

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri pengolahan hasil perkebunan, khususnya teh, merupakan salah satu sektor agroindustri strategis yang menopang perekonomian nasional. Komoditas teh memiliki peran dalam perdagangan dan daya saing di pasar internasional, sehingga keberlanjutan proses produksi penting dijaga tidak hanya dari sisi mutu produk, tetapi juga dari sisi efisiensi dan dampak lingkungan proses industrinya (Yafi & Adyanti, 2024).

Di sisi lain, industri teh menghadapi tantangan keberlanjutan yang semakin kuat terkait perubahan iklim. Proses pengolahan teh hijau di pabrik tergolong intensif energi karena melibatkan tahap pemanasan dan pengeringan pada beberapa unit proses, sehingga konsumsi energi per satuan produk dapat menjadi signifikan. Pada studi kasus di PPTK Gambung, total kebutuhan energi pengolahan teh hijau dilaporkan sebesar 51,141 MJ/kg dan konsumsi energi terbesar terjadi pada proses pelayuan (Habsari et al., 2022). Intensitas konsumsi energi pada sektor industri juga berkaitan dengan peningkatan emisi karbon melalui penggunaan energi dan bahan bakar, sehingga efisiensi energi menjadi salah satu kunci dalam upaya menurunkan emisi (Pangestu & Ayuningsasi, 2024).

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, penerapan konsep Industri Hijau (*Green Industry*) semakin didorong, termasuk pada sektor pangan, melalui efisiensi sumber daya, pengurangan limbah, serta penggunaan teknologi ramah lingkungan untuk memperkecil dampak lingkungan dari proses produksi (Firdausi et al., 2024). Sejalan dengan konsep tersebut, *Cleaner production* (produksi bersih) merupakan strategi preventif yang menekankan pengurangan pemborosan sumber daya (energi dan material) sejak awal proses, sehingga dapat menurunkan dampak lingkungan sekaligus meningkatkan efisiensi ekonomi dan daya saing (Isrofi, 2022).

Namun, pada praktiknya, sebagian unit pengolahan teh masih mengandalkan teknologi konvensional, terutama pada unit pengeringan, sehingga peluang

peningkatan efisiensi energi masih terbuka lebar. Upaya perbaikan teknologi pengeringan juga terus dikembangkan, misalnya melalui pemanfaatan teknologi monitoring/IoT pada pengering teh untuk mendukung pengendalian proses dan efisiensi (Muslim et al., 2024). Selain itu, studi evaluasi kinerja pengeringan pada pabrik teh menekankan bahwa proses pengeringan merupakan tahap kritis yang memengaruhi kualitas produk sekaligus berpotensi menjadi penyerap energi terbesar, sehingga perlu pemantauan kinerja dan efisiensi secara berkala (Suprianti, 2020).

Berdasarkan observasi awal di lokasi penelitian, penggunaan energi pada proses produksi teh hijau berasal dari kombinasi energi listrik dan energi termal. Energi termal digunakan terutama untuk unit pemanasan/pengeringan (misalnya pada unit *panning/Rotary Panner* dan pengeringan), sedangkan energi listrik digunakan untuk motor penggerak mesin utama dan peralatan pendukung seperti *conveyor* dan *blower*. Selain itu, pada kondisi operasi aktual selama periode penelitian, sumber panas utama pada pengeringan tahap 1 *Endless Chain Pressure (ECP)* menggunakan LPG (karena kondisi peralatan penukar panas dalam perbaikan), dan LPG juga dapat digunakan secara insidental pada unit *Ball tea* dalam jumlah relatif kecil. Kondisi operasional seperti ini membuat kebutuhan pemetaan konsumsi energi per unit proses dan kontribusinya terhadap emisi menjadi semakin penting untuk mengarahkan rekomendasi perbaikan yang tepat sasaran.

Pemilihan proses produksi teh hijau di PPTK Gambung sebagai objek audit energi didasarkan pada pertimbangan metodologis dan operasional. Selama periode penelitian, lini teh hijau merupakan sistem pengolahan yang telah berjalan dalam konfigurasi skala pabrik dengan rangkaian unit proses yang lengkap, mulai dari *panning/inaktivasi enzim*, pendinginan, penggulungan, pengeringan bertingkat, hingga pengepakan, sehingga lebih memungkinkan dilakukan pengukuran konsumsi energi per unit proses secara aktual dan berurutan pada batas sistem *gate-to-gate* (Lestari et al., 2022). Pemilihan objek ini juga relevan karena studi sebelumnya pada lokasi yang sama telah menunjukkan bahwa pengolahan teh hijau

di PPTK Gambung memiliki kebutuhan energi proses yang tinggi, sehingga layak dijadikan dasar untuk evaluasi efisiensi energi yang lebih rinci (Habsari et al., 2022). Selain itu, audit energi pada dasarnya memerlukan objek dengan profil penggunaan energi yang nyata dan dapat ditelusuri pada tingkat fasilitas maupun unit proses agar peluang penghematan dapat diidentifikasi secara sistematis (International Organization for Standardization, 2014). Dalam konteks ini, penggunaan indikator *Specific Energy Consumption* (SEC) juga lebih tepat diterapkan pada sistem produksi yang memiliki aliran proses yang jelas dan basis produk yang konsisten, sehingga hasil evaluasi dapat dibandingkan antarunit proses secara representatif (Lawrence et al., 2019). Dengan demikian, proses pengolahan teh hijau dipilih bukan karena jenis teh lain tidak penting, tetapi karena pada saat penelitian lini teh hijau merupakan objek yang paling representatif untuk audit energi dan analisis jejak karbon pada konfigurasi operasi pabrik yang utuh di PPTK Gambung.

Kajian terdahulu telah memberikan gambaran profil konsumsi energi pada proses pengolahan teh hijau di PPTK Gambung (Habsari et al., 2022). Namun, untuk mendukung pengambilan keputusan perbaikan yang lebih komprehensif, diperlukan penguatan analisis dalam dua hal: (1) penetapan *baseline* konsumsi energi spesifik (SEC) per tahapan proses dan (2) kuantifikasi jejak karbon dalam satuan kg CO₂eq per kg produk serta identifikasi tahapan proses yang menjadi *hotspot* emisi. Integrasi audit energi dan LCA diperlukan agar rekomendasi perbaikan tidak hanya berorientasi pada efisiensi energi, tetapi juga pada prioritas penurunan dampak perubahan iklim yang terukur (Firdausi et al., 2024; Isrofi, 2022).

Berdasarkan penelaahan terhadap studi-studi terdahulu, penelitian ini tidak diposisikan sebagai kajian yang sepenuhnya baru, melainkan sebagai upaya untuk mengisi celah literatur yang lebih spesifik pada konteks pabrik teh hijau skala industri yang ditelaah. Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas konsumsi energi, kinerja lingkungan, maupun jejak karbon pada komoditas teh, baik pada lokasi yang sama maupun pada konteks negara lain. Namun, masih terbatas kajian

yang secara terpadu menggabungkan pengukuran konsumsi energi lapangan per unit proses dengan kuantifikasi dampak perubahan iklim pada batas sistem *gate-to-gate* berbasis unit fungsional yang jelas, kemudian menerjemahkan hasil tersebut menjadi prioritas perbaikan operasional pada tingkat proses. Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi untuk mengisi celah tersebut melalui penyusunan *baseline* konsumsi energi dan jejak karbon pada sistem produksi teh hijau yang ditelaah, sekaligus menyediakan dasar teknis untuk identifikasi *hotspot* dan rekomendasi perbaikan yang lebih terarah.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan dalam latar belakang, penelitian ini berfokus pada analisis jejak karbon dan efisiensi energi dalam proses produksi teh hijau. Pertanyaan penelitian yang akan dijawab adalah sebagai berikut:

1. Berapa *Specific Energy Consumption* (SEC) listrik dan termal (kWh/kg dan MJ/kg) pada setiap tahapan proses produksi teh hijau dalam batas sistem *gate-to-gate*?
2. Berapa nilai jejak karbon produksi teh hijau dalam satuan kg CO₂eq per 1 kg produk (unit fungsional) pada batas sistem *gate-to-gate* menggunakan kerangka *Life Cycle Assessment* (LCA)?
3. Tahapan proses dan *input* energi apa yang menjadi *hotspot* (kontributor terbesar) terhadap total konsumsi energi dan jejak karbon (kg CO₂eq)?
4. Rekomendasi perbaikan apa yang dapat diusulkan berdasarkan hasil audit energi dan identifikasi *hotspot* LCA untuk meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan jejak karbon proses produksi?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung *Specific Energy Consumption* (SEC) listrik dan termal pada setiap tahapan proses produksi teh hijau dalam batas sistem *gate-to-gate*.

2. Menghitung jejak karbon proses produksi teh hijau dalam satuan kg CO₂eq per 1 kg teh hijau kering terkemas sebagai unit fungsional pada batas sistem *gate-to-gate* menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA).
3. Mengidentifikasi tahapan proses dan *input* energi yang menjadi *hotspot* konsumsi energi dan emisi (kg CO₂eq) pada sistem produksi teh hijau.
4. Menyusun rekomendasi perbaikan berbasis hasil audit energi (SEC dan efisiensi termal) dan hasil LCA (*hotspot* emisi) untuk meningkatkan efisiensi energi dan menurunkan jejak karbon proses produksi.

D. Manfaat Penelitian

1. Luaran Penelitian

Penelitian ini menghasilkan luaran utama berupa: (a) dokumen skripsi yang memuat tabel *Specific Energy Consumption* (SEC) listrik dan termal per unit proses (dalam satuan kWh/kg dan MJ/kg) beserta kontribusi relatifnya; (b) hasil *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA) kategori GWP100 dalam satuan kg CO₂eq/kg produk beserta analisis kontribusi *hotspot* per unit proses dan per sumber energi; serta (c) matriks rekomendasi perbaikan prioritas yang didukung oleh data konsumsi energi dan profil emisi. Seluruh luaran tersebut disusun sebagai referensi berbasis data yang dapat digunakan sebagai bahan kajian lanjutan maupun rujukan teknis bagi manajemen pabrik.

2. Manfaat bagi Pemangku Kepentingan

a. Bagi Perusahaan (PPTK Gambung)

Hasil penelitian ini memberikan data kuantitatif mengenai profil jejak karbon dan inefisiensi energi pada setiap tahapan proses produksi teh hijau. Identifikasi titik kritis (*hotspot*) emisi dapat dijadikan landasan ilmiah dalam merumuskan strategi perbaikan teknologi dan manajemen operasional guna mewujudkan *Green Industry*, menurunkan biaya produksi akibat pemborosan energi, serta memenuhi tuntutan standar keberlanjutan lingkungan yang semakin ketat di pasar global.

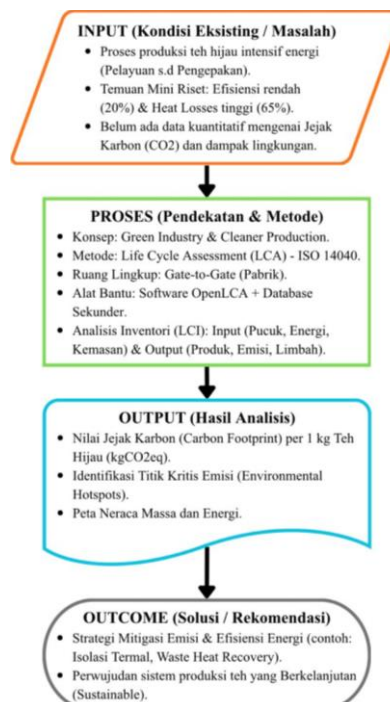
b. Bagi Pengembangan Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini berkontribusi pada pengayaan literatur ilmiah di bidang Teknologi Industri Pertanian, khususnya mengenai penerapan metode *Life Cycle Assessment (LCA) gate-to-gate* pada komoditas teh di Indonesia. Penelitian ini sekaligus memberikan validasi metodologis mengenai penggunaan pendekatan *EF-Based Proxy* pada perangkat lunak OpenLCA sebagai alternatif yang transparan dan terjangkau untuk analisis dampak lingkungan pada skala agroindustri ketika basis data LCI komersial tidak tersedia.

c. Bagi Peneliti dan Akademisi

Penelitian ini menjadi sarana implementasi teori audit energi dan manajemen lingkungan pada konteks industri pengolahan perkebunan yang nyata. Bagi akademisi lain, hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan atau pembandingan (*benchmarking*) untuk studi lanjutan mengenai analisis dampak lingkungan *gate-to-gate* maupun *cradle-to-grave* pada komoditas perkebunan lainnya di Indonesia, khususnya untuk penelitian yang mempertimbangkan perluasan batas sistem hingga tahap budidaya dan distribusi produk.

E. Kerangka Pemikiran



Gambar 1. Kerangka Pemikiran