

Perhitungan dan Mitigasi Emisi Karbon Berdasarkan Inventarisasi Alat Elektronik di Hotel Bintang 5 Surabaya

Arvia Zeva Eka Putri Armandik¹, Ahmad Erlan Afiuddin^{2*}, dan Mar'atus Sholihah³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: erlan.ahmad@ppns.ac.id

Abstrak

Sektor perhotelan, khususnya hotel bintang lima merupakan konsumen energi yang signifikan akibat tingginya tingkat penggunaan fasilitas elektronik untuk menunjang pelayanan dan kenyamanan tamu. Konsumsi energi listrik yang tinggi berdampak langsung terhadap peningkatan emisi karbon (CO_2), sehingga menjadi perhatian utama dalam isu pemanasan global dan keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini bertujuan menghitung besaran emisi karbon dari konsumsi listrik inventarisasi alat elektronik di sebuah hotel bintang lima Kota Surabaya dan mengkaji potensi mitigasi menggunakan panel surya. Inventarisasi dilakukan terhadap seluruh alat elektronik yang berkontribusi dalam konsumsi listrik hotel selama satu tahun. Dengan melakukan pendekatan menghitung jumlah alat elektronik pada setiap area yang dimiliki oleh hotel dan melakukan perhitungan jam operasional berdasarkan jadwal pengoperasian alat elektronik tersebut oleh pihak hotel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total emisi karbon yang dihasilkan dari konsumsi listrik inventarisasi dalam satu tahun mencapai 3.728,3 Ton CO_2 . Implementasi panel surya sebagai mitigasi menunjukkan penurunan emisi karbon sebesar 1,36%, dengan kapasitas dan efisiensi instalasi yang diterapkan. Konsumsi listrik alat elektronik di hotel bintang lima memberikan kontribusi emisi karbon yang besar tiap tahunnya. Penggunaan panel surya dapat menjadi solusi mitigasi yang efektif, dengan catatan perlunya integrasi yang tepat dengan sistem kelistrikan hotel untuk penurunan emisi secara optimal dengan target keberlanjutan industri perhotelan.

Keywords: Emisi karbon, hotel bintang 5, konsumsi listrik, inventarisasi alat elektronik, panel surya.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya volume Gas Rumah Kaca (GRK) merupakan fenomena pemanasan global termasuk adanya peningkatan kadar karbon dioksida (CO_2) (Kurniawan *et al.*, 2024). Saat ini, konsentrasi CO_2 di atmosfer mencapai tingkat tertinggi yang pernah ada (Admaja *et al.*, 2020). Sejak abad ke-20, suhu bumi meningkat hingga mencapai temperatur $0,8^\circ\text{C}$ diawali dengan suhu daratan hingga lautan (Singh, 2014). Beberapa faktor yang mempengaruhi ekosistem secara langsung maupun tidak seperti angin, kelembaban, curah hujan, tekanan, dan penguapan (Muhsin *et al.*, 2023). Perubahan pada kualitas air juga menjadi salah satu dampak dari adanya pemanasan global (Ondiko *et al.*, 2022).

Peranan penting dalam menjaga temperatur bumi salah satunya adalah GRK, yang mendukung kestabilan lingkungan dan suhu bumi tetap hangat sehingga mendukung keberlangsungan makhluk hidup (Irma, 2024). Beberapa tahun terakhir, aktivitas manusia meningkat pesat menyebabkan lonjakan penggunaan energi dari kegiatan yang dilakukan, penggunaan teknologi menjadi tak terhindarkan (Safwan, 2024). Sektor jasa seperti perhotelan sering dianggap remeh dampaknya mengenai lingkungan, sedangkan pengoperasian hotel berlangsung selama 24 jam dan menawarkan jasa yang memberikan dampak besar terhadap lingkungan (Niwedya & Singgih, 2015). Pemanfaatan sumber daya secara maksimum untuk kepuasan tamu tidak dipungkiri juga memproduksi limbah (Sihombing *et al.*, 2024). Emisi yang dihasilkan dari pengoperasian hotel contohnya bersumber dari beberapa aktivitas seperti konsumsi listrik, penggunaan pendingin udara, proses memasak, serta pengelolaan limbah (Satriani & Taryono, 2023). Penggunaan energi hotel umumnya bersumber dari dua sumber utama dengan penggunaan langsung meliputi LPG, batu bara, dan diesel (Tanoto, 2023). Berdasarkan Undang-Undang Kepariwisataan No. 10 Tahun 2009 setiap pengusaha di bidang pariwisata bertanggung jawab menjaga lingkungan hidup yang sehat, bersih, dan indah, serta alam dan budaya setempat. Penelitian sebelumnya oleh Chan (2021) mengenai pentingnya mengurangi jejak karbon yang dilakukan oleh pemilik hotel.

Penelitian ini bertujuan menghitung emisi karbon CO_2 berdasarkan konsumsi listrik yang diperoleh dari inventarisasi alat elektronik di hotel. Kemudian menganalisis potensi pengurangan emisi karbon melalui penerapan mitigasi menggunakan panel surya. Dengan menginventarisasi penggunaan energi listrik hotel dari perangkat elektronik yang ada, penelitian akan menentukan besarnya emisi CO_2 yang dihasilkan menggunakan faktor konversi emisi yang sesuai. Selanjutnya, dengan memasang panel surya sebagai sumber

listrik alternatif, penelitian akan menghitung penurunan emisi karbon yang terjadi akibat pengurangan ketergantungan pada listrik konvensional berbasis fosil. Namun, efektivitas panel surya untuk mengurangi emisi bergantung pada konteksnya, dengan faktor-faktor yang mempengaruhi kuantitas emisi gas rumah kaca yang dihasilkan (O'Rourke & Seepersad, 2015).

2. METODE

Data energi listrik yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh melalui inventarisasi menyeluruh terhadap alat elektronik yang terdapat di hotel bintang lima yang menjadi objek studi. Inventarisasi mencakup jenis alat elektronik serta penyesuaian waktu pengoperasian perangkat untuk mendapatkan estimasi konsumsi listrik selama satu tahun operasional hotel. Perhitungan emisi karbon dilakukan menggunakan rumus dari IPCC (2006) dengan faktor emisi listrik nasional Indonesia. Faktor emisi yang digunakan adalah data resmi dari Ditjen Ketenagalistrikan ESDM Indonesia (2019), metode perhitungan yang digunakan adalah dengan rumus berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 = \text{Konsumsi energi listrik (MWh)} \times \text{Faktor emisi} \quad (2.1)$$

Keterangan:

Konsumsi energi listrik : Listrik yang digunakan (MWh)

Faktor emisi : 0,87 TonCO₂/MWh (Ditjen Ketenagalistrikan ESDM Indonesia, 2019)

Adapun rumus yang digunakan untuk analisis sektor mitigasi panel surya meliputi penurunan biaya, penggunaan energi, maupun emisi setelah pemasangan panel surya dengan beberapa rumus berikut:

$$\text{Selisih energi} = \text{Konsumsi listrik sebelum pemasangan} - \text{Konsumsi listrik setelah pemasangan} \quad (2.2)$$

$$\text{Selisih biaya} = \text{Biaya energi listrik sebelum pemasangan} - \text{Biaya energi listrik setelah pemasangan} \quad (2.3)$$

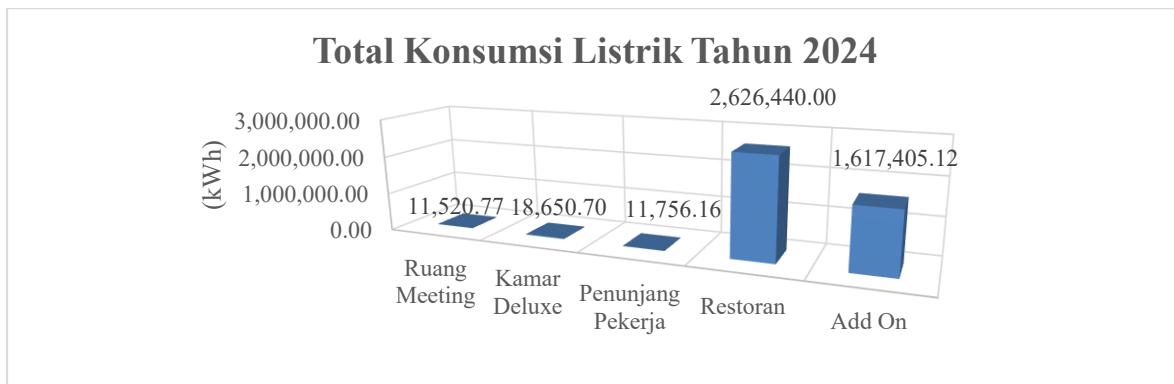
$$\text{Selisih emisi} = \text{Emisi sebelum pemasangan} - \text{Emisi setelah pemasangan} \quad (2.4)$$

Kemudian dilakukan analisis dari segi ekonomi menggunakan rumus *Payback Period* mengenai pemasangan panel surya untuk mengetahui kembalinya biaya investasi setelah pemasangan panel surya. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Payback period} = \frac{\text{Total investasi}}{\text{Penghematan biaya}} \quad (2.5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil inventarisasi alat elektronik beserta konsumsinya disajikan pada Tabel 1. Sumber penggunaan energi listrik meliputi penggunaan alat elektronik dengan pembagian area. Alat elektronik pada ruang *meeting* dapat berupa *sound system*, mesin kopi, dll. Kamar *deluxe* meliputi lampu kamar, televisi, *hair dryer*, dll. Penunjang pekerja meliputi lift pekerja, komputer, alat – alat dapur kantin pekerja, dll. Restoran alatnya meliputi lemari pendingin, oven listrik, *toaster*, dll. Dan *add on* adalah fasilitas tambahan seperti AC, lift tamu, pengoperasian IPAL, laundry, dll. Gambar 1 akan menampilkan grafik nilai emisi karbon CO₂ dari nilai terendah hingga tertinggi.



Gambar 7. Grafik Total Konsumsi Energi Hotel Tahun 2024 Berdasarkan Inventarisasi

Berdasarkan data konsumsi energi listrik berdasarkan inventarisasi tersebut dilakukan perhitungan emisi karbon menggunakan persamaan (2.1) dengan total penggunaan energi listrik selama setahun. Namun perlu dilakukan konversi satuan konsumsi energi listrik menjadi MWh sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Konsumsi energi listrik} &= \text{Konsumsi energi listrik (kWh)} \div 1000 \\ &= 4.285.772,75 \text{ kWh} \div 1000 \\ &= 4.285,7 \text{ MWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Emisi CO}_2 &= \text{Konsumsi energi listrik (MWh)} \times \text{Faktor emisi} \\ &= 4.285,7 \text{ MWh} \times 0,87 \text{ TonCO}_2/\text{MWh} \\ &= 3.728,3 \text{ TonCO}_2/\text{MWh}\end{aligned}$$

Pasokan listrik hotel masih sepenuhnya berasal dari PLN, sehingga adapun alternatif yang diterapkan terhadap hotel untuk mengurangi konsumsi listrik dari supply PLN dan beralih menggunakan panel surya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit yang merubah energi sinar matahari menjadi listrik (Sihotang, 2019). Panel surya ramah bagi lingkungan beserta mengurangi potensi emisi karbon dengan artian cocok untuk diaplikasikan dengan kondisi tingginya kebutuhan energi dalam skala global (Joshi, 2021). Spesifikasi panel surya berdasarkan Sihotang (2019) yang digunakan berjenis monokristalin 250 Wp berdaya 443,92 W/hari dengan luasan per panel adalah 1,64 m². Kapasitas baterai sebesar 2kW, dengan inverternya 3kW. Daya produksi listriknya sebesar 0,44 kWh/hari. Ketersediaan lahan hotel untuk pemasangan panel surya adalah 600 m².

$$\begin{aligned}\text{Area bangunan terpapar sinar} &= \frac{\text{Luas area tersedia}}{\text{luas panel surya}} \\ &= \frac{600\text{m}^2}{1,64\text{m}^2} \\ &= 365 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Daya panel surya} &= \text{Daya satuan} \times \text{jumlah panel surya} \\ &= 0,44 \text{ kWh/hari} \times 365 \text{ unit panel} \\ &= 160,6 \text{ kWh/hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Akumulasi daya panel surya} &= \text{Daya panel surya} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 160,6 \text{ kWh/hari} \times 365 \text{ hari/tahun} \\ &= 58.619 \text{ kWh/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Analisis jumlah baterai} &= \frac{\text{Daya panel surya}}{\text{Kapasitas baterai}} \\ &= \frac{160,6 \text{ kWh}}{2\text{kW}} \\ &= 80 \text{ unit}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Analisis jumlah inverter} &= \frac{\text{Daya panel}}{\text{Kapasitas inverter}} \\ &= \frac{160,6}{3\text{kW}} \\ &= 53 \text{ unit}\end{aligned}$$

Berdasarkan data konsumsi energi listrik sebelum pemasangan panel surya sebesar 4.285.772,75 kWh selama setahun. Sedangkan panel surya dapat memproduksi energi listrik sebesar 58.619 kWh/tahun yang berarti selisih supply dari panel surya tidaklah signifikan. Berikut merupakan perhitungan penurunan konsumsi energi listrik dengan panel surya menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Selisih energi} &= \text{Konsumsi listrik sebelum pemasangan} - \text{Konsumsi listrik setelah pemasangan} \\ &= 4.285.772,75 \text{ kWh/tahun} - 58.619 \text{ kWh/tahun} \\ &= 4.227.153,75 \text{ kWh/tahun}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Penurunan emisi CO}_2 &= \text{Konsumsi energi listrik} \times 0,87 \text{ TonCO}_2/\text{MWh} \\ &= 4.227.1 \text{ MWh/tahun} \times 0,87 \text{ TonCO}_2/\text{MWh} \\ &= 3.677,6 \text{ TonCO}_2/\text{MWh}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{penurunan emisi} &= \frac{3.728,3 - 3.677,6}{3.728,3} \times 100\% \\ &= 1,36\%\end{aligned}$$

Kemudian dilakukan analisis perhitungan modal awal pemasangan panel surya dan komponennya seperti pada penelitian Sihotang (2019) dan dilakukan perhitungan penurunan biaya penghematan setelah pemasangan panel surya. Tabel 2 berisi informasi biaya komponen.

Tabel 1. Informasi Biaya Komponen

No	Komponen	Jumlah	Harga (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Panel Surya	365	2.365.000,00	863.225.000,00
2	Baterai	80	1.247.000,00	99.760.000,00
3	Inverter	53	2.261.000,00	119.833.000,00
Total				1.082.818.000,00

Sumber: Sihotang, 2019

Berdasarkan informasi harga komponen tersebut dilakukan analisis perbandingan pengeluaran biaya dari pemakaian listrik sebelum dan sesudah pemasangan panel surya dengan harga tarif PLN sebesar Rp 1.467/kWh (Sihotang, 2019). Analisis perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Biaya pengeluaran} &= \text{Total pemakaian listrik} \times \text{Tarif listrik} \\ &= 4.285.772,75 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp } 1.467/\text{kWh} \\ &= \text{Rp } 6.287.228.624,25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih konsumsi energi} &= 4.227.153,75 \text{ kWh/tahun} \times \text{Rp } 1.467/\text{kWh} \\
 &= \text{Rp } 6.201.234.551,25 \\
 \text{Selisih biaya} &= \text{Biaya sebelum pemasangan} - \text{Biaya setelah pemasangan} \\
 &= \text{Rp } 6.287.228.624,25 - \text{Rp } 6.201.234.551,25 \\
 &= \text{Rp } 85.994.073
 \end{aligned}$$

Selisih biaya setelah pemasangan panel surya adalah Rp 85.994.073 dengan total biaya komponen yang bernominal Rp 1.082.818.000. Sedangkan menurut Karim & Cahyanto (2019) umur panel surya diperkirakan mencapai 20 – 25 tahun lamanya sehingga dilakukan perhitungan *Payback Period* dengan persamaan (2.5) mengenai pemasangan panel surya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Payback period} &= \frac{\text{Total investasi}}{\text{Penghematan biaya}} \\
 &= \frac{\text{Rp } 1.082.818.000}{\text{Rp } 85.994.073} \\
 &= 12,6 \text{ tahun}
 \end{aligned}$$

Pemasangan panel surya menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp 85.994.073 per tahunnya dengan total investasi Rp 1.082.818.000 yang akan kembali dalam waktu sekitar 12,6 tahun melalui penghematan biaya listrik. Setelah periode pengembalian, biaya listrik akan jauh lebih rendah, dan panel surya akan menghasilkan energi listrik selama umur pakainya (20 – 25 tahun).

4. KESIMPULAN

Total emisi karbon dari konsumsi energi listrik berdasarkan inventarisasi alat elektronik di hotel bintang lima mencapai 4.285.772,75 kWh per tahun, yang menunjukkan besarnya kontribusi hotel terhadap emisi karbon tahunan. Sebagai upaya mitigasi, perencanaan pemasangan panel surya dilakukan dengan mempertimbangkan lahan tersedia seluas 600 m² dan ukuran tiap panel 1,64 m², sehingga memungkinkan pemasangan panel secara optimal. Panel surya ini diperkirakan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 58.619 kWh per tahun, yang dapat mengurangi kebutuhan listrik sekaligus menurunkan emisi karbon. Dari sisi ekonomi, analisis menunjukkan bahwa pemasangan panel surya memberikan penghematan biaya sebesar Rp 85.994.073 per tahun. Dengan investasi awal sebesar Rp 1.082.818.000,00, periode pengembalian modal (*payback period*) yang dihitung adalah sekitar 12,6 tahun, sementara umur panel surya diperkirakan bertahan antara 20 hingga 25 tahun. Hal ini menandakan bahwa investasi pada panel surya tidak hanya memberikan manfaat lingkungan dengan mengurangi emisi karbon, tetapi juga layak secara ekonomi dalam jangka menengah hingga panjang, sekaligus berpotensi membantu hotel memenuhi target keberlanjutan dan efisiensi energi secara berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chan, E. S. W. (2021). Influencing Stakeholders to Reduce Carbon Footprints: Hotel Managers' Perspective. *International Journal of Hospitality Management*, 1–19.
- Ditjen Ketenagalistrikan ESDM Indonesia. (2019). Faktor Emisi Gas Rumah Kaca Sistem Ketenagalistrikan 2019. *Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan*, 5, 1–7.
- Febriani Irma, M. (2024). Tingginya Kenaikan Suhu Akibat Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca Di Indonesia. *JSSIT: Jurnal Sains Dan Sains Terapan*, 2(1), 26–32.
- IPCC. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). *Iges*, 5, 1–56.
- Jefri Kurniawan, Abdul Razak, Nurhasan Syah, Skunda Diliarosta, & Aulia Azhar. (2024). Pemanasan Global: Faktor, Dampak dan Upaya Penanggulangan. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(6), 646–655.
- Joshi, R. (2021). Benefits of extensive solar electricity generation in reference to current climate change scenario. *Journal of Physics: Conference Series*, 1714(1).
- Karim, S., & Cahyanto, D. (2019). Analisa Penggunaan Solar Cell Pada Rumah Tinggal Untuk Keperluan Penerangan dan Beban Kecil. *Jurnal EEICT*, 02(1), 22–32.
- Kusuma Admaja, W., Nasirudin, N., & Sriwinarno, H. (2020). Identifikasi Dan Analisis Jejak Karbon (Carbon Footprint) Dari Penggunaan Listrik Di Institut Teknologi Yogyakarta. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(2).
- Muhsin, E. A., Hussain, B. A., Hammadi, A. M., & Khalaf, H. A. (2023). Climate Change and Biodiversity: A Review on Understanding the Global and Local Impacts of Warming on The Ecosystems. *Al-Kufa University Journal for Biology*, 15(2), 10–18.
- Niwedya, N., & Singgih, M. L. (2015). Analisis dampak lingkungan kegiatan operasional hotel dengan pendekatan life cycle assessment (LCA) dan environmental management accounting (EMA) (Studi Kasus : Hotel Yasmin Makassar). *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXIII*, A-44-1-A-44-8.
- O'Rourke, J. M., & Seepersad, C. C. (2015). The importance of contextual factors in determining the greenhouse gas emission impacts of solar photovoltaic systems. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, 2A-2015.
- Ondiko, J. H., Karanja, A. M., & Ombogo, O. (2022). A Review of the Anthropogenic Effects of Climate Change

- on the Physical and Social Environment. *OALib*, 09(02), 1–14.
- Safwan, S. B. (2024). *Analisis Jejak Karbon Pada Aktivitas Pemukiman Di Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh*.
- Satriani, A. J., & Taryono, I. (2023). *Penentuan Besar Jejak Emisi Karbon Akibat Aktivitas Perhotelan Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) Mandalika, Kecamatan Pujut, Kabupaten Lombok Tengah*.
- Sihombing, B., Tarigan, N. (2024). Peran Eco Hotel dalam Pariwisata Berkelanjutan.
- Sihotang, G. H. (2019). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop Di Hotel Kini Pontianak. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1), 1–10.
- Singh, M. K., & Singh, B. R. (2014). *Future of Global Warming in 21 st Century*. 5, 2010–2014.
- Tanoto, Y. (2023). Pengelolaan energi berkelanjutan di hotel. In *Pengelolaan energi berkelanjutan di hotel*.