

Estimasi Emisi CO₂ dari Sektor Energi di Industri Transformator PT XYZ

Dannisa Alzura dan Susi Agustina Wilujeng

Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: wilujeng_susi.a@its.ac.id

Abstrak—PT XYZ merupakan salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak dalam bidang manufaktur transformator. Transformator sebagai salah satu komponen penting dalam pembangkit listrik melibatkan sejumlah energi untuk produksinya yang secara nyata berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) termasuk emisi karbon dioksida (CO₂). Penelitian dilakukan untuk menentukan sumber dan estimasi beban emisi CO₂ dari penggunaan energi pada proses produksi transformator. Metodologi yang digunakan mencakup pengumpulan data sekunder meliputi alur produksi dan data konsumsi energi milik perusahaan yang selanjutnya dikonversi dan dihitung untuk menemukan estimasi beban emisi CO₂ menggunakan metode perhitungan berdasarkan IPCC Guidance 2006 mempertimbangkan faktor emisi yang berlaku. Selanjutnya, analisis rekomendasi untuk upaya reduksi emisi CO₂ dilakukan berdasarkan studi literatur. Hasil kajian menunjukkan bahwa dalam memproduksi transformator, perusahaan menghasilkan emisi CO₂ dari penggunaan energi dengan estimasi sebesar 1705,6 ton CO₂/tahun pada tahun 2023. Emisi tersebut berasal dari penggunaan energi listrik sebesar 1687,11 ton CO₂/tahun 2023 dan pembakaran bahan bakar solar sebesar 18,5 ton CO₂/tahun 2023.

Kata Kunci—Emisi CO₂, Energi, Gas Rumah Kaca, Industri, Transformator.

I. PENDAHULUAN

EMISI Gas Rumah Kaca (GRK) merujuk pada terjadinya pelepasan gas-gas tertentu ke atmosfer bumi yang akan menyerap panas matahari dan memantulkannya ke permukaan bumi layaknya efek rumah kaca [1]. Efek rumah kaca yang dimaksud mengacu pada konsep rumah kaca dalam budidaya tanaman di mana panas yang masuk ke dalam struktur kaca bangunan tidak dapat keluar kembali sehingga terperangkap dan meningkatkan suhu di dalam rumah kaca tersebut. Secara alami, radiasi matahari mencapai permukaan bumi melalui lapisan atmosfer, menciptakan kehangatan yang menjaga suhu bumi tetap stabil dan layak huni untuk makhluk hidup. Sama dengan konsep rumah kaca, gas rumah kaca di atmosfer akan menyerap dan memerangkap panas dari matahari yang menyebabkan pemanasan global.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sebagai badan internasional dalam kebijakan perubahan iklim dunia menyatakan bahwa gas rumah kaca di atmosfer yang berpotensi menyebabkan pemanasan global antara lain karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O), hidrofluorokarbon (HFC), perfluorokarbon (PFC), sulfur heksafluorida (SF₆), nitrogen trifluorida (NF₃), trifluorometil sulfur pentafluorida (SF₅CF₃), senyawa eter terhalogenasi, dan senyawa halokarbon. Dari seluruh senyawa tersebut, gas rumah kaca utama yang selalu menjadi isu lingkungan penting saat ini adalah karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrogen oksida (N₂O) dengan konsentrasi paling banyak di atmosfer yaitu karbon dioksida (CO₂). CO₂

menjadi gas dengan konsentrasi paling tinggi di bumi disebabkan oleh berbagai aktivitas manusia di era industrialisasi seperti penggunaan bahan bakar fosil, deforestasi, pemrosesan bahan baku pada proses manufaktur, pembusukan limbah pertanian, pembusukan limbah padat (sampah), serta emisi lain baik emisi langsung maupun tidak langsung. Peningkatan pesat emisi CO₂ akibat aktivitas industri yang intensif menjadi penyebab utama terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim [2].

Penerapan konsep sirkular ekonomi dalam suatu industri termasuk industri manufaktur transformator sangat penting sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan atau *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomor 2 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab. SDGs nomor 12 berperan penting dalam pengembangan strategi untuk mengurangi hasil sisa konsekuensi dari aktivitas industri seperti limbah dan emisi gas rumah kaca. Pendekatan dapat dilakukan melalui efisiensi energi serta pendekatan inovatif dalam produksi, konsumsi, dan layanan industri [3]. Pada industri manufaktur transformator, proses produksi yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca meliputi tahap pengadaan baku tepatnya konsumsi bahan baku yang digunakan, tahap manufaktur yang melibatkan konsumsi energi serta penggunaan bahan kimia seperti *Volatile Organic Compound* (VOC), tahap transportasi produk yang membutuhkan bahan bakar, dan kehilangan energi (*power losses*) selama waktu transformator beroperasi [4]. Dengan potensi emisi tersebut, penting bagi industri manufaktur transformator untuk memulai inventarisasi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari proses industri manufaktur.

Cakupan (*scope*) sumber emisi gas rumah kaca pada suatu industri atau organisasi diklasifikasikan menjadi tiga oleh Greenhouse Gas (GHG) Protocol. Emisi *scope* 1 adalah emisi langsung yang berasal dari fasilitas industri yang dimiliki atau dikendalikan langsung oleh perusahaan. Emisi *scope* 2 adalah emisi tidak langsung yang berasal dari pembelian energi yang digunakan oleh perusahaan tetapi diproduksi oleh entitas perusahaan lain. Dan *scope* 3 mencakup seluruh emisi tidak langsung yang terjadi dalam rantai pasokan dan akibat dari seluruh aktivitas yang dilakukan oleh perusahaan. Salah satu panduan untuk perhitungan emisi gas rumah kaca dari suatu aktivitas di sebuah negara adalah IPCC Guidance 2006 yang membagi metode perhitungan dengan tingkatan tier yang berbeda berdasarkan kedetailan data faktor emisi yang digunakan.

Metode *tier* 1 dapat mengestimasi beban emisi dengan akurasi terendah karena menggunakan data *default* yang berlaku untuk seluruh negara dan *tier* tertinggi yaitu *tier* 3 memiliki akurasi tinggi karena menggunakan data spesifik suatu lokasi. Metode perhitungan *tier* 1 merupakan metode yang banyak digunakan di Indonesia karena data faktor emisi

Tabel 1.
Data Konsumsi Energi PT XYZ

Bulan (2023)	Listrik (MWh)	Diesel Fuel (L)
Januari	178,24	1000
Februari	152,35	500
Maret	152,35	430
April	152,35	521
Mei	152,35	0
Juni	152,35	0
Juli	172,68	0
Agustus	185,12	1120
September	182,62	1000
Oktober	193,24	1359
November	169,34	1000
Desember	96,2	0

Tabel 2.
Data Faktor Emisi GRK Bahan Bakar Minyak

Jenis BBM	NCV (Tj/L)	Faktor Emisi CO ₂ (kg/Tj)
Bensin	33 x 10 ⁻⁶	69300
Solar	36 x 10 ⁻⁶	74100

Tabel 3.
Data Faktor Emisi GRK Bahan Bakar Minyak

Provinsi	Faktor Emisi CO ₂ (ton/MWh)
Banten	
DKI Jakarta	
Jawa Barat	
Jawa Tengah	0,87
DI Yogyakarta	
Jawa Timur	

yang masih terbatas [5].

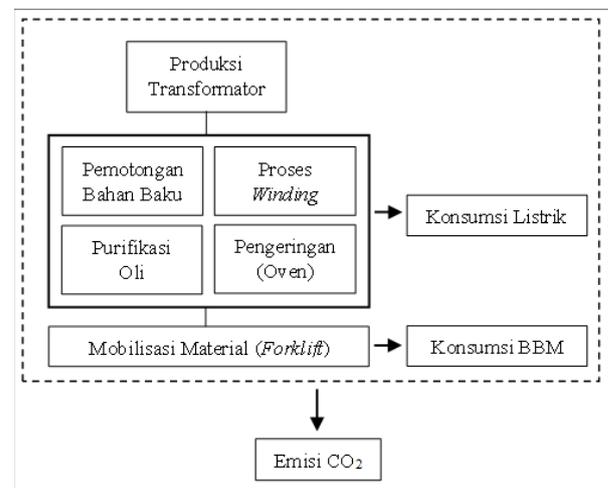
Perhitungan emisi menjadi langkah awal suatu industri untuk melakukan pengelolaan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan [6]. Upaya untuk reduksi emisi juga tak kalah penting dilakukan mengingat perubahan iklim berpotensi menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia, pembangunan ekonomi, dan keamanan pangan di seluruh dunia. Selain itu, perubahan iklim akan menyebabkan peningkatan frekuensi bencana alam seperti angin puting beliung, banjir, dan kekeringan. Banyaknya bencana yang terjadi saat ini menunjukkan bahwa perubahan iklim dan pemanasan global adalah realitas yang terjadi secara nyata [7].

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Pengumpulan Data

Penelitian ini melibatkan pengumpulan data sekunder sebagai metodologi awal penelitian. Data sekunder yang digunakan meliputi panduan teknis perhitungan emisi, data aktivitas produksi, data konsumsi energi, dan faktor emisi. Panduan teknis yang digunakan untuk perhitungan estimasi beban emisi CO₂ pada penelitian ini adalah metode IPCC Guidance 2006 dengan memanfaatkan data aktivitas dan data konsumsi energi untuk produksi milik perusahaan tertera pada Tabel 1.

Adapun koefisien faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan untuk menunjukkan besaran emisi yang dihasilkan oleh sebuah unit aktivitas. Ketersediaan faktor emisi lokal di Indonesia masih terbatas dan tidak tersedia untuk seluruh kategori aktivitas penghasil emisi, sehingga dalam perhitungan emisi GRK di Indonesia dapat digunakan data default pada *database* IPCC (*Tier 1*) atau menggunakan faktor emisi yang tersedia pada data-data yang ada di



Gambar 1. Diagram identifikasi sumber emisi CO₂ sektor energi di PT XYZ.

Tabel 4.
Estimasi Beban Emisi CO₂ dari Konsumsi Listrik

Bulan (2023)	Konsumsi Listrik (MWh)	Emisi CO ₂ (Ton)
Januari	178,24	155,07
Februari	152,35	132,54
Maret	152,35	132,54
April	152,35	132,54
Mei	152,35	132,54
Juni	152,35	132,54
Juli	172,68	150,23
Agustus	185,12	161,05
September	182,62	158,88
Oktober	193,24	168,12
November	169,34	147,34
Desember	96,2	83,69
Total (Ton CO ₂ / Tahun 2023)		1687,11

Indonesia untuk unit aktivitas tertentu. Untuk faktor emisi yang digunakan pada penelitian ini adalah faktor emisi *default* (*Tier 1*) namun faktor emisi lokal yang berlaku di Indonesia (*Tier 2*) juga dipertimbangkan untuk beberapa unit sumber energi tertera pada Tabel 2 dan Tabel 3 yang bersumber dari Buku Pedoman Inventarisasi GRK Nasional dan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

B. Tahap Perhitungan Estimasi Beban Emisi CO₂

Pada penelitian ini, emisi gas rumah kaca yang dihitung adalah emisi CO₂ yang berasal dari energi listrik dan pembakaran bahan bakar. Rumus yang digunakan adalah rumus perhitungan metode *Tier 1* pedoman IPCC 2006. Secara garis besar metode perhitungan *Tier 1* dan *Tier 2* pada pedoman IPCC 2006 adalah perkalian antara data konsumsi suatu unit aktivitas dengan faktor emisi serta *global warming potential* (GWP) dalam ekivalen CO₂ namun, yang membedakan keduanya adalah faktor emisi yang digunakan [11].

Pada perhitungan emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar, data yang dimanfaatkan adalah data konsumsi bahan bakar di suatu perusahaan dan data kandungan karbon pada jenis bahan bakar yang digunakan. Berikut pada persamaan (1) merupakan rumus perhitungan emisi CO₂ dari kegiatan pembakaran bahan bakar dengan satuan Terajoule (Tj) yang sudah disesuaikan dengan IPCC Guidance 2006.

$$Emisi\ CO_2 = FC \times CEF \times NCV \times GWP \quad (1)$$

Tabel 5.
Estimasi Beban Emisi CO₂ dari Konsumsi Solar

Bulan (2023)	Konsumsi Solar (L)	Emisi CO ₂ (Ton)
Januari	1000	2,67
Februari	500	1,33
Maret	430	1,15
April	521	1,39
Mei	0	0
Juni	0	0
Juli	0	0
Agustus	1120	2,99
September	1000	2,67
Oktober	1359	3,63
November	1000	2,67
Desember	0	0
Total (Ton CO ₂ / Tahun 2023)		18,5

Tabel 6.
Total Estimasi Beban Emisi CO₂ Sektor Energi

Bulan (2023)	Emisi CO ₂ Listrik (Ton)	Emisi CO ₂ Solar (Ton)	Total Emisi CO ₂ (Ton)
Januari	155,07	2,67	157,74
Februari	132,54	1,33	133,88
Maret	132,54	1,15	133,69
April	132,54	1,39	133,93
Mei	132,54	0	132,54
Juni	132,54	0	132,54
Juli	150,23	0	150,23
Agustus	161,05	2,99	164,04
September	158,88	2,67	161,55
Oktober	168,12	3,63	171,74
November	147,34	2,67	150,01
Desember	83,69	0	83,69
Total (Ton CO ₂ / Tahun 2023)			1705,6
Rata-rata (Ton CO ₂ / Bulan)			142,13

Keterangan:

- FC = Fuel Consumption (massa/volume)
- CEF = Carbon Emission Factor (ton CO₂/Tj)
- NCV = Net Calorific Value (Tj/ton fuel)
- GWP = Global Warming Potential (CO₂ = 1)

Sedangkan untuk perhitungan emisi CO₂ dari konsumsi listrik, data yang dimanfaatkan adalah data tagihan pembelian atau konsumsi listrik milik perusahaan yang umumnya dalam satuan KWh yang kemudian dikonversi menjadi satuan MWh. pada persamaan (2) adalah rumus perhitungan emisi CO₂ yang berasal dari konsumsi energi listrik.

$$Emisi\ CO_2 = EC \times CEF \times GWP \quad (2)$$

Keterangan:

- FC = Electricity Consumption (MWh)
- CEF = Carbon Emission Factor (ton CO₂/MWh)
- GWP = Global Warming Potential (CO₂ = 1)

C. Tahap Pengolahan Data

Tahap pengolahan data pada penelitian ini melibatkan analisis-analisis yang dilakukan melalui hasil perhitungan estimasi beban emisi CO₂ yang telah didapatkan. Analisis dilakukan untuk melihat laju beban emisi CO₂ pada tahun 2023 sehingga dapat dilakukan penyusunan rekomendasi berupa pengelolaan dan strategi untuk mereduksi emisi CO₂ dari sektor energi di perusahaan.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Identifikasi Sumber Emisi CO₂ Sektor Energi

PT XYZ menggunakan sumber energi yang berasal dari energi listrik dan bahan bakar dalam kegiatan operasional dan

produksi di perusahaan.

1) Energi Listrik

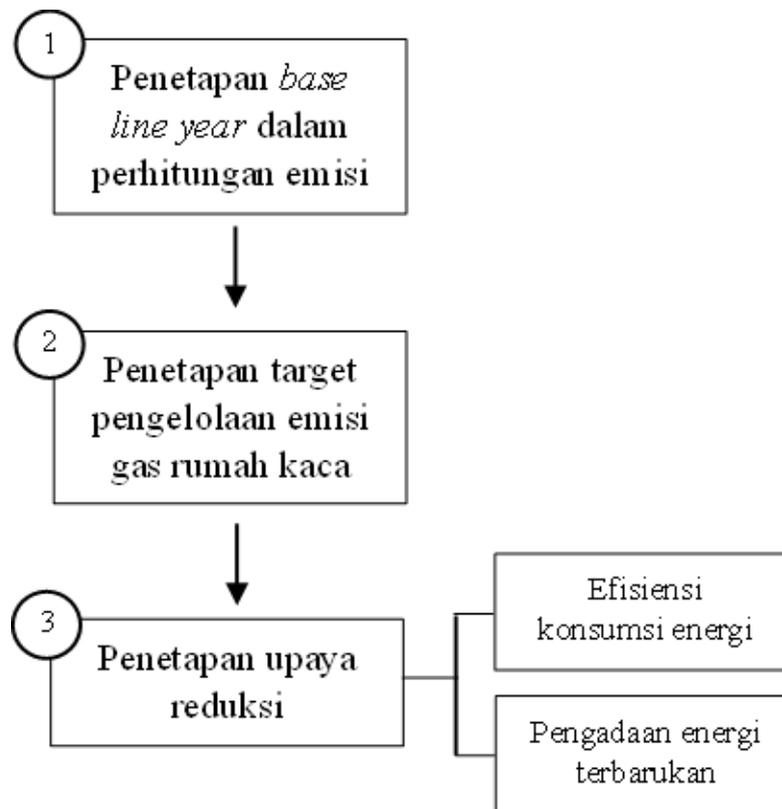
Energi listrik digunakan sebagai sumber energi utama di perusahaan untuk aktivitas kantor dan aktivitas manufaktur seperti penggerak alat-alat produksi di pabrik. Di area produksi, alat-alat atau mesin yang membutuhkan energi listrik meliputi *winding machine*, *vacuum drying oven*, mesin *oil filling*, mesin *automatic cut core*, dan mesin lainnya. Sedangkan pada aktivitas kantor, energi listrik digunakan untuk peralatan elektronik kantor, lampu, sistem pendingin udara, dispenser, dan lain-lain.

2) Bahan Bakar

Jenis bahan bakar yang digunakan untuk proses produksi adalah bahan bakar solar industri (IDO). Bahan bakar solar digunakan untuk penggerak fasilitas penunjang berupa *forklift* yang digunakan untuk mobilisasi material berat dan genset yang digunakan saat pemadaman listrik atau keadaan darurat. Hasil identifikasi sumber emisi CO₂ sektor energi di PT XYZ dapat digambarkan menggunakan diagram yang dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Hasil Perhitungan Estimasi Beban Emisi CO₂

Perhitungan beban emisi dilakukan menggunakan persamaan (1) dan persamaan (2) menggunakan data-data yang ada pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Untuk perhitungan estimasi beban emisi CO₂ dari penggunaan listrik digunakan data faktor emisi lokal yang didapatkan dari data Kementerian ESDM pada *grid* pembangkit listrik yang disesuaikan dengan wilayah perusahaan. Pada penelitian ini, faktor emisi yang digunakan yaitu sebesar 0,87 ton CO₂/MWh. Berikut merupakan contoh perhitungan untuk



Gambar 2. Tahapan strategi reduksi emisi CO₂ menurut GHG protocol.

emisi dari konsumsi listrik pada Bulan Januari Tahun 2023 di PT XYZ.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 &= EC \times CEF \times GWP \\
 &= 178,24 \text{ MWh} \times 0,87 \text{ Ton/MWh} \times 1 \\
 &= 155,07 \text{ Ton CO}_2
 \end{aligned}$$

Diketahui dari perhitungan tersebut bahwasannya pada bulan Januari tahun 2023, PT XYZ menggunakan energi listrik sebesar 178,24 MWh yang diestimasikan menghasilkan emisi CO₂ sebesar 155,07 ton CO₂. Dengan cara perhitungan yang sama, didapatkan estimasi beban emisi CO₂ yang berasal dari konsumsi listrik di PT XYZ pada tahun 2023 yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk estimasi emisi CO₂ dari pembakaran bahan bakar solar menggunakan data NCV atau nilai kalor untuk bahan bakar solar yang berlaku di Indonesia yaitu sebesar 36 x 10⁻⁶ Tj/L dan faktor emisi default untuk solar industri sebesar 74.100 kg/Tj. Contoh perhitungan emisi dari pembakaran bahan bakar solar pada Bulan Januari Tahun 2023 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 &= FC \times NCV \times CEF \times GWP \\
 &= 1000 \text{ L} \times 36 \times 10^{-6} \text{ Tj/L} \times 74.100 \text{ kg/Tj} \times 1 \\
 &= 2667,6 \text{ kg CO}_2 = 2,67 \text{ ton CO}_2
 \end{aligned}$$

Pada Bulan Januari Tahun 2023, PT XYZ menggunakan bahan bakar solar sebesar 1000 L yang diestimasikan menghasilkan emisi CO₂ sebesar 2,67 ton CO₂. Adapun pada bulan Mei, Juni, Juli, dan Agustus, PT XYZ tidak melakukan pembelian bahan bakar solar yang ditunjukkan dengan angka “0” pada Tabel 1. Hal ini bukan berarti tidak ada emisi dari

pembakaran bahan bakar solar pada bulan-bulan tersebut, hanya saja terdapat adanya kemungkinan stok bahan bakar yang dapat digunakan pada periode bulan tersebut. Sehingga, meskipun tidak ada pembelian bahan bakar, fasilitas penunjang produksi tetap beroperasi dan emisi CO₂ tetap terhitung berdasarkan konsumsi bahan bakar dari bulan sebelum atau setelahnya. Estimasi emisi CO₂ dari pembakaran solar untuk bulan lainnya pada Tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 5.

Penjumlahan antara hasil perhitungan estimasi beban emisi CO₂ dari konsumsi energi listrik dan bahan bakar solar selanjutnya dilakukan agar diketahui total dan rata-rata estimasi CO₂ dari sektor energi secara keseluruhan di PT XYZ pada tahun 2023 pada Tabel 6. Didapatkan total estimasi emisi CO₂ dari sektor energi di PT XYZ pada tahun 2023 adalah sebesar 1705,6 ton CO₂/tahun dengan rata-rata tiap bulannya sebesar 142,13 ton CO₂/bulan.

C. Rekomendasi

Rekomendasi untuk pengurangan emisi CO₂ dibuat dengan tujuan untuk mengendalikan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh sektor energi di PT XYZ. Rekomendasi ini mencakup strategi reduksi emisi yang didasarkan pada studi literatur. Berdasarkan buku panduan GHG Protocol, instansi atau perusahaan dapat memulai pengendalian emisi CO₂ dengan melakukan pelacakan emisi secara berkala dan menetapkan target reduksi melalui langkah-langkah seperti dapat dilihat pada Gambar 2.

Tahapan strategi reduksi emisi tersebut berlaku untuk seluruh entitas perusahaan atau organisasi terlebih untuk perusahaan yang masih belum pernah melakukan perhitungan emisi gas rumah kaca sekalipun.

1) Penetapan tahun dasar dalam perhitungan emisi

Tahun dasar atau disebut dengan *base line year* adalah

tahun pertama suatu perusahaan melakukan perhitungan emisi CO₂. Penetapan tahun dasar ini digunakan sebagai titik awal untuk melacak kinerja perusahaan dengan membandingkan emisi selama periode tertentu di waktu kedepannya. Apabila tahun dasar sudah ditentukan, entitas pelapor atau dalam penelitian ini PT XYZ, wajib untuk menetapkan kebijakan untuk menghitung ulang emisi CO₂ yang digunakan sebagai *base line year* apabila terdapat perubahan signifikan pada data, ruang lingkup, metode, atau faktor lain. Perubahan ini dapat terjadi apabila perusahaan melakukan restrukturisasi, menemukan kesalahan perhitungan, atau meningkatkan akurasi perhitungan menggunakan metode lain.

2) Penetapan target dan kebijakan pengelolaan emisi

Penetapan kebijakan adalah kunci pengelolaan GRK yang efektif. Dalam hal ini, perusahaan harus menetapkan tujuan pengelolaan GRK dalam lini bisnisnya serta rumusan pengambilan keputusan untuk hasil emisi dari setiap metode perhitungan, termasuk bagaimana melaksanakan tindakan korporasi untuk pengurangan emisi. Dalam penetapan kebijakan, perusahaan juga harus menentukan metode yang digunakan dalam perhitungan termasuk metode untuk tahun dasar (*base line year*), target jenis emisi GRK yang akan dipantau, persentase pengurangan yang diinginkan, dan durasi untuk mencapai target tersebut.

3) Penetapan upaya reduksi

Tidak dapat dipungkiri bahwa perusahaan akan terus menerus membutuhkan konsumsi energi untuk mencapai target produksi industri di samping emisi yang dihasilkan. Penetapan upaya pengurangan emisi dapat menyeimbangkan efisiensi produksi dan pengurangan konsumsi energi di perusahaan. Upaya reduksi emisi dapat dilakukan melalui dua opsi yaitu mengurangi intensitas penggunaan energi atau pengadaan teknologi atau energi terbarukan.

Adapun rekomendasi untuk upaya reduksi emisi CO₂ di PT XYZ meliputi efisiensi energi dan pengadaan teknologi untuk pengurangan emisi CO₂ di area produksi.

4) Audit energi dan pemeliharaan fasilitas produksi

Audit energi merupakan kegiatan evaluasi yang dilakukan berkala pada suatu instansi untuk menilai efisiensi penggunaan energi. Proses audit ini melibatkan penilaian kinerja operasional mesin industri, perilaku manusia yang memegang kendali dalam operasional mesin industri, cara kerja sistem, dan material dalam produksi. Tujuan adanya audit energi adalah mengidentifikasi peluang penghematan energi [12]. Melalui audit, perusahaan dapat mengidentifikasi fasilitas produksi yang sekiranya menunjukkan anomali dan inefisiensi penggunaan energi. Sehingga, perusahaan dapat mengambil langkah-langkah penghematan energi melalui perubahan sistem proses dan perawatan serta perbaikan pada fasilitas produksi. Upaya perawatan dan perbaikan mesin dari hasil audit energi dapat menargetkan pengurangan emisi GRK hingga 10% per tahun [13].

5) Penggunaan lampu Light Emitting Diode (LED)

Sebagian besar lampu yang digunakan di area produksi dan kantor PT XYZ masih menggunakan lampu *fluorescent*. Opsi untuk beralih ke lampu LED menjadi pilihan tepat karena lampu LED memiliki efisiensi energi yang jauh lebih tinggi terbukti dari pengukuran konsumsi energi yang lebih rendah

dibandingkan dengan lampu lainnya. Lampu LED memiliki nilai efisiensi intensitas cahaya sebesar 137,4 lumen/watt, jauh lebih tinggi dibandingkan lampu *fluorescent* yang hanya sebesar 58,7 lumen/watt, dengan perbedaan konsumsi daya antara lampu LED dan *fluorescent* masing-masing sebesar 7,3 watt dan 17,5 watt [8]. Dengan begitu, penggunaan lampu LED dapat mengurangi total konsumsi listrik dan emisi CO₂ perusahaan.

6) Teknologi Heat Recovery

Salah satu opsi teknologi untuk manajemen energi adalah teknologi pemulihan panas atau *heat recovery systems* dengan prinsip penangkapan dan pemanfaatan panas yang dihasilkan oleh mesin industri menjadi proses atau bentuk energi lain [9]. Salah satu teknologi pemulihan panas yang diterapkan secara luas di berbagai industri adalah *Organic Rankine Cycle* (ORC). Dengan menggunakan fluida organik, ORC mampu mengonversi panas dari mesin industri dengan suhu rendah hingga menengah menjadi energi listrik. Komponen utama ORC meliputi *heat exchanger*, pompa, evaporator, turbin, kondensor, dan generator. Secara garis besar, cara kerja ORC adalah menangkap panas buangan dari fasilitas industri yang kemudian dilakukan pemompaan fluida organik dari tekanan rendah ke tinggi untuk selanjutnya dialirkan ke evaporator untuk menguapkannya menggunakan panas yang tersedia. Gas fluida bertekanan tinggi kemudian dialirkan ke turbin yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan listrik [10].

7) Manajemen penggunaan energi

Upaya penghematan energi listrik di PT XYZ dapat dilakukan dengan tindakan sederhana seperti mematikan lampu serta peralatan elektronik apabila sudah tidak digunakan. Selain itu, setiap kenaikan suhu *Air Conditioner* (AC) sebesar 1°C dapat menghemat konsumsi daya sekitar 3% dari daya *input* pada jenis AC yang digunakan [11]. Penambahan kaca film perlu dipertimbangkan untuk mengurangi panas matahari yang masuk apabila struktur gedung berupa kaca, sehingga mengurangi beban pada AC dan memungkinkan penggunaan suhu AC yang lebih optimal dan efisien. Penghematan energi juga dapat diterapkan pada konsumsi bahan bakar untuk *forklift*. Upaya ini dapat dilakukan dengan merancang rute atau jalur khusus *forklift* di area produksi yang mempertimbangkan jarak tempuh yang lebih efisien. Kecepatan dan beban material yang diangkat oleh *forklift* juga harus dipastikan tidak melebihi kapasitas untuk menghindari pemborosan bahan bakar.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

PT XYZ sebagai industri manufaktur transformator menghasilkan emisi CO₂ sektor energi untuk proses produksi transformator yang berasal dari konsumsi energi listrik dan bahan bakar solar. Estimasi beban emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor energi untuk produksi pada tahun 2023 adalah sebesar 1705,6 ton CO₂/tahun dengan rata-rata tiap bulannya sebesar 142,13 ton CO₂/bulan. Rincian emisi tersebut meliputi emisi dari konsumsi listrik sebesar 1687,11 ton CO₂/tahun 2023 dan emisi dari pembakaran bahan bakar solar sebesar 18,5 ton CO₂/tahun. Adapun strategi yang dilakukan PT XYZ dalam pengelolaan emisi CO₂ adalah dengan penetapan *base line year* dalam perhitungan emisi, penetapan

target pengelolaan emisi gas rumah kaca, dan implementasi upaya reduksi emisi CO₂ baik melalui efisiensi konsumsi energi maupun pengadaan teknologi ataupun energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Soeryodarundio, S. Setiono, and D. R. Daniswara, "Analisis emisi gas rumah kaca dengan pendekatan life cycle assessment pada tahap konstruksi perkerasan lentur fly over Cakung," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 11, no. 1, pp. 24--31, 2022.
- [2] R. Pratama, "Efek rumah kaca terhadap bumi," *Bul. Utama Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 120--126, 2019.
- [3] W. L. Filho, T. Wall, A. L. Salvia, M. A. P. Dinis, and M. Mifsud, "The central role of climate action in achieving the united nations' sustainable development goals," *Sci. Rep.*, vol. 13, no. 1, 2023.
- [4] H. Guo, Y. Gao, and J. Li, "The greenhouse gas emissions of power transformers based on life cycle analysis," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 413--419, 2022.
- [5] I. K. Adinatha and C. Arif, "Inventarisasi emisi gas rumah kaca berdasarkan penggunaan lahan di Kota Bogor," *J. Tek. Sipil dan Lingkungan*, vol. 7, no. 1, pp. 49--64, 2022.
- [6] W. K. Admaja, N. Nasirudin, and H. Sriwinarno, "Identifikasi dan analisis jejak karbon (carbon footprint) dari penggunaan listrik di Institut Teknologi Yogyakarta," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 18, no. 2, 2018.
- [7] T. Legionosuko, M. A. Madjid, N. Asmoro, and E. G. Samudro, "Posisi dan strategi indonesia dalam menghadapi perubahan iklim guna mendukung ketahanan nasional," *J. Ketahanan Nas.*, vol. 25, no. 3, pp. 295--312, 2019.
- [8] E. Elviana, A. S. Yuwono, and Y. Chadirin, "Analisis beban emisi udara primer di Provinsi Bangka Belitung (analysis of primary air emissions load at Bangka Belitung Province)," *J. Tek. Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 2, pp. 91--99, 2016.
- [9] O. Farhat, J. Faraj, F. Hachem, C. Castelain, and M. Khaled, "A recent review on waste heat recovery methodologies and applications: Comprehensive review, critical analysis and potential recommendations," *Clean. Eng. Technol.*, vol. 6, 2022.
- [10] R. Loni, E. Najafi, Gholamhassan Bellos, F. Rajaei, Z. Said, and M. Mazlan, "A review of industrial waste heat recovery system for power generation with Organic Rankine Cycle: Recent challenges and future outlook," *J. Clean. Prod.*, vol. 287, 2021.
- [11] W. Pratiwi and J. Hermana, "Analisis pengurangan emisi CO₂ melalui ketersediaan ruang terbuka hijau di gedung perkantoran pemerintah Kota Surabaya," *Tek. POMITS*, vol. 2, no. 3, pp. 214--217, 2013.