

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia saat ini masih menjadi tantangan besar yang berdampak pada pencemaran udara dan lingkungan. Menurut penelitian (Ferdinan dkk., 2022), volume timbunan sampah di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi, di mana total produksi sampah nasional mencapai sekitar 65,2 juta ton per tahun dan kota Bekasi mencatatkan produksi sampah rumah tangga rata-rata sekitar 1.500 ton per hari pada tahun 2021. Salah satu solusi yang banyak diterapkan adalah penggunaan *Incinerator*, namun proses pembakarannya sering menghasilkan emisi berbahaya seperti CO, SO₂, Nox dan Partikulat Maksimum yang tersebar ke lingkungan sekitar (Wandasundari dkk., 2024). Permasalahan ini semakin kompleks karena banyak *Incinerator* skala komunitas yang belum memiliki sistem filtrasi yang memadai. Oleh karena itu, perancangan cerobong *multistage* filter dapat meminimalisir polusi udara secara efektif.

Salah satu pendekatan inovatif untuk mengurangi dampak emisi *Incinerator* adalah penggunaan cerobong *multistage* filter yang dapat menangkap partikel dan gas berbahaya secara bertahap. Proses pembersihan bertahap melibatkan pengubahan partikel padat yang dapat dikondensasi menjadi partikel padat yang dapat disaring dengan menurunkan suhu gas buang hingga 70°C (Liao dkk., 2024). Dengan demikian, inovasi ini menjadi relevan untuk diterapkan pada *Incinerator* skala komunitas. Selain itu, penerapan teknologi ini juga mendukung upaya nasional menuju pengelolaan sampah berkelanjutan.

Fenomena peningkatan polusi udara akibat pembakaran sampah terbuka semakin memperkuat urgensi penelitian ini. Secara spesifik, sekitar 240,28 ton sampah tidak dikumpulkan oleh layanan badan lingkungan setiap hari, dan 88,6% sampah yang tidak dikumpulkan di kota tersebut dibakar secara terbuka (Ramadan dkk., 2023). Akibatnya, masyarakat sekitar terpapar asap beracun yang dapat memicu gangguan pernapasan. Penggunaan *Incinerator* yang

dilengkapi dengan sistem filtrasi bertingkat dapat menjadi solusi tepat untuk mengatasi hal ini. Selain melindungi kesehatan masyarakat, pendekatan ini juga sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah.

Seiring berkembangnya teknologi pengendalian emisi, penggunaan media adsorben berbasis Zeolit dan Karbon aktif menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk menurunkan kandungan polutan pada gas buang hasil pembakaran. Zeolit memiliki struktur mikropori dengan luas permukaan yang tinggi sehingga efektif mengadsorpsi gas-gas pencemar seperti SO_2 , CO_2 , dan H_2S , sedangkan karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat baik terhadap senyawa organik volatil (VOC), dioksin, furan, serta logam berat karena memiliki luas permukaan spesifik dan volume pori yang besar (Tefera dkk., 2024). Oleh karena itu, penerapan *multistage* filter yang mengombinasikan zeolit dan karbon aktif merupakan alternatif yang efektif untuk diterapkan pada *incinerator* karena mampu meningkatkan efisiensi penyaringan gas buang sekaligus menggunakan media filtrasi yang relatif sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Selain dari sisi teknis, masalah sosial dan kebijakan juga turut mempengaruhi keberhasilan pengelolaan sampah melalui *Incinerator*. Pemerintah daerah sering menghadapi kendala pembiayaan dan penerimaan masyarakat terhadap teknologi pembakaran sampah. Untuk mengatasi tantangan ini, metode pembakaran diperkenalkan melalui program layanan masyarakat yang melibatkan identifikasi masalah, tinjauan literatur, kampanye kesadaran, pemisahan sampah, penyediaan peralatan, dan pelatihan tentang penggunaan teknologi pengolahan sampah. Dengan adanya rancangan cerobong *multistage* filter, masyarakat dapat melihat bukti nyata bahwa teknologi ini aman dan efektif. Hal ini akan mendorong penerimaan publik terhadap inovasi tersebut di tingkat komunitas.

Dari aspek teknis, Pendinginan cepat gas buang sebelum penyaringan mencegah degradasi termal media filter dan meningkatkan efisiensi penangkapan partikulat. Menurunkan suhu gas buang dapat mencegah pembentukan dioksin dan mengurangi beberapa partikulat (Febijanto dkk., 2024). Perancangan Cerobong *multistage* filter yang baik perlu

mempertimbangkan integrasi sistem pendinginan untuk menjaga suhu optimal. Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak material filter dan menurunkan performa penyaringan. Dengan demikian, integrasi sistem pendinginan dan filtrasi bertingkat dapat meningkatkan efisiensi serta memperpanjang umur komponen. Ini menjadi aspek penting dalam rancang bangun cerobong *Incinerator* skala komunitas.

Pelepasan emisi gas buang dari *Incinerator* merupakan salah satu sumber pencemaran udara yang harus dikendalikan melalui standar baku mutu yang ditetapkan pemerintah, karena polutan seperti sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), dan partikulat halus (PM) berpotensi menimbulkan dampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan masyarakat di sekitar lokasi pembakaran limbah. Berdasarkan (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutan. Nomor 70 Tahun 2016) tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah secara Termal yang berlaku di Indonesia: menurut lampiran peraturan ini, pengolahan sampah secara termal wajib memenuhi batas maksimum konsentrasi emisi tertentu yang dikoreksi terhadap 11% O_2 diukur pada kondisi standar, antara lain Total Partikulat maksimum 120 mg/Nm^3 , Sulfur Dioksida (SO_2) maksimum 210 mg/Nm^3 , Oksida Nitrogen (NO_x) maksimum 470 mg/Nm^3 , dan Karbon Monoksida (CO) maksimum 625 mg/Nm^3 untuk setiap titik emisi sebelum dilepas ke atmosfer; ketentuan tersebut bertujuan menekan potensi pencemaran udara dari aktivitas pembakaran sampah dan menjadi acuan teknis pemantauan emisi yang wajib dilakukan oleh pengelola fasilitas *Incinerator* demi perlindungan kualitas udara serta kesehatan masyarakat di sekitar lokasi operasi (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Nomor 70 Tahun 2016).

Dalam implementasi di lapangan, perancangan cerobong *multistage* filter juga berperan penting dalam mendukung kebijakan pengurangan emisi karbon daerah. Menurut penelitian (Joyosemito dkk., 2025) Proses pembakaran melepaskan berbagai polutan udara ke lingkungan, termasuk nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), dan partikulat maksimum (PM). Oleh sebab itu, sistem filtrasi menjadi bagian integral dari

upaya mitigasi polusi udara. Keberhasilan penerapan desain ini akan membantu pemerintah daerah mencapai target pengurangan emisi dan peningkatan kualitas udara. Selain itu, penelitian ini juga membuka peluang untuk replikasi model serupa di berbagai wilayah Indonesia.

Penelitian ini menemukan solusi dengan membuat cerobong *multistage* filter pada *Incinerator* skala komunitas. Sistem ini terdiri atas beberapa lapisan filter, meliputi tahap pemisahan partikulat besar, penyaringan halus, dan penyerapan gas kimia berbahaya. Penerapan sistem pembersihan basah di *Incinerator* telah terbukti efektif mengurangi emisi gas buang sesuai dengan persyaratan peraturan, sekaligus secara signifikan mengurangi polusi udara di area tempat pembuangan sampah (Suprpto dkk., 2025). Selain itu, filter ini dirancang agar mudah dirawat dan dapat dibuat dari bahan lokal yang murah. Pendekatan ini menjadikan solusi tersebut realistis untuk di implementasikan di masyarakat.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada rancang bangun cerobong gas buang *multistage* filter menggunakan media zeolit dan karbon aktif pada *incinerator* skala komunitas. Rancangan yang dihasilkan kemudian dianalisis menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengevaluasi karakteristik aliran gas berupa distribusi kecepatan (*velocity*), distribusi tekanan (*pressure*), dan *pressure drop* pada variasi ukuran media filter. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif desain sistem filtrasi yang lebih efektif dalam mendukung pengendalian emisi gas buang pada *incinerator*. Dari uraian di atas, peneliti tertarik untuk mengangkat masalah tersebut dan kemudian diajukan sebagai penelitian dengan judul: Rancang Bangun Cerobong Gas Buang *Multistage* Filter pada *Incinerator*. Penelitian ini diharapkan berkontribusi pada terwujudnya lingkungan yang bersih, sehat, dan mandiri dalam pengelolaan sampah.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Peningkatan volume sampah rumah tangga yang melebihi kapasitas pengelolaan konvensional.
2. Keterbatasan lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang memperburuk penumpukan sampah.
3. Banyak tempat pembakaran sampah terbuka yang menghasilkan asap pekat sehingga berbahaya bagi kesehatan masyarakat.
4. Rendahnya kesadaran masyarakat terhadap dampak polusi udara dari pembakaran sampah terbuka di lingkungan padat penduduk.
5. *Incinerator* mengeluarkan emisi gas buang yang mengandung CO, SO₂, NO_x, dan PM.
6. Zeolit dan karbon aktif memiliki karakteristik adsorpsi yang berbeda sehingga diperlukan kombinasi media filtrasi yang sesuai untuk meningkatkan efektivitas penyaringan gas buang.
7. Pemanfaatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran gas buang pada cerobong
8. Belum terpenuhinya baku mutu emisi gas buang *Incinerator* sesuai peraturan lingkungan hidup Nomor P.70 Tahun 2016, sehingga diperlukan desain cerobong dan sistem filtrasi yang mampu menurunkan konsentrasi polutan secara signifikan.
9. Belum tersedianya sistem cerobong *multistage* filter yang efektif untuk mengurangi emisi gas buang.
10. Belum diketahui pengaruh konfigurasi urutan filter terhadap efektivitas penurunan emisi gas dan partikulat pada *incinerator*.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada rancang bangun cerobong gas buang *multistage* filter pada *incinerator* dengan menggunakan media filter zeolit dan karbon aktif yang disusun secara bertingkat.
2. Analisis kinerja cerobong dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada SolidWorks *Flow Simulation* dengan

membandingkan variasi ukuran media filter 3 mm, 7 mm, dan 11 mm berdasarkan parameter distribusi kecepatan (*velocity*), distribusi tekanan (*pressure*), dan *pressure drop*.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana rancang bangun cerobong gas buang multistage filter menggunakan media zeolit dan karbon aktif pada *incinerator*?
2. Bagaimana pengaruh variasi ukuran media filter zeolit dan karbon aktif 3 mm, 7 mm, dan 11 mm terhadap karakteristik aliran gas buang berdasarkan distribusi kecepatan (*velocity*), distribusi tekanan (*pressure*), dan *pressure drop* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian seperti berikut:

1. Merancang cerobong gas buang multistage filter menggunakan media zeolit dan karbon aktif pada *incinerator* skala komunitas.
2. Menganalisis pengaruh variasi ukuran media filter zeolit dan karbon aktif terhadap karakteristik aliran gas buang berdasarkan distribusi kecepatan (*velocity*), distribusi tekanan (*pressure*), dan *pressure drop* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

1.6 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi kepada masyarakat di wilayah kota Bekasi. Manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis
 - a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan teori pengendalian pencemaran udara melalui penerapan sistem cerobong gas buang *multistage* filter pada *Incinerator* pembakar sampah.
 - b. Hasil penelitian ini dapat memperkaya kajian ilmiah tentang integrasi beberapa teknologi filtrasi dalam satu sistem cerobong, serta hubungan antara desain cerobong, aliran gas, dan kinerja penurunan emisi.
2. Manfaat Praktis (Bagi Masyarakat)
 - a. Menyediakan solusi teknis untuk menurunkan emisi gas buang *Incinerator* sehingga dapat mengurangi pencemaran udara di lingkungan sekitar.
 - b. Sistem yang dirancang dapat menjadi solusi teknis yang aplikatif dan terjangkau untuk pengelolaan limbah berbasis *Incinerator* skala komunitas, sehingga membantu masyarakat dan pengelola fasilitas dalam memenuhi standar lingkungan.