

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan industri pangan di Indonesia mengalami perkembangan yang pesat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat. Produk pangan olahan kini semakin banyak diminati karena sifatnya yang praktis, cepat saji, dan mudah diperoleh. Salah satu produk pangan yang mengalami peningkatan konsumsi adalah roti. Berdasarkan data statistik konsumsi pangan tahun 2020 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian, tingkat konsumsi roti nasional meningkat secara konsisten dari tahun ke tahun. Peningkatan permintaan ini mendorong berkembangnya industri *bakery* baik dalam skala kecil, menengah, maupun besar di berbagai daerah.

Pertumbuhan industri pangan khususnya industri *bakery* juga membawa dampak lingkungan yang perlu diperhatikan. Kondisi ini sejalan dengan perhatian *Sustainable Development Goals* (SDGs) poin 12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, yang menekankan pentingnya pengelolaan sumber daya secara efisien serta pengurangan dampak lingkungan yang dihasilkan dari aktivitas produksi dan konsumsi. Proses produksi roti isi pisang keju melibatkan berbagai tahapan yang memerlukan energi listrik dan bahan bakar, mulai dari pengadaan bahan baku, pencampuran adonan, pemanggangan, hingga pengemasan. Setiap tahapan berpotensi menghasilkan limbah maupun emisi gas rumah kaca (GRK). Namun, selain proses produksinya, masalah lingkungan juga muncul dari sisi konsumsi, khususnya dalam bentuk sampah makanan (*food waste*). Sampah makanan berpotensi menyebabkan pemanasan global karena menjadi salah satu kontributor emisi karbon ke lingkungan (Sampepajung *et al.*, 2023b). Sementara itu, emisi karbon terutama bersumber dari pemanfaatan energi listrik dan bahan bakar selama proses produksi (Setiani *et al.*, 2019). Jika tidak dikelola dengan baik, hal ini akan berdampak pada peningkatan GRK yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim. Menurut FAO (2025), sistem pangan dunia menyumbang kurang lebih 31% emisi karbon global. Hal tersebut memperjelas bahwa sektor pangan, termasuk industri *bakery*, memiliki kontribusi besar terhadap tantangan perubahan iklim. Oleh karena itu, setiap unit usaha, termasuk industri *bakery*, dituntut untuk mulai menerapkan sistem produksi yang lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Jejak karbon dapat dianalisis dengan beberapa metode seperti metode perhitungan emisi gas rumah kaca, metode Input-Output Analysis (IOA), metode

IPCC Inventory, dan Life Cycle Assessment (LCA). Metode perhitungan emisi gas rumah kaca berfokus pada penghitungan total emisi yang dihasilkan dari suatu aktivitas atau organisasi berdasarkan faktor emisi tertentu, namun umumnya tidak mempertimbangkan seluruh tahapan siklus hidup suatu produk. Akibatnya, metode ini belum mampu mengidentifikasi kontribusi emisi pada setiap tahapan proses produksi secara rinci sehingga peluang perbaikan di setiap tahap sulit diketahui. Metode Input-Output Analysis (IOA) menggunakan data ekonomi antar sektor untuk mengestimasi emisi secara makro sehingga sesuai untuk analisis pada tingkat industri atau wilayah, tetapi memiliki keterbatasan dalam menggambarkan proses produksi secara spesifik karena bergantung pada data agregat. Oleh karena itu, hasil analisis IOA kurang mampu menunjukkan sumber emisi dari setiap unit proses dalam suatu produk. Sementara itu, metode IPCC Inventory digunakan untuk menyusun inventaris emisi gas rumah kaca pada skala nasional maupun regional berdasarkan pedoman Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), sehingga lebih berorientasi pada pelaporan emisi dibandingkan evaluasi suatu produk. Metode ini juga tidak dirancang untuk menilai dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk maupun mengidentifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi emisi terbesar.

Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui secara menyeluruh dampak lingkungan dalam suatu produk pangan adalah Life Cycle Assessment (LCA). LCA merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk menilai dampak lingkungan sepanjang siklus hidup produk, mulai dari pengadaan bahan baku, proses produksi, distribusi, penggunaan, hingga pembuangan (Maisarah dan Dian, 2023). Dibandingkan dengan metode lainnya, LCA memiliki keunggulan karena mampu mengevaluasi dampak lingkungan pada setiap tahapan siklus hidup produk secara rinci (cradle-to-gate atau cradle-to-grave sesuai batas sistem yang ditetapkan), mengidentifikasi proses yang menjadi penyumbang emisi terbesar (*hotspot*), serta memberikan dasar ilmiah dalam merumuskan strategi pengurangan emisi dan peningkatan kinerja lingkungan suatu produk. Penerapan metode ini sejalan dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya poin 12 mengenai konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (Maisarah dan Dian, 2023). Dengan LCA, dapat diketahui tahap-tahap kritis dalam produksi roti yang menyumbang emisi terbesar, sehingga strategi mitigasi dapat difokuskan pada aspek yang paling berpengaruh. Salah satu usaha *bakery* yang belum menerapkan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah O'ndut *Bakery*,

sebuah industri rumahan yang memproduksi roti secara konsisten di kawasan dataran tinggi Kota Tegal, Jawa Tengah. Usaha ini menghasilkan berbagai jenis roti, seperti roti isi dengan selai stroberi dan nanas, bolu, serta roti bantal. Roti isi merupakan jenis yang paling banyak diproduksi dari semua produk tersebut. Roti isi pisang keju menggunakan beragam bahan baku dan mesin dalam proses pembuatannya, yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan analisis menggunakan pendekatan LCA untuk mengetahui sejauh mana setiap proses produksi roti isi pisang keju memberikan kontribusi terhadap dampak lingkungan.

Penelitian terdahulu telah mengkaji jejak karbon produk pangan dengan metode LCA. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Falah, (2025) di salah satu bakery di Tegal, Jawa Tengah yaitu O'ndut Bakery, yang menjadi salah satu kajian penting terkait penerapan Life Cycle Assessment (LCA) pada produk roti di Indonesia. Analisis dalam studi tersebut dilakukan mulai dari tahap pencampuran hingga pengemasan dengan menggunakan metode CML Baseline dan Eco Indicator 99. Hasil penelitian berdasarkan CML Baseline menunjukkan bahwa kategori dampak terbesar adalah *Photochemical Oxidation* ($4,26\text{E-}13 \text{ kg C}_2\text{H}_4$), sedangkan berdasarkan Eco Indicator 99 kategori dampak terbesar adalah *Climate Change* ($9,61\text{E-}6 \text{ DALY}$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan listrik dan bahan bakar gas dalam proses produksi merupakan faktor dominan yang memberikan kontribusi terhadap dampak lingkungan. Penelitian ini memperlihatkan bahwa proses produksi roti, meskipun terlihat sederhana, memiliki kontribusi yang signifikan terhadap emisi karbon. Meskipun telah ada penelitian mengenai analisis LCA pada produk roti isi, penelitian tersebut masih berfokus pada identifikasi dampak lingkungan secara umum tanpa mengkaji secara spesifik jejak karbon pada produk roti isi pisang keju. Selain itu, karakteristik bahan baku yang digunakan pada roti isi pisang keju, seperti pisang dan keju memiliki potensi emisi yang berbeda dibandingkan produk roti isi lainnya sehingga menghasilkan dampak lingkungan yang tidak sama. Perbedaan komposisi bahan baku, penggunaan energi, serta proses produksi tersebut menyebabkan hasil analisis pada penelitian sebelumnya belum dapat menggambarkan secara spesifik besarnya jejak karbon produk roti isi pisang keju.

Kajian mengenai jejak karbon produk roti isi pisang keju di Indonesia masih terbatas, padahal tren konsumsi roti terus meningkat dan industri *bakery* berkembang pesat. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (2023) tentang

Industri Manufaktur Indonesia 2021 tercatat ada 829 perusahaan yang bergerak di bidang produksi roti dan kue. Jumlah tersebut terdiri dari 632 perusahaan berskala menengah dan 197 perusahaan berskala besar. Minimnya kajian ini menyebabkan kurangnya informasi mengenai seberapa besar kontribusi industri *bakery* terhadap emisi karbon nasional. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menganalisis jejak karbon produk roti isi pisang keju di industri *bakery* dengan menggunakan metode LCA. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai emisi karbon pada setiap tahapan produksi, sekaligus menjadi dasar bagi industri dalam merumuskan strategi pengelolaan yang lebih ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Analisis jejak karbon di industri *bakery* masih jarang dilakukan di Indonesia padahal industri-industri *bakery* banyak ditemukan di seluruh wilayah Indonesia tetapi kajian mengenai analisis jejak karbon pada industri *bakery* masih terbatas. Sehingga berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Besarnya total jejak karbon yang dihasilkan pada produk roti di industri *bakery* berdasarkan pendekatan LCA.
2. Identifikasi tahapan produksi yang menjadi titik kritis penyumbang emisi karbon terbesar dalam siklus hidup roti.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi dari rumusan masalah yang ada pada penelitian ini, yaitu

1. Menganalisis total jejak karbon pada produk roti isi pisang keju pada seluruh tahapan produksi dan dalam 1 pcs roti isi pisang keju di industri *bakery* menggunakan metode LCA.
2. Mengidentifikasi tahapan proses produksi roti yang memiliki kontribusi terbesar terhadap emisi karbon, serta memberikan rekomendasi upaya pengurangan emisi.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, yaitu:

1. Peneliti

Hasil penelitian dapat digunakan sebagai sarana menambah pengalaman serta referensi untuk peneliti yang lain mengenai metode *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk menganalisis jejak karbon produk pangan, khususnya roti.

2. Bagi Industri *Bakery*

Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan evaluasi untuk mengetahui tahapan produksi yang paling berkontribusi terhadap emisi karbon, sehingga dapat menjadi dasar perbaikan proses produksi.

3. Negara

Hasil penelitian dapat memberikan informasi empiris yang dapat memperkaya basis data nasional terkait jejak karbon pada sektor pangan.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *cradle to gate*, yaitu mencakup seluruh tahapan mulai dari proses penanaman bahan baku hingga produk roti isi pisang keju selesai diproduksi dan dikemas, tanpa melibatkan tahap distribusi, konsumsi, maupun pembuangan akhir produk. Dengan batasan ini, analisis difokuskan pada proses internal produksi di industri O'ndut *Bakery* sehingga dapat mengidentifikasi kontribusi emisi karbon pada produk roti isi pisang keju dengan berat produk yaitu 42 gram dan setiap tahapan produksi secara lebih spesifik.

Ruang lingkup penelitian meliputi seluruh tahapan proses produksi roti isi pisang keju, yaitu mulai dari persiapan bahan baku, mixing, pencetakan, penggilasan, filling, proofing, pengovenan, pendinginan, hingga proses pengemasan. Analisis dilakukan terhadap aliran material dan energi yang digunakan dalam setiap proses tersebut untuk mengetahui kontribusinya terhadap jejak karbon kemudian dihitung jejak karbonnya pada 1 pcs produk roti isi pisang keju.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara di lokasi penelitian terkait penggunaan bahan baku, energi listrik, serta bahan bakar berupa LPG. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari database yang tersedia pada perangkat lunak SimaPro versi 10.2.0. Database tersebut digunakan untuk merepresentasikan proses hulu bahan baku seperti produksi, pengolahan, dan transportasi sebelum digunakan dalam proses produksi roti isi pisang keju.

Penelitian ini difokuskan pada kategori dampak lingkungan global warming (GWP100) sebagai indikator utama dalam analisis jejak karbon, meskipun kategori dampak lainnya tetap dianalisis sebagai informasi pendukung dalam metode CML Baseline.