

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Efisiensi Energi**

Efisiensi energi adalah konsep yang merujuk pada penggunaan energi yang lebih sedikit untuk memberikan tingkat output yang sama, baik dalam bentuk layanan, produk, atau proses. Menurut International Energy Agency (IEA, 2020), efisiensi energi dapat didefinisikan sebagai "penggunaan energi yang lebih sedikit untuk mencapai hasil yang sama, yang dapat mengurangi biaya energi dan emisi gas rumah kaca." Konsep ini menjadi semakin penting dalam konteks perubahan iklim dan kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan efisiensi energi adalah melalui teknologi dan inovasi. Misalnya, penggunaan peralatan yang lebih efisien, seperti lampu LED dan mesin industri yang hemat energi, dapat secara signifikan mengurangi konsumsi energi (Moussa et al., 2019). Selain itu, penerapan sistem manajemen energi yang baik, seperti ISO 50001, dapat membantu organisasi dalam mengidentifikasi peluang efisiensi dan mengimplementasikan praktik terbaik dalam penggunaan energi (Zhang et al., 2021).

Pada sektor industri, efisiensi energi tidak hanya berkontribusi pada pengurangan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan daya saing perusahaan. Menurut penelitian oleh Thollander dan Ottosson (2010), perusahaan yang menerapkan program efisiensi energi dapat mengalami penghematan biaya yang signifikan, yang pada gilirannya dapat diinvestasikan kembali untuk inovasi dan pengembangan produk.

Selain itu, kebijakan pemerintah juga memainkan peran penting dalam mendorong efisiensi energi. Berbagai negara telah mengimplementasikan regulasi dan insentif untuk mendorong penggunaan teknologi efisien dan pengurangan emisi, seperti pajak karbon dan subsidi untuk energi terbarukan (Gillingham et al., 2009). Secara keseluruhan, efisiensi energi merupakan elemen kunci dalam strategi keberlanjutan dan mitigasi perubahan iklim. Dengan mengadopsi praktik efisiensi

energi, baik di tingkat individu maupun organisasi, kita dapat berkontribusi pada pengurangan emisi karbon dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

## 2.2. Efisiensi Energi pada Gedung

Efisiensi energi pada gedung merupakan salah satu aspek kunci dalam upaya mencapai keberlanjutan lingkungan dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Gedung menyumbang sekitar 40% dari total konsumsi energi global, sehingga peningkatan efisiensi energi di sektor ini dapat memberikan dampak signifikan terhadap pengurangan jejak karbon (International Energy Agency [IEA], 2020). Berbagai strategi dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi energi, termasuk desain arsitektur yang cerdas, penggunaan material bangunan yang ramah lingkungan, dan penerapan teknologi efisien. Misalnya, desain pasif yang memanfaatkan pencahayaan alami dan ventilasi silang dapat mengurangi kebutuhan akan pencahayaan buatan dan pendinginan mekanis (Tzempelikos & Athienitis, 2007). Selain itu, penggunaan material insulasi yang berkualitas tinggi dapat mengurangi kehilangan panas dan pendinginan, sehingga mengurangi beban pada sistem HVAC (*heating, ventilation, and air conditioning*) (Kibert, 2016)

Di samping strategi desain, teknologi modern juga memainkan peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi pada gedung. Sistem manajemen energi yang canggih, seperti penggunaan sensor dan otomatisasi, memungkinkan pemantauan dan pengendalian penggunaan energi secara real-time, sehingga mengoptimalkan konsumsi energi sesuai dengan kebutuhan aktual (Zhou et al., 2018). Penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi efisiensi energi, seperti lampu LED, sistem HVAC yang efisien, dan perangkat pintar, dapat mengurangi konsumsi energi hingga 30% atau lebih (Ahn et al., 2013). Selain manfaat lingkungan, peningkatan efisiensi energi juga dapat menghasilkan penghematan biaya operasional yang signifikan dan meningkatkan kenyamanan penghuni, yang pada gilirannya dapat meningkatkan nilai properti (Moussa et al., 2019). Dengan demikian, efisiensi energi pada gedung tidak hanya berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan sosial yang substansial.

### 2.3. Jejak Karbon

Jejak karbon (carbon footprint) adalah ukuran total emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan oleh individu, organisasi, produk, atau kegiatan tertentu, biasanya dinyatakan dalam satuan ton karbon dioksida ekuivalen (CO<sub>2</sub>e). Menurut WMO (2021), jejak karbon mencakup emisi dari berbagai sumber, termasuk pembakaran bahan bakar fosil, penggunaan listrik, dan proses industri. Konsep ini penting dalam konteks perubahan iklim karena membantu mengidentifikasi kontribusi individu atau entitas terhadap pemanasan global. Jejak karbon dapat dibagi menjadi dua kategori utama: jejak karbon langsung, yang mencakup emisi dari aktivitas yang dilakukan secara langsung, dan jejak karbon tidak langsung, yang mencakup emisi dari aktivitas yang tidak dilakukan secara langsung, seperti produksi barang dan jasa (Wiedmann & Minx, 2008).

Guna mengukur jejak karbon, terdapat beberapa metode yang umum digunakan. Metode inventarisasi emisi melibatkan pengumpulan data tentang penggunaan energi dan aktivitas lainnya yang menghasilkan emisi, yang kemudian dihitung menggunakan protokol seperti *Greenhouse Gas Protocol* (WRI & WBCSD, 2004). Selain itu, analisis siklus hidup (*Life Cycle Assessment - LCA*) digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari suatu produk atau layanan sepanjang siklus hidupnya (Guinée et al., 2011). Metode lain termasuk modeling dan simulasi untuk memperkirakan jejak karbon berdasarkan data yang tersedia, serta pengukuran langsung emisi menggunakan alat yang mengukur konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer (IPCC, 2014). Meskipun pengukuran jejak karbon sangat penting, tantangan seperti ketersediaan data yang akurat dan variabilitas metode dapat mempengaruhi hasil pengukuran (Hoffman, 2018).

### 2.4. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC)

*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) adalah perhimpunan dunia yang terbentuk tahun 1998 oleh PBB. Berdasarkan penilaian, IPCC menentukan status hal yang diketahui mengenai perubahan iklim. Berdasarkan keputusan yang telah disepakati pada COP 8 bagi negara berkembang seperti Indonesia, pedoman yang digunakan untuk menyusun inventarisasi GRK adalah

*Revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Pedoman ini juga dilengkapi dengan dua pedoman lainnya yaitu *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories* yang diterima IPCC tahun 2000 dan *The Good Practice Guidance on Land Use, Land-Use Change and Forestry (GPG for LULUCF)* yang diterima IPCC tahun 2003 (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012).

IPCC 2006 *guidelines* menyediakan petunjuk dalam metodologi pendugaan emisi dalam tiga tingkat ketelitian yang dikenal dengan istilah “*Tier*” dengan pendekatan menggunakan pohon keputusan sebagai pedoman dalam pemilihan metode yang digunakan agar sesuai dengan kondisi yang ada (IPCC, 2006). Tingkatan tersebut antara lain yaitu:

- a. *Tier I*, yaitu metode perhitungan emisi dan serapan secara sederhana dengan estimasi didasarkan pada data aktivitas dan faktor emisi *default*.
- b. *Tier II*, yaitu metode perhitungan emisi dan serapan dengan persamaan yang lebih spesifik dengan estimasi berdasarkan data aktivitas yang berasal dari sumber data nasional dan/atau daerah, dan menggunakan faktor emisi lokal yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung. *Tier III*, yaitu metode perhitungan emisi dan serapan dengan menggunakan persamaan paling spesifik dengan pendekatan *modeling* dan *sampling* sehingga memiliki nilai kepastian yang lebih besar.

## **2.5. Perhitungan Konsumsi Energi Listrik**

Perusahaan menggunakan 2 (dua) sumber energi yaitu energi listrik dan bahan bakar solar untuk kegiatan operasionalnya. Energi listrik digunakan sebagai energi utama penggerak kegiatan produksi (pompa produksi, perkantoran, penerangan dan pengkondisian udara) sedangkan solar digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel penggerak genset dan pompa PMK.

Penggunaan energi listrik berasal dari PLN sebagai sumber utama dengan dua pembangkit energi yaitu Trafo MDP dan RTW. Berdasarkan fungsinya penggunaan energi dibagi menjadi 3 yaitu keperluan produksi, keperluan perkantoran, dan

keperluan penerangan. Energi yang digunakan untuk keperluan produksi meliputi motor listrik penggerak pompa produksi. Sedangkan keperluan office meliputi AC, peralatan elektronik, dan pompa air. Keperluan penerangan berupa LPJU (Lampu Penerangan Jalan Umum) dan penerangan dalam ruangan. (Laporan Audit Energi PT Pertamina, 2023). Konsumsi energi bulanan untuk setiap peralatan/peralatan dihitung menggunakan rumus persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.1).

$$E_m = N \times P \times t \times d \quad (2.1)$$

Dengan  $E_m$  adalah konsumsi energi bulanan (kWh),  $N$  adalah Jumlah peralatan/perengkapan,  $P$  adalah peringkat daya peralatan/perengkapan (watt),  $t$  adalah jam operasi harian, dan  $d$  adalah jumlah hari operasi/bulan

## 2.6. Perhitungan Konsumsi Listrik Sistem Pendingin Udara

Sistem pengkondisian udara menggunakan AC split, yang menggunakan *refrigerant musicool* dengan sistem pengoperasian secara manual oleh pengguna dalam proses operasinya. Beban AC dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu beban pendingin eksternal dan internal (Laporan Audit Energi PT Pertamina, 2023). Berdasarkan hasil observasi, faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem AC adalah:

### a) Beban Pendinginan Internal

Beban pendingin internal adalah beban yang berasal dari dalam ruangan yang dikondisikan, sumber beban internal adalah beban panas dari orang, lampu, dan peralatan lainnya. Beban internal terbesar adalah tingkat okupansi. Termal yang berasal dari jumlah orang dapat meningkatkan beban termal internal bagi ruangan ber-AC.

### b) Beban Pendinginan Eksternal

Beban pendinginan eksternal adalah beban yang berasal dari luar ruangan yang dikondisikan seperti infiltrasi panas melalui kaca, dinding, dan udara ketika membuka pintu.

Berdasarkan analisis dan referensi yang didapatkan konsumsi energi sistem pendinginan udara dihitung menggunakan persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.2).

$$E_{aircond} \text{ (Kwh)} = (\text{VRV} \times 746 \times t_1) / 1000 + (\text{VRV} \times 746 \times t_2) / 1000 + (\text{VRV} \times 746 \times t_3) / 1000 \quad (2.2)$$

Dengan VRV adalah Unit kondensor operasi AC pada setiap level,  $t_1$  adalah Waktu operasi beban dasar,  $t_2$  adalah Waktu operasi beban rata-rata, dan  $t_3$  adalah Waktu operasi beban puncak.

### 2.7. Perhitungan Energi Listrik Sistem Pencahayaan Gedung

Penerangan pada perusahaan terdiri dari penerangan dalam ruangan dan luar ruangan. Penerangan dalam ruangan didominasi untuk keperluan penerangan *office* sedangkan penerangan luar ruangan digunakan untuk keperluan lampu Penerangan Jalan Umum (LPJU) dan area produksi (Laporan Audit Energi PT Pertamina, 2023). Pencahayaan merupakan penggunaan akhir yang paling penting untuk mengurangi konsumsi energi dalam suatu bangunan. Lampu pijar dan lampu neon kompak (CFL) merupakan lampu utama dalam bangunan R&D. LED merupakan salah satu ECO dan bangunan berkelanjutan yang dinilai. Potensi penghematan biaya energi dengan mengganti LED dapat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.3):

$$EC = N \times P \times t \times TRF \quad (2.3)$$

Dengan EC adalah biaya energi, N adalah jumlah lampu yang terpasang, P adalah daya terukur (Watt), t adalah waktu operasi (jam/tahun), dan TRF adalah Biaya tarif,

Guna merealisasikan perlengkapan pencahayaan yang ada ke LED, sistem pencahayaan dibagi dan ditandai menjadi 3 tingkat, di mana tingkat A mengacu pada tiga lantai konsumsi tertinggi pertama, diikuti oleh lantai tingkat B dan lantai tingkat C. Investasi yang diperlukan berdasarkan jumlah lantai yang terlibat dalam inisiatif perbaikan pencahayaan dihitung menggunakan persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6):

$$TIC_{\text{level A}} = TQ_{\text{level A}} \times R \quad (2.4)$$

$$\mathbf{TIC}_{\text{level A+B}} = \mathbf{TQ}_{\text{level A+B}} \times \mathbf{R} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{TIC}_{\text{level A+B+C}} = \mathbf{TQ}_{\text{level A+B+C}} \times \mathbf{R} \quad (2.6)$$

Dengan **TIC** adalah Total biaya investasi, **TQ** adalah Total jumlah perlengkapan pencahayaan pada masing-masing tingkat, dan **R** adalah Biaya per unit penggantian

Penghematan energi tahunan setelah mengganti lampu yang ada dengan LED dihitung menggunakan persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.7), (2.8), dan (2.9):

$$\mathbf{AES}_{\text{level A}} = \mathbf{AEC}_{\text{std}} - \mathbf{AEC}_{\text{LED level A}} \quad (2.7)$$

$$\mathbf{AES}_{\text{level A+B}} = \mathbf{AEC}_{\text{std}} - \mathbf{AEC}_{\text{LED level A+B}} \quad (2.8)$$

$$\mathbf{AES}_{\text{level A+B+C}} = \mathbf{AEC}_{\text{std}} - \mathbf{AEC}_{\text{LED level A+B+C}} \quad (2.9)$$

Dengan **AES** adalah Penghematan energi tahunan (kWh), **AEC<sub>std</sub>** adalah Konsumsi energi tahunan dari pencahayaan yang ada (kWh), dan **AEC<sub>LEDlevel</sub>** adalah konsumsi energi tahunan dari pencahayaan LED (kWh).

Penghematan biaya tahunan (**ACS**) telah diperkirakan dengan persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.10), (2.11), dan (2.12) :

$$\mathbf{ACS}_{\text{level A}} = \mathbf{AES}_{\text{LevelA}} \times \mathbf{TRF} \quad (2.10)$$

$$\mathbf{ACS}_{\text{level A+B}} = \mathbf{AES}_{\text{LevelA+B}} \times \mathbf{TRF} \quad (2.11)$$

$$\mathbf{ACS}_{\text{level A+B+C}} = \mathbf{AES}_{\text{LevelA+B+C}} \times \mathbf{TRF} \quad (2.12)$$

Dengan **ACS** adalah Penghematan biaya tahunan, **AES<sub>level</sub>** adalah Penghematan energi tahunan dari inisiatif perbaikan pencahayaan (kWh), dan **TRF** adalah Biaya tarif.

Periode pengembalian sederhana (**PBP**) telah dihitung dengan menggunakan persamaan berdasarkan penelitian (Ali et al, 2020) terlampir pada persamaan (2.13):

$$\mathbf{PBP} = \mathbf{TIC} / \mathbf{ACS} \quad (2.13)$$

Dengan **PBP** adalah Periode pengembalian modal sederhana (tahun), **TIC** adalah Total biaya investasi, dan **ACS** adalah Total penghematan biaya tahunan.

## 2.8. Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> dari Energi Listrik ke GRK

Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub> dari Energi Listrik Pada perhitungan emisi GRK dari pembangkit listrik dapat digunakan nilai produksi listrik (kWh) yang nantinya akan dikalikan faktor emisi sehingga didapat nilai emisi GRK. Perhitungan emisi GRK dari konsumsi listrik dapat dilakukan dengan data konsumsi listrik dikalikan dengan faktor emisi (kg CO<sub>2</sub>/kWh) (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Berdasarkan persamaan perhitungan (2.14) tersebut nantinya didapatkan nilai emisi CO<sub>2</sub> dari jumlah konsumsi listrik.

$$\text{EmisiGRK, BB} = \text{Konsumsi BBBB} \times \text{Faktor EmisiGRK, BB} \quad (2.14)$$

Dengan **BB** adalah Singkatan dari jenis Bahan Bakar (misal batubara, Gas Bumi, solar, listrik), **EmisiGRK, BB** adalah Emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg GRK), **Konsumsi BBBB** adalah Banyaknya bahan bakar yang dibakar menurut jenis bahan bakar (dalam Tj), dan **Faktor EmisiGRK, BB** adalah Faktor emisi GRK jenis tertentu menurut jenis bahan bakar (kg gas/Tj)

## 2.9. Perhitungan Emisi GRK ke Gas CO<sub>2</sub>e

Metode perhitungan yang diikuti dalam Pedoman IPCC untuk menghitung emisi/serapan GRK adalah melalui perkalian antara informasi aktivitas manusia dalam jangka waktu tertentu (data aktivitas, DA) dengan emisi/serapan per unit aktivitas (faktor emisi/serapan, FE) (Dinas Lingkungan Hidup, 2014). Persamaan perhitungan emisi GRK terlampir pada persamaan (2.15) :

$$\text{Emisi GRK} = \text{DA} \times \text{FE} \quad (2.15)$$

Dengan **DA** adalah Data aktivitas, yaitu informasi terhadap pelaksanaan suatu kegiatan yang melepaskan atau menyerap gas rumah kaca yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia, dan **FE** adalah Faktor Emisi, yaitu besaran yang menunjukkan jumlah emisi gas rumah kaca yang akan dilepaskan atau diserap dari suatu aktivitas tertentu.

Jenis emisi utama yang diperkirakan dalam perhitungan emisi GRK meliputi gas CO<sub>2</sub> dan Non- CO<sub>2</sub>. Emisi gas Non CO<sub>2</sub> meliputi gas metan (CH<sub>4</sub>) dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Data emisi yang digunakan untuk memperkirakan

jumlah emisi dan skenario mitigasinya dalam dokumen RAD GRK yaitu konsentrasi CO<sub>2</sub>. Pendugaan emisi non CO<sub>2</sub> biasanya melibatkan tingkat emisi dari suatu sumber langsung ke atmosfer. Untuk mendapatkan nilai emisi gas non CO<sub>2</sub> dapat menggunakan nilai konversi yang dihitung berdasarkan nilai emisi CO<sub>2</sub>. Nilai konversi emisi CO<sub>2</sub> menjadi emisi gas non CO<sub>2</sub> terlampir pada Tabel 2. 1 Faktor Emisi Bahan Bakar dan Tabel 2. 2 Nilai Faktor Emisi CO<sub>2</sub>.

**Tabel 2. 1 Faktor Emisi Bahan Bakar**

Jenis Bahan Bakar	Tier 1 (kg CO <sub>2</sub> /TJ)	Tier 2 (kg CO <sub>2</sub> /TJ)
Bensin RON 92	69,300	72,600
Bensin RON 88	69,300	72,967
Avtur	71,500	73,333
Minyak Tanah	71,900	73,700
<i>Automotive Diesel Oil</i> (ADO)	74,100	74,433
<i>Industrial Diesel Oil</i> (IDO)	74,100	74,067
<i>Residual Fuel Oil</i> (RFO)	77,400	75,167
Batubara	96,100	99,718
Gas Alam	56,100	57,600

Sumber: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2, 2006; Puslitbang Lemigas, 2017; Puslitbang Tekmira, 2016

**Tabel 2. 2 Nilai Faktor Emisi CO<sub>2</sub>**

Ssitem Interkoneksi	Nilai Faktor Emisi CO <sub>2</sub> (Tahun 2018)	
	Ex-post	Ex-ante
Jamali	0,84	0,83

Sumber: Kementerian ESDM 2018

## 2.10. Identifikasi Peluang Penghematan Energi

Identifikasi Peluang Hemat Energi Identifikasi peluang hemat energi dilakukan dengan melakukan pengumpulan data, selanjutnya ditindak lanjuti dengan penghitungan besarnya IKE, dan penyusunan profil penggunaan energi bangunan gedung. Apabila besarnya IKE hasil penghitungan ternyata sama atau kurang dari IKE target, maka kegiatan audit energi rinci dapat dihentikan atau diteruskan untuk memperoleh IKE yang lebih rendah lagi. Bila hasilnya lebih dari IKE target, berarti ada peluang untuk melanjutkan proses audit energi rinci berikutnya guna memperoleh penghematan energi. Analisis peluang hemat energi berdasarkan (Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-6196-2000).

