

BAB I

PENDAHULUAN

Bab satu pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, asumsi penelitian, dan sistematika penulisan. Bab ini bertujuan untuk menjelaskan gambaran umum terkait dasar pemikiran penelitian serta struktur pembahasan yang akan dijelaskan pada bab selanjutnya.

1.1 Latar Belakang

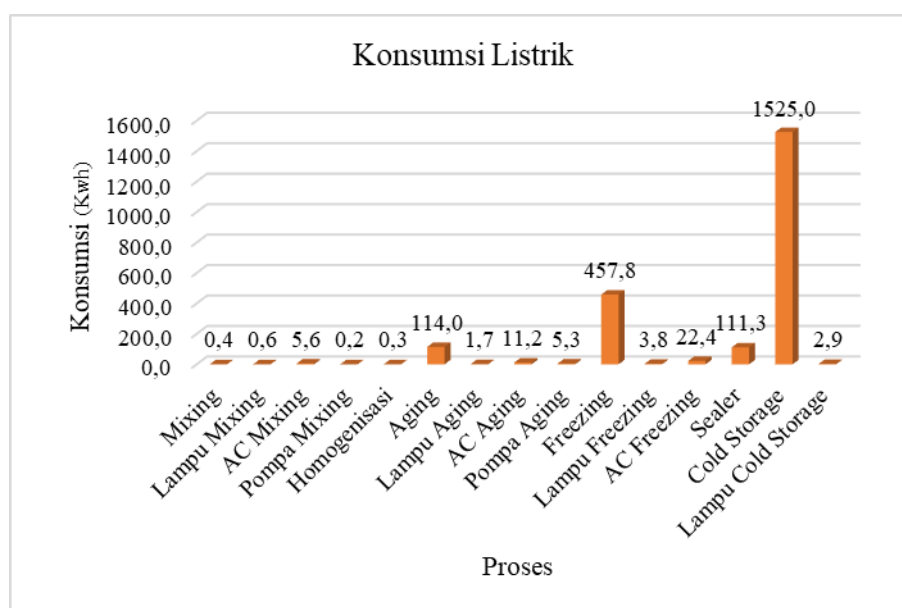
Industri pangan merupakan sektor manufaktur strategis yang berperan penting dalam menjamin ketersediaan pangan nasional dan global Almohaimeed & Abouelnour (2025). Industri pangan memiliki berbagai tahapan produksi yang memiliki keterkaitan kuat dengan lingkungan Salah et al. (2024). Penggunaan teknologi di industri pangan menyebabkan kebutuhan energi dan air meningkat, selain itu proses pengolahan pangan menghasilkan output samping seperti limbah cair dan padat yang memiliki karakteristik tertentu tergantung jenis bahan baku dan teknologi yang digunakan Nikolic (2025). Dari segi ekonomi, industri pangan memiliki perubahan pasar yang kompleks, seperti fluktuasi harga bahan baku, energi, dan air, yang secara langsung memengaruhi biaya operasional produk Yan et al. (2025).

Produk es krim merupakan produk pangan dengan olahan kompleks karena sangat bergantung terhadap kendali proses produksi. Parameter proses tersebut harus dikontrol secara presisi untuk menghasilkan aroma, rasa, warna, dan tekstur yang sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan Santos & Lannes (2025). Es krim juga termasuk produk pangan yang sangat bergantung pada sistem produksi yang stabil dan terintegrasi, mulai dari pengolahan bahan, pembentukan struktur produk, hingga pengemasan dan distribusi, Magdalena (2023); Santos & Lannes (2025).

Setiap tahap produksi pada industri es krim dapat menimbulkan emisi ke udara, air, dan tanah, dan juga konsumsi energi yang cukup besar, sehingga biaya operasional juga meningkat Magdalena (2023). Proses *mixing*, *aging*, *freezing*, dan *cold storage* menghasilkan panas buangan yang tinggi sehingga menyebabkan

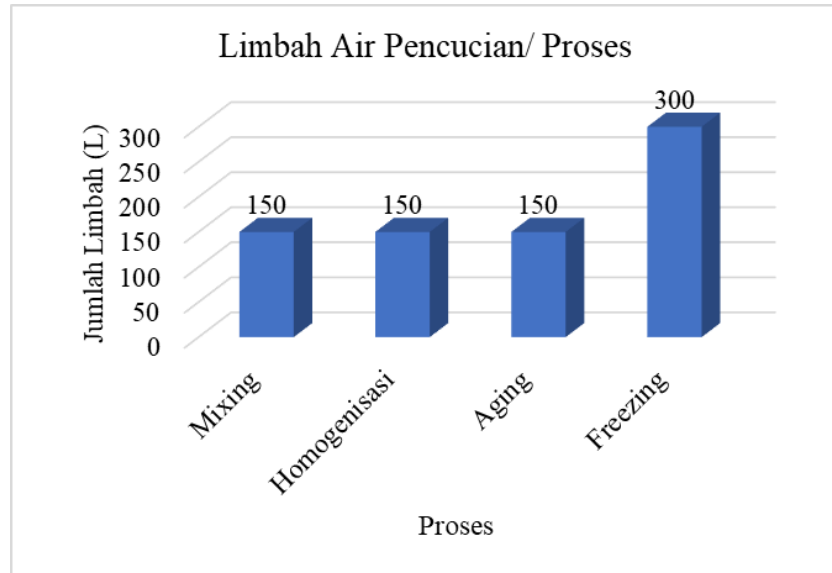
pembentukan jejak karbon tambahan Doke & Gogate (2025). Proses pencucian peralatan menghasilkan limbah yang dapat menyebabkan pencemaran air melalui peningkatan COD, BOD, dan sisa lemak, yang membutuhkan pengolahan khusus (Doke & Gogate, 2025). Penggunaan kemasan plastik juga menghasilkan limbah padat yang berpotensi mencemari tanah apabila tidak dikelola dengan benar, terutama ketika volume produksi meningkat pada musim puncak Hamdani & Harahap (2025); Jaafarzadeh et al. (2025). Tingginya konsumsi energi listrik juga berdampak terhadap biaya operasional yang tinggi, sehingga menjadikan industri es krim rentan secara lingkungan sekaligus ekonomi Marchi & Zanoni (2022).

Beberapa permasalahan sejenis yang dialami oleh PT XYZ terhadap lingkungan dan ekonomi yaitu panas buangan yang dihasilkan oleh kondensor dari proses *aging*, *freezing*, dan *cold storage*, penggunaan energi listrik yang sangat tinggi juga dapat menimbulkan emisi udara. PT XYZ juga menghasilkan limbah cair dari proses pencucian mesin dan alat produksi, yang berpotensi mencemari air. Limbah padat seperti material kemasan, dan sisa produksi juga menciptakan risiko pencemaran tanah dan mikroplastik. Kombinasi seluruh faktor tersebut menimbulkan permasalahan lingkungan juga penggunaan energi yang masif, sehingga menimbulkan biaya operasional yang tinggi. Penanganan kompleksitas dampak dan keterkaitan antar tahapan tersebut, diperlukan pendekatan terintegrasi yang mampu menangkap hubungan antara dampak lingkungan dan biaya.



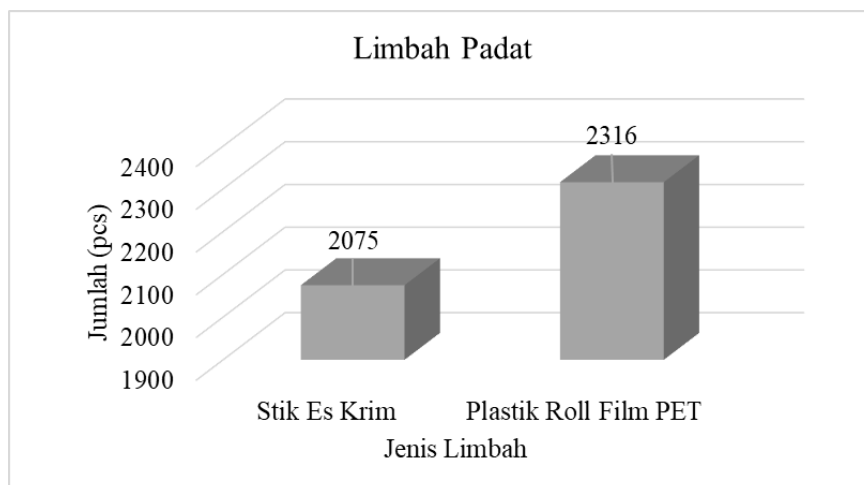
Gambar 1.1 Konsumsi energi pada setiap tahapan proses

Gambar 1.1 merupakan grafik konsumsi energi listrik pada setiap tahapan proses produksi es krim jenis loly stroberi. Tahapan proses produksi loly stroberi meliputi proses *mixing*, homogenisasi, *aging*, *freezing*, dan *cold storage*. Tahapan proses dengan konsumsi energi paling tinggi yaitu pada proses penyimpanan di *cold storage* sebesar 1.525 Kwh untuk setiap 1000 liter produksi.



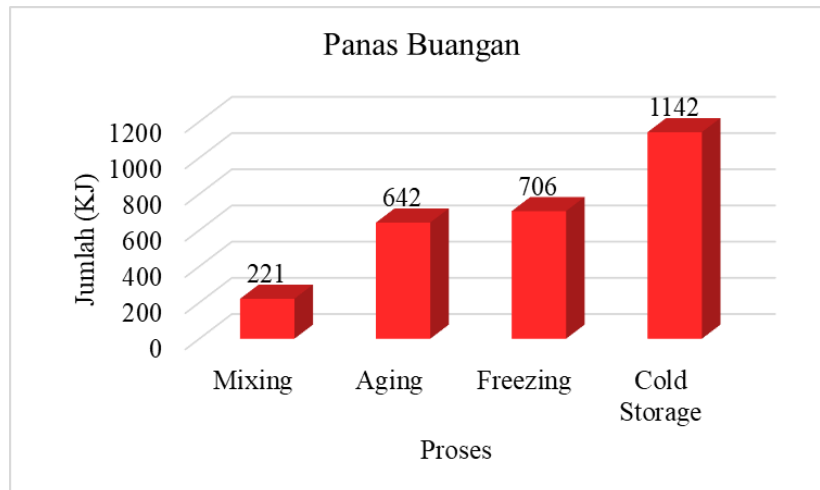
Gambar 1.2 Konsumsi energi pada setiap tahapan proses

Gambar 1.2 merupakan grafik limbah air pencucian mesin pada setiap tahapan proses produksi es krim jenis loly stroberi. Tahapan proses produksi loly stroberi meliputi proses *mixing*, homogenisasi, *aging*, *freezing*, dan *cold storage*. Tahapan proses dengan limbah air pencucian paling tinggi yaitu pada proses *freezing* sebesar 300 liter untuk setiap 1000 liter produksi.



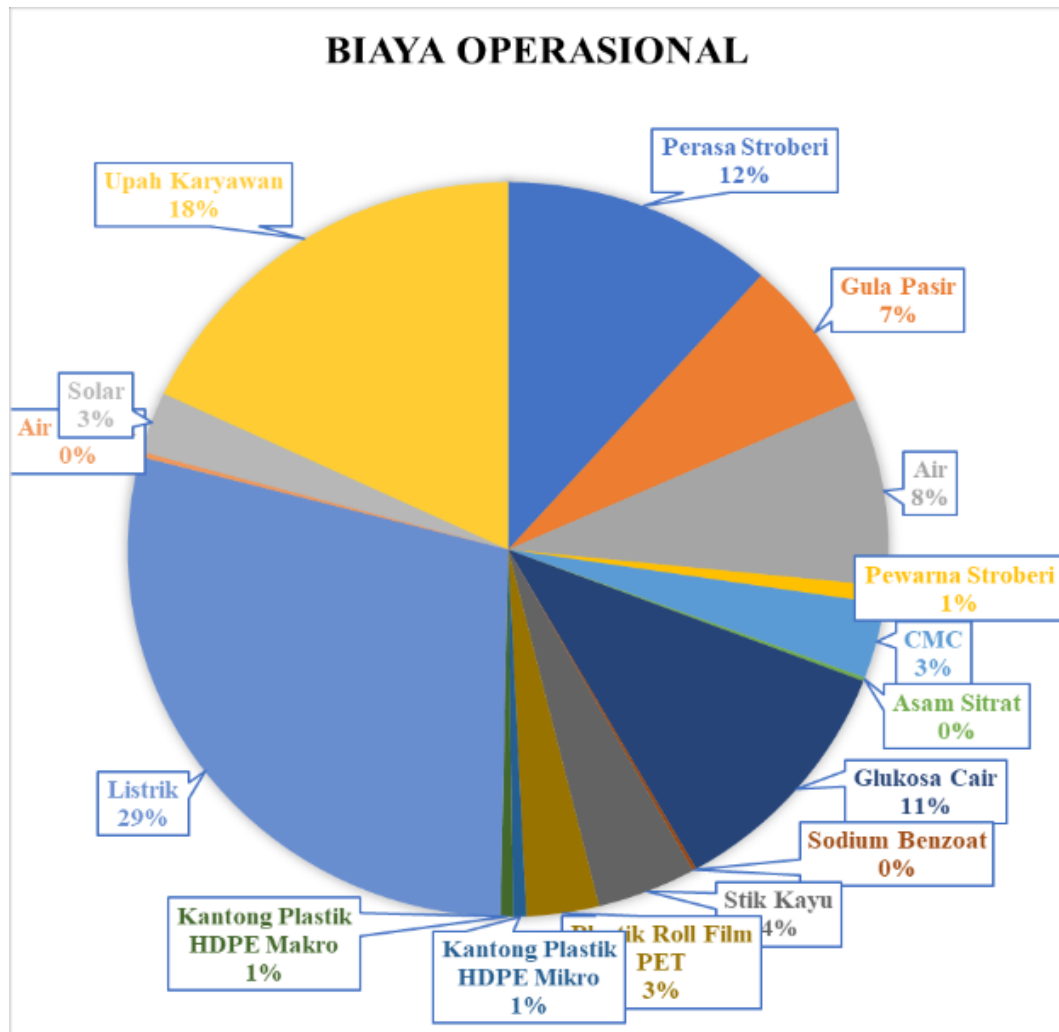
Gambar 1.3 Konsumsi energi pada setiap tahapan proses

Gambar 1.3 merupakan grafik limbah padat yang berupa limbah stik es krim dan kemasan plastik jenis PET. Limbah tersebut ditimbulkan akibat stik yang patah ataupun kemasan yang rusak sehingga tidak dapat digunakan kembali. Berdasarkan grafik terlihat bahwa limbah padat didominasi oleh limbah kemasan plastik jenis PET yang termasuk kedalam kategori limbah anorganik.



Gambar 1.4 Panas buangan pada setiap tahapan proses

Gambar 1.4 merupakan grafik panas buangan yang ditimbulkan untuk setiap tahapan proses produksi es krim jenis loly stroberi. Tahapan proses produksi loly stroberi meliputi proses *mixing*, homogenisasi, *aging*, *freezing*, dan *cold storage*. Tahapan proses dengan panas buangan paling tinggi yaitu pada proses penyimpanan di *cold storage* sebesar 1.142 KJ untuk setiap 1000 liter produksi.



Gambar 1.5 Biaya setiap komponen

Gambar 1.5 merupakan grafik visualisasi biaya untuk setiap komponen. Biaya tersebut dihitung berdasarkan unit fungsional yang ditetapkan yaitu untuk satu kali produksi sebanyak 1000 liter es krim jenis lolly stroberi. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa penggunaan energi listrik merupakan penyumbang biaya terbesar yaitu 29% dari total biaya komponen.

Meskipun pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) telah banyak digunakan pada industri es krim, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengukuran dampak lingkungan secara terpisah, seperti emisi gas rumah kaca atau jejak karbon, tanpa mengaitkannya dengan biaya siklus hidup yang ditanggung perusahaan (Peña, 2020). Analisis yang dilakukan umumnya hanya menunjukkan tahapan proses yang paling berdampak terhadap lingkungan Subal et al. (2024). Di sisi lain, penerapan *Life Cycle Costing* (LCC) pada industri es krim juga masih terbatas dan

sering dianalisis secara terpisah dari *Life Cycle Assessment* (LCA), sehingga belum menunjukkan hubungan yang jelas antara penggunaan sumber daya, dampak lingkungan, dan total biaya produk sepanjang siklus hidupnya Menna et al. (2020).

Beberapa penelitian hanya berhenti pada tahap identifikasi *environmental hotspot* ataupun sumber biaya terbesar, tanpa melanjutkan ke analisis mitigasi perbaikan yang dihitung kembali secara kuantitatif He et al. (2025). Akibatnya, hasil penelitian cenderung bersifat deskriptif dan belum dapat digunakan secara langsung sebagai dasar dalam menentukan prioritas perbaikan yang paling efisien. Studi Ghodrati et al. (2022); Roy et al. (2023) menunjukkan bahwa implementasi PCM pada *cold storage* memiliki potensi signifikan dalam menurunkan konsumsi energi, emisi, dan biaya operasional.

Integrasi LCA dan LCC dalam kerangka *eco-efficiency* dilakukan dengan menghitung *eco-efficiency index* yang nantinya akan memiliki satuan pt/Rp yaitu banyak emisi yang ditimbulkan untuk setiap satu rupiah yang dihasilkan. Integrasi tersebut dapat memberikan penilaian yang lebih menyeluruh karena mempertimbangkan aspek lingkungan dan ekonomi secara bersamaan Zazo et al. (2025). Namun, penerapan pendekatan ini pada industri es krim, terutama yang dilengkapi dengan analisis mitigasi, masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang tidak hanya mengidentifikasi proses yang paling berdampak, tetapi juga merancang mitigasi perbaikan dan menghitung ulang dampak serta biayanya untuk menentukan pilihan yang paling efisien secara keseluruhan Konstantas et al. (2020); Trofimenko et al. (2025).

Penelitian ini juga sejalan dengan Tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*) dan SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*). SDG 9 menekankan pentingnya penguatan sektor industri melalui inovasi teknologi dan peningkatan efisiensi sistem produksi yang berkelanjutan, sementara SDG 12 mendorong pengelolaan sumber daya yang lebih efisien, pengurangan limbah, serta produksi yang bertanggung jawab sepanjang siklus hidup produk. Melalui integrasi *Life Cycle Assessment* (LCA) dan *Life Cycle Costing* (LCC) dalam kerangka *eco-efficiency*, penelitian ini berkontribusi dalam mendukung transformasi industri es krim menuju

sistem produksi yang lebih efisien secara lingkungan dan ekonomi, sehingga selaras dengan agenda pembangunan industri berkelanjutan.

Oleh karena itu, pendekatan *eco-efficiency* melalui integrasi LCA dan LCC relevan untuk mengevaluasi kinerja lingkungan dan ekonomi secara bersamaan. Dalam penelitian ini, pendekatan tersebut diterapkan untuk menilai kondisi PT XYZ serta merancang mitigasi perbaikan yang disesuaikan dengan karakteristik operasional industri es krim, disertai perhitungan ulang dampak lingkungan dan biaya, dengan *scope* sistem *gate-to-gate*, yaitu hanya proses produksi internal, dan tahap *cold storage*. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memetakan sumber dampak dan biaya utama, tetapi juga menyediakan dasar analitis dalam menentukan mitigasi perbaikan yang efisien secara lingkungan dan ekonomi untuk mendukung peningkatan keberlanjutan operasional PT XYZ.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa permasalahan utama yang menjadi fokus penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana proses produksi dan komponen apa saja yang memberikan kontribusi paling signifikan terhadap dampak lingkungan dan biaya pada sistem produksi es krim PT XYZ?
2. Bagaimana besaran dampak lingkungan dan biaya sepanjang siklus hidup produk es krim jenis loly di PT XYZ berdasarkan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dan *Life Cycle Costing* (LCC)?
3. Bagaimana perubahan dampak lingkungan dan biaya setelah penerapan mitigasi perbaikan melalui pendekatan *eco-efficiency* berbasis integrasi LCA–LCC pada sistem produksi es krim PT XYZ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan utama yang selaras dengan latar belakang dan rumusan masalah, yaitu:

1. Mengidentifikasi tahapan proses produksi dan komponen yang memberikan kontribusi paling signifikan terhadap dampak lingkungan dan biaya berdasarkan hasil analisis LCA dan LCC.

2. Menganalisis besaran dampak lingkungan dan biaya sepanjang siklus hidup produk es krim jenis loly di PT XYZ menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dan *Life Cycle Costing* (LCC).
3. Mengevaluasi perubahan dampak lingkungan dan biaya melalui mitigasi perbaikan dengan pendekatan *eco-efficiency*.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara praktis maupun akademis, sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi ilmiah berupa pemahaman yang lebih komprehensif mengenai analisis dampak lingkungan dan ekonomi industri es krim melalui pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) yang terintegrasi dengan *Life Cycle Costing* (LCC).
2. Membantu perusahaan dalam memahami aspek lingkungan yang berpotensi memengaruhi kepatuhan terhadap regulasi, termasuk pengelolaan limbah cair, penggunaan energi, dan potensi emisi refrigeran.
3. Memberikan gambaran kuantitatif mengenai dampak lingkungan dan biaya sepanjang siklus hidup produk es krim jenis loly di PT XYZ sebagai dasar evaluasi kinerja lingkungan dan ekonomi perusahaan.
4. Mengidentifikasi tahapan proses dan faktor utama yang berkontribusi signifikan terhadap dampak lingkungan dan biaya, sehingga perusahaan dapat memfokuskan upaya perbaikan pada titik proses yang paling dominan.
5. Menyediakan rekomendasi strategi mitigasi untuk menurunkan dampak lingkungan dan meningkatkan efisiensi biaya operasional melalui pendekatan *eco-efficiency*.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan terarah, maka batasan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada satu perusahaan, yaitu PT XYZ, sehingga seluruh analisis dampak lingkungan dan biaya yang dihasilkan menggambarkan

kondisi spesifik perusahaan tersebut dan tidak mewakili seluruh industri es krim di Indonesia.

2. Produk yang dianalisis terbatas pada satu jenis produk es krim yang ditetapkan perusahaan sebagai objek penelitian *eco-efficiency*, sehingga hasil penelitian tidak mencakup seluruh variasi produk yang diproduksi PT XYZ.
3. Ruang lingkup analisis siklus hidup Life Cycle Assessment (LCA) dibatasi pada sistem *gate-to-gate*, yaitu hanya proses produksi internal, dan tahap *cold storage*.
4. Analisis biaya siklus hidup *Life Cycle Costing* (LCC) difokuskan pada biaya langsung yang terkait proses produksi, seperti konsumsi energi, bahan baku, bahan pendukung, dan pengolahan limbah.
5. Penelitian ini tidak melakukan pengujian laboratorium atau pengukuran emisi secara langsung, melainkan menggunakan literatur ilmiah terbaru, dan faktor emisi standar yang relevan.
6. Dampak sosial, kesehatan pekerja, dan aspek regulasi lingkungan tidak dianalisis dalam penelitian ini.
7. Satuan yang digunakan yaitu poin(pt) untuk hasil *Life Cycle Assesment* (LCA) dan rupiah(Rp) untuk *Life Cycle Costing* (LCC).

1.6 Asumsi Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, beberapa asumsi dasar yang digunakan untuk menjaga konsistensi analisis dan keakuratan model prediktif adalah sebagai berikut:

1. PT XYZ diasumsikan memiliki proses produksi yang stabil selama periode penelitian, sehingga data yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasional pada periode tersebut.
2. Perubahan komposisi bahan baku atau formulasi produk diasumsikan tidak mengalami perubahan signifikan selama periode pengumpulan data.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini disusun untuk memberikan alur pembahasan yang terstruktur dan mudah dipahami. Adapun sistematika tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab satu pendahuluan berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Bagian ini memberikan gambaran awal mengenai alasan penelitian dilakukan dan arah pembahasan yang akan dikembangkan pada bab selanjutnya.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab dua tinjauan pustaka memuat teori, konsep, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Bab ini sebagai landasan akademik untuk menyusun kerangka pemikiran dan mendukung proses analisis penelitian.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab tiga metode penelitian menjelaskan prosedur dan langkah-langkah yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Pembahasan meliputi lokasi dan waktu pelaksanaan penelitian, jenis penelitian, urutan pelaksanaan penelitian, dan pendekatan pengujian hipotesis.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab empat hasil dan pembahasan menyajikan hasil pengolahan data yang diperoleh selama penelitian. Bab ini juga membahas interpretasi hasil analisis serta usulan yang dirumuskan berdasarkan temuan penelitian.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab lima kesimpulan dan saran memuat ringkasan hasil utama penelitian yang menjawab tujuan penelitian. Selain itu, bab ini memberikan rekomendasi yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bagi pihak terkait maupun penelitian selanjutnya.