

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Permasalahan pengelolaan sampah di wilayah padat penduduk merupakan isu lingkungan yang semakin kompleks seiring dengan meningkatnya laju urbanisasi dan pertumbuhan penduduk perkotaan. Kota-kota besar di Indonesia menghadapi lonjakan timbulan sampah harian yang tidak sebanding dengan kapasitas dan daya dukung Tempat Pembuangan Akhir (TPA), sehingga menimbulkan tekanan lingkungan yang serius (Nugroho & Pranolo, 2023). Kondisi ini berdampak langsung pada pencemaran lingkungan, penurunan kualitas hidup, serta meningkatnya risiko kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, pengelolaan sampah tidak lagi dapat hanya bergantung pada sistem terpusat, tetapi membutuhkan pendekatan yang lebih adaptif dan kontekstual.

Sistem pengelolaan sampah terpusat terbukti memiliki berbagai keterbatasan ketika diterapkan di lingkungan padat penduduk. Keterbatasan akses kendaraan pengangkut, tingginya biaya transportasi, serta waktu pengumpulan yang tidak efisien menyebabkan penumpukan sampah di tingkat komunitas (Fukushige et al., 2025). Akibatnya, sampah seringkali tidak tertangani secara optimal dan memicu praktik pembuangan sembarangan atau pembakaran terbuka. Kondisi ini menunjukkan bahwa solusi pengelolaan sampah perlu diarahkan lebih dekat ke sumber timbulan sampah.

Berbagai penelitian menekankan pentingnya pengelolaan sampah berbasis komunitas sebagai strategi alternatif yang lebih efektif di kawasan padat penduduk. Pendekatan ini memungkinkan pengurangan volume sampah sejak dari sumbernya serta menekan ketergantungan pada TPA (Iskandar & Kurniawan, 2019). Namun, efektivitas pengelolaan berbasis komunitas sangat bergantung pada ketersediaan teknologi yang sesuai dengan kapasitas sosial dan ekonomi masyarakat. Tanpa dukungan teknologi yang tepat guna, upaya pengelolaan sampah di tingkat RW cenderung tidak berkelanjutan.

Salah satu teknologi yang banyak dikaji sebagai solusi pengolahan sampah di wilayah perkotaan adalah *Incinerator*. Teknologi ini mampu mereduksi volume sampah hingga 90% melalui proses pembakaran termal terkendali (Jamilatun et al.,

2023). *Incinerator* juga dinilai efektif untuk wilayah dengan keterbatasan lahan karena tidak memerlukan area luas seperti landfill. Oleh karena itu, *Incinerator* memiliki potensi besar untuk diterapkan pada pengelolaan sampah skala komunitas. Meskipun demikian, penerapan *incinerator* di tingkat komunitas masih menghadapi berbagai kendala. Penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar *Incinerator* yang tersedia di pasaran memiliki biaya investasi yang tinggi dan dirancang untuk skala industri atau institusional (Kurniawan et al., 2021). Selain itu, desain yang kompleks dan kebutuhan tenaga ahli dalam proses manufaktur menjadi hambatan bagi adopsi teknologi ini oleh masyarakat. Hal ini menyebabkan *Incinerator* belum menjadi solusi yang inklusif bagi komunitas padat penduduk.

Kondisi tersebut menegaskan adanya kebutuhan untuk mengembangkan *Incinerator* skala kecil yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga terjangkau secara ekonomi. Beberapa studi telah mencoba merancang *Incinerator* sederhana berbahan lokal, namun masih terbatas pada aspek teknis pembakaran tanpa analisa biaya yang komprehensif (Pratama et al., 2023). Akibatnya, kelayakan ekonomi dan potensi replikasi teknologi tersebut belum dapat dievaluasi secara menyeluruh. Ini menunjukkan perlunya pendekatan yang mengintegrasikan aspek teknis dan ekonomis sejak tahap desain.

Konsep Design for manufacture (DfM) menawarkan pendekatan yang relevan untuk menjawab permasalahan tersebut. DfM menekankan perancangan produk agar mudah diproduksi, dirakit, dan dirawat dengan biaya yang efisien menggunakan sumber daya lokal (Widodo et al., 2022). Penerapan DfM dalam pengembangan produk teknologi tepat guna terbukti mampu menurunkan kompleksitas manufaktur dan mempercepat proses produksi. Oleh karena itu, DfM berpotensi besar diterapkan dalam pengembangan *Incinerator* skala komunitas.

Namun, penerapan metode DfM pada teknologi *Incinerator* di Indonesia masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian *Incinerator* lebih menitikberatkan pada efisiensi termal dan pengendalian emisi, sementara aspek kemudahan manufaktur dan biaya produksi kurang mendapat perhatian (Fiaschi, 2025). Kondisi ini menunjukkan adanya research gap antara pengembangan desain teknis *Incinerator* dan penerapan prinsip manufaktur yang berorientasi pada

keterjangkauan biaya. Padahal, aspek tersebut sangat krusial untuk teknologi yang ditujukan bagi komunitas.

Selain itu, penelitian mengenai analisa biaya *Incinerator* umumnya dilakukan untuk skala industri atau fasilitas kota besar. Studi-studi tersebut membahas biaya investasi dan yang tidak relevan jika diterapkan pada skala RW atau komunitas kecil (Utami et al., 2022). Akibatnya, belum tersedia acuan biaya yang realistis bagi pengembangan *Incinerator* skala komunitas. Kesenjangan ini memperkuat urgensi penelitian yang secara spesifik membahas analisa biaya *Incinerator* skala kecil.

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penggunaan material lokal dan desain sederhana dapat menekan biaya produksi *Incinerator* secara signifikan (Jamilatun et al., 2023). Namun, penelitian tersebut belum mengaitkan secara langsung strategi desain tersebut dengan pendekatan DfM dan perhitungan biaya secara sistematis. Dengan demikian, masih diperlukan penelitian yang mengintegrasikan pemilihan material, desain modular, dan analisa biaya dalam satu kerangka pengembangan produk.

Di sisi lain, pengelolaan sampah berbasis komunitas juga menuntut teknologi yang mudah dioperasikan dan dirawat oleh masyarakat. *Incinerator* dengan desain monolitik dan sistem kompleks berpotensi menyulitkan perawatan jangka panjang serta meningkatkan biaya operasional (Radhi et al., 2024). Oleh karena itu, desain modular yang memungkinkan perakitan dan perbaikan secara bertahap menjadi kebutuhan penting. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip DfM yang menekankan kesederhanaan dan fleksibilitas desain.

Kebijakan pengelolaan sampah di tingkat nasional dan daerah juga mendorong keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sampah sejak dari sumbernya. Namun, kebijakan tersebut belum sepenuhnya didukung oleh ketersediaan teknologi pengolah sampah yang terjangkau di tingkat RW (Hutomo, 2024). Tanpa dukungan teknologi yang sesuai, implementasi kebijakan berbasis komunitas menjadi kurang efektif. Hal ini semakin menegaskan perlunya inovasi teknologi *Incinerator* yang kontekstual dengan kondisi lokal.

Berdasarkan uraian tersebut, belum tersedianya pengembangan *Incinerator* skala komunitas yang mengintegrasikan desain teknis, kemudahan manufaktur, dan

analisa biaya. Sebagian besar penelitian masih berdiri sendiri pada aspek teknis atau ekonomi tanpa pendekatan terpadu. Kesenjangan ini menjadi penghambat utama dalam upaya menghadirkan teknologi *Incinerator* yang benar-benar aplikatif bagi masyarakat. Oleh karena itu, penelitian dengan pendekatan integratif sangat dibutuhkan.

Penelitian ini menawarkan solusi melalui pengembangan *Incinerator* skala komunitas dengan menerapkan prinsip Design for manufacture dan analisa biaya secara menyeluruh. Pendekatan ini memungkinkan perancangan *Incinerator* yang modular, berbahan lokal, dan dapat diproduksi oleh bengkel atau UMKM. Selain itu, analisa biaya yang dilakukan mencakup biaya produksi dan tenaga kerja sehingga memberikan gambaran kelayakan ekonomi yang realistis. Solusi ini diharapkan dapat menjembatani kesenjangan antara kebutuhan teknis dan kemampuan ekonomi komunitas.

Dengan demikian, penelitian “Design for manufacture dan Analisa Biaya Produksi pada *Incinerator* Skala Komunitas” memiliki landasan yang kuat secara teoretis dan empiris. Penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi *Incinerator* yang efisien dan ramah lingkungan, tetapi juga memberikan pendekatan baru dalam perancangan teknologi berbasis komunitas yang terjangkau dan mudah direplikasi. Integrasi DfM dan analisa biaya diharapkan mampu meningkatkan peluang adopsi teknologi oleh masyarakat luas. Pada akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat mendukung terwujudnya sistem pengelolaan sampah mandiri yang berkelanjutan di wilayah padat penduduk.

1.2. Identifikasi Masalah

Belum tersedia pengembangan *Incinerator* skala komunitas yang mengintegrasikan desain teknis, kemudahan manufaktur, dan analisa biaya. Menimbulkan pertanyaan-pertanyaan sebagai berikut:

- Bagaimana keterbatasan sistem pengangkutan dan pengelolaan sampah terpusat memengaruhi kebutuhan teknologi pengolahan sampah di tingkat komunitas?

- Apakah teknologi pengolahan sampah yang tersedia telah sesuai dengan kebutuhan teknis serta kemampuan sosial dan ekonomi masyarakat di tingkat komunitas?
- Mengapa *Incinerator* yang tersedia di pasaran masih sulit diterapkan pada skala komunitas dari aspek biaya investasi, ukuran, dan kompleksitas konstruksinya?
- Bagaimana kompleksitas desain dan kebutuhan tenaga ahli dalam proses manufaktur menjadi hambatan bagi produksi *Incinerator* oleh bengkel lokal atau UMKM?
- Sejauh mana prinsip *Design for Manufacture* telah diterapkan dalam pengembangan *Incinerator* skala komunitas?
- Bagaimana penggunaan material lokal, penyederhanaan komponen, dan penerapan desain modular dapat meningkatkan kemudahan manufaktur, perakitan, serta perawatan *Incinerator* skala komunitas?
- Bagaimana desain *Incinerator* dapat disesuaikan dengan proses dan peralatan fabrikasi yang tersedia pada bengkel lokal atau UMKM tanpa mengurangi fungsi utamanya?
- Mengapa pengembangan *Incinerator* skala komunitas masih memerlukan integrasi antara aspek desain teknis, kemudahan manufaktur, dan analisa biaya produksi?
- Bagaimana kebutuhan material, komponen, jasa produksi, dan overhead manufaktur dapat disusun secara sistematis sebagai dasar perhitungan Harga Pokok Produksi *Incinerator* skala komunitas?
- Bagaimana menghasilkan desain *Incinerator* skala komunitas yang dapat dijadikan acuan produksi oleh bengkel lokal atau UMKM?

1.3. Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini terfokus dan spesifik, maka ruang lingkup pembahasan dalam penelitian ini akan dibatasi sebagai berikut:

- Penelitian difokuskan pada evaluasi *Prototype Incinerator* CS/RW-i-1000 sebagai desain awal dan pengembangan desain *Clearsky* CS/RW-i-30 sebagai

desain penyempurnaan untuk kebutuhan pengolahan sampah pada skala komunitas.

- Pengembangan *Clearsky* CS/RW-i-30 dibatasi pada tahap perancangan digital yang meliputi pemodelan tiga dimensi, penyusunan gambar kerja, pembagian struktur produk dan *sub-assembly*, penyusunan *Assembly Process Chart*, serta *Bill of Material*. Desain *Clearsky* CS/RW-i-30 tidak direalisasikan dan diuji secara fisik dalam penelitian ini.
- Penerapan *Design for Manufacturing and Assembly* dibatasi pada aspek penyederhanaan komponen, modularitas konstruksi, pemilihan material yang tersedia secara lokal, kemudahan proses fabrikasi dan perakitan, akses perawatan, serta kesesuaian desain dengan kemampuan peralatan dan tenaga kerja bengkel lokal atau UMKM.
- Analisa biaya dibatasi pada perhitungan Harga Pokok Produksi satu unit *Clearsky* CS/RW-i-30 yang mencakup biaya bahan dan komponen, sistem monitoring, sistem filtrasi, jasa produksi langsung, serta overhead manufaktur. Biaya pengiriman, instalasi dan *commissioning* di lokasi, pengujian emisi eksternal, sertifikasi produk, promosi, keagenan, dan margin keuntungan tidak termasuk dalam perhitungan.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan ruang lingkup pembahasan di atas, maka yang akan dijawab dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- Bagaimana mengembangkan desain *Incinerator* skala komunitas *Clearsky* CS/RW-i-30 berdasarkan hasil evaluasi *Prototype* CS/RW-i-1000 dengan menerapkan prinsip *Design for Manufacturing and Assembly* pada aspek modularitas, kemudahan manufaktur, perakitan, perawatan, serta kesesuaiannya dengan kemampuan bengkel lokal atau UMKM?
- Bagaimana menghitung dan menganalisa Harga Pokok Produksi manufaktur satu unit *Incinerator Clearsky* CS/RW-i-30 berdasarkan kebutuhan bahan dan komponen, jasa produksi langsung, serta overhead manufaktur?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

- Mengembangkan desain *Incinerator* skala komunitas *Clearsky* CS/RW-i-30 berdasarkan hasil evaluasi *Prototype* CS/RW-i-1000 dengan menerapkan prinsip *Design for Manufacturing and Assembly* pada aspek modularitas, kemudahan manufaktur, perakitan, perawatan, serta kesesuaiannya dengan kemampuan bengkel lokal atau UMKM.
- Menghitung dan menganalisa Harga Pokok Produksi manufaktur satu unit *Incinerator Clearsky* CS/RW-i-30 berdasarkan kebutuhan bahan dan komponen, jasa produksi langsung, serta overhead manufaktur.

1.6. Manfaat Penelitian

1.6.1. Manfaat Teoritis

- Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan konsep *Design for manufacture* (DfM) pada teknologi pengolahan limbah skala kecil.
- Mendorong pembaruan literatur mengenai efisiensi biaya dan kemudahan produksi dalam desain teknologi lingkungan skala kecil.

1.6.2. Manfaat Praktis (Bagi Masyarakat dan Industri Lokal)

- Memberikan solusi bagi pengelolaan sampah di daerah padat penduduk yang mengalami keterbatasan akses TPA.
- Mendukung pemberdayaan bengkel lokal atau industri kecil dalam memproduksi teknologi tepat guna untuk pengelolaan limbah.
- Menyediakan rancangan *Incinerator* skala komunitas yang dapat diproduksi dan dioperasikan secara mandiri oleh masyarakat atau UMKM.

1.6.3. Manfaat Akademis (Bidang Pendidikan)

- Menyediakan studi kasus penerapan metode rekayasa teknik yang komprehensif untuk proyek desain teknologi lingkungan.
- Menjadi referensi akademis bagi mahasiswa, dosen, dan peneliti dalam mengembangkan topik-topik serupa di bidang teknik mesin, teknik lingkungan, atau rekayasa manufaktur.