D. (2013). Bounding the Role of Black Carbon in the Climate System: A Scientific Assessment. *Journal of geophysical research: Atmospheres*, *118*(11), 5380-5552.

Cimorelli, A. J., Perry, S. G., Venkatram, A., Weil, J. C., Paine, R. J., Wilson, R. B., Lee, R. F., Peters, W. D., dan Brode, R. W. (2005). AERMOD: A Dispersion Model For Industrial Source Applications. Part I: General Model Formulation And Boundary Layer Characterization. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *44*(5), 682-693.

Cui, M., Chen, Y., Feng, Y., Li, C., Zheng, J., Tian, C., Yan, C., dan Zheng, M. (2017). Measurement of PM and its chemical composition in real-world emissions from non-road and on-road diesel vehicles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *17*(11), 6779-6795.

Fedora, S., dan Ariaji, P. E. (2022): Analisis Kebutuhan Penyaringan Udara untuk Mengatasi Polusi Udara Sebagai Strategi Akupuntur Kota di Kawasan Industri Pulogadung. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, *4* (2), 2717-2728.

Frianto, D., Sutrisno, E., dan Wahyudi, A. (2023). Pelaku Industri dalam Pengendalian Emisi dan Standardisasi. *STANDAR: Better Standard Better Living*, *2*(5), 41-44.

Herawati, P., Riyanti, A., dan Pratiwi, A. (2018). Hubungan Konsetrasi NO2 Udara Ambien Terhadap Konsentrasi NO2 Udara Dalam Ruang Di Lampu Merah Simpang Jelutung Kota Jambi. *Jurnal Daur Lingkungan*, *1*(1), 1-4.

Lei, Y., Zhang, Q., He, K., dan Streets, D. (2011): Primary anthropogenic aerosol emission trends for China, 1990–2005. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *11* (3), 931-954.

Maziya, F. B. (2020). Analisis Dampak Paparan Particulate Matter (PM_{10}) di Kota Yogyakarta.

Ratnani, R. (2008). Teknik pengendalian pencemaran udara yang diakibatkan oleh partikel. *Majalah Ilmiah Momentum*, *4*(2).

Shrestha, R. M., Kim Oanh, N. T., Shrestha, R. P., Rupakheti, M., Rajbhandari, S., Permadi, D. A., Kanabkaew, T., dan Iyngararasan, M. (2013). Atmospheric brown clouds: Emission inventory manual.

Simandjuntak, A. G. (2013): Pencemaran udara. *Buletin Limbah*, *11* (1).

Sugiarto, S., Herawati, P., dan Riyanti, A. (2019). Analisis Konsentrasi SO2, NO2 dan Partikulat pada Sumber Emisi Tidak Bergerak (Cerobong) Berbahan Bakar Batubara dan Cangkang (Studi Kasus di Kabupaten Muaro Jambi). *Jurnal Daur Lingkungan, 2* (1), 21-28.

Wasito, B. K., dan Zakaria, M. (2014). Analisa Emisi NOx Pada Boiler Firetube Berbahan Bakar Biodiesel Sawit. *Jurnal Teknik Kimia*, *20*(3).

Zou, B., Zhan, F. B., Wilson, J. G., dan Zeng, Y. (2010). Performance of AERMOD at different time scales. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *18*(5), 612-623.