

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

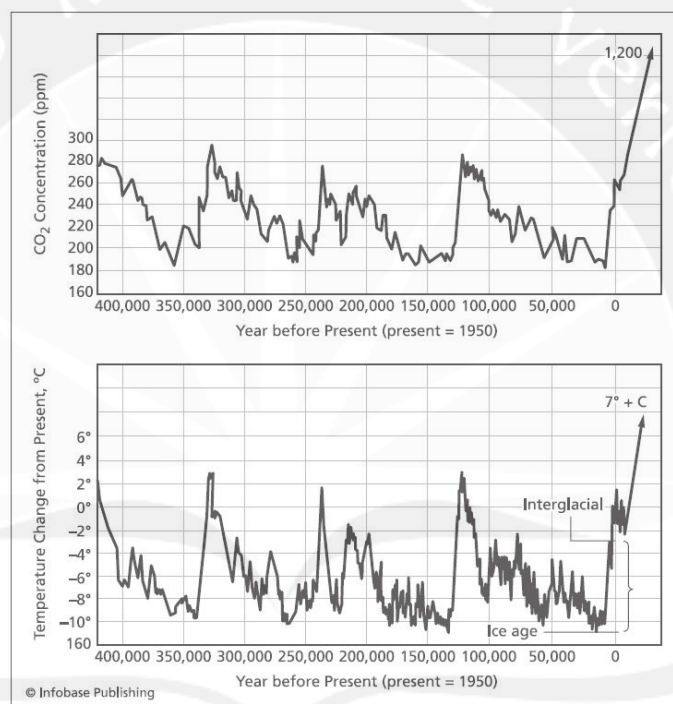
2.1. Pemanasan Global

Pemanasan global (*global warming*) disebabkan oleh peningkatan jumlah gas rumah kaca secara besar-besaran, salah satunya adalah CO₂ yang dihasilkan dari bahan bakar fosil dan penggundulan hutan. Konsentrasi gas berbahaya yang naik ke atmosfer menyebabkan efek rumah kaca sehingga panas matahari tetap terperangkap dalam atmosfer dan mengakibatkan kenaikan suhu permukaan bumi. Kenaikan suhu ini memberi dampak langsung pada perubahan lingkungan dan sangat membahayakan kehidupan semua ekosistem di dalamnya.

Dampak lingkungan yang terjadi dapat ditunjukkan dengan fakta-fakta antara lain; mencairnya es di kutub utara dan selatan, meningkatnya level permukaan laut, gelombang panas menjadi semakin panas, habisnya gletser serta perubahan iklim (*climate change*) yang semakin ekstrim. *Climate change* adalah perubahan iklim yang berhubungan langsung atau tidak langsung dengan aktifitas manusia dan dapat mengubah komposisi atmosfer global dengan penambahan variabel iklim alami yang berbanding lurus dengan periode waktu (UNFCCC 1992).

Perubahan iklim yang terjadi terus menjadi ancaman langsung bagi keberlangsungan hidup seluruh makhluk di muka bumi ini, dan hal ini merupakan tanggung jawab kita sebagai manusia untuk memperbaiki setiap kerusakan lingkungan untuk mengembalikan keseimbangan alam. Manusia memiliki sedikit pengaruh pada iklim sampai mereka mulai hidup menetap dan bermukim untuk

bertani sekitar 11.500 tahun yang lalu (Goldstein 2009). Kebutuhan lahan untuk bertani mengharuskan adanya pembebasan lahan hutan, sehingga pohon-pohon yang sebelumnya berfungsi sebagai penyerap karbondioksida dari atmosfer harus melepaskan karbon tersebut dan konsentrasi karbondioksida di atmosfer terus meningkat yang ikut mempengaruhi kenaikan suhu bumi.



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi CO₂ dan temperatur global dari danau Vostok-Antartika dengan proyeksi

Sumber: Buku Global Issues: Global Warming

Peningkatan jumlah karbon di atmosfer terus meningkat dari tahun ke tahun. Sejak dimulainya revolusi industri pada abad 18, bahan bakar fosil berupa batu bara dan minyak bumi terus digunakan. Proses pembakaran dari bahan bakar yang digunakan ini terus melepaskan CO₂ dan mengakibatkan kenaikan jumlah konsentrasi karbon di atmosfer. Konsentrasi yang berlebihan ini mempengaruhi

kenaikan suhu permukaan bumi yang terus naik karena panas dari radiasi matahari benar-benar terperangkap oleh mantel bumi.

2.2. Gas Rumah Kaca

Matahari sebagai pusat tata surya memberikan pengaruh yang besar bagi planet-planet yang ada termasuk bumi. Energi matahari memiliki pengaruh yang besar bagi kehidupan di bumi. Sebagian sinar matahari yang menuju ke bumi dibelokan oleh atmosfer dan dipantulkan kembali ke luar angkasa dan sebagiannya lagi mencapai permukaan bumi dan dipantulkan ke atmosfer sebagai suatu jenis energi yang bergerak lambat dan disebut radiasi inframerah. Radiasi inframerah ini menyebabkan panas dan diserap oleh gas rumah kaca seperti uap air, karbondioksida, ozon serta metana yang kemudian terjebak di atmosfer sehingga terus mempengaruhi kenaikan suhu di permukaan bumi.

Gas rumah kaca (GRK) adalah gas-gas di atmosfer yang berfungsi sebagai mantel bumi untuk menyerap radiasi matahari di atmosfer sehingga menjaga suhu permukaan bumi tetap hangat. Akan tetapi berlebihan gas-gas tersebut akan menyebabkan pemanasan yang tidak lazim atau pemanasan global. Gas rumah kaca yang berlebihan ini disebabkan oleh proses alam serta berbagai kegiatan manusia.

Karbondioksida yang berasal dari kegiatan manusia dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (minyak, gas alam, dan batu bara), limbah padat, penebangan pohon, produksi kayu dan juga sebagai akibat dari reaksi kimia lainnya. Dalam siklus karbon biologis, karbondioksida dapat diserap oleh

tanaman, namun pada kenyataannya banyak terjadi penebangan pohon secara liar tanpa penanaman kembali bahkan kebakaran hutan pun terjadi dalam jumlah yang besar pada beberapa tahun terakhir, sehingga pohon atau tanaman yang seharusnya berfungsi menyerap karbon sebaliknya melepaskan karbon dalam jumlah yang besar ke atmosfer.

Konvensi PBB mengenai perubahan iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change/UNFCCC*) menyatakan enam gas yang digolongkan sebagai GRK yakni Karbon Dioksida (CO_2), Dinitroksida (N_2O), Metana (CH_4), Sulfurheksafluorida (SF_6) dan Perfluorokarbon (PFCs). Semua GRK ini memiliki potensi pemanasan global yang berbeda dan dihasilkan oleh berbagai kegiatan manusia terutama pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan. Hal ini berarti, untuk 1 ton CH_4 , kekuatan destruktif yang diakibatkan akan mencapai 25 kali dari kekuatan destruktif dari 1 ton CO_2 .

Tabel 1. Potensi pemanasan global dari berbagai jenis GRK

Greenhouse gas	GWP over 100 year	Typical sources
Carbon dioxide (CO_2)	1	Energy combustion, biochemical reaction
Methane (CH_4)	25	Decoposition
Nitrous Oxide (N_2O)	298	Fertilizers, car emissions, manufacturing
Sulfur hexafluoride (SF_6)	22.800	Swith gears, substations
Perfluorocarbon (PFC)	7.390-12.200	Aluminium smelting
Hydrofluorocarbon (HFC)	124-14.800	Refrigerants, industrials gases

Sumber: Buku *Methodology to calculate embodied carbon of materials*

Inter-governmental Panel on Climate Change (IPCC) mengelompokkan sumber emisi GRK (Gas Rumah Kaca) dalam 5 kategori sumber yakni energi, proses industri, pertanian, tataguna lahan dan kehutanan, dan limbah.

2.2.1. Energi

Emisi karbon yang dihasilkan dari sektor energi pada inventarisasi GRK dibagi dalam dua kategori utama yaitu emisi dari pembakaran bahan bakar dan emisi fugitive. Pembakaran bahan bakar adalah oksidasi bahan bakar secara sengaja dalam suatu alat dengan tujuan menyediakan panas atau kerja mekanik kepada suatu proses dan emisi fugitive adalah emisi GRK yang secara tidak sengaja terlepas pada kegiatan produksi dan penyediaan energi.

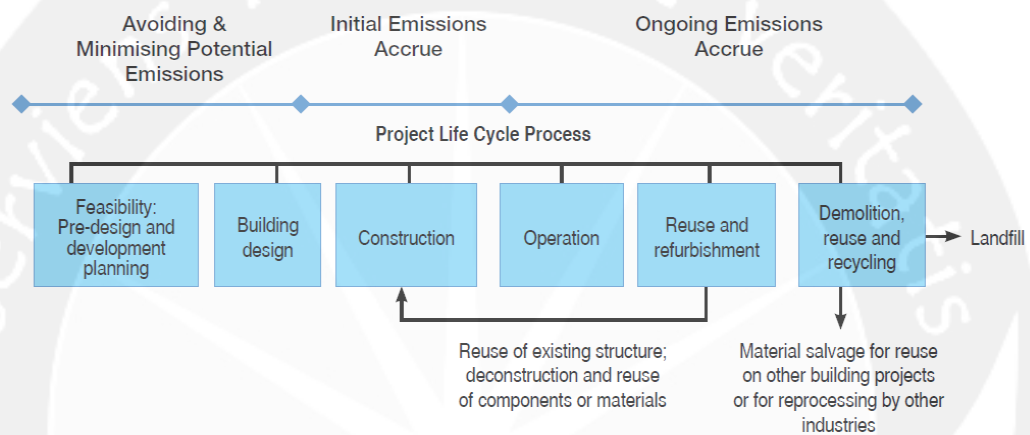
Tabel 2. Kategori sumber emisi dan kegiatan energi

Kode IPCC GL 2006	Kategori
1A	Kegiatan Pembakaran Bahan Bakar
1A1	Industri produsen energi
1A2	Industri manufaktur dan konstruksi
1A3	Transportasi
1A4	Konsumen energi lainnya (komersial, rumah tangga, dll)
1A5	Lain-lain yang tidak termasuk pada 1A1s.d. 1A4
1B	Emisi Fugitive
1B1	Bahan bakar padat
1B2	Minyak bumi dan gas alam
1B3	Emisi lainnya dan penyediaan energi

Sumber: Pedoman penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional, buku II-volume 1

Emisi GRK dari bangunan terutama bersumber dari penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi, dan penggunaan langsung bahan bakar fosil yang secara signifikan selalu dihasilkan dari material-material konstruksi, refrigeran dan sistem pendingin. Dalam proses pembangunan, energi yang digunakan selalu berhubungan dengan beberapa aktivitas berikut:

1. Proses produksi material bangunan
2. Proses distribusi material bangunan dari tempat produksi ke site bangunan
3. Proses konstruksi bangunan
4. Operasional bangunan
5. Proses renovasi ataupun pembongkaran bangunan secara utuh



Gambar 5. Tahapan siklus dari bangunan *LiFE Cycle Phases of Buildings*

Sumber: Building and Climate Change

2.2.2. Industri

Bidang industri juga memiliki pengaruh besar sebagai penyumbang emisi gas rumah kaca. Emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor industri cukup tinggi yang terjadi pada proses produksi karena penggunaan energi yang cukup banyak dan umumnya masih memakai bahan bakar fosil. Proses industri menghasilkan emisi karbon yang cukup besar dari proses awal pengambilan bahan baku, proses pengolahan atau produksi sampai proses distribusi. Semua sektor industri memberikan kontribusi GRK tetapi kontributor terbesar adalah pada industri semen, industri baja, industri pulp dan kertas, industri petrokimia, industri

keramik, industri pupuk, industri makanan dan minuman (Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri, 2012).

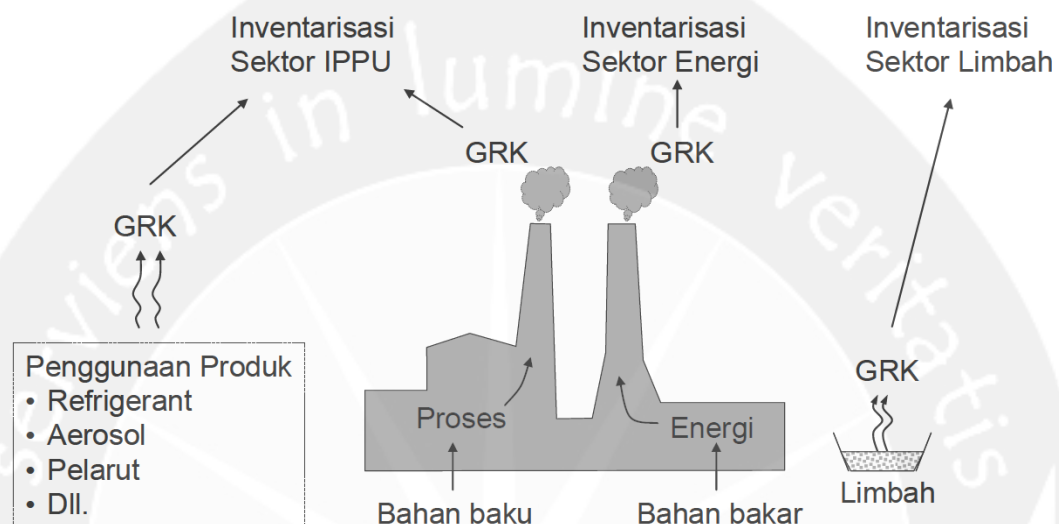
Tabel 3. Potensi pemanasan global berbagai jenis GRK

No	Subsektor Industri	Emisi GRK (Mton CO ₂ e) Inventory tahun 2010	Prosentase (%)	Target penurunan emisi GRK pada 2020 (skenario 26%) Mton CO ₂ e	Target penurunan emisi GRK pada 2020 (skenario 41%) Mton CO ₂ e
1	Semen	32	27.97	0.280	1.398
2	Baja	8.34	7.29	0.073	0.364
3	Pulp & Kertas	31.02	27.11	0.271	1.356
4	Tekstil	11.09	9.69	0.097	0.485
5	Petrokimia	11.46	10.02	0.100	0.501
6	Keramik	1.36	1.19	0.012	0.059
7	Pupuk	11.23	9.82	0.098	0.491
8	Makanan & minuman	7.91	6.91	0.069	0.346
Total		114,41	100	1	5

Sumber: Draft Petunjuk Teknis Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca di Sektor Industri

Setiap proses pembangunan tidak terlepas dari proses industri sebagai penyedia material. Material pabrikasi memiliki banyak kelebihan dari kekuatan, fleksibel, hingga ketersediaan di pasaran sehingga menjadi pilihan yang tepat namun hal ini juga berbanding lurus dengan emisi yang dihasilkannya. Selain emisi yang dihasilkan dari proses pengolahan atau produksi, emisi yang besar juga dihasilkan dari proses eksploitasi bahan baku, pengangkutan dari lokasi pengambilan ke tempat pengolahan serta proses distribusi dari tempat pengolahan

hingga lokasi pembangunan. Sektor industri juga mencatat bahwa penggunaan energi juga terdapat pada proses pengolahan limbah namun inventarisasi emisinya biasanya dilakukan terpisah.



Gambar 6. Pengelompokan inventarisasi emisi GRK dari kegiatan industri

Sumber: Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II-Volume 2 Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi Gas Rumah Kaca Proses Industri dan Penggunaan Produk (IPPU).

2.2.3. Pertanian

Emisi karbon dari sektor pertanian ini terutama dari penambahan kapur pertanian dengan maksud untuk mengurangi kemasaman tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman, khususnya pada lahan pertanian serta penggunaan pupuk urea pada budidaya pertanian menyebabkan lepasnya CO_2 yang diikat selama proses pembuatan pupuk (Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II-volume 3, 2012). Dalam proses pengapuran (CaCO_3) dan pembuatan urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) melepaskan bikarbonat (2HCO_3^-) yang selanjutnya

terbentuk menjadi CO_2 dan air (H_2O). Karbon yang ada ini dilepaskan ke atmosfer dan menjadi Gas Rumah Kaca.

2.2.4. Tataguna lahan dan kehutanan

Pada sektor ini emisi yang cukup signifikan terjadi pada proses eksploitasi hutan yang akan menyebabkan kematian pohon yang ditebang maupun “*logging damage*” bagi pohon-pohon kecil disekitarnya akibat penebangan dan pembuatan jalan di area hutan tersebut. Emisi GRK juga bersumber dari pembakaran biomassa, tanah, fermentasi enterik ternak dan pengolahan kotoran ternak (Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Buku II - volume 3, 2012). Penebangan liar atau pembakaran hutan untuk berbagai kepentingan menyebabkan pelepasan karbon yang lebih besar ke atmosfer dan fungsi penyerapan karbon menjadi semakin menurun.

Hubungan antara sektor tataguna lahan dan kehutanan dengan bangunan adalah dalam hal eksploitasi material bangunan. Eksploitasi material berhubungan langsung dengan lingkungan karena ketersediaannya pada alam dalam satu area atau lahan tertentu. Material yang diambil bisa saja terdapat pada permukaan tanah atau dalam lapisan tanah yang proses eksploitasinya (melalui penambangan) akan mengubah tata guna lahan serta mempengaruhi ekosistem yang ada disekitarnya.

2.2.5. Limbah

Dalam inventarisasi GRK pada sektor limbah menyumbang emisi karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan nitro oksida (N_2O). Metana merupakan gas yang paling banyak terbentuk dan dilepaskan ke udara. Potensi

pembentukan gas rumah kaca dari limbah dipicu oleh muatan organik dari cairan limbah dan volume limbah tersebut (IPCC, 2006).

Berdasarkan Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional (Pepres no. 71 Tahun 2011) tentang kegiatan penggunaan energi meliputi 2 hal, yaitu:

1. Penggunaan bahan bakar pada peralatan-peralatan stasioner (di industri, komersial, dan rumah tangga).
2. Peralatan-peralatan yang bergerak (transportasi).

Persamaan umum yang digunakan untuk menghitung emisi GRK dari pembakaran bahan bakar adalah:

$$\text{Emisi GRK (kg/thn)} = \text{Konsumsi energi (TJ/thn)} \times \text{Faktor Emisi (kg/TJ)} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Konsumsi energi (TJ)} = \text{Konsumsi energi (sat.fisik)} \times \text{Nilai kalor (TJ/sat.fisik)} \dots\dots(2)$$

Keterangan

TJ = Terra Joule

Tabel 4. Nilai kalor bahan bakar Indonesia

Bahan bakar	Nilai kalor	Penggunaan
Premium	33×10^{-6} J/liter	Kendaraan bermotor
Solar	36×10^{-6} J/liter	Kendaraan bermotor Pembangkit listrik
Minyak Diesel	38×10^{-6} J/liter	Boiler industri Pembangkit listrik
MFO (<i>Marine Fuel Oil</i>)	40×10^{-6} J/liter	Pembangkit listrik
Gas Bumi	$1,055 \times 10^{-6}$ J/SCF	Industri, rumah tangga, dll
LPG (<i>Liquid Petroleum Gas</i>)	$47,3 \times 10^{-6}$ J/kg	Rumah tangga, restoran, dll
Batu Bara	$18,9 \times 10^{-6}$ J/ton	Pembangkit listrik, industri

Sumber: Buku Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II-Volume 1

2.3. Jejak Karbon

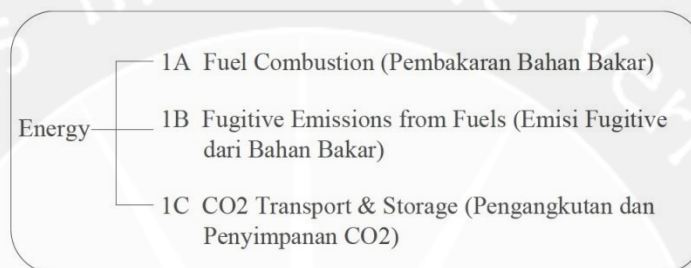
Menurut laporan penelitian ISA UK Research Report tentang definisi jejak karbon (*Carbon Footprint*) disimpulkan sebuah definisi bahwa jejak karbon adalah suatu ukuran jumlah total dari emisi karbon dioksida yang secara langsung maupun tidak langsung yang disebabkan oleh aktivitas dan akumulasi yang berlebih dari penggunaan produk dalam kehidupan sehari-hari (Wiedmann dan Minx, 2007). Sehingga dapat dikatakan bahwa jejak karbon merupakan ukuran dampak aktivitas manusia terhadap lingkungan dan perubahan iklim tertentu yang berhubungan dengan peningkatan gas rumah kaca.

Aktivitas manusia dalam menghasilkan emisi CO₂ dapat dihitung dengan melihat penggunaan bahan bakar fosil dalam keseharian manusia berupa minyak bumi ataupun gas alam secara langsung dapat menghasilkan CO₂ serta melihat penggunaan listrik untuk keperluan sehari-hari. Emisi CO₂ dari aktivitas penggunaan listrik berasal dari pembangkit listrik sebagai pemasok energi listrik yang digunakan dan nilai CO₂ yang dihasilkan dihitung dari besar daya penggunaan listrik sehari-hari. Jejak karbon yang juga dikenal dengan *Carbon Footprint* (CFP) dinyatakan dalam satuan ton setara CO₂ (tCO₂e) atau kg-setara-CO₂ (kgCO₂e).

2.3.1. Jejak karbon primer

Jejak karbon primer yaitu ukuran emisi CO₂ yang bersifat langsung. Ukuran emisi ini didapat dari hasil pembakaran bahan bakar fosil yang secara langsung menghasilkan emisi CO₂, misalnya dari proses kerja mesin berbahan bakar disel, alat transportasi atau dari gas LPG (*Liquid Petroleum Gas*)/minyak

tanah untuk memasak. Umumnya jejak karbon primer ini bersumber langsung dari hasil pembakaran langsung bahan bakar, namun dalam konteks inventarisasi GRK pada sektor energi, emisi langsung atau primer yang terjadi dapat dibedakan menjadi tiga kategori yaitu pembakaran bahan bakar langsung, emisi fugitive dari bahan bakar, pengangkutan dan penyimpanan CO₂.



Gambar 7. Ilustrasi kategori sumber-sumber emisi GRK sektor energi

Sumber: Buku Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, Buku II-Volume 1

2.3.2. Jejak karbon sekunder

Jejak karbon sekunder yaitu ukuran emisi CO₂ yang tidak bersifat langsung. Hal ini diperoleh dari penggunaan berbagai produk yang kita gunakan dengan memanfaatkan energi listrik, misalnya penggunaan produk-produk hasil pabrikasi maupun penggunaan lampu, AC (*Air Conditioning*) dan berbagai peralatan elektronik lainnya.

2.3.3. Jejak karbon material bangunan

Material-material bangunan diproduksi menggunakan energi dengan tahapan fabrikasi yang menghasilkan emisi. Dalam mewujudkan bangunan yang berkelanjutan diharapkan pemilihan material secara bijak yang memiliki jejak karbon yang pendek. Dengan adanya standar internasional dan panduan IPCC

mengenai jejak karbon maka sektor industri mulai meningkatkan kualitas produksi material yang rendah emisi.

Di Eropa produksi material menggunakan indikator lingkungan yang diatur dalam standar Eropa EN 15804.

Tabel 5. Informasi jejak karbon beberapa material bangunan

Other building products	CO ₂ e (g/kg)
Aerated concrete block, Europe	442
Reinforced Aerated Concrete Block, Europe	511
Aluminium extrusion profile, Europe	2264
Aluminium sheet, Europe	2980
Ceramic Tile, Finland	613
Stainless Steel, Cold Rolled	3778
Copper Sheet, Europe	973
Copper tube, Europe	981
Copper wire, Europe	788
Crushed stone, Europe	14
Float Glass, Europe	1230
Gravel 2/32, Europe	3
Gypsum plaster, Germany	243
Gypsum stone, Germany	3
Lightweight Concrete Block, Europe	240
Polyethene (LDPE), Europe	2130
Pre-cast Concrete 20/25 (Europe)	121
Sand 0/2 (Europe)	2

Sumber: Buku Carbon Footprint for Building Products

2.4. Faktor Emisi

Faktor emisi adalah massa dari suatu polutan yang dihasilkan relatif untuk setiap unit proses, per satuan massa bahan bakar yang dikonsumsi atau per unit produksi atau juga dapat dikatakan faktor emisi merupakan nilai rata-rata suatu parameter pencemaran udara yang dikeluarkan oleh sumber spesifik. Bila melihat sumber yang menghasilkan emisi maka faktor emisi dapat dibedakan menjadi dua yakni faktor emisi primer dan faktor emisi sekunder.

2.4.1. Faktor emisi primer

Faktor emisi primer adalah faktor emisi yang nantinya akan dikalikan dengan jumlah penggunaan bahan bakar dalam sebulan sehingga dapat diketahui jumlah emisi yang dikeluarkan dari bahan bakar yang digunakan. Pembakaran bahan bakar terjadi di berbagai sektor kegiatan seperti industri, transportasi, komersial, dan rumah tangga. Pada sektor industri dibedakan lagi menjadi dua yaitu industri produsen energi (lapangan migas, tambang batu bara, kilang minyak, pembangkit listrik) dan industri konsumen energi (industri manufaktur, konstruksi dan sejenisnya)

Tabel 6. Faktor emisi dan NCV bahan bakar LPG

Bahan bakar	Faktor Emisi	NVC (Mj/kg)
LPG	17,2	48,85

Sumber: IPCC 1996

Rumus perhitungan CO₂ LPG :

$$P_{ey} = F_{cy} \times EF_{CO_2} \times NVC_{LPG} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P_{ey} = Total emisi CO₂

F_{cy} = Konsumsi LPG (kg)

EF_{CO_2} = Faktor emisi LPG 17,2 gram Carbon/MJ

NCV (*Net Calorific Value*) = Nilai Kalor Bersih LPG 48,85 MJ/kg

Tabel 7. Faktor emisi dan NVC bahan bakar minyak tanah

Bahan bakar	Faktor Emisi	NVC (Mj/kg)
Minyak tanah	19,4	44,75

Sumber: Pertamina

Rumus perhitungan CO₂ minyak tanah :

$$P_{ey} = EF_{\text{kerosene}} \times FC_{\text{kerosene}} \times NVC_{\text{kerosene}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

P_{ey} = Total emisi CO₂

EF_{kerosene} = Faktor emisi minyak tanah 19,4 gram Carbon/MJ

FC_{kerosene} = Konsumsi kerosene (kg)

NVC_{kerosene} = Nilai Kalor Bersih minyak tanah 44,75 MJ/kg

2.4.2. Faktor emisi sekunder

Faktor emisi sekunder merupakan faktor emisi karbon dari konsumsi energi listrik. Konsumsi energi listrik tidak secara langsung berkontribusi terhadap emisi CO₂, akan tetapi berperan dalam menghasilkan CO₂ di pusat pembangkit listrik yang berbahan bakar fosil.

Rumus perhitungan

$$EF = SFC \times NCV \times CEF \times \text{Oxid} \times 44/12 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

EF = *Emission factor*

SFC = *Specific Fuel Consumption* kiloton fuel/Megawatthour (kt fuel/MWh)

NCV = *Net Calorific Value* tera joule/kiloton fuel (TJ/kton fuel)

CEF = *Carbon Emission Factor* (TC/TJ)

Oxid = *Oxidation factor*

Setelah faktor emisi dihitung lalu:

Emisi CO₂ = EF x pemakaian listrik (kilowatt)(2)

Keterangan :

EF = Faktor emisi CO₂ konsumsi listrik (satuan massa/MWh)

